

IMPACT CARBONE DE L'ÉCOLE CENTRALE DE NANTES



BILAN CARBONE ET PISTES DE REFLEXION



RAPPORT FINAL DE L'OPTION
NEUTRALITE CARBONE

AVRIL 2020



ELEVES PARTICIPANT-ES

Lou BEDOURET	Gwenaël LEPRINCE-M.
Victor BLANCART	Jean-Luc LEVOUX
Estelle de CREMOUX	Abel PRUCHON
Hugo DOUX	Romain SUCCHE
Perrine JUILLET	Lucille ZRIBI
Julien KRAEMER	

ENSEIGNANTS ENCADRANTS

Emmanuel ROZIERE
Benoit HILLOULIN

NAVIGATION DANS LE DOCUMENT

Si vous consultez le présent document sous format numérique, vous pouvez aisément naviguer entre les différentes parties à l'aide des **signets** du document.

Pour **revenir au sommaire de la partie**, cliquez sur son titre en haut à gauche de chaque page.

Pour **revenir à la table des matières générale**, cliquez sur le titre en bas de chaque page.

FICHIERS JOINTS

La liste des fichiers joints au rapport est disponible en fin de rapport. Il est fait mention de ces documents dans le texte : s'y référer pour compléter la lecture. Une **synthèse du rapport** est également disponible.

ENGLISH VERSION

The summary of the report is available in English.

SOURCES DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Sauf mention contraire, la source des figures et des tableaux est l'option Neutralité Carbone.

NOTE SUR L'UTILISATION DE L'EXPRESSION « BILAN CARBONE »

Le Bilan Carbone est, en France, depuis octobre 2011 une marque déposée désignant un outil et une méthode de comptabilité carbone¹. Par souci de clarté, le symbole « ® » n'a pas été apposé à chaque mention du terme.

DATE DE PUBLICATION FINALE

14 avril 2020

¹ www.associationbilancarbonate.fr/mentions-legales/

Remerciements

L'ensemble de l'équipe Neutralité Carbone tient à remercier toutes les personnes qui les ont aidées à mener à bien ce travail, en y participant de près ou de loin.

En particulier, merci à Emmanuel Rozière et Benoît Hilloulin pour la création et l'accompagnement de cette option et aux intervenant-es qui ont apporté leur aide durant nos cours : Samuel Tiercelin, Marie Gaborit, Caroline Jolly et Pierre Bahette. Merci à Arnaud Poitou, qui nous a apporté son support dans la définition du projet, et son aval aux objectifs que nous avons co-construits avec lui.

Nous remercions les personnes et les services de l'Ecole qui ont pris le temps de collaborer avec nous, notamment Jean-Pierre Regoin, Jean Modet, Vanessa Le Garrec, Jean-François Logé, Catherine Lerebourg, Dimitri Kisline, Sabrina Lelièvre. En particulier, les aides de Marie Bazantay et de Mathieu Le Ny nous ont été indispensables tout au long du projet.

Merci à tous-tes les enseignant-es- chercheur-ses et ingénieur-es de recherche qui ont montré un vif intérêt pour notre projet, et ont prodigué leurs conseils : Bertrand Huneau, Erwan Verron, Bruno Pettinotti, Morgan Magnin, Thomas Soulard, ainsi que Pierre Molinaro et Vincent Tourre. Nos remerciements s'adressent également aux personnes qui ont accepté de devenir ambassadeur-rices de leur laboratoire, et de partager les informations que nous leur avons transmises ; i-els ont également accepté de nous faire visiter leurs locaux. Merci également à Yves Pérignon du LHEEA qui a calculé à notre demande l'impact carbone du site SEM-REV.

Nous souhaitons également remercier les responsables d'option et enseignant-es qui ont accepté que nous suivions leurs cours, afin de nous transmettre des connaissances utiles pour le projet ou bien pour nourrir notre formation d'ingénieur-e généraliste.

Nous tenons à également remercier les personnes extérieures à l'ECN avec qui nous avons eu l'occasion d'échanger : Renaud Rinaldi à l'INSA Lyon, Yacine Baouch à l'UTC, Nicolas Desmoitier à Toovalu, et Laurent Castaignède de BCO2 Ingénierie.

Nous remercions grandement l'ensemble des associations et clubs – en particulier les personnes qui étaient en mandat en 2018 et en 2019 – qui nous ont donné accès aux données nécessaires pour calculer le Bilan Carbone associatif, et le mandat 2019 du Week-end Nantralien (WEN) qui a accepté que nous propositions un atelier aux participant-es le samedi après-midi.

Enfin, nos remerciements vont également à toutes les personnes qui ont assisté à nos ateliers, participé à nos réflexions et apporté leurs idées. Un tel travail aurait été vain sans l'intérêt que vous lui avez porté.

Résumé

La Terre connaît un réchauffement climatique, dû à l'émission d'origine anthropique de gaz à effet de serre (GES). Ce réchauffement climatique a et aura des conséquences sur les systèmes physiques, naturels et humains. Des politiques internationales d'atténuation et d'adaptation au changement climatique ont de ce fait été mises en place, en particulier à travers l'Accord de Paris en 2015. Celles-ci doivent se décliner également au niveau national et local. L'École Centrale de Nantes (ECN) a ainsi décidé d'ouvrir une option au cours de l'année 2019-2020 dans le cadre de sa démarche de Responsabilité Sociétale et de Développement Durable : onze étudiant-es du cursus d'ingénieur-e généraliste ont travaillé pendant sept mois sur la thématique de la "Neutralité Carbone" du campus.

Après une première phase de cadrage du projet, l'impact carbone de l'ECN a été objectivé. Cet état des lieux a été réalisé en s'appuyant sur la méthode Bilan Carbone de l'ADEME, adaptée à la situation de l'ECN. Le bilan carbone (BC) a d'abord été évalué en ordre de grandeur, puis affiné grâce à des données récoltées auprès des différents services et laboratoires, ou à travers des sondages diffusés à l'ensemble des usager-es. Ce travail a fourni une première évaluation de l'impact carbone lié aux activités de l'ECN : 5 684 tCO₂eq pour 2018, soit 2,25 tCO₂eq/personne. Or, pour respecter l'Accord de Paris, il faudrait qu'un-e français-e moyen-ne émette 2 tCO₂eq/an, dans sa vie privée et professionnelle. Il semble donc obligatoire pour l'ECN de réduire son impact. Plus concrètement, trois activités principales sont responsables de 72% du bilan carbone total. Il s'agit des déplacements avec 2 060 tCO₂eq (36 %), des produits et services (en particulier les achats) avec 1 200 tCO₂eq (21 %), et des repas des usager-es le midi avec 830 tCO₂eq (15 %).

Face à ces constats, différentes propositions ont été émises afin de construire une stratégie bas carbone spécifique à l'École. Elles ont été conçues à la suite de l'organisation d'ateliers participatifs dédiés au projet auxquels était convié l'ensemble des acteur-ices de l'ECN, et de l'apport de groupes de travail thématiques (mobilité, gestion des espaces verts), puis analysées et développées. Les réductions que permettrait la mise en place de certaines des actions proposées ont été estimées (en ordre de grandeur). Cela permet de disposer d'éléments de hiérarchisation pour cibler les actions dont les chiffres méritent d'être approfondis, avec notamment une prise en compte des potentiels effets rebonds. Ces estimations illustrent l'importance de l'élaboration d'une stratégie bas-carbone globale, incluant changements individuels des acteur-ices de l'ECN et changements politiques dans la gouvernance afin de réduire de façon tangible les émissions de GES. Pour autant, ce bilan devrait être remis en perspective en intégrant la contribution de l'ECN à l'évolution des techniques et pratiques par le biais de la recherche et de la formation.

A ce jour, le projet peut être poursuivi sous deux axes complémentaires : l'approfondissement de la stratégie bas carbone et le développement d'outils de suivi qui permettront d'attester des efforts fournis par l'ECN et de leur efficacité.

Abstract

As shown by the IPCC's (Intergovernmental Panel on Climate Change) reports, the Earth is facing global warming, due to anthropogenic greenhouse gases (GHG) emission in the atmosphere. This global warming has and will have consequences on physical, natural, and human systems. Therefore, international policies have been set up, in particular throughout the Paris Agreement in 2015. These policies must be adapted, nationally and locally. Thus, the École Centrale de Nantes (ECN) decided to open a new project specialisation during the 2019-2020 academic year within its "Social and Sustainable Responsibility": 11 students from the Engineering Program worked for seven months on the campus' "Carbon Neutrality" thematic.

After a first step of project guidance, the ECN carbon footprint has been quantified objectively. This state of play has been made by adapting the ADEME (French Environmental and Energy Agency) carbon accounting method to the specific situation of the ECN. An order of magnitude has first been evaluated for the carbon footprint, which has then been refined thanks to data gathered with the different units and laboratories help, or through surveys, distributed to all ECN's stakeholders. This work has given a preliminary evaluation, for 2018, of the carbon footprint, linked to the ECN activities, equal to 5 684 tCO₂eq, or 2.25 tCO₂eq/stakeholder (undistinguished distribution between the different stakeholders). Yet, to observe the Paris Agreement, the average French person should emit 2 tCO₂eq/year, in his professional and personal life. So, it seems unavoidable for the ECN to reduce its impact. More specifically, three activities are responsible for 72% of the ECN carbon footprint: goods and services (in particular purchases) with 1 200 tCO₂eq (21%); trips with 2 060 tCO₂eq (36%); lunch meals with 830 tCO₂eq (15%).

Following this assessment, different propositions have been ventured in order to develop a low-carbon strategy. They result from project-dedicated workshops, involving all ECN stakeholders, and from working groups (green space management, mobility); they have then been analysed and developed. Implementing these propositions would reduce the ECN carbon footprint. The reductions have been estimated (order of magnitude), to rank the actions that would deserve to be detailed – in particular by taking into account potential take-back effect. These estimations underline the importance of a complete commitment from the ECN to reduce tangibly its GHG emissions. However, this footprint should be put into perspective integrating the ECN contribution (research and engineer training) to the techniques and practices evolution.

Thus far, the project can be pursued through two different but complementary approaches: by improving the low carbon strategy and by developing monitoring tools to assess the ECN efforts and their relative efficiency.

Table des matières générale

AVANT-PROPOS	1
1 CONTEXTE	2
1.1 CONTEXTE SCIENTIFIQUE : LE RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE.....	3
1.2 CONTEXTE POLITIQUE A DIFFERENTES ECHELLES	13
1.3 LE BILAN CARBONE.....	16
1.4 CADRAGE DU PROJET DE L'OPTION NEUTRALITE CARBONE.....	22
2 METHODOLOGIE	26
2.1 DEMARCHE DU PROJET	27
2.2 CALCUL DU BILAN CARBONE DE L'ÉCOLE	49
3 RESULTATS	91
3.1 RESULTATS GENERAUX DU BILAN CARBONE 2018 DE L'ÉCOLE	92
3.2 RESULTATS DETAILLES PAR THEMATIQUE DU BILAN CARBONE 2018 DE L'ÉCOLE.....	102
4 DISCUSSION	160
4.1 LEVIERS D'ACTION : COMMENT REDUIRE LE BILAN CARBONE ?	162
4.2 PRISE DE RECUL.....	278
CONCLUSION	304
GLOSSAIRE ET ABREVIATIONS	306
BIBLIOGRAPHIE	308
TABLE DES FIGURES	314
INDEX DES TABLEAUX	318
ANNEXES	I
LISTE DES FICHIERS JOINTS AU RAPPORT	II
METHODE DE CALCUL DU BC ESTIME EN ORDRE DE GRANDEUR.....	III
ÉTAT DE L'ART DES METHODES DE VISUALISATION DE L'EMPREINTE CARBONE	VII
EFFECTIFS 2018 DE L'ÉCN	X
GUIDE DE CONCEPTION DU COMPTEUR DE VEHICULES	XIII
SONDAGE SUR LES HABITUDES DE MOBILITE DES USAGER-ES DE L'ÉCN (FRANÇAIS ET ANGLAIS)	XXVII
POSTER DE L'OPTION NEUTRALITE CARBONE	LV
TABLEAU DES NUMEROS DE COMPTES ET LIBELLES FINANCIERS A L'ÉCN.....	LVI

Avant-propos

Le projet Neutralité Carbone s'inscrit dans la continuité de la démarche de développement durable et de responsabilité sociétale de l'Ecole Centrale de Nantes (ECN) amorcée en 2006.

Au cours de l'année scolaire 2019-2020, l'option Neutralité Carbone a permis de mettre en lumière les différents impacts environnementaux (notamment carbone) de l'ECN, et a contribué à la compréhension de leurs causes et de leurs conséquences. Ce diagnostic, réalisé pour la première fois avec autant d'approfondissement, a mené l'option à explorer les différentes perspectives s'offrant à l'ECN concernant son adaptation et l'atténuation de son impact carbone.

Diverses pistes d'adaptation et d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre (GES) sont proposées dans ce document. Elles nécessitent néanmoins une étude plus approfondie afin de déterminer plus précisément le potentiel et les ressources nécessaires à leur mise en œuvre. Il reste du ressort et de la responsabilité de l'ECN de mobiliser les moyens et les outils de pilotage permettant de mettre en œuvre une réelle stratégie bas carbone.

Ce rapport présente l'ensemble des résultats du travail effectué par les étudiant-es de l'option Neutralité Carbone de septembre 2019 à mars 2020. Ce rapport a été relu et approuvé par Emmanuel Rozière et Benoît Hilloulin, tous deux enseignants-chercheur-ses à l'ECN encadrant ce projet.

1 Contexte

Aujourd'hui, la **question environnementale** est de plus en plus présente dans les esprits. Le réchauffement climatique est une des composantes principales de ce questionnement et constitue le **fil conducteur du projet de l'option Neutralité Carbone**.

Le réchauffement climatique est une problématique qui fait l'objet d'une étude scientifique pour en analyser les causes et les conséquences. La **lutte contre le réchauffement climatique** se décline en plusieurs directives, prises à divers niveaux politiques : international, national, des organisations.

Parmi ces directives et réglementations vient notamment l'obligation de réaliser un **Bilan Carbone (BC)**, en suivant une méthodologie rigoureuse.

C'est ce contexte, notamment, qui a conduit l'École Centrale de Nantes (ECN) à créer **l'option-projet Neutralité Carbone**, option dont elle pourra tirer de multiples bénéfices. Avant de démarrer, ce projet a eu besoin d'être cadré (définition des objectifs du projet et de son périmètre, recherche des partenaires potentiels).

1.1	CONTEXTE SCIENTIFIQUE : LE RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE.....	3
1.1.1	<i>Différence entre météorologie et climat.....</i>	3
1.1.2	<i>Réchauffement climatique.....</i>	4
1.1.3	<i>Lien avec la hausse des émissions de gaz à effet de serre.....</i>	5
1.1.4	<i>Sources anthropiques des émissions de gaz à effet de serre.....</i>	8
1.1.5	<i>Conséquences du réchauffement climatique.....</i>	10
1.1.6	<i>Atténuation et adaptation au changement climatique.....</i>	10
1.2	CONTEXTE POLITIQUE A DIFFERENTES ECHELLES.....	13
1.2.1	<i>Contexte politique international.....</i>	13
1.2.2	<i>Contexte politique français.....</i>	14
1.2.3	<i>Contexte politique à l'École Centrale de Nantes.....</i>	14
1.3	LE BILAN CARBONE.....	16
1.3.1	<i>Définition et méthode de calcul du Bilan Carbone.....</i>	16
1.3.2	<i>Contexte réglementaire : établissement d'un Bilan Carbone.....</i>	20
1.4	CADRAGE DU PROJET DE L'OPTION NEUTRALITE CARBONE.....	22
1.4.1	<i>Objectifs du projet.....</i>	22
1.4.2	<i>Périmètre du projet.....</i>	22
1.4.3	<i>Partenaires potentiels du projet.....</i>	23
1.4.4	<i>Bénéfices du projet pour l'Ecole.....</i>	25

1.1 Contexte scientifique : le réchauffement climatique

L'étude du changement climatique et de ses causes nourrit des questionnements sur l'impact environnemental des activités humaines. L'évolution du climat tend actuellement vers un réchauffement de l'atmosphère, présentant de grands risques pour la biosphère et les générations futures comme présentes. Néanmoins, pour comprendre les causes et saisir les enjeux d'une telle évolution il convient avant tout de comprendre ce qu'est le climat et comment il est amené à évoluer.

1.1.1 Différence entre météorologie et climat

Pour comprendre ce qu'est le **climat**, il faut d'abord veiller à éviter la **confusion fréquente avec la météorologie**. Ce sont certes deux champs d'étude concernant l'évolution de la température, des précipitations, des pressions ou de la couverture nuageuse, mais leurs échelles géographiques et temporelles sont différentes (Gutro, et al., 2017) (Jancovici, 2004).

La météorologie consiste en l'étude de ces grandeurs en un lieu donné et à un instant précis. A l'aide de mesures atmosphériques, les météorologues prévoient « le temps qu'il fera » dans une zone géographique précise sur des échelles de temps de quelques jours. Les prévisions météorologiques reposent sur l'étude de l'atmosphère.

Pour le climat, les mêmes grandeurs sont étudiées, mais ce sont leurs valeurs moyennes et non instantanées qui intéressent les climatologues. **La climatologie est quant à elle l'étude de moyennes de grandeurs physiques, réalisées sur une trentaine d'années et sur des zones géographiques étendues** (continents). L'étude du climat et des causes de ses variations est à la croisée de nombreuses disciplines scientifiques : la glaciologie, la biologie, la volcanologie, l'océanographie, l'astronomie, la géologie, la météorologie... (Jancovici, 2003)

Finalement, la météorologie est l'étude « du temps qu'il fait » à un instant t , alors que le climat est l'étude du temps auquel il faudra s'attendre en moyenne sur une longue période.

Le climat, comme la météorologie, varie mais sur des échelles de temps bien plus grandes. Dans un passé lointain il y a eu une alternance du climat entre des ères glaciaires et des ères interglaciaires avec des températures moyennes plus élevées (Petit, et al., 1999). Puis au cours des siècles derniers, malgré de faibles fluctuations de l'ordre de quelques dixièmes de degrés Celsius, la moyenne de température semblait stable voire à la baisse. Or, **depuis le milieu du XIXe siècle, la tendance semble s'être orientée vers un réchauffement du climat** (Houghton, et al., 2001) (Solomon, et al., 2007) (Stocker, et al., 2013).

1.1.2 Réchauffement climatique

Le **Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'évolution du Climat (GIEC)** est en charge d'étudier l'évolution des différentes composantes du climat. Il effectue un travail de synthèse de toutes les recherches scientifiques internationales sur le sujet et publie régulièrement (tous les 5 à 8 ans) un rapport d'évaluation sur l'état et l'évolution du climat.

Dans le rapport AR5 (*Fifth Assessment Report*) publié en 2014, le GIEC fait le constat d'un réchauffement climatique croissant. Les études de températures montrent une **élévation de la température de surface moyenne annuelle de l'ordre d'1°C par rapport au niveau préindustriel**, c'est-à-dire avant le début du XIXe siècle (Figure 1).

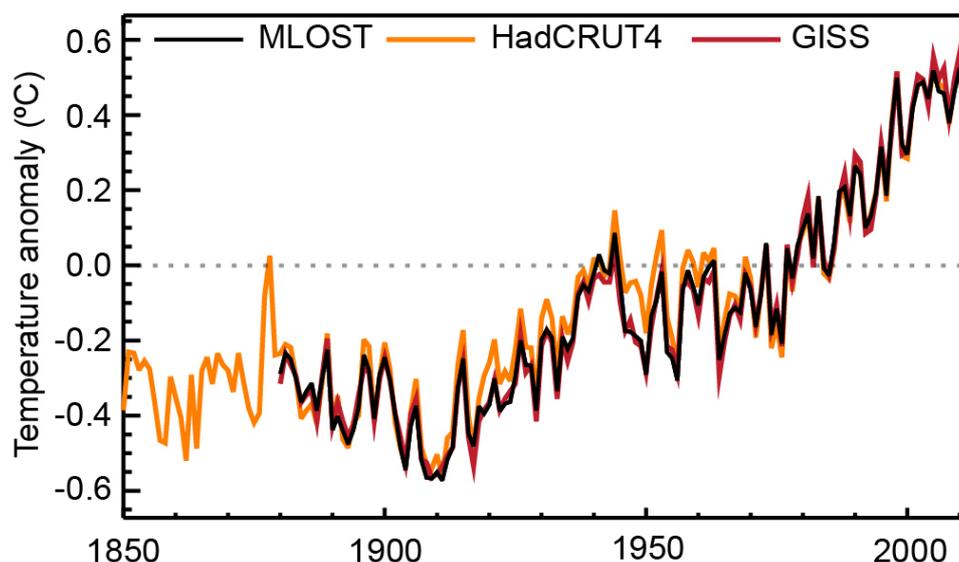


Figure 1 : Evolution de la température de surface moyenne annuelle
(Source : AR5 Climate Change 2013 : The Physical Science Basis, GIEC, 2013)

D'autres phénomènes ont aussi été observés en lien avec cette augmentation de température comme le montre la Figure 2 : réchauffement des eaux océaniques, changements de salinité et acidification des océans, modification des flux océaniques, réduction de la masse de la calotte glaciaire et de l'étendue de la banquise... Tous ces phénomènes physiques en réaction aux changements de température s'associent à des **perturbations des systèmes biologiques, menaçant les écosystèmes, la biodiversité et les sociétés humaines**. L'élévation rapide du niveau de la mer (20 cm entre 1900 et 2010) peut être expliquée à 75 % par la perte de masse des glaciers et l'expansion thermique des océans (Stocker, et al., 2013).

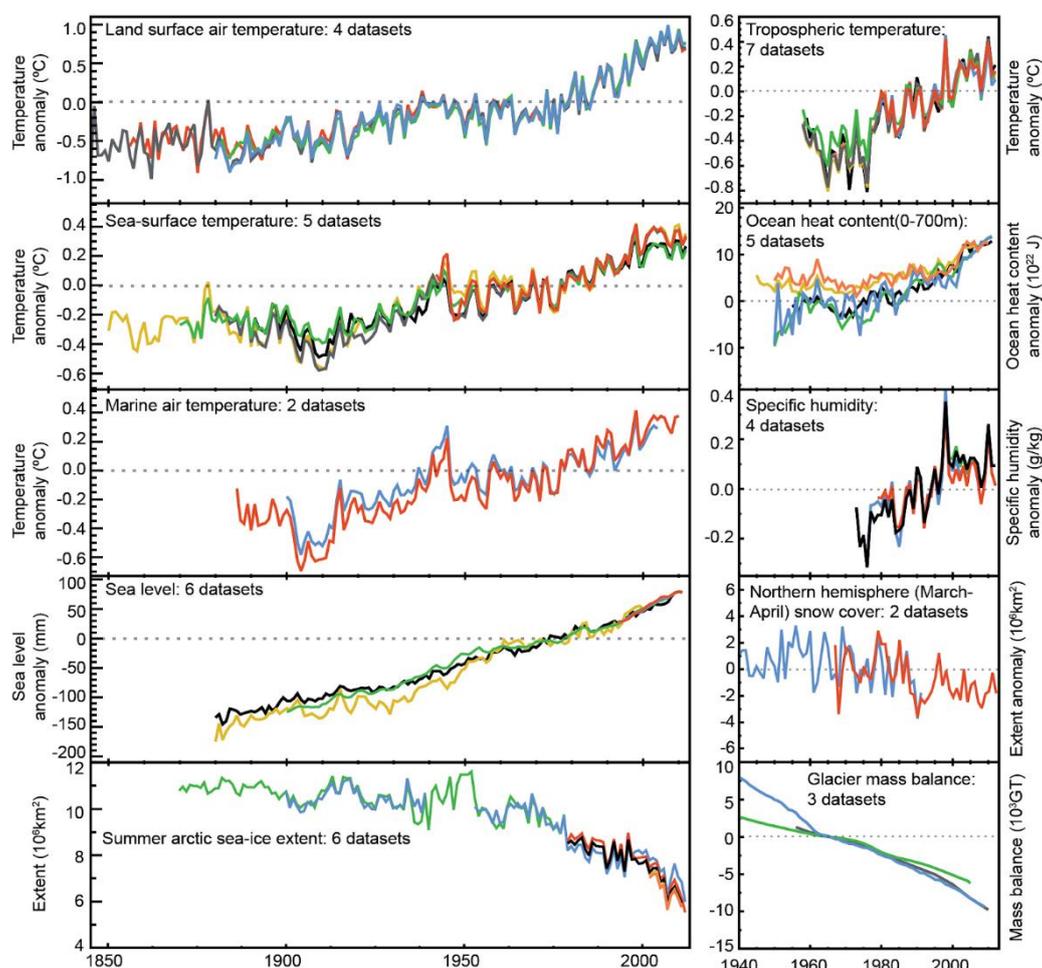


Figure 2 : Évolution de différentes grandeurs annuelles moyennes caractéristiques du changement climatique (Source : AR5 Climate Change 2013 : The Physical Science Basis, GIEC, 2013)

Le constat du GIEC est donc sans équivoque, les changements observés depuis plusieurs décennies sont sans précédent et il convient donc de rechercher les causes d'une telle évolution ainsi que ses conséquences à court et long termes.

1.1.3 Lien avec la hausse des émissions de gaz à effet de serre

De nombreux cycles géochimiques ont été perturbés depuis l'ère préindustrielle, entraînant des concentrations de gaz à effet de serre (dioxyde de carbone CO_2 , méthane CH_4 , protoxyde d'azote NO_2 ...) dans l'atmosphère sans commune mesure avec celles observées depuis plusieurs milliers d'années. Depuis 1750, **la concentration atmosphérique en dioxyde de carbone a augmenté de 40 %, celle en méthane de 150 % et celle en protoxyde d'azote de 20 %** (Figure 5) (Stocker, et al., 2013). De tels gaz issus de phénomènes naturels ou anthropiques modifient le bilan énergétique de la Terre.

Le **forçage radiatif** mesure la différence entre l'énergie arrivant sur Terre et celle qui repart (Figure 4). Cette différence définit la température à la surface de la Terre. Ainsi, un forçage radiatif global positif correspond à un réchauffement du climat (Ringebach, et al., 2019).

Le forçage radiatif global est évalué à partir des changements de concentrations atmosphériques et des propriétés physiques des GES (gaz à effet de serre). Certaines substances telles que les aérosols ont un forçage radiatif négatif, cela explique les baisses ponctuelles de températures moyennes à la suite d'éruptions volcaniques diffusant beaucoup d'aérosols dans l'atmosphère (Stocker, et al., 2013). Il vaut au total $-0,8 \text{ W/m}^2$ pour les aérosols et $3,1 \text{ W/m}^2$ pour les gaz à effet de serre, soit au total environ $2,3 \text{ W/m}^2$. Le forçage radiatif est donc bien positif : **la Terre accumule donc plus d'énergie qu'elle n'en renvoie**. Il y a ainsi une augmentation des températures moyennes (Ringebach, et al., 2019).

Comme le montre la Figure 3 page 6, malgré des variations climatiques passagères (éruptions volcaniques), il apparaît que l'évolution du forçage radiatif global est à la hausse par rapport à l'ère préindustrielle, celui-ci ayant presque doublé entre 1980 et 2011. Une telle évolution explique l'augmentation de la température moyenne à la surface de la Terre durant cette période. Si **l'évolution du forçage radiatif est à la hausse en raison d'une croissance des concentrations atmosphériques en GES**, il est important de chercher quelles sont les causes de cette dernière.

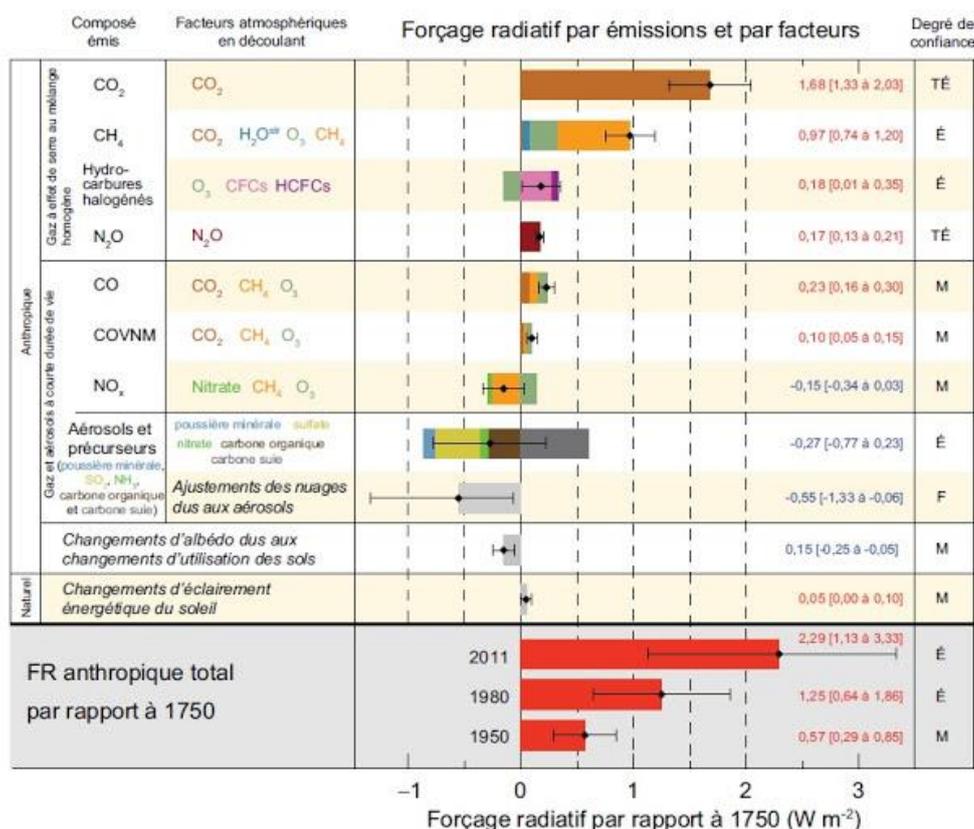


Figure 3 : Evolution du forçage radiatif global par rapport à 1750
(Source : AR5 Climate Change 2013 : The Physical Science Basis, GIEC, 2013)

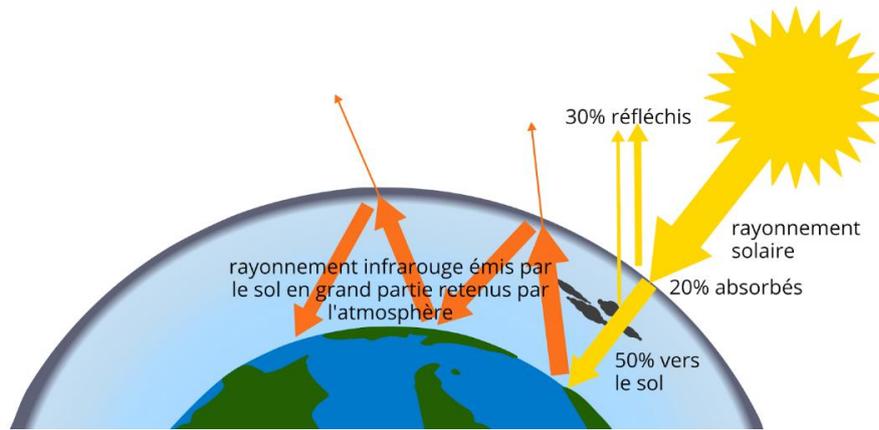


Figure 4 : Rayonnements arrivant ou repartant de la Terre
(Source : Office International de l'Eau)

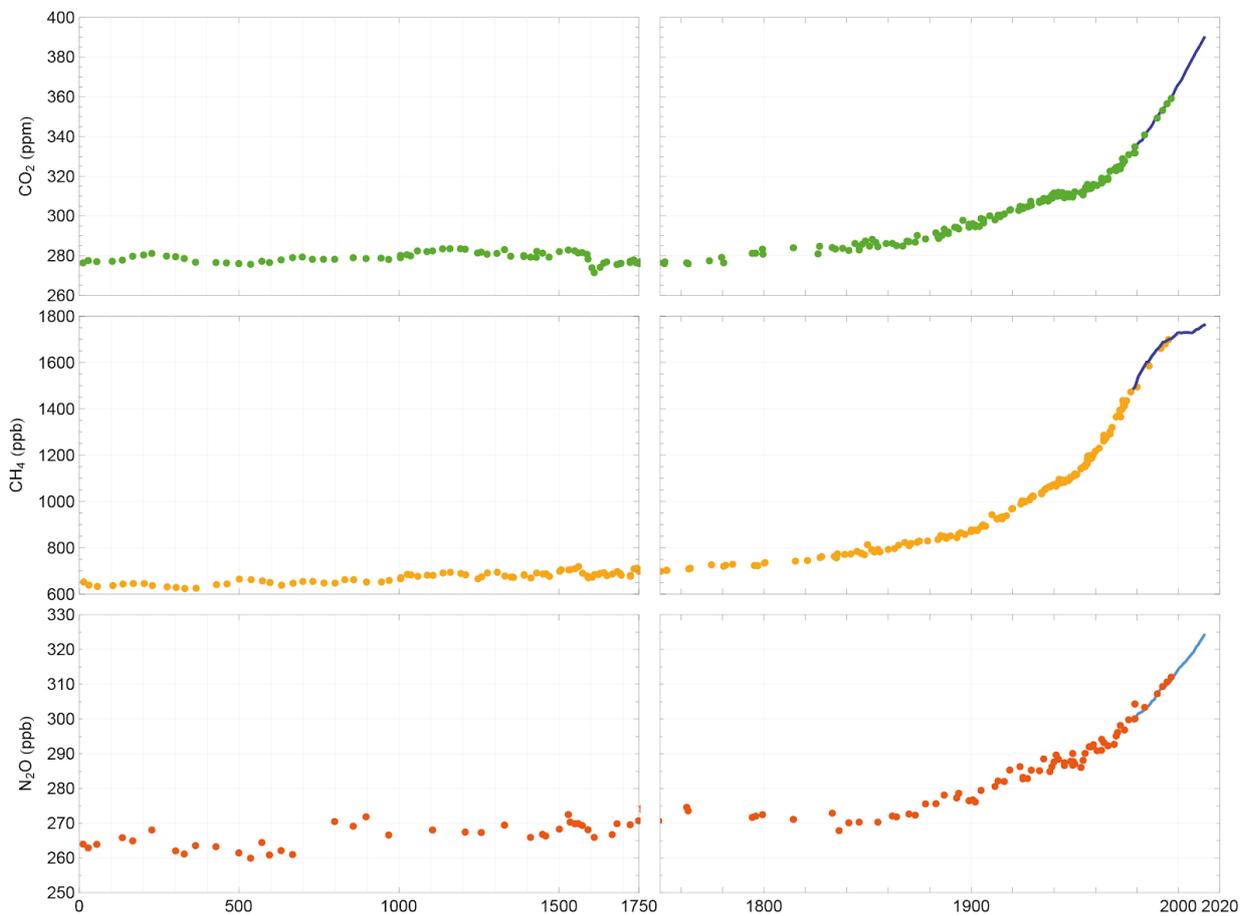


Figure 5 : Evolution des concentrations atmosphériques en GES.
MLO, SPO, ALT, CGO, MHD sont les noms des différents ensembles de données utilisés (sites de mesures physique). (Source : AR5 Climate Change 2013 : The Physical Science Basis, GIEC, 2013)

1.1.4 Sources anthropiques des émissions de gaz à effet de serre

D'après le GIEC, **il y a entre 95 et 100% de chances que l'augmentation de la température moyenne** de surface entre 1951 et 2010 **soit due pour moitié à l'augmentation des émissions de GES d'origine anthropique** (Stocker, et al., 2013).

L'origine de ces GES, notamment du CO₂ a été établie à partir d'**analyses isotopiques** ; en effet, le CO₂ issu des océans n'a pas la même composition isotopique que celui issu de la biomasse ou des combustibles fossiles. Les atomes de carbone des molécules de CO₂ présentent plusieurs isotopes naturels, c'est à dire qu'il existe des atomes avec des noyaux contenant 6 à 8 neutrons (carbones 12, 13 et 14). Or, la nature isotopique des atomes de carbone permet d'avoir des indications sur l'origine de molécules de CO₂. Par exemple, le carbone 14 est instable, il n'est donc pas présent dans les combustibles fossiles qui sont restés enfouis pendant plusieurs milliers d'années. Le CO₂ des océans est très riche en carbone 13. Actuellement le CO₂ atmosphérique s'appauvrit en carbone 13 ; il ne provient donc pas des océans. Il s'appauvrit aussi en carbone 14. Etant donné que le CO₂ issu de la biomasse contient du carbone 13 et du carbone 14, **le CO₂ atmosphérique provient nécessairement des combustibles fossiles** (Jancovici, 2007).

Afin de s'assurer de l'origine anthropique de ces émissions une comparaison avec les concentrations atmosphériques préindustrielles a été réalisée à partir de l'**étude de carottes glaciaires** (Blunier, et al., 1993) (Etheridge, et al., 1996).

La hausse des émissions de GES d'origine anthropique liée à l'industrialisation entraîne une augmentation de leurs concentrations atmosphériques, et de leur absorption par les océans (Figure 7). Ces derniers absorbent jusqu'à 30 % des émissions anthropiques, provoquant ainsi leur acidification (Stocker, et al., 2013). En effet, lors de sa dissolution dans l'eau, plusieurs réactions ont lieu entraînant la formation d'ions H⁺ responsables de l'acidité. Ces réactions sont détaillées dans la Figure 6.

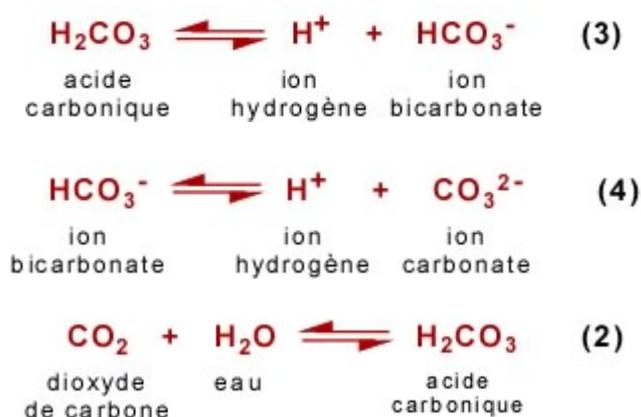


Figure 6 : Réactions associées à la dissolution du CO₂ dans l'océan
(Source : Université de Laval, Canada)

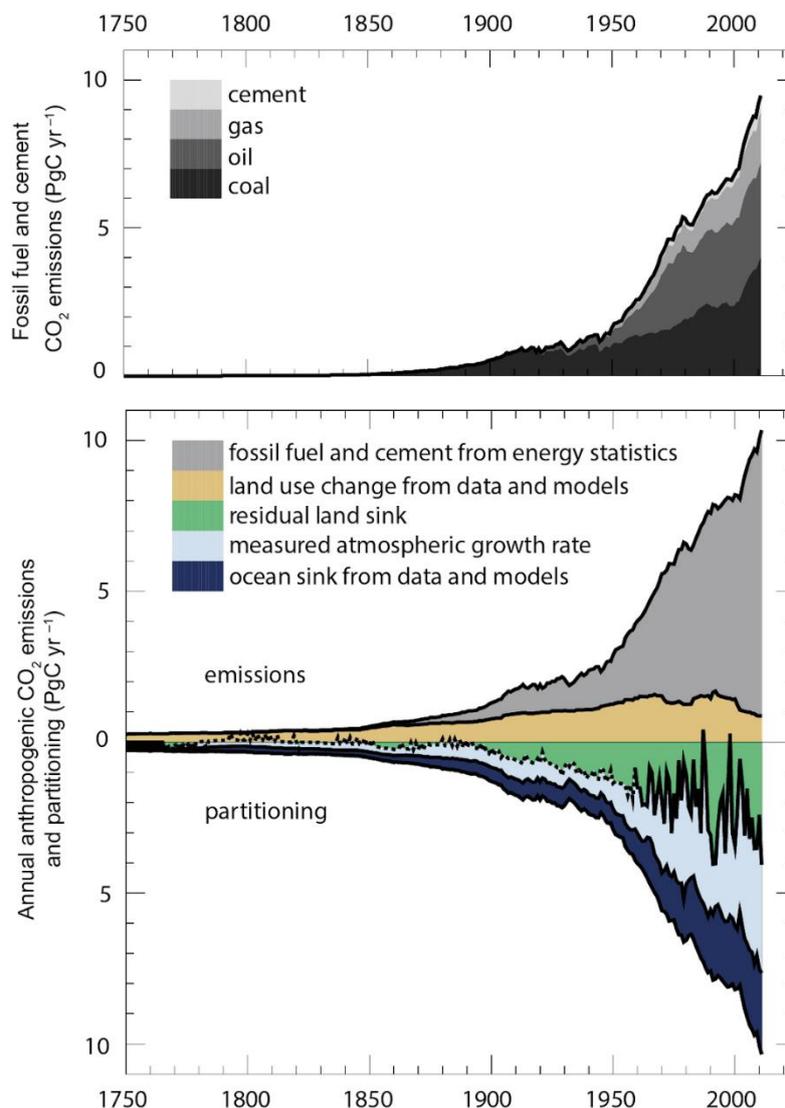


Figure 7 : Evolution des émissions de GES d'origine anthropique ¹
(Source : AR5 Climate Change 2013 : The Physical Science Basis, GIEC, 2013)

Ces résultats témoignent de l'**influence des activités humaines sur le système climatique** ; ces changements récents ont et auront des **conséquences sur les systèmes naturels et notamment les systèmes humains**.

¹ Émissions de GES exprimées en gigatonnes de carbone par an ou "pentagrams of carbon per year"
(1 PgC/yr = 1 GtC /an = 3,67 Gt CO₂/an)

1.1.5 Conséquences du réchauffement climatique

D'après les projections, **il est très probable que le réchauffement climatique par rapport à l'ère préindustrielle atteigne 1,5°C entre 2030 et 2050** (Masson-Delmotte, et al., 2018). Cette évolution à venir a et aura des **impacts sur les systèmes physiques** (glaciers, pergélisol, océans..), **naturels** (écosystèmes terrestres et marins, incendies..) et **humains** (production alimentaire, moyens de subsistance, santé, économie...), ainsi qu'illustré à la Figure 8 page 11. Face à un tel scénario, les risques liés à la santé, aux moyens de subsistance, à la sécurité alimentaire et à l'approvisionnement en eau, et à la croissance économique seront d'autant plus grands que le réchauffement sera important. Le développement humain subira directement l'impact d'une telle évolution (Masson-Delmotte, et al., 2018).

Le réchauffement dû aux émissions anthropiques persistera pendant plusieurs siècles, voire des millénaires, même si les émissions de GES sont arrêtées aujourd'hui (Masson-Delmotte, et al., 2018). Avec une telle inertie, continuer à émettre des GES risque de provoquer un réchauffement supplémentaire et de modifier de manière durable le climat. Un tel changement augmentera la possibilité de **conséquences graves, irréversibles et de grandes ampleurs touchant les écosystèmes et les populations** (Pachauri, et al., 2014).

Ainsi, pour réduire l'ampleur des conséquences du réchauffement climatique il est nécessaire de réduire durablement et fortement les émissions de GES dues aux activités humaines. Les émissions de GES cumulées déterminant fortement la moyenne du réchauffement de surface à venir, il est important de les réduire pour en limiter les conséquences (Pachauri, et al., 2014).

1.1.6 Atténuation et adaptation au changement climatique

L'**atténuation** est l'ensemble des actions visant à ralentir le réchauffement climatique et à en réduire l'impact. L'**adaptation** est l'ensemble des actions mises en place pour faire face aux conséquences irréversibles du réchauffement climatique.

L'atténuation du changement climatique, tout comme l'adaptation au changement climatique, sont **deux stratégies complémentaires** pour faire face à ses risques (Figure 9). Une limitation rapide des émissions de GES sur les prochaines décennies permettrait de limiter les risques du changement climatique et d'améliorer les perspectives d'adaptation.

L'atténuation s'accompagne d'avantages tout comme de compromis. Néanmoins, le risque que de tels compromis aient un impact global, grave et irréversible est faible par rapport à ceux engendrés par le changement climatique, d'où sa nécessité sur le court terme (Pachauri, et al., 2014).

Le GIEC dans son rapport « Global Warming of 1,5°C » (2018) propose des **scénarios de limitation des émissions de GES permettant de contenir le réchauffement climatique** en dessous de 2°C, voire de 1,5°C. Le scénario 2°C nécessiterait une réduction des émissions, par rapport à 2010, de 25% d'ici 2030 et l'atteinte de la neutralité carbone en 2070. Pour le scénario 1,5°C, la réduction est plus forte ; elle devrait être de 45 % par rapport aux émissions de 2010, d'ici 2030, permettant d'atteindre la neutralité carbone en 2050 (voir Figure 10).

Risks and/or impacts for specific natural, managed and human systems

The key elements are presented here as a function of the risk level assessed between 1.5°C and 2°C.

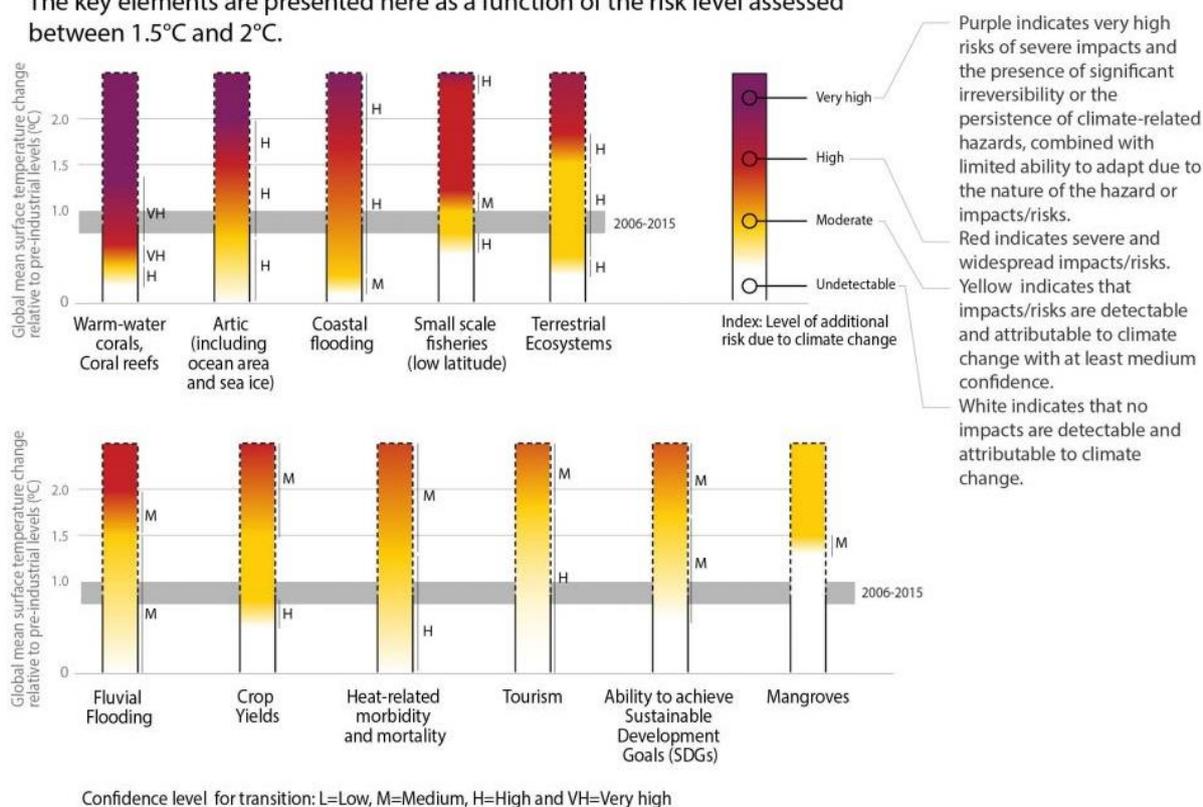


Figure 8 : Risques et impacts d'un réchauffement de 1,5°C à 2°C

(Source : Global warming of 1.5°C, GIEC, 2018)

La **tendance actuelle est plutôt inverse** (Friedlingstein, et al., 2019), ainsi que le montre la Figure 10 ; le dépassement des budgets carbone recommandés implique des réductions plus abruptes à venir et une adaptation plus forte et précipitée au changement climatique pour respecter l'objectif. L'atténuation et l'adaptation constituent des **défis technologiques, économiques, sociaux et institutionnels** qui deviendront de plus en plus difficiles à surmonter sans mesures d'atténuation rapides et sans évolution technologique adéquate.

La limitation des risques implique des **changements systémiques**, et des mesures d'adaptation et d'atténuation efficaces favorisées par des **politiques adoptées à toutes les échelles** (internationale, nationale, et infranationale). De telles mesures devraient être accompagnées de **changements de comportements, de développement et de transfert technologique à toutes les échelles** (Pachauri, et al., 2014).

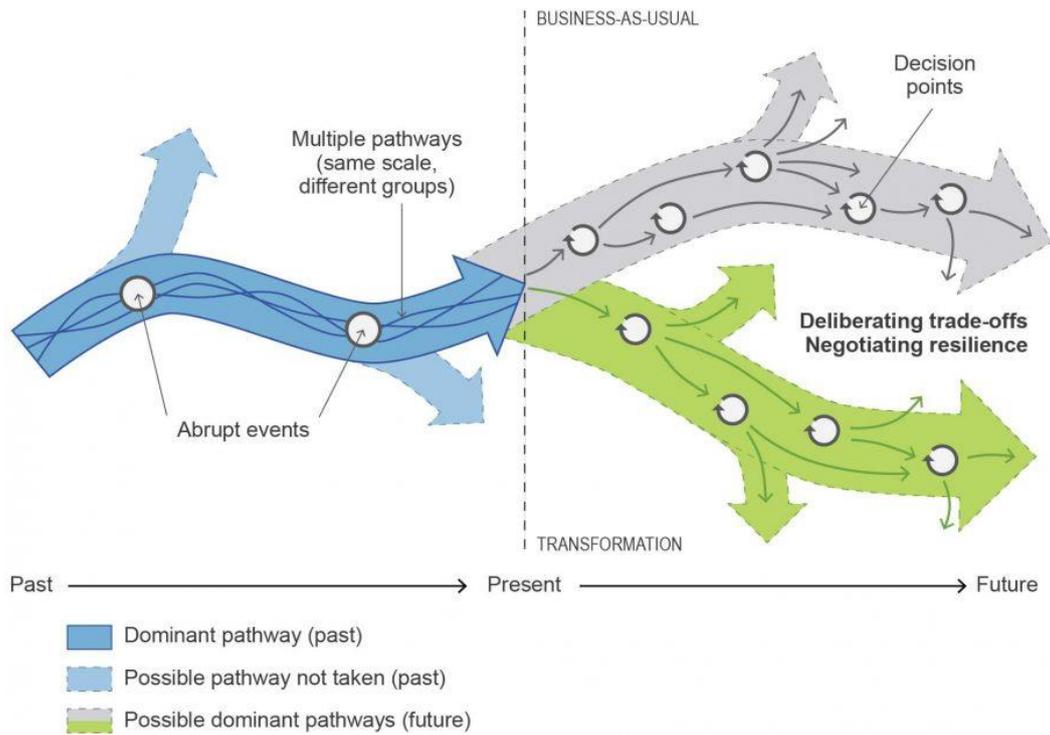


Figure 9 : Enjeux de l'atténuation et de l'adaptation (Source : Global warming of 1.5°C, GIEC, 2018)

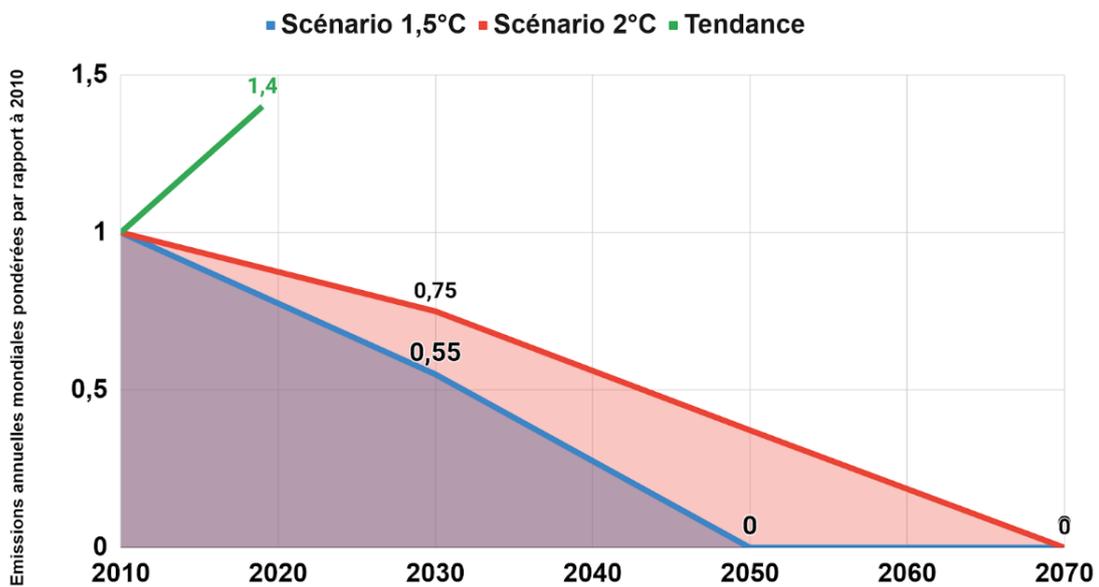


Figure 10 : Scénarios d'atténuation du GIEC (Source : GIEC)

1.2 Contexte politique à différentes échelles

Les rapports du GIEC formulent le constat scientifique des causes et conséquences du réchauffement climatique et proposent des scénarios permettant de réduire les impacts des activités humaines. Néanmoins, la mise en œuvre de l'atténuation et de l'adaptation reste de l'ordre de la politique, à toutes les échelles : internationales, nationales et des organisations, comme l'ECN.

1.2.1 Contexte politique international

A l'échelle internationale, c'est la **Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique** (CCNUCC) adoptée en 1992 lors du Sommet de la Terre de Rio, qui assure le lien entre les constats du GIEC et les politiques internationales.

Pour statuer, négocier et adapter les politiques permettant de faire face aux risques du changement climatique, la CCNUCC organise annuellement la **Conférence des Parties (COP)**. Parmi les COP les plus connues, restent la COP3, aboutissant au Protocole de Kyoto, et la COP21 menant à la signature de l'Accord de Paris¹.

C'est donc en 1997, lors de la COP3, qu'a été établi le **Protocole de Kyoto** – protocole qui est entré en vigueur en 2005. Ce protocole constituait la première politique internationale d'atténuation forte, visant à réduire de 5 %, entre 2008 et 2012, les émissions de certains GES par rapport aux niveaux de 1990².

La deuxième COP célèbre pour ses engagements de réduction est la COP21 de 2015 débouchant sur l'**Accord de Paris**. Ces derniers visent la mise en place de **politiques permettant de contenir le réchauffement climatique en dessous de 2°C** par rapport aux niveaux préindustriels en poursuivant les efforts pour le limiter à 1,5°C³.

Néanmoins, comme cela est observable sur la Figure 10, l'évolution des émissions de GES ne semble pas s'orienter vers une réduction comme le préconisent les divers accords issus des COP. Pour contenir le réchauffement, ces politiques internationales ne sont pas suffisantes car peu contraignantes et peu adaptées à la diversité des situations. Si ces accords sont respectés par tous les pays, le réchauffement climatique sera seulement limité à 3°C. **Pour pouvoir le limiter à 2°C, les pays devront tripler leur ambitions de réduction des émissions de GES**, et pour le scénario 1,5°C, il faudra les quintupler (Programme des Nations Unies pour l'Environnement, 2019).

Les politiques d'atténuation et d'adaptation se déclinent aussi nationalement.

¹ « History of the convention » unfccc.int/process/the-convention/history-of-the-convention#eq-2

² « What is the Kyoto Protocol ? » unfccc.int/kyoto_protocol

³ « The Paris Agreement » unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement

1.2.2 Contexte politique français

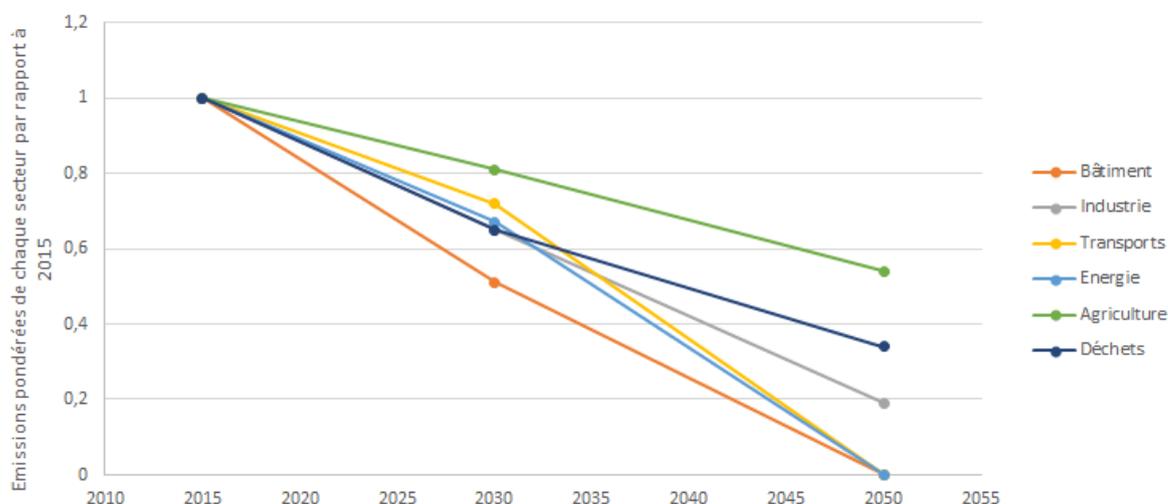


Figure 11 : Objectifs sectoriels de réduction de la SNBC (Source : SNBC)

En France, pour faire suite aux divers accords internationaux, diverses politiques de protection de l'environnement ont été mises en place via diverses lois : Lois Grenelle I et II, Loi sur la Transition Énergétique pour la Croissance Verte (2015), Loi Énergie et Climat (2019)...

Depuis 2015, c'est la **Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC)** qui fait office de référence. Elle découle de la Loi sur la Transition Énergétique pour la Croissance Verte et établit les objectifs de réduction des émissions de GES à l'horizon 2050 : **entre 1990 et 2030, il est attendu une réduction de 40% des émissions**, et **d'ici 2050, elles devront être divisées par 6**. La SNBC décline aussi ces objectifs par secteurs d'activité [Ministère de la Transition Écologique et Solidaire, 2020].

Selon l'**article L229-25 du code de l'environnement**, ces objectifs nationaux se déclinent à toutes les échelles : les organisations publiques comme privées doivent **élaborer un plan de réduction** visant à réduire les émissions de GES en présentant les objectifs, les moyens et les actions envisagées.

1.2.3 Contexte politique à l'École Centrale de Nantes

Pour respecter l'Accord de Paris, **un-e français-e moyen-ne devrait réduire ses émissions annuelles de 11 tCO₂eq (en 2019) à 2 tCO₂eq**. De manière réaliste, il est possible individuellement (par des gestes quotidiens ou des investissements individuels) de réduire ses émissions de GES d'environ 20% par rapport à 2019. En effet, les actions de chaque individu et leur empreinte carbone sont contraintes par l'environnement social, politique et technique dont il fait partie. Les 60% de réduction restants pour respecter l'Accord de Paris **nécessitent donc une action politique et collective, par une intégration des enjeux environnementaux à toutes les échelles d'organisation** : Etat, collectivités territoriales, entreprises, services publics, établissements d'enseignement supérieur... (Figure 12) (Dugast, et al., 2019).

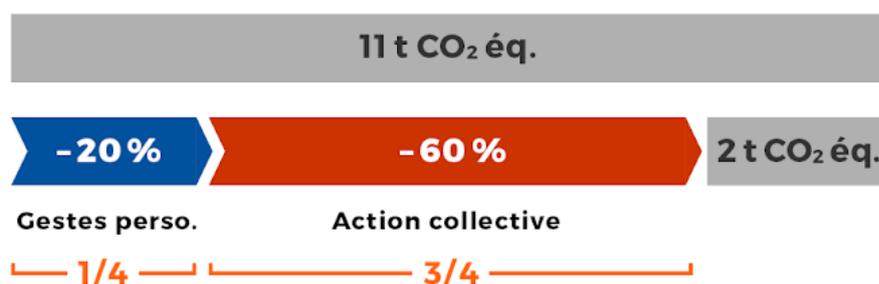


Figure 12 : Part des actions individuelles et collectives pour atteindre les objectifs de l'Accord de Paris (Source : Rapport "Faire sa part ? ", Carbone 4, 2019)

Une telle démarche de réduction des émissions de GES s'inscrit à plus petite échelle dans la démarche de **Responsabilité Sociétale et de Développement Durable** d'un établissement public d'enseignement supérieur tel que l'ECN.

Cette démarche a été amorcée en 2006 par la décision du Conseil d'Administration de créer une **Commission Développement durable** au sein de l'établissement. Cette dernière a réellement été mise en place en 2008 sous la responsabilité de Bruno Pettinotti. Elle a ensuite été poursuivie avec la **mission Responsabilité Sociétale des Entreprises** attribuée à Emmanuel Rozière en 2018¹.

Selon un sondage réalisé en 2019 par le Groupe Ecologie à Centrale, 86 % des acteur-ices de l'ECN (élèves et permanent-es) ayant répondu déclarent agir tous les jours pour réduire leur impact environnemental. De plus, 95 % d'entre eux souhaitent le réduire davantage et **63% ont une vision négative de l'impact environnemental du campus et de ses acteur.rices**. Ce sont plus de 600 étudiant-es (soit 30%) et 180 permanent-es (soit 25%) qui ont répondu à ce sondage.

En réponse à cette préoccupation grandissante de certain-es acteur-ices de l'ECN face à l'urgence climatique, l'ECN a introduit, au cours de l'année scolaire 2019-2020, **une nouvelle option, menée en mode projet, appelée "Neutralité Carbone"**. La création de l'option Neutralité Carbone résulte d'une réflexion commune du groupe "Ecologie à Centrale", de ses instances de gouvernance et de son Conseil des Etudes (CE) et témoigne de la volonté de l'école d'être actrice de la transition écologique. Elle s'inscrit dans le souhait de l'école « à soutenir les objectifs de développement durable par le biais de son enseignement, de sa recherche et de son transfert de connaissances, mais également à incarner les objectifs dans les pratiques, politiques et procédures internes » ainsi que l'a énoncé son ancien directeur Arnaud Poitou à l'issue de l'intégration de l'ECN dans le *Times Higher Education University Impact Rankings*².

¹www.ec-nantes.fr/responsabilite-societale/la-responsabilite-societale-des-entreprises-un-engagement-a-centrale-nantes-87506.kjsp

²www.ec-nantes.fr/actualites/centrale-nantes-integre-le-nouveau-classement-du-times-higher-education-university-impact-rankings-2019-284039.kjsp

1.3 Le Bilan Carbone

La réalisation d'un Bilan Carbone (BC) permet la **comptabilisation des émissions de gaz à effet de serre (GES)** liées à une entité donnée. Faire un BC est donc la première étape pour permettre une diminution de ces émissions. Ces réductions peuvent être réalisées au travers de nombreux moyens : en optimisant la consommation énergétique aussi bien directe (chauffage des bâtiments, unités de production, etc.) qu'indirecte (chauffage et électricité des points de vente de son réseau de distribution, etc.), en menant une politique d'achats plus écoresponsables ou bien en améliorant par exemple les déplacements reliés à l'entité.

Après avoir expliqué ce qu'est un BC et comment le calculer, cette partie s'attachera donc à présenter le contexte réglementaire dans lequel s'inscrit la réalisation de celui-ci.

1.3.1 Définition et méthode de calcul du Bilan Carbone

Principe général

Un BC dresse l'**inventaire des émissions de gaz à effet de serre (GES)** liées aux activités d'une entité. Pour autant, il ne s'agit pas de déterminer si elle est responsable ou non de l'ensemble de ces émissions mais d'identifier les émissions sur lesquelles elle peut agir afin de les réduire.

Pour faciliter la comparaison, les GES autres que le CO₂ sont comptabilisés dans le BC grâce à leur **potentiel de réchauffement global à 100 ans (PRG)**. Ils sont alors exprimés en **équivalent CO₂, écrit CO₂eq**. Par exemple, dire que le potentiel de réchauffement global à 100 ans du méthane d'origine fossile est de 30, revient à comptabiliser l'émission de 1 t de méthane comme 30 tCO₂eq.

Selon la méthodologie de l'ADEME (Agence De L'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie), le BC se découpe en trois grandes catégories :

- Le **scope 1** regroupe les **émissions de GES directes** provoquées par l'organisation étudiée. Pour l'ECN, il s'agit des GES physiquement émis par ses activités.
- Le **scope 2** regroupe les **émissions de GES indirectes liées à la consommation d'énergie**. Ce sont les GES émis en amont d'une utilisation d'énergie sur site.
- Le **scope 3** est beaucoup plus étendu, il rassemble toutes les autres activités de l'organisation susceptibles de générer des **émissions de GES indirectes**.

Chaque scope est lui-même divisé en plusieurs critères, représentés sur la Figure 13 et listés dans le Tableau 1 page 18.

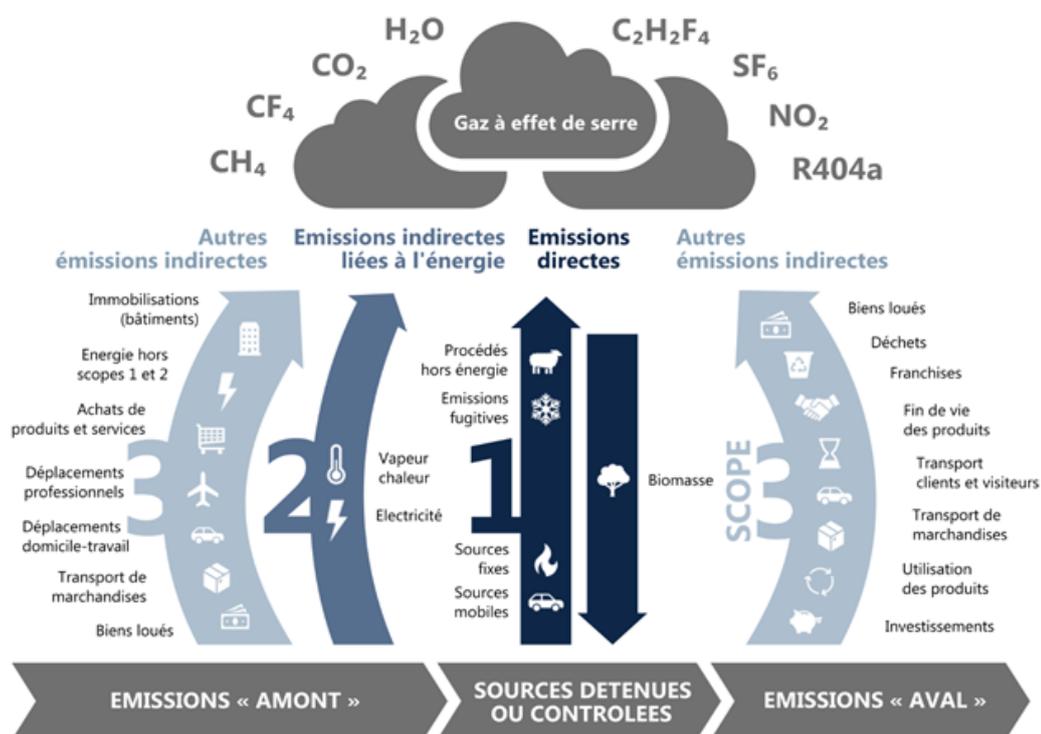


Figure 13 : Schéma synthétique d'un BC

Le **scope 3** d'un BC est souvent négligé car il concerne des émissions indirectes dont dépend l'organisation, donc géographiquement éloignées ; il représente cependant souvent **la part la plus importante du BC**.

Tableau 1 : BEGES (Bilan d'émissions de gaz à effet de serre) réglementaire
(Source : Institut de Formation Carbone)

N°	Catégorie d'émission	N°	Postes d'émissions	Obligation vis-à-vis du décret n°2011-829
1	Emissions directes de GES	1	Emissions directes des sources fixes de combustion	obligatoire
		2	Emissions directes des sources mobiles à moteur thermique	
		3	Emissions directes des procédés hors énergie	
		4	Emissions directes fugitives	
		5	Emissions issues de la biomasse (sols et forêts)	
2	Emissions indirectes associées à l'énergie	6	Emissions indirectes liées à la consommation d'électricité	obligatoire
		7	Emissions indirectes liées à la consommation de vapeur, chaleur ou froid	
3	Autres émissions indirectes de GES	8	Emissions liées à l'énergie non incluse dans les catégories « émissions directes de GES » et « émissions de GES à énergie indirectes »	recommandé
		9	Achats de produits ou services	
		10	Immobilisations de biens	
		11	Déchets	
3	Autres émissions indirectes de GES	12	Transport de marchandise amont	recommandé
		13	Déplacements professionnels	
		14	Franchise amont	
		15	Actifs en leasing amont	
		16	Investissements	
		17	Transport des visiteurs et des clients	
		18	Transport des marchandises aval	
		19	Utilisation des produits vendus	
		20	Fin de vie des produits vendus	
		21	Franchise aval	
		22	Leasing aval	
		23	Déplacement domicile travail	
		24	Autres émissions indirectes	

Calcul d'une émission de gaz à effet de serre

FACTEUR D'EMISSIONS

Pour chaque activité engendrant des émissions, **une donnée brute est multipliée par un « facteur d'émissions »**, en faisant attention aux unités utilisées (Figure 14).



Figure 14 : Principe de calcul d'un BC

Un facteur d'émissions (FE) permet de relier une grandeur physique ou un nombre d'objets à une émission en CO₂eq. Il s'exprime alors en **kgCO₂eq/unité**. Par exemple, l'achat d'un appareil photo hybride engendre 29 kgCO₂eq/appareil et une voiture de motorisation moyenne émet 253 gCO₂eq/km.

Il est également possible d'utiliser un facteur d'émissions en **kgCO₂eq/€ dépensé**, appelé « **ratio monétaire** ». Ce dernier est utilisé lorsque qu'il n'existe pas de facteur d'émissions en kgCO₂eq/unité correspondant à ce qui est recherché, ou pour simplifier les calculs. **Un ratio monétaire est moins précis qu'un facteur d'émission classique** : ses limites sont détaillées dans la partie suivante.

LIMITES DES RATIOS MONETAIRES

Le ratio monétaire est une grande source d'imprécisions. Par exemple, le libellé "Service - Services (imprimerie, publicité, architecture et ingénierie, maintenance multi-technique des bâtiments" regroupe de nombreuses prestations différentes qui peuvent être réalisées avec des moyens ou techniques très différentes, et qui ont des impacts très variables. Ainsi, l'incertitude de nombreux ratios monétaires avoisine les 80 %.

Le recours au ratio monétaire est souvent adopté par manque d'information sur la nature des produits achetés ou des prestations faites. Les ratios monétaires sont toutefois une bonne approche en ordre de grandeur, mais ne permettent pas d'avoir un regard critique sur le BC et d'y **associer des leviers d'action quantifiés**.

Dans l'article « More or Better? A Model for Changes in Household Greenhouse Gas Emissions due to Higher Income », Girod et De Haan discutent des limites de ce calcul, et concluent :

“Using household models based on monetary units only overestimates the impact of marginal consumption and neglects the potential of decoupling income and environmental impact by consuming better instead of more. For sustainable consumption, research and policy should aim at preventing goods of higher quality from having higher environmental impact in order to benefit from the increasing quality orientation with rising income.”

Girod, B. and De Haan, P. (2010), “More or Better? A Model for Changes in Household Greenhouse Gas Emissions due to Higher Income”

Il peut y avoir un **découplage entre l'impact environnemental et le prix du produit ou de la prestation**, ce que ne permet pas de distinguer un facteur monétaire. Ainsi, si par exemple, à somme investie égale, un produit plus local et réparable que précédemment est choisi, l'impact pourra être moindre (transport diminué, durée de vie augmentée). À l'inverse, il est possible de faire appel à un prestataire moins coûteux, mais qui aura moins de scrupules par rapport à l'environnement (gestion des polluants, production de déchets, ...).

Si une organisation, décidait de porter une plus grande attention à l'impact carbone lié à ses achats, cela ne transparaîtrait pas nécessairement à travers le bilan carbone – à méthodologie équivalente. Pire, si des prestations et des produits plus coûteux mais moins émetteurs de GES étaient choisis, cela augmenterait (artificiellement) le BC.

Les conclusions de cet article de Girod et Haan exposent également qu'en général, en terme d'impact carbone, il est préférable d'**agir sur le levier de la qualité plus que sur celui de la quantité**, tant pour des politiques générales d'organisations que pour l'échelle individuelle. Cette conclusion est souvent retrouvée dans le domaine de l'alimentation [Aubert, 2012 ; Larissa, 2007] mais elle peut donc être généralisée à d'autres aspects.

1.3.2 Contexte réglementaire : établissement d'un Bilan Carbone

A la suite de la loi Grenelle 2 (LOI n° 2010-788 du 12 juillet 2010), de la Loi sur la Transition Énergétique pour la Croissance Verte (LOI n° 2015-992 du 17 août 2015) et de la Loi Énergie et Climat (LOI n°2019-1147 du 8 novembre 2019), **le calcul du BC a été rendu obligatoire dans l'article L229-25 du code de l'environnement**, dont un extrait a été reproduit ci-dessous.

Les « personnes morales de droit public employant plus de deux cent cinquante personnes » sont tenues « d'établir un bilan de leurs émissions de gaz à effet de serre » et d'y joindre « un plan de

transition pour réduire leurs émissions de gaz à effet de serre présentant les objectifs, moyens et actions envisagés à cette fin et, le cas échéant, les actions mises en œuvre lors du précédent bilan. [...] Ce bilan d'émissions de GES et ce plan de transition sont rendus publics » et porte sur « sur leur patrimoine et sur leurs compétences ». « I-els sont mis à jour tous [...] les trois ans. [...] Dans des conditions fixées par décret en Conseil d'Etat, l'autorité administrative peut sanctionner les manquements à l'établissement ou à la transmission du bilan des émissions de gaz à effet de serre par une amende » allant jusqu'à 10 000 €, montant pouvant atteindre 20 000 € en cas de récidive » [Légifrance, 2015].

La loi rend **obligatoire** uniquement le **BC de scopes 1 et 2**, sans prise en compte obligatoire du scope 3 qui représente pourtant souvent une grande partie des émissions de GES liées à l'activité de l'entité. **Les bilans carbone de scope 3 sont fortement recommandés dans la Stratégie nationale bas carbone** (SNBC), afin d'avoir un suivi des émissions plus proche de la réalité et de faciliter le suivi national.

L'ECN est concernée par cette loi, avec près de 500 enseignant-es, chercheur-ses et permanent-es d'après son site internet. Un premier BC de scopes 1 et 2 du campus de l'ECN a été réalisé par un groupe d'études issu de la Commission de Développement Durable (B. Pettinotti, T. Jaszay et R. Traineau) et piloté par E. Rozière en 2012 dans le but de respecter cette loi (Figure 15) mais les données collectées restent incomplètes (absence de système d'information informatique).

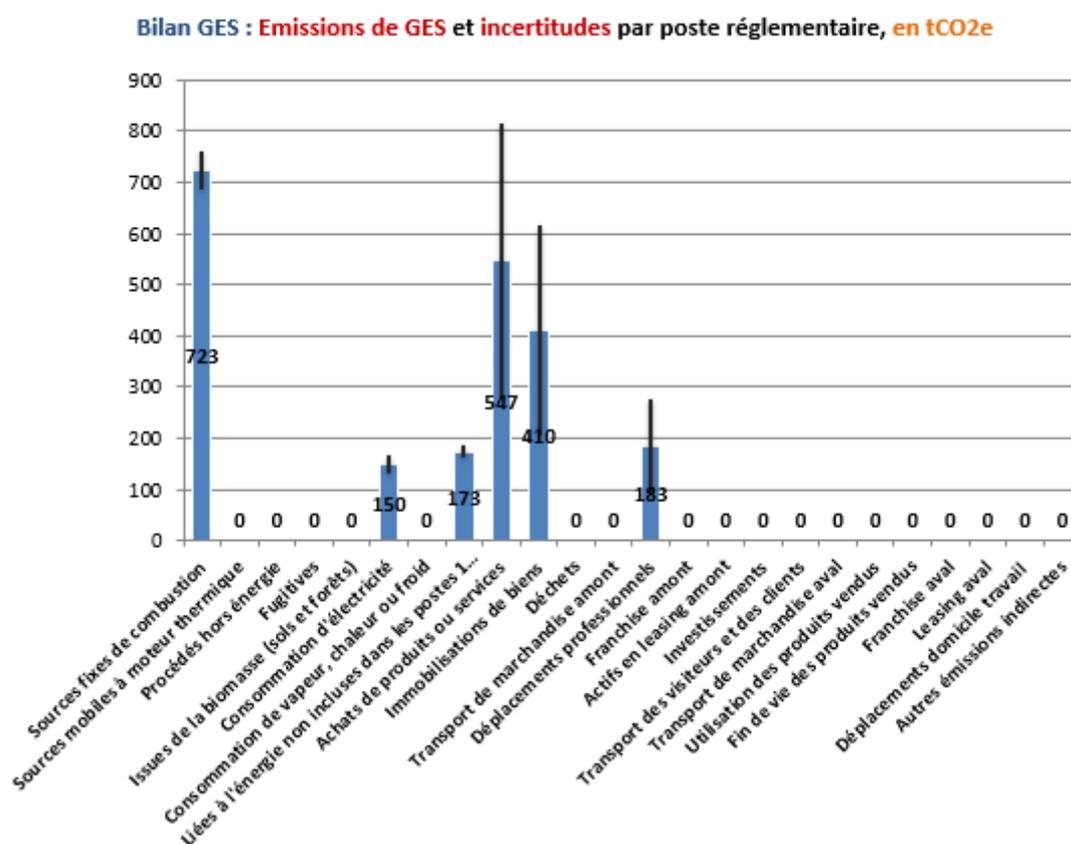


Figure 15 : Bilan Carbone de l'ECN 2012 (Source : ECN)

Depuis ce projet en 2012, aucun travail n'a été réitéré et approfondi concernant le BC de l'ECN. C'est donc dans sa continuité directe que s'inscrit le projet Neutralité Carbone, après sept ans de latence.

1.4 Cadrage du projet de l'option Neutralité Carbone

Pour répondre aux préoccupations grandissantes des étudiant-es de l'ECN face à l'urgence climatique, l'ECN a introduit, au cours de l'année scolaire 2019-2020, une nouvelle option, menée en mode projet, appelée "Neutralité Carbone". Cette option a débuté en septembre 2019, menée par une équipe de onze élèves, en deuxième et troisième année du parcours généraliste.

Sont acteur-ices du projet Neutralité Carbone principalement ces **onze élèves**, mais également **MM. Rozière et Hilloulin**, tous les deux enseignant-chercheurs à l'ECN et professeurs encadrant cette option.

Avant de démarrer le projet, celui-ci a dû être cadré : description des objectifs et du périmètre, recherche des partenaires potentiels ; les bénéfices que peut tirer l'ECN de cette option sont multiples.

1.4.1 Objectifs du projet

Le projet Neutralité Carbone s'engage dans la continuité du BC réalisé en 2012 et son objectif est d'initier la réduction des émissions de GES induites par les activités de l'ECN : pour cela, un **BC complet (3 scopes)** doit être réalisé, afin d'avoir un aperçu global de toutes les émissions de GES associées aux activités de l'ECN. Le développement de **solutions de visualisation de ces résultats** (ateliers, affichage, site internet...) a pour but de susciter une prise de conscience chez les acteur-ices de l'ECN. Enfin, une **stratégie bas carbone** visant à diminuer l'impact environnemental de l'ECN sera proposée.

1.4.2 Périmètre du projet

L'étude de l'option Neutralité Carbone porte sur l'année civile 2018. Son périmètre organisationnel s'étend aux différentes entités composantes de l'ECN : laboratoires de recherche, services, associations étudiantes, départements d'enseignement, incubateur... Son périmètre opérationnel s'étend lui à **l'ensemble des émissions** de GES indirectes liées aux activités nécessaires au fonctionnement de l'école. Pour autant, il ne s'agit pas de déterminer si l'ECN est l'unique responsable de ces émissions, mais d'**identifier les émissions sur lesquelles elle peut agir afin de les réduire**.

L'**information et la sensibilisation** des acteur-ices internes et externes de l'ECN semblent être des **leviers importants** et seront donc mis en place. Les préconisations envisagées dans le cadre du projet et les plans d'action associés seront co-construits avec les différentes parties prenantes. Ils pourront avoir un impact sur certaines activités supports – achats de produits et de services, déplacements etc. Par souci de transparence, toutes les préconisations proposées seront diffusées et accessibles. En revanche, l'objectif de l'option n'est pas d'interférer directement avec les maquettes pédagogiques et l'enseignement de l'ECN.

Le travail sera effectué par l'option-projet Neutralité Carbone de septembre 2019 à mars 2020. Pour faire perdurer cette mission, l'ensemble des documents réalisés seront produits dans l'optique d'être accessibles à tous·tes.

1.4.3 Partenaires potentiels du projet

Les étudiant·es ayant réalisé ce travail se sont appuyés sur différent·es partenaires. Ces personnes ont contribué au projet en les formant ou en les conseillant sur les démarches à réaliser.

SENS&CO - SAMUEL TIERCELIN

Sens&Co est une entreprise spécialisée dans le conseil et la formation concernant les questions de la gestion ou la transformation des organisations en s'appuyant sur l'**intelligence collective**. Samuel Tiercelin, son représentant, est intervenu dès les premiers jours de septembre, au début de l'option afin d'accompagner la constitution d'une équipe et d'un projet commun.

C'est à travers deux jours d'ateliers que cet objectif a été rempli. La première étape a consisté à **former le groupe** : qui sont les étudiant·es suivant le projet Neutralité Carbone ? Quel est leur profil, leur parcours ? Quelles sont leurs compétences et leurs particularités ? De là ont été établis des liens entre les étudiant·es, des **valeurs communes** ainsi que des **règles de conduites dans le groupe** qui ont ensuite été inscrites dans une charte d'option.

Ensuite, c'est la **vision commune du projet** et sa construction qui ont émergé : quels sont les objectifs des étudiant·es en venant dans cette option ? Que veulent-ils réaliser ? A partir de cette vision commune, les étudiant·es ont listé les freins, les atouts, les moteurs, les soutiens ainsi que les ressources du projet. Cela a constitué une première trame au projet, qui a ensuite été définie plus précisément dans un document spécifique.

Enfin, par une présentation de ces résultats, les étudiant·es ont pu construire, à partir des attentes d'un public extérieur (notamment Emmanuel Rozière, Bruno Pettinotti et Vanessa Le Garrec), une première version de la planification du projet qui, après maturation, a permis d'aboutir à un diagramme de GANTT.

Sens&Co et Samuel Tiercelin sont restés, après ce travail initial, des soutiens et des accompagnateurs du projet, notamment dans la réalisation d'ateliers nécessitant des techniques d'intelligence collective.

CAROLINE JOLLY

Caroline Jolly enseigne plusieurs cours à l'ECN notamment sur les sujets de **Responsabilité Sociétale des Entreprises** (RSE). Elle est intervenue lors de la première période du projet (la période de cadrage et de définition) afin d'accompagner et de former les étudiant·es dans la **gestion des parties prenantes**. Son intervention a permis de clarifier l'organigramme de l'ECN et d'établir une liste des parties prenantes (personnes sur lesquelles le projet aura un impact, personnes pouvant aider à sa réalisation ou disposant d'informations utiles, personnes devant être consultées ou impliquées...). Elle a aussi aidé les étudiant·es dans leur communication et leur prise de contact avec ces parties prenantes.

Caroline Jolly reste, après son intervention, un soutien pour les étudiant-es notamment dans la gestion du projet.

TOOVALU - MARIE GABORIT

Toovalu est une entreprise visant à aider les dirigeant-es et décisionnaires d'organisations à intégrer la RSE, les enjeux climatiques, ainsi que leur impact environnemental et social au cœur de leur stratégie à l'aide d'un **logiciel de calcul de leur empreinte écologique**.

Toovalu a mis à disposition des étudiant-es ainsi que d'Emmanuel Rozière et de Benoît Hilloulin leur logiciel de calcul de l'empreinte carbone afin de former les étudiant-es à la réalisation de BC, leur montrer un premier exemple d'outil numérique de calcul ainsi que des interfaces de visualisation possibles des résultats.

Marie Gaborit est intervenue lors de la première période pour former les étudiant-es aux **modes d'évaluation de l'impact social et environnemental des organisations**. Elle a complété la formation déjà dispensée par Emmanuel Rozière et Benoît Hilloulin sur les BC avec un cours sur les **stratégies de pilotage bas carbone**. Une ébauche de stratégie bas carbone a été réalisée avec son aide, et a été complétée dans la suite du projet.

Marie Gaborit a constitué, à la suite de son intervention, un **soutien technique** notamment sur la technique du BC, la collecte des données, la mise en place d'un pilotage bas carbone ainsi que son suivi. Des conseils lui ont été demandés, pour avoir un avis extérieur, sur la solidité scientifique du projet et la pertinence de la stratégie proposée.

PIERRE BAHETTE

Pierre Bahette enseigne à l'ECN et à l'Université de Nantes en gestion de projet. Il a aussi travaillé sur la réalisation d'un BC. Lors de la première période il est intervenu auprès des étudiant-es pour les **former à l'utilisation d'outils de gestion de projet** (diagramme de GANTT, diagramme d'Ishikawa, cahier des charges, planning prévisionnel, PDCA, lettre de cadrage, plan de communication...).

Pierre Bahette est resté, à la suite de son intervention, un soutien pour les étudiant-es notamment dans la gestion du projet.

GROUPE ECOLOGIE A L'ECN

Le projet ne se résume pas à la réalisation d'un BC règlementaire ; il s'inscrit dans une démarche plus large de **transition écologique et sociale à l'ECN**. Cette démarche est déjà menée par plusieurs acteur-ices au sein des étudiant-es, personnels et associations et est fédérée par le Groupe Ecologie.

Chacun-e de ces acteur-ices garde un rôle et des objectifs propres. Néanmoins, certains projets sont menés de manière conjointe. Par exemple une **plateforme dédiée à la transition écologique** va être mise en place avec l'aide du service de communication de l'école afin de centraliser, archiver et relayer les informations et les projets en lien avec la transition à l'ECN. Certaines actions pour réduire les émissions de GES liées aux activités de l'ECN, notamment la sensibilisation, seront menées conjointement avec les associations.

DIRECTION, SERVICES ET ASSOCIATIONS DE L'ÉCOLE

La direction ainsi que les différents services et associations de l'ECN participent à l'avancement du projet, grâce à leur partage d'informations pour la réalisation du BC, leur collaboration lors de la conception de préconisations et à la mise en place de certaines d'entre elles pour la tenue des objectifs de la stratégie bas carbone proposée.

1.4.4 Bénéfices du projet pour l'École

Le projet Neutralité Carbone est un atout pour l'ECN afin de **concrétiser ses engagements** de développement durable et de responsabilité sociétale.

L'ECN, via ce projet, a la possibilité de former des ingénieur-es plus responsables, et **capables de prendre en compte les enjeux environnementaux dans leurs décisions professionnelles**. Le projet profite non seulement à l'ECN mais aussi à ses acteur-ices qui seront davantage sensibilisé-es à ces questions et mobilisé-es pour faire évoluer l'école et la société.

Par ailleurs, la démarche initiée par le projet permet non seulement de respecter la législation actuelle, mais aussi d'**anticiper de futures lois** relatives à la transition écologique. Au-delà du simple cadre législatif, cette démarche permet d'anticiper de **potentiels risques et contraintes** (atténuation) et d'**améliorer la résilience** de l'école face au changement (adaptation).

Certaines solutions mises en évidence au cours du projet pourraient permettre, certes de **réduire les émissions de GES, mais aussi les coûts** de certaines activités (optimiser et réduire par exemple la consommation énergétique des locaux).

Ce projet pourrait également permettre à l'ECN de **devenir pionnière en matière de transition écologique** montrant qu'elle se tourne vers un futur soutenable et contribuant à sa bonne image. Une telle démarche est encore peu présente dans l'enseignement supérieur. Le BC de scope 3 complet n'étant que très rarement réalisé, il constituerait un atout, un élément de différenciation et d'attractivité pour l'ECN – l'engagement environnemental des établissements d'enseignement supérieur devenant un critère de choix pour de plus en plus d'étudiant-es.

2 Méthodologie

Une fois le projet défini, le périmètre délimité, les partenaires identifiés, le projet a pu être initié. Sera détaillée dans cette partie **la démarche** qui a été suivie au cours du projet, **et la méthode utilisée pour réaliser le calcul du BC** de l'ECN pour l'année 2018, en précisant les hypothèses préalables et les limites qui en découlent.

2.1	DEMARCHE DU PROJET	27
2.1.1	<i>Organisation interne.....</i>	27
2.1.2	<i>Analyse de la commande.....</i>	29
2.1.3	<i>Etat de l'art : bilans carbone et stratégies de réduction</i>	29
2.1.4	<i>Adaptation de la méthode Bilan Carbone de l'ADEME.....</i>	35
2.1.5	<i>Estimation du Bilan Carbone en ordre de grandeur.....</i>	38
2.1.6	<i>Participation à des groupes de travail tiers.....</i>	39
2.1.7	<i>Collecte des données utiles au Bilan Carbone.....</i>	41
2.1.8	<i>Création d'un outil de calcul pour le Bilan Carbone de l'Ecole Centrale de Nantes ..</i>	41
2.1.9	<i>Calcul du Bilan Carbone et analyse des résultats.....</i>	42
2.1.10	<i>Actions de sensibilisation.....</i>	42
2.1.11	<i>Proposition d'une stratégie bas carbone.....</i>	46
2.1.12	<i>Evaluation de l'impact carbone de l'option.....</i>	47
2.2	CALCUL DU BILAN CARBONE DE L'ÉCOLE	49
2.2.1	<i>Incertitudes des calculs.....</i>	49
2.2.2	<i>Calcul de l'impact carbone des espaces verts.....</i>	51
2.2.3	<i>Calcul de l'impact carbone des sources d'émissions directes de gaz à effet de serre</i>	51
2.2.4	<i>Calcul de l'impact carbone des sources indirectes liées à l'énergie.....</i>	55
2.2.5	<i>Calcul de l'impact carbone des constructions et bâtiments.....</i>	56
2.2.6	<i>Calcul de l'impact carbone des repas des usager-es.....</i>	59
2.2.7	<i>Calcul de l'impact carbone des déplacements.....</i>	64
2.2.8	<i>Calcul de l'impact carbone des autres produits et services.....</i>	80
2.2.9	<i>Calcul de l'impact carbone de la vie associative.....</i>	86

2.1 Démarche du projet

Avant toute chose, une **organisation interne** a dû être mise en place, afin de s'assurer que les membres du groupe pourraient travailler les uns avec les autres de façon coordonnée et cohérente.

A partir de l'analyse de la commande initiale, un **état de l'art** a été réalisé. La méthode Bilan Carbone de l'ADEME a été adaptée au cas particulier de l'ECN, ce qui a permis de réaliser de **premières estimations en ordre de grandeur**, afin de structurer le travail et prioriser les informations à récupérer. Cela a donc conduit à un travail de plus grande précision, qui est passé par une **collecte des données** auprès des différentes parties prenantes identifiées ; pour traiter ces données, un **outil de calcul** a été conçu. Les résultats ont été partagés, dans un **but de sensibiliser et de transparence**. L'ensemble des acteur-ices de l'ECN ont été conviés à des **ateliers participatifs** afin de recueillir le plus de témoignages et idées possibles pour définir, par la suite une **stratégie bas carbone**. Pour ce faire les idées proposées ont été analysées - notamment en termes d'impact - et leur faisabilité a été vérifiée. Les réductions permises par ces **leviers d'action** ont été calculées en ordre de grandeur, comme cela a été fait pour le Bilan Carbone dans un premier temps, dans le même souci de prioriser les gisements à approfondir. En parallèle, l'équipe s'est engagée au sein de **groupes de travail** pour commencer à avancer concrètement sur certains moyens d'action, conjointement avec d'autres acteur-ices de l'ECN et pour collecter des données inaccessibles par ailleurs.

2.1.1 Organisation interne

Afin de conduire le projet dans le temps qui était imparti, la mise en place d'une organisation interne efficace était nécessaire.

Tout d'abord, les étudiant-es ont rédigé une charte d'option précisant leur vision de l'écologie, et les engagements qu'i-els souhaitaient prendre pour la durée du projet. Cette charte est jointe au présent document : « Charte_NCO2.pdf ».

Lors de la première phase du projet, le directeur de l'ECN a organisé des réunions avec les élèves de l'option toutes les semaines, puis une fois toutes les deux semaines, jusqu'à ce que le projet soit pleinement défini. Il a alors validé le **document de définition du projet détaillant les objectifs de l'option et les tâches qui seraient réalisées** au cours du projet. Cette définition du projet est accessible dans le fichier joint : « Definition_projet_NCO2.pdf ».

Les tâches à réaliser ont été ainsi été définies et détaillées ; pour organiser les tâches définies et avoir une vision à long terme, un diagramme de GANTT a été dessiné et amélioré avec deux itérations : pour la deuxième itération, ont été pris en compte les ressources disponibles en fonction des contraintes personnelles de chacun-e, afin d'avoir un planning réaliste et réalisable ; des rôles ont été définis au sein de l'équipe. Celle-ci s'est organisée de façon transversale, ce qui signifie que **les décisions ont été prises de façon collégiale** et que tous les membres ont été consulté-es sur l'ensemble des sujets abordés.

Plusieurs rôles et fonctions spécifiques ont été déterminés en interne pour assurer une bonne gestion du projet.

Un **pôle communication** a été formé. La mission de ce pôle a été découpée en plusieurs parties : la communication adressée aux potentiels partenaires extérieur-es (notamment l'ADEME, TOOVALU...), celle adressée aux permanent-es (direction, support et enseignant-es-chercheur-ses de l'ECN) et celle, plus large, sur le campus, qui a pour but de faire connaître l'option, informer à propos des évènements prévus, etc. En particulier, une adresse mail (neutralite-carbone@ec-nantes.fr) a été créée.

Pour s'assurer que le travail était bien réparti, et que les tâches avançaient, un **rôle de coordinateur-riche** a été créé. Ce rôle s'apparente à un rôle de chef-fe de projet, bien que la personne dédiée à cette tâche ne soit pas l'unique responsable du projet, ni l'interlocutrice privilégiée des partenaires et décisionnaires. En plus de ces rôles fixes, par la suite, des responsables ont été nommé-es pour chaque tâche.

A partir du GANTT et de l'avancement relatif, chaque semaine, de nouveaux objectifs à court terme sont définis, en plus des objectifs à long terme du projet, en suivant le cahier des charges initial et en s'adaptant aux nouvelles contraintes ou nouveaux éléments qui avaient pu survenir. Chaque membre du projet s'est positionné en fonction de ses disponibilités, ses affinités et ses compétences, puis des **réunions d'avancement** sont organisées. Ces réunions ont été fixées à trois fois par semaine (le lundi pour distribuer les tâches ; le mercredi pour faire un point provisoire ; le vendredi pour faire un bilan de la semaine) mais leur fréquence a pu être adaptée en fonction des besoins réels du projet.

Pour aider à visualiser l'avancement de chacun-e en-dehors de ces réunions d'avancement et avoir une vision complète du travail à réaliser, un tableau de bord physique, reproduit ci-dessous, a été réalisé et affiché dans la salle de l'option – chaque personne a la responsabilité de le mettre à jour et de s'y référer en cas de besoin (Figure 16).

TABLEAU DE BORD NEUTRALITE CARBONE			
URGENT	EN COURS	A RELIRE/A VERIFIER	EMPLOI DU TEMPS
PRIORITAIRE		TERMINE	
	EN ATTENTE		
SECONDAIRE	BESOIN D'AIDE		TACHES ECARTEES

Figure 16 : Tableau de bord de l'équipe Neutralité Carbone pour visualiser l'avancement du projet en temps réel

Des tableaux de bords similaires (mais virtuels) ont également été créés à l'aide du logiciel en ligne Trello. Le premier pour organiser la collecte des données nécessaires au calcul du BC (à récupérer, en attente, récupéré). Le second pour vérifier l'avancement de la rédaction du rapport final (à écrire, en cours d'écriture, à relire, validé par l'équipe).

En plus des points d'avancement internes à l'équipe, des **réunions régulières ont été organisées avec les encadrants**, afin de les tenir informés et de recueillir leurs avis et idées, ainsi que des informations essentielles au bon déroulement du projet.

2.1.2 Analyse de la commande

Le projet a débuté avec l'**analyse de la commande du client**, c'est-à-dire la direction de l'ECN. Les résultats de cette réflexion ont d'abord abouti à la définition des **objectifs généraux du projet** et à l'établissement de son **périmètre** (voir page 22). De façon plus précise, les étudiant-es ont rédigé un **cahier des charges complet**, joint au présent document, précisant les différentes tâches à réaliser pour parvenir à ces objectifs ainsi que le volume horaire associé à chacune d'elles. Ce document a été validé par MM. Rozière et Hilloulin, responsables de l'option, et par M. Poitou, alors directeur de l'ECN.

2.1.3 Etat de l'art : bilans carbone et stratégies de réduction

Une fois la commande dûment analysée, un état de l'art a été réalisé – travail qui s'est poursuivi au cours du projet par une veille. Cet état de l'art comprend plusieurs parties distinctes.

Dans un premier temps, pour comparer le travail qui allait être mené avec des **travaux similaires réalisés dans d'autres établissements** d'enseignement supérieur, les BC réalisés par ceux-ci ont été étudiés. De même, des **outils de calcul du BC** d'un établissement scolaire ont été recherchés, pour éviter de recréer un outil si cela n'était pas nécessaire.

Les résultats devant être diffusés, les **méthodes de visualisation** ont été explorées : le but était à la fois de sensibiliser et de permettre aux acteur-ices de l'ECN de s'approprier les résultats.

A la suite du calcul, une **stratégie de réduction des émissions** devant être mise en place, il était intéressant de s'interroger sur ce qui avait déjà été proposé ailleurs et en particulier sur les résultats obtenus. Ces résultats peuvent être notés, le système de notation a donc été exploré.

Bilans Carbone dans d'autres établissements d'enseignement supérieur

Avant de réaliser un nouveau BC de l'ECN, celui effectué en 2012 a été étudié (Figure 15).

Les BC effectués par des établissements d'enseignement supérieur et mis à disposition sur le site de l'ADEME ont ensuite été observés [Centre de ressources sur les bilans de gaz à effet de serre, s.d.]. A également été mis à disposition le "Rapport Bilan Carbone®" rédigé par des étudiant-es de l'UTC (Université Technologique de Compiègne) [Collin, 2019]. Ce dernier détaille la méthode de calcul et les résultats obtenus.

Cette observation a notamment permis d'évaluer les périmètres balayés par chacun.

Parmi les écoles étudiées, seules les Mines de Saint-Etienne, les Mines de Douai, l'École Centrale de Lille, Polytech Montpellier et l'UTC ont réalisé des BC de scope 3. Les autres écoles se sont limitées à un BC de scopes 1 et 2 (Tableau 2).

Tableau 2 : Périmètre du BC établi par différents établissements d'enseignement supérieur

École	Périmètre du BC (critères pris en compte dans le scope 3)			
	2010 ou 2011	2014	2017	2019
<i>Mines de Saint-Etienne</i>	8, 10, 11, 13, 22	8, 10, 11, 13, 22, 23	8, 10, 11, 13, 16, 22	-
<i>Mines de Douai</i>	8 à 13 et 22	-	-	-
<i>École Centrale de Lille</i>	9 à 11, 13, 22	-	-	-
<i>Polytech Montpellier</i>	8 à 13, 22 et 23	-	-	-
<i>UTC</i>	-	-	-	9 à 13, 23

Les écoles qui ont compté les déplacements domicile-travail se sont appuyées sur des sondages. Pour les Mines de Saint-Etienne en particulier, l'estimation des émissions 2017 des déplacements domicile-travail est issue d'une enquête qui avait été réalisée en 2014. Celle-ci prenait en compte, contrairement aux données 2010, les déplacements domicile-travail des permanent-es effectués en voiture à l'occasion de la pause méridienne. [Délégation au Développement Durable des Mines de Saint-Etienne, 2019]

Ces résultats ont permis d'avoir une idée des **plus grands postes d'émissions** des établissements d'enseignement supérieur – à savoir les **déplacements de personnes et les immobilisations de biens** – en faisant l'hypothèse que le fonctionnement des grandes écoles d'ingénieur-es est relativement similaire quel que soit l'école d'ingénieur-es considérée. Cette hypothèse présente néanmoins des limites : l'ECN possède, par exemple, la particularité de compter de nombreux laboratoires de recherche par rapport aux autres établissements. De plus, l'ECN a considérablement développé son réseau et ses partenariats à l'international ces dernières années.

Outil de calcul d'un Bilan Carbone d'un établissement d'enseignement supérieur

Les étudiant-es de l'option Neutralité Carbone ne sont pas le premier groupe à se pencher sur le développement d'un **outil de BC dédié spécifiquement aux campus universitaires**. Des associations engagées pour l'environnement ont mis au point des outils Excel en accès libre ; deux ont été identifiés.

L'association belge Coordination Environnementale (COREN) propose un **classeur Excel divisé en plusieurs feuilles correspondant aux principaux postes** (Énergie, Alimentation, etc.) ce qui est particulièrement pratique [COREN, s.d.]. Cependant, ce document est destiné originellement à des universités belges : les facteurs d'émissions et les unités utilisés ne correspondent donc pas au système

français. Par exemple, la quantité de gaz consommée est quantifiée en m³ et non en kWh comme elle le serait sur une facture française.

L'association Avenir Climatique en coopération avec l'ADEME a développé « **Bilan Carbone Campus** », une version dédiée aux établissements du supérieur inspirée de l'outil BC, adaptée au contexte du campus [Avenir Climatique, s.d.]. Elle propose un guide d'utilisation ainsi que des formations pour prendre en main leur tableur. Ce dernier est un peu moins visuel que celui du COREN mais est plus détaillé.

L'étude de ces deux fichiers a permis de réfléchir aux façons d'organiser un outil Excel et le structurer pour qu'il soit à la fois exhaustif et facile à prendre en main puis à utiliser. L'outil Excel est joint au rapport : « Bilan_Carbone_ECN_2018.xlsx ».

Méthodes de visualisation des Bilans Carbone

Un BC n'aboutit pas seulement à un chiffre qui serait la quantité de tonnes équivalent CO₂ émises par l'établissement. Parmi les termes sommés pour y aboutir, certains gagneraient à être isolés, détaillés spatialement ou observés au cours du temps. Ainsi il convient de s'intéresser au domaine de la visualisation de données et à son application dans le cadre des BC.

Pour la visualisation générale des données, M. Vincent Turre, Maître de Conférences en informatique, a partagé quelques liens qu'il utilise dans le cadre de l'option disciplinaire de 2ème et 3ème année "Ville Numérique". Ce qu'il est important de retenir, après l'analyse de ces documents, est qu'il est primordial de **s'interroger sur la destination des données**. Plus le public est connaisseur du sujet, moins les données demanderont de traitement (et donc plus elles seront fidèles à la mesure). Ainsi, il faudra réfléchir à des **visualisations simples et explicites pour un public large, et plus détaillées pour des personnes qui devront y passer du temps** (décisionnaires, repreneur-ses du projet). Il existe un grand nombre de formes de visualisations graphiques, mais les plus évoluées et complexes ne sont pas toujours les plus pertinentes. Il faudra veiller, notamment, à ne pas moyenniser abusivement les données (temporellement ou spatialement).

Enfin, de manière générale, l'ordre de réflexion est le suivant:

1. De quelles données dispose-t-on ?
2. A qui sont-elles destinées ?
3. De quelle manière les représenter ?
4. Quels sont les moyens de mise en œuvre technique de la représentation ?

Ces considérations sont générales et applicables à tout type de sujet. Il a été choisi de s'intéresser plus concrètement aux moyens déjà existants de représenter les BC ou de mettre en évidence les émissions de CO₂ liées à la consommation de certains produits.

Ainsi, un état de l'art des méthodes de visualisation de BC a été réalisé. Quelques méthodes ont été jugées intéressantes et sont inventoriées dans l'annexe « Etat de l'art des méthodes de visualisation de l'empreinte carbone ».

Ces exemples montrent bien l'importance de trouver des moyens adaptés au bon public. Dans le cadre du projet Neutralité Carbone, les moyens de visualisation sont conçus pour **s'adresser à tous-tes les acteur-ices du campus collectivement, mais aussi individuellement**.

Préconisations trouvées dans les établissements d'enseignement supérieur et résultats obtenus suite à leur diffusion

Les établissements d'enseignement supérieur qui ont réalisé leur BC ont ensuite réalisé des plans d'action visant à réduire les émissions de GES.

Suite à la réalisation du BC de 2017 de l'**École des Mines de Saint-Etienne**, un plan d'action a été mis en place. Trois sources principales d'émissions avaient été identifiées : les déplacements domicile-travail, les émissions directes liées à l'énergie, les déplacements internationaux (déplacements professionnels des chercheur-ses et déplacements des élèves pour effectuer leur mobilité) [Délégation au Développement Durable des Mines de Saint-Etienne, 2019].

Pour **réduire les émissions liées aux déplacements domicile-travail**, il a été décidé par l'École de s'investir plus amplement dans le Plan Déplacement InterCampus (PDIC). Le PDIC est une "réflexion lancée par le Conseil en mobilité de la Métropole sur la diminution de l'usage de la voiture individuelle et la promotion de modes de transports moins polluants, en privilégiant une approche multi-acteurs. [...] Il vise à améliorer l'accessibilité et l'attractivité des établissements du territoire, le confort et la sécurité lors des déplacements, à réduire les coûts financiers et environnementaux en réduisant le trafic automobile, mais aussi à fédérer autour d'un projet écocitoyen et anticiper". Cette réflexion est menée avec sept établissements d'enseignement supérieur de Saint-Etienne et de Lyon [Saint-Etienne Métropole, s.d.].

Les émissions de GES indirectes liées à l'énergie ont baissé entre 2010 et 2017 d'après l'étude effectuée. Des actions continuent néanmoins d'être mises en place, tels le **remplacement des fenêtres historiques** par des fenêtres à double-vitrage, le **changement de chaudières** à gaz ou **d'autres travaux de rénovation**.

Les émissions liées aux déplacements internationaux étaient croissantes entre 2010 et 2017. Pour réduire ces émissions, le compte-rendu de l'École des Mines de Saint-Etienne ne donne pas de solution mais annonce qu'une réflexion sur les façons de rationaliser ces déplacements sera menée au cours de l'année 2020.

En 2011, après l'établissement de son BC, l'**École des Mines de Douai** a choisi d'agir sur plusieurs points. Tout d'abord, la **prise de conscience des acteur-ices de l'École**, par la mise en place d'actions de sensibilisation. Pour limiter les émissions GES liées aux énergies, deux actions principales ont été appliquées : **suppression du simple vitrage** et **réfection des calorifuges**. Pour limiter les émissions liées aux déplacements de personnes, des **voitures électriques ont été achetées**, l'enseignement par **visioconférence** a été promu et un **plan de déplacement** devait être adopté dans le courant de l'année 2011. Les détails concernant l'enseignement par visioconférence (public cible, généralisation de la visioconférence pour les activités de recherche, etc.), ne sont pas fournis dans la présentation récapitulative mise à disposition par l'École des Mines de Douai [Carbo'Mines, 2010].

De la même façon l'**École Centrale de Lille** a établi un plan d'action en 2011 : il s'agissait de lancer l'Agenda 21, une démarche fondée sur un diagnostic concerté (dans le cas présent, le BC établi) à partir duquel une stratégie est établie – stratégie qui se traduit par **un plan d'action périodiquement évalué et renforcé**. Dans ce cadre, la première phase consiste à sensibiliser les acteur-ices de l'École, par le biais de conférences et événements sur le thème du développement durable. Un document de référence

devait être rédigé, présentant la situation initiale et les propositions pour changer les choses ; ces propositions, dans un esprit de concertation, devaient être soumises aux différent-es acteur-ices pour qu'ils déterminent leur pertinence et leur importance relative. Les axes d'amélioration proposés n'ont pas été détaillés dans le document mis à disposition par l'École Centrale de Lille [Centrale Lille, 2010].

D'autres écoles d'ingénieurs ont également pris des mesures pour réduire leur BC. Cependant, ces mesures étant en cours de mise en place ou très récentes, aucun retour sur celles-ci n'a pu être fourni. Il est néanmoins intéressant d'en prendre connaissance pour s'en inspirer.

L'INSA de Lyon projette de fournir aux étudiant-es une **bourse qui leur permettrait de financer la différence entre un trajet en avion et un trajet en train**. En effet, certain-es étudiant-es privilégient l'avion pour faire le trajet Lyon-Barcelone car le prix est plus avantageux pour eux ; le temps de trajet en revanche n'est pas significativement inférieur. Cette mesure est encore en cours d'étude quant aux modalités pratiques de sa mise en œuvre.

L'ENSE³ (École Nationale Supérieure de l'Énergie, l'Eau et l'Environnement) impose aux étudiant-es depuis septembre 2019 de **réaliser un BC des déplacements qu'ils vont faire durant leur cursus** ; i-els doivent respecter un budget de 6 tCO₂eq durant toute leur scolarité pour leurs déplacements à l'international [Le Foll, 2020].

Dans une démarche de diminution des émissions des GES, une école suisse est très souvent citée à titre d'exemple : il s'agit de **l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne** (EPFL).

Leur action touche les postes les plus émetteurs en GES, notamment l'alimentation avec l'introduction d'un **système de consigne de vaisselle réutilisable** [EPFL, s.d.]. L'ensemble des prestataires alimentaires présents sur le campus servent leur repas dans des boîtes en plastique qui peuvent être ramenées dans n'importe quel lieu de restauration partenaire pour être lavées par les services de l'EPFL puis réutilisées. Les nombreux restaurants du campus proposent chacun une **alternative végétarienne**, soit plus d'une dizaine de possibilités pour celle-eux qui ne souhaitent pas consommer de produits d'origine animale [EPFL, s.d.]. Plusieurs **jardins potagers participatifs biologiques** sont aussi à disposition des étudiant-es, et ont avant tout un rôle de terrain d'apprentissage pour celle-eux qui souhaiteraient développer leurs connaissances en culture de végétaux comestibles, mais font aussi partie d'un projet plus large de sensibilisation.

Les transports représentant deux tiers des émissions de CO₂ de l'école, un **plan de mobilité** a été développé [EPFL, s.d.]. Dans les principales mesures prises, peuvent être citées par exemple les mesures suivantes :

- une **augmentation des tarifs de stationnement** qui permet le financement des mesures présentées ci-dessous,
- un **subventionnement** des abonnements de transport en commun,
- un **décalage** des horaires de cours afin d'éviter les pics d'utilisation des transports en communs,
- la mise à disposition de **vélo-cargos**,
- l'installation de **parkings à vélos couverts**, de douches et de vestiaires accessibles à tous-ttes,

- une incitation forte à utiliser le train ou à réaliser des **vidéoconférences** pour réduire l'impact des déplacements professionnels, s'appuyant sur une étude montrant qu'il n'y a pas de corrélation entre performance académique et émissions de CO₂ [Ciers, 2019].

Ces mesures ont permis de passer de 34 % à 18 % l'utilisation des transports individuels motorisés (TIM) et augmenter le recours à la mobilité douce de 19 % à 32 %. Cependant, bien que les résultats soient encourageants, les TIM représentent encore 88 % du poste déplacements du BC.

En termes d'énergies, 97 % de l'électricité consommée provient d'**usines hydroélectriques locales**, et les 3 % restants de **panneaux solaires** installés sur le site de l'école [EPFL, s.d.].

Les appels d'offres réalisés par l'école intègrent des **critères de durabilité pour la majorité des achats** (restauration, matériel informatique, papier, etc.). Grâce à des "EcoPoints" et des déchetteries de secteurs, 70 % des déchets générés par l'EPFL sont recyclés.

Cette volonté d'un campus plus durable se retrouve aussi dans l'enseignement dispensé au sein de l'école : de nombreux cursus comprennent des cours en rapport avec l'écologie, des MOOCS sont aussi disponibles [EPFL, s.d.]. En 2017, le prix Durabilis UNIL-EPFL a été créé : il s'agit d'un concours qui récompense les projets étudiant-es dans le domaine de la "durabilité" [EPFL, s.d.].

Une des forces de la stratégie bas carbone développée par l'EPFL est leur transparence et l'efficacité de leur communication à ce sujet. Il est en effet très simple de trouver des informations précises sur les actions et sur les limites de celles-ci, ainsi que des études chiffrées qui justifient leur mise en place sur le site de l'école.

Notation de la stratégie bas carbone

La **notation ACT** (*Assessing low-Carbon Transition*), mise en place par l'ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie) et l'association CDP (*Carbon Disclosure Project*), **permet d'estimer à quel point une organisation est prête pour la transition écologique et pour s'adapter à un monde bas-carbone** [Faria, s.d.].

Cinq questions sont posées pour vérifier que l'organisation est bel et bien alignée avec la transition bas-carbone prévue pour 2050. Ces cinq questions sont la base de la méthodologie. Les cinq questions sont les suivantes :

- Qu'est-ce que l'organisation a prévu de faire ?
- Comment elle a prévu d'atteindre ses objectifs ?
- Qu'est-ce qu'elle fait dès aujourd'hui ?
- Qu'est-ce qu'elle a fait dans le passé ?
- Est-ce que la stratégie économique est cohérente avec les actions prévues pour la réduction ?

La notation est ensuite établie par trois paramètres :

- La performance est notée sur 20. L'organisation reçoit un score élevé en fonction de la méthodologie de ses indicateurs.
- L'évaluation est notée en lettres, de A à E. L'information donnée par l'organisation et celles disponibles sur des sources publiques doivent montrer que cette dernière est effectivement alignée avec les objectifs d'une transition bas-carbone.

- La tendance est notée en + (tendance en amélioration), - (tendance en détérioration) ou = (tendance stable). L'information fournie par l'organisation doit permettre de déterminer si cette dernière sera plus adaptée à la transition bas-carbone dans le futur.

La société Toovalu est une PME qui met à disposition des dirigeant-es des tableaux de bord qui leur permettent d'intégrer les enjeux climatiques dans leurs décisions. Cette société, située à Nantes, s'est formée afin de pouvoir utiliser la notation ACT auprès des entreprises qui utilisent leur solution. Neuf paramètres ont été distingués : les objectifs, les investissements matériels, les investissements intangibles, la performance des produits et services, le management, la politique d'engagement, l'influence sur les fournisseurs, l'influence sur les client-es et le business model [Gaborit, 2019].

2.1.4 Adaptation de la méthode Bilan Carbone de l'ADEME

En ayant pris connaissance de l'état de l'art, le travail de calcul du BC a pu être démarré. Pour cela, la méthode Bilan Carbone de l'ADEME a dû être adaptée.

La **méthode Bilan Carbone** est détaillée par l'ADEME. Il s'agit d'une méthode destinée à être suivie par tout organisme susceptible de calculer son BC : entreprises, établissements publics, ou collectivités. Cependant, chaque organisme étant très différent, **il est important d'adapter la méthode à l'entité étudiée**. Il convient donc de préciser ce qui est attendu dans le cahier des charges sous l'appellation "quantification des gaz à effet de serre émis - directement et indirectement - par toutes les activités liées à l'ECN".

Il est apparu pertinent de **regrouper** sous cette appellation toute activité :

- Dans laquelle **l'ECN est impliquée via un poids décisionnel ou financier**. Sont donc regroupées ici la majeure partie des activités de l'école telles qu'on les conçoit : recherche, formation, incubateur, etc. Par exemple, l'ECN a un poids décisionnel auprès du CROUS : le BC des repas des étudiant-es et permanent-es de l'ECN au Restaurant Universitaire est donc à prendre en compte.
- **Qui n'existerait pas si l'ECN n'existait pas**. Cela inclut donc les déplacements domicile-travail par exemple.
- **Pour laquelle l'ECN a une responsabilité morale**. Par exemple, le contenu des cours ne fait pas varier la quantité de GES émis par l'école, mais il est intéressant d'essayer d'estimer l'impact carbone du contenu des cours à travers l'évaluation de son influence sur les choix et l'activité professionnels des élèves diplômé-es. Cependant, pour cet exemple, le calcul ne pouvant être mené de manière aussi objective que pour les autres postes, les résultats obtenus seront séparés du reste du BC (voir « Impact des ingénieurs diplômés de l'ECN (ou "formé-es") » page 287).

Les éléments ne rentrant pas dans cet ensemble sont :

- Les déplacements permanent-es des usager-es et permanent-es de l'ECN en dehors des trajets domicile-travail. Par exemple, dans le cas d'un-e étudiant-e en stage dans un pays étranger, l'empreinte carbone d'un aller-retour par an est comptabilisée, mais pas celle des éventuels voyages qu'i-el fera une fois dans le pays ou de ses éventuels retours en France supplémentaires.

- Les repas autres que ceux du déjeuner en semaine. L'ECN a une responsabilité vis-à-vis des offres de repas sur son campus et donc un moyen d'agir sur le repas des permanent-es et étudiant-es lors du déjeuner. Pour les autres repas, elle ne peut qu'inviter à la cohérence.

De manière plus exhaustive, la méthode Bilan Carbone se décompose en **23 postes d'émissions**, comme expliqué en partie 1.3.1 (page 16). Or, tous n'étant pas applicables à l'ECN, le détail de leur adaptation est présenté ci-après :

- Critère 1 - Emissions directes des sources fixes de combustion : Sont comptabilisées les émissions dues aux chaudières au gaz naturel des bâtiments M, N et O, ainsi que les émissions dues aux machines thermiques expérimentales (bancs d'essais moteurs).
- Critère 2 - Emissions directes des sources mobiles à moteur thermique

Sont comptabilisées les émissions des six voitures de service (en 2018) de l'ECN.

- Critère 3 - Emissions directes des procédés hors énergie

Sont comptabilisées uniquement les émissions dues aux rejets de méthane par les moutons qui paissent sur les pelouses de l'ECN.

- Critère 4 - Emissions directes fugitives

Sont comptabilisées les fuites de fluides frigorigènes des systèmes de climatisation des bâtiments A, D, E, J et T.

- Critère 5 - Emissions issues de la biomasse (sols et forêts)

Sont comptabilisées les captations effectuées par les espaces verts du campus de l'ECN.

- Critère 6 - Emissions indirectes liées à la consommation d'électricité

Sont comptabilisées les émissions liées à l'approvisionnement de l'ECN en énergie électrique par EDF.

- Critère 7 - Emissions indirectes liées à la consommation de vapeur, chaleur ou froid

Sont comptabilisées les émissions liées au chauffage par le réseau de chaleur ERENA.

- Critère 8 - Emissions liées à l'énergie non incluse dans les catégories "émissions directes de GES" et "émissions de GES à énergie indirectes"

Pourraient être comptabilisées ici les émissions liées à l'installation des réseaux énergétiques dans l'ECN (conduits du réseau de chaleur, câbles électriques). Cependant, par manque d'information, ce calcul n'est pas pris en compte.

- Critère 9 - Achats de produits et de services

Sont comptabilisées les émissions dues à l'achat du matériel de l'ECN (matériel de recherche, fournitures de bureau, mobilier, informatique), aux prestations (maintenances, réparations), ainsi que celles dues aux déjeuners des permanent-es et étudiant-es (RU, repas sur place ou en restauration extérieure...).

- Critère 10 - Immobilisation des biens

Sont comptabilisées sous l'appellation "immobilisation des biens" les émissions des biens ayant un amortissement long, c'est-à-dire la construction des bâtiments. La durée d'amortissement répartit le BC de la construction sur plusieurs années. Il est à noter que l'immobilisation du projet de l'éolienne flottante est également comprise dans ce critère.

- Critère 11 - Déchets

Sont comptabilisés ici les déchets dus à l'activité de l'ECN, traités par Veolia et Solution Recyclage.

- Critère 12 - Transport de marchandise amont

Sont comptabilisées les émissions dues au transport des colis arrivant à l'ECN.

- Critère 13 - Déplacements professionnels

Sont pris en compte tous les déplacements des usager-es et permanent-es de l'ECN, en dehors des déplacements pendulaires quotidiens : stages, césures ou doubles-diplômes des étudiant-es, déplacements pour se rendre aux forums prépa, déplacements des permanent-es dans le cadre de leurs missions.

- Critère 14 - Actifs en leasing amont

Ce facteur ne concerne *a priori* pas l'ECN, ne disposant pas d'actifs en leasing.

- Critère 15 - Investissements

L'ECN n'étant pas en mesure d'investir ses fonds, ce critère ne s'applique pas non plus.

- Critère 16 - Transport des visiteur-ses et des client-es

Sont comptabilisés les déplacements de permanent-es venant à l'ECN (visites professionnelles, intervenant-es dans la formation, intervention de prestataires...).

- Critère 17 - Transport des marchandises aval

À l'inverse du critère 12, ici sont comptabilisés les colis en provenance de l'ECN. Cependant, par manque de données, seul le transport des plaquettes alpha a été comptabilisé.

- Critère 18 - Utilisation des produits vendus

L'ECN ne crée pas à proprement parler de "produits" et, *a fortiori*, ne les vend pas. En revanche, les missions de l'ECN sont notamment de former de futurs ingénieurs et de mener des projets de recherche.

Avec cette interprétation, il s'agirait ici de comptabiliser les émissions dues aux carrières des étudiant-es et aux applications des travaux de recherche. Étant donné la subjectivité d'un tel calcul, un chiffre n'est pas proposé pour répondre à ce critère. Cependant, une piste de réflexion est proposée en ouverture, voir « Impact des ingénieurs diplômés de l'ECN (ou "formé-es") » page 287.

- Critère 19 - Fin des produits vendus

Ce critère n'est pas comptabilisé car il n'est pas adapté (cf. critère précédent).

- Critère 20 - Franchise aval

Il ne semble pas apparaître d'émissions à compter sous ce label.

- Critère 21 - Leasing aval

De la même façon, ce critère ne semble pas concerner l'ECN.

- Critère 22 - Déplacements domicile-travail

Sont comptabilisées ici les émissions dues aux déplacements pendulaires des étudiant-es et des permanent-es de l'ECN.

- Critère 23 - Autres émissions indirectes

L'usage du numérique pourrait apparaître ici, mais la complexité de la question demande un investissement beaucoup plus prononcé (voir « Impact du numérique et bonnes pratiques pour le réduire » page 281).

Enfin, une partie des activités des étudiant-es de l'ECN n'est pas liée aux activités de recherche ou de formation, mais aux **activités associatives**, qui représentent une part non négligeable de la vie Centralienne de Nantes. Cependant, s'il est apparu important de le prendre en compte, le BC associatif a été gardé séparé du BC de l'ECN, dans une catégorie propre.

Une fois la méthode Bilan Carbone adaptée et les sources d'émissions identifiées, il est possible de passer à l'étape de collecte des données.

2.1.5 Estimation du Bilan Carbone en ordre de grandeur

Avant de calculer précisément le BC de l'ECN, celui-ci a été estimé en ordre de grandeur, pour permettre de **concentrer les efforts de précision sur les postes ayant l'impact le plus important**. Ces ordres de grandeur ont été établis en s'appuyant sur le fonctionnement de l'ECN et en faisant des hypothèses sur les quantités associées. Par exemple, il a été supposé que l'école avait 10 voitures de service qui parcourent 20 000 km par an. La méthodologie détaillée de cette estimation en ordres de grandeur est explicitée en annexe : voir « Méthode de calcul du BC estimé en ordre de grandeur ». Les résultats sont présentés sur la Figure 17.

Les ordres de grandeur ainsi établis ont montré que les postes d'émissions les plus importants sont **l'achat de produits et services** et les **déplacements de personnes**, devant les **immobilisations**.

Or, **ce résultat ne concorde pas exactement avec ce qui a été trouvé dans l'état de l'art** pour les bilans carbone d'autres établissements d'enseignement supérieur. Cette différence peut s'expliquer par différents facteurs.

En premier lieu, elle provient du fait que **seuls les bâtiments de l'ECN ont été comptés dans les immobilisations** : le parc informatique et les appareils utilisés dans les laboratoires ont été comptés dans la partie "achat de produits et services". Ce choix s'explique par le fait que leur durée d'amortissement est plus faible que celle des bâtiments et ces appareils sont **choisis au moment de l'achat et non "subis"**, comme le laisserait penser la catégorie "immobilisations". Dans l'estimation en ordre de grandeur, le budget consacré aux achats est un budget lissé : il est considéré comme identique d'une année sur l'autre. Ainsi, même en considérant une durée d'amortissement, l'impact total liés aux achats aurait été identique (mais il aurait fallu prendre en compte, en plus, les achats des années précédentes, également amortis).

Estimation des émissions de CO₂eq des activités de l'ECN

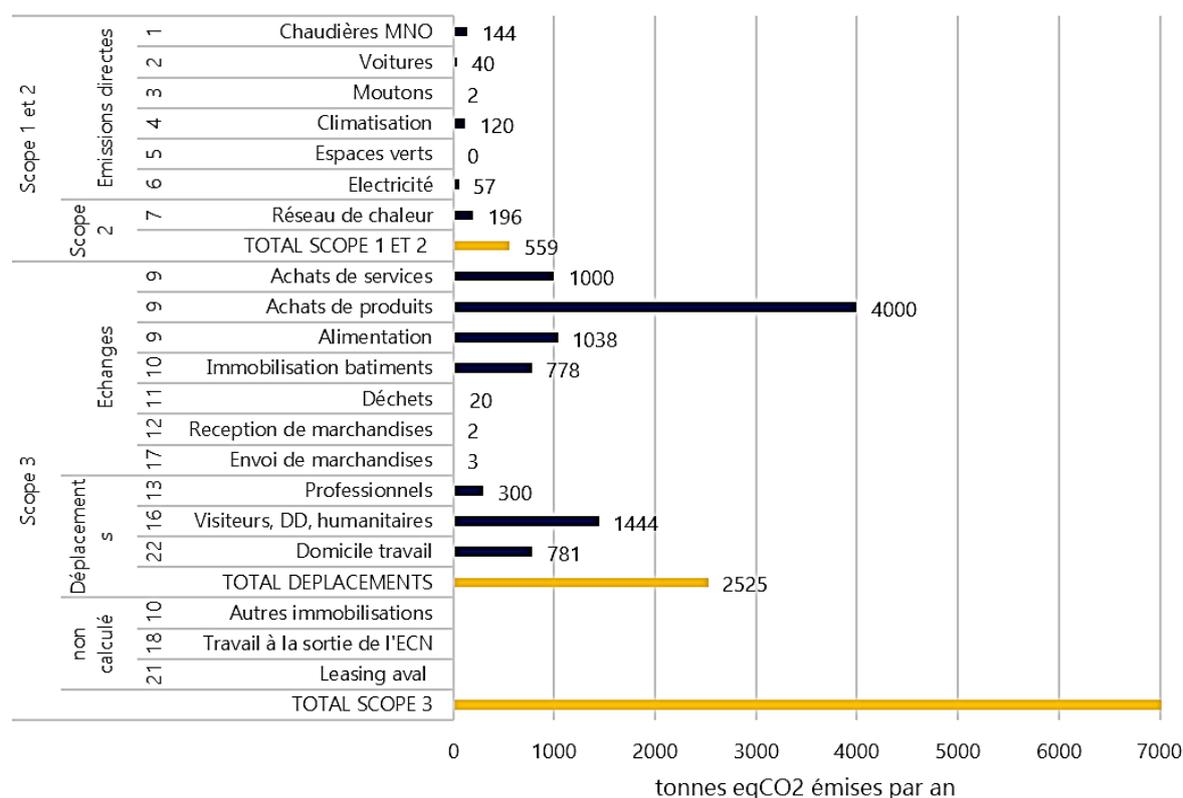


Figure 17 : Estimation des émissions de GES liées aux activités de l'ECN pour l'année 2018

De plus, par rapport à d'autres écoles d'ingénieur-es, l'ECN possède la spécificité d'avoir **une importante part de son campus dédiée à la recherche**. Il est donc normal que les bilans carbone ne soient pas équivalents d'une école sur l'autre.

Enfin, la **méthodologie utilisée et le nombre de critères du scopes 3** intégrés dans le BC de chacun des établissements sont différents et cela peut expliquer une partie des différences observées.

2.1.6 Participation à des groupes de travail tiers

En dehors du cadre scolaire de l'option Neutralité Carbone, les étudiant-es ont pris part à différents **projets de transformation du campus** allant dans le sens d'une réduction des émissions de GES. I-els ont notamment participé au groupe de travail sur les mobilités et à celui concernant les espaces verts.

Groupe de Travail sur la mobilité

Réaliser un BC de l'ECN en ordre de grandeur a permis de mettre en avant l'importance des déplacements parmi l'ensemble des émissions de l'ECN. Il a donc été entrepris de commencer à travailler sur ce sujet sans attendre qu'un BC plus précis soit calculé.

La Commission Développement Durable a dépêché en octobre 2019 un groupe de travail pour étudier la question des **mobilités liées à l'activité de l'ECN** (déplacements domicile-travail mais

également déplacements professionnels des enseignant-es-chercheur-ses et séjours à l'international des élèves-ingénieur-es). Il a donc été décidé de rejoindre ce groupe de travail composé de doctorant-es, d'étudiant-es et de permanent-es et d'avancer conjointement pour traiter de ces questions.

Deux membres de l'option Neutralité Carbone dans le groupe de travail sur les mobilités ont participé à la **rédaction d'un sondage** qui avait pour objectifs d'**établir un état des lieux des habitudes** liées aux déplacements à l'ECN au quotidien comme lors de déplacements plus exceptionnels. L'idée était également de **suivre l'évolution des pratiques** de mobilité à l'école, de **recueillir les attentes** en la matière, d'**identifier les freins** pour changer de comportement, d'**interroger l'intérêt des déplacements** eux-mêmes, mais aussi de **compléter le BC** de l'établissement et de réfléchir à la façon de **promouvoir de modes de transports plus soutenables**. Des leviers d'action possibles et des moyens de sensibilisation ont été proposés à l'issue de cette analyse.

L'action commune avec le groupe de travail sur les mobilités participe à la démarche de **co-construction des leviers d'action** avec les acteur-ices de l'ECN (voir « Leviers d'action : comment réduire le Bilan Carbone ? »).

Jusqu'à maintenant, seules l'analyse des réponses du sondage ainsi qu'une action d'**évacuation des vélos inutilisés dans les garages à vélo du campus** ont pu être menées par le groupe de travail. La problématique des déplacements étant complexe et large, ce groupe de travail a, dès l'origine, été pensé pour réfléchir à la question de la mobilité sur le **long terme**. Cette réflexion ainsi que les actions de ce groupe de travail se poursuivront donc pendant les plusieurs mois et années à venir.

Groupe de Travail sur les espaces verts

La réduction du BC de l'ECN passe par l'analyse des postes qui induisent le plus d'émissions de GES. C'est à partir de cette analyse que des mesures peuvent être mises en place pour réduire les émissions associées. Cette réduction peut aussi passer par une captation des GES. **Les espaces verts** du campus, s'ils sont bien aménagés et entretenus, **peuvent capter du CO₂** et encourager les acteur-ices du campus dans leurs initiatives individuelles et collectives (rôle pédagogique).

La direction du patrimoine a engagé un **processus de réflexion sur la gestion des espaces verts**. L'objectif d'une bonne gestion est multiple : sauvegarde de la biodiversité, captation de GES, économie d'argent et d'essence (moins de tonte), etc. Un professionnel a été sollicité pour faire un état des lieux de la situation actuelle et proposer des changements. Ces changements ont été co-construits avec les acteur-ices de l'ECN par le biais d'ateliers et de réunions. Quatre axes ont été abordés :

- les usages liés au site,
- le mobilier extérieur,
- la production vivrière sur le campus,
- l'entretien des zones enherbées.

Il a semblé important aux élèves de l'option de se positionner sur ce sujet pour apporter leur regard à la réflexion menée, grâce à leur recul sur les processus d'émissions et captations de GES. Après une étude plus approfondie, il s'est avéré que **la captation de CO₂ est très faible par rapport à l'ensemble du BC de l'ECN**.

Cependant, une gestion différente des espaces verts est intéressante pour plusieurs raisons :

- elle permet de **réduire les coûts d'entretien** des surfaces enherbées, tout en favorisant la biodiversité ;
- elle introduit des **réflexions autour de la biodiversité**, et plus généralement du lien à la nature, généralement peu présentes dans les écoles d'ingénieur-es généralistes ;
- elle embellit et **rend plus attractifs les espaces verts** selon de nouveaux critères : une pelouse peu tondue fleurie aura plus d'attrait qu'une pelouse tondue à ras ; de même, des arbres fruitiers et un potager seront préférés à une simple prairie.

2.1.7 Collecte des données utiles au Bilan Carbone

L'analyse de la commande, l'adaptation de la méthode de Bilan Carbone au contexte de l'ECN et le calcul en ordre de grandeur ont permis de dresser la liste de l'ensemble des données nécessaires au calcul du BC de l'ECN pour l'année civile 2018. Cette liste de données à récupérer a été associée à la personne, ou le service, possédant les données et donc le plus à-même de les fournir.

Chaque membre de l'option Neutralité Carbone était responsable au cours de l'année scolaire 2019-2020 d'une ou plusieurs parties prenantes, c'est-à-dire d'**interlocuteur-rices au sein des différents services et laboratoires de l'ECN**. Ces dernières ont été sollicitées afin d'**obtenir les données nécessaires** à la réalisation du BC et relatives à l'activité du service ou laboratoire concerné.

Certaines données n'étant pas disponibles pour l'année 2018, **deux sondages ont été réalisés** au début de l'année 2020, l'un portant sur les **habitudes alimentaires** et l'autre sur les **mobilités des étudiant-es et des permanent-es** de l'ECN. Les résultats ont été transposés à l'année d'étude, l'année 2018, en considérant que les habitudes varient peu sur un laps de temps court (deux ans) et en les adaptant aux effectifs de l'École Centrale de l'année 2018.

Malgré ce travail de collecte par le biais de sondages ou avec l'aide des différentes parties prenantes, toutes les données nécessaires au calcul du BC de l'année civile 2018 n'ont pas pu être récupérées. En effet, certaines données étaient manquantes, ou non exploitables ; par ailleurs certaines parties prenantes n'ont pas pu être jointes. Certaines données n'existant pas sur une année civile, elles sont considérées sur une année scolaire complète, i.e. l'année 2018-2019 ici.

2.1.8 Création d'un outil de calcul pour le Bilan Carbone de l'École Centrale de Nantes

Au cours des recherches effectuées pour réaliser un état de l'art, un **outil Excel « Bilan Carbone Campus », développé par l'ADEME et l'association Avenir Climatique**, spécialement dédié au calcul du BC d'un campus, a été trouvé.

Cependant, ce dernier ne **correspondait pas exactement au fonctionnement de l'ECN** ou, du moins, à ce que les étudiant-es de l'option ont décidé de mettre en avant au sein du BC 2018 de l'ECN : le niveau de détail était, en fonction des critères, parfois trop faible ou trop élevé. Par ailleurs le document a été réalisé en 2011. Les facteurs d'émissions proposés sont bien ceux de l'ADEME mais ne sont plus à jour.

Il a donc été décidé de ne pas reprendre cet outil mais seulement de s'en inspirer pour créer **un nouvel outil Excel** où chaque élève a ensuite pu rentrer la partie du BC dont i-el s'occupait ainsi que les sources des données, les facteurs d'émissions et les incertitudes associées. Un travail de **mise en forme** de l'outil a également été réalisé afin qu'il soit le plus lisible et uniforme possible. Une **notice d'utilisation** de cet outil a été rédigée afin qu'il puisse être réutilisé facilement. Bien que spécifique à l'ECN, il pourra être imaginé de **partager cet outil** avec d'autres établissements d'enseignement supérieur.

Malgré la demande initiale de la direction de l'ECN, cet outil ne permet pas un calcul en temps réel (ou jour par jour) du BC de l'ECN. En effet, cela aurait été trop compliqué à mettre en place étant donné que de nombreuses données, notamment relatives au scope 3, ne sont actuellement pas automatisables ni même numérisées. Un système de comptage des véhicules entrants quotidiennement dans l'enceinte de l'ECN est en cours de réalisation (voir l'annexe « Guide de conception du compteur de véhicules »).

2.1.9 Calcul du Bilan Carbone et analyse des résultats

L'outil créé a ensuite été utilisé pour **calculer le BC de l'ECN sur l'année 2018**. Cependant, calculer le BC de l'ECN n'était que le premier objectif de l'option Neutralité Carbone. Pour les étudiant-es, la partie la plus intéressante du projet venait ensuite et débutait par une **analyse des résultats** de ce BC pour mettre en lumière les différents **leviers d'action** possibles afin d'initier une réduction des émissions de GES. Cette analyse sera présentée dans la partie 3 « Résultats », page 91.

2.1.10 Actions de sensibilisation

La sensibilisation des acteur-ices de l'ECN faisait partie intégrante du cahier des charges du projet défini par les étudiant-es et le maître d'ouvrage en début d'année. En effet, cette partie du travail, jugée essentielle par les étudiant-es de l'option, était pour elle-eux l'occasion d'**échanger** avec les autres acteur-ices de l'ECN sur ces thématiques afin de faciliter l'**appropriation du projet** par ces dernier-ères. Cette sensibilisation s'est concrétisée sous plusieurs formes.

Visualisation

Les étudiant-es de l'option ont souhaité pouvoir disposer d'un **espace d'affichage permanent à la cafétéria du bâtiment E**. Grâce aux services généraux, un panneau d'affichage à plusieurs volets a donc été installé à l'entrée de ce bâtiment. L'un de ces volets avait pour vocation d'être dédié à l'option Neutralité Carbone. Un **poster en format A1**, (voir l'annexe « Poster de l'option Neutralité Carbone ») a donc été créé et imprimé pour ce panneau. La partie centrale du poster est consacrée à une **présentation succincte de l'option** Neutralité Carbone. Une deuxième partie donne des informations sur la notion de BC, sur son cadre légal et sur ses différents scopes. De plus, les objectifs issus de l'**Accord de Paris** ainsi que la part de réduction des émissions possible grâce aux changements individuels et aux changements collectifs selon **le rapport "Faire sa part ?"** sont rappelés. Enfin, la partie supérieure gauche du poster permet de visualiser les **résultats temporaires du BC de l'ECN**. Cette dernière partie a été mise en page en format A4 afin de pouvoir être actualisée au fur et à mesure de l'avancée du calcul

du BC par les étudiant-es de l'option. Ce poster, situé dans un lieu de passage du campus, avait donc à la fois un **objectif d'information** et un **objectif de sensibilisation** des acteur-ices de l'ECN.

D'autres **visuels** représentant de manière simple les résultats du BC ont été proposés lors d'ateliers participatifs. Les étudiant-es ont également réfléchi à d'**autres lieux et d'autres contenus d'affichage** au sein du campus. Par exemple, un affichage physique du BC par profils-types comme expliqué dans la partie 3.1.2 page 93 a été envisagé dans le hall A. De même, il sera intéressant de représenter les données issues du système de comptage de véhicules entrants à l'ECN (voir l'annexe « Guide de conception du compteur de véhicules »).

En partenariat avec le service de communication de l'ECN, un **site intranet**, commun à tous-tes les acteur-ices de la transition écologique à l'ECN, est en cours de réalisation. L'option Neutralité Carbone devrait y avoir une page dédiée afin de pouvoir **communiquer le fruit de son travail** avec l'ensemble des parties prenantes de l'ECN. Ce site internet pourra donc permettre aux étudiant-es d'être transparent-es vis-à-vis de leur travail tout en le vulgarisant afin qu'il soit compréhensible et exploitable par tous-tes.

Enfin, afin de partager de manière plus précise le travail effectué au cours de l'année et de pousser à la réflexion les différent-es acteur-ices de l'ECN, le **rapport final de l'option**, ce présent document (en version synthétique et complète) leur sera communiqué.

Projet "Pour des campagnes plus responsables"

Les étudiant-es de l'option Neutralité Carbone se sont joint, avec 6 entités associatives étudiantes de l'ECN¹, au projet "Pour des campagnes plus responsables" dans le but d'accompagner les listes candidates aux campagnes BDX étudiantes dans une **démarche d'éco-responsabilité**.

Tout d'abord, une estimation du BC des campagnes BDX² 2018 a été calculée. Ces dernières, d'une durée de seulement deux semaines, conduisent à l'émission d'approximativement **45 tCO₂eq**, ce qui correspond à **45 allers-retours en avion Paris-Moscou**³. Les campagnes BDX représentent environ **10 % des émissions de GES de la vie associative** étudiante centralienne sur l'année 2018. Comme le montre la Figure 18, cet état des lieux a permis de mettre en évidence **3 leviers d'action principaux : l'alimentation, les textiles et les goodies**.

¹ Centrale Vert, Enactus, Forum Horizons, Groupe Ecologie à Centrale, Ingénieurs Sans Frontières Nantes et Together For Earth

² Bureau des Arts, Bureau des Elèves, Bureau des Sports. Cf. Glossaire en fin de rapport

³ Un aller-retour Paris-Moscou pour une personne a un impact de 1 tCO₂eq.

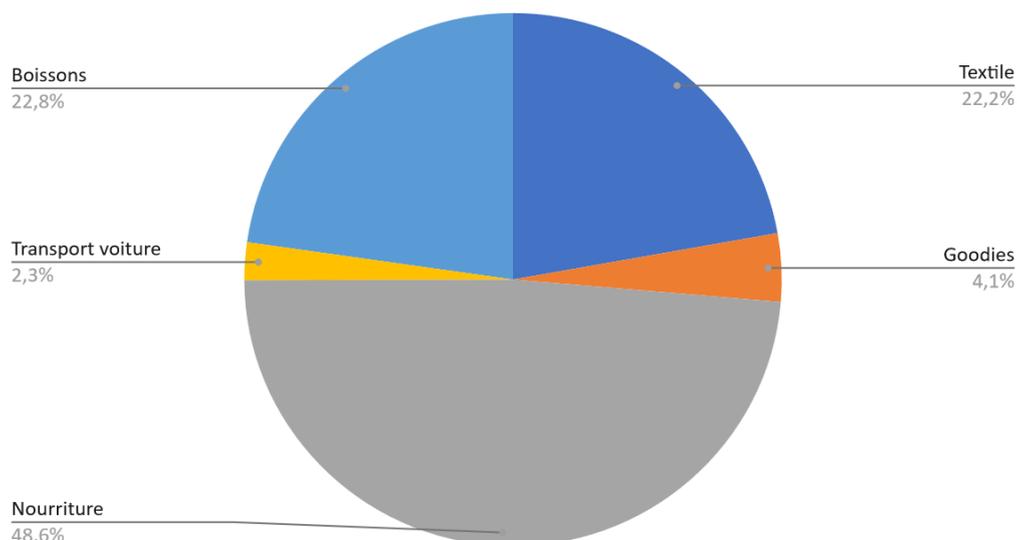


Figure 18 : Bilan Carbone des campagnes associatives étudiantes 2018

En particulier, l'**alimentation** est à la fois le poste le plus émetteur et un levier d'action important car les changements à opérer sont faciles à mettre en place. L'achat de **textiles** provoque indirectement des pollutions importantes : limiter le nombre de vêtements neufs produits était également l'une des priorités. Enfin, agir sur les **goodies** paraissait également nécessaire car leur distribution pousse à la consommation et ne répond pas à un réel besoin ou à une réelle utilité. En effet, si un *goodie* était indispensable à un-e étudiant-e, i-el n'attendrait probablement pas les campagnes pour se le procurer.

Tout d'abord, les BDX en mandat ont instauré un paragraphe « obligations écologiques » dans le **règlement des campagnes 2019**. Trois règles ont été discutées et votées parmi lesquelles une **limite carbone goodies à ne pas dépasser** pour chacune des 8 listes candidates. Les étudiant-es de l'option Neutralité Carbone ont donc estimé l'impact carbone des *goodies* que les listes prévoyaient de distribuer.

En amont des deux semaines de campagnes, un kit « Pour des campagnes plus responsables » (voir le fichier « Kit_pour_des_campagnes_plus_responsables.pdf » joint au présent rapport), contenant des défis écologiques et des conseils et ayant pour objectif de **valoriser les listes s'engageant à réduire l'impact environnemental de leurs campagnes** a été proposé aux élèves. Parmi les six défis proposés, se trouvaient le fait d'acheter un **panier d'ingrédients bios et en circuits courts** ainsi que de proposer plusieurs **repas entièrement végétariens**. Finalement, tous les défis ont été réalisés par au moins 3 listes et, en moyenne, plus de 5 listes ont participé à chaque défi. Quand cela était possible, les étudiant-es de l'option ont **quantifié les émissions de GES évitées** grâce aux changements de comportement des listes par rapport aux campagnes 2018. Par exemple, l'impact carbone des *goodies* de toutes les listes a diminué de plus de 65%.

De plus, une **valorisation des initiatives hors défi** ainsi que des **événements spéciaux** tels qu'un don de nourriture, une course de ramassage de déchets et un allo solidaire (distribution de nourriture aux sans-abris) ont été organisés par les associations à l'initiative du projet.

Les campagnes BDX sont un moment fort de la vie associative de l'ECN : elles rassemblent une grande partie des étudiant-es du campus pour une période de deux intenses semaines. En plus d'impulser une **réduction de l'impact environnemental des campagnes BDX**, le projet avait pour but de **profiter de cette période de rassemblement pour sensibiliser les étudiant-es** de l'ECN à différents enjeux environnementaux. Le bilan complet de ce projet est également joint au présent rapport : « Bilan_eco-campagnes_ECN_2019.pdf ».

Ateliers participatifs

Les étudiant-es de l'option Neutralité Carbone ont organisé **cinq temps d'échanges, nommés « ateliers participatifs »** avec les parties prenantes de l'ECN. Chronologiquement, s'est d'abord déroulée une réunion de présentation de l'option puis un atelier de découverte lors du Week-End Nantralien (WEN) et enfin trois ateliers sur les différentes parties du BC : un atelier sur les scopes 1 et 2, un atelier sur le scope 3 hors déplacements et un atelier spécifiquement dédié aux déplacements (déplacements professionnels, déplacements liés à la formation des étudiant-es et déplacements pendulaires). **Entre 15 et 40 participant-es ont répondu présent-es pour chacun des ateliers.**

Pour les étudiant-es de l'option, tous ces ateliers répondaient à **trois objectifs** : **communiquer les résultats** du BC de l'ECN, permettre aux acteur-ices de l'ECN de se les **approprier**, et amorcer des pistes de réflexion sur **les leviers d'action** possibles.

Le deuxième objectif s'inscrit donc dans une démarche plus large de **sensibilisation**. Pour cela, dans chacun des ateliers, un certain temps a été réservé pour **rappeler des ordres de grandeur, tester les a priori et déconstruire les préjugés relatifs au BC**. Par exemple, des **quizz** ont été proposés aux personnes présentes lors de trois ateliers sur cinq. Pour tous les ateliers, des **visuels** ayant pour but de faciliter l'appropriation du BC par chacun-e ont été réalisés.

Événement de clôture

Dans la même optique que les ateliers participatifs, les étudiant-es de l'option avaient prévu de réaliser un événement de clôture sur le campus durant le mois de mars 2020. Cependant, au vu des circonstances liées au COVID-19, **un événement de clôture virtuel** a été organisé afin de **partager le travail réalisé** tout au long de l'année avec tous les élèves de l'ECN.

Cet événement a pris la forme de **9 publications**, à raison d'une par jour, réalisées et postées **sur le groupe Facebook** de la promotion 2019-2020. Les thématiques suivantes ont été abordées, dans l'ordre chronologique :

- contexte international et national concernant le réchauffement climatique,
- part de l'action individuelle et de l'action collective pour réduire les émissions de GES selon le rapport "Faire sa part ?" de Carbone 4,
- résultats du BC final de l'ECN et ses déclinaisons en différents profils-types,
- résultats du BC de la vie associative,
- résultats et analyses du poste d'émissions "produits et services",
- résultats et analyses du poste d'émissions "déplacements",
- résultats et analyses du poste d'émissions "alimentation",

- exemples de leviers d'action à différents niveaux d'engagements de l'ECN,
- impact de l'utilisation du numérique.

Seul.es les élèves ont donc pu être touché.es par cette action.

Les étudiant-es de l'option ont également créé **une bibliographie** des livres qu'i-els ont lus et appréciés au cours de l'année, afin de les conseiller aux acteur-ices de l'ECN. Ce document est joint au rapport : « Coin_lecture_NCO2.pdf ».

2.1.11 Proposition d'une stratégie bas carbone

A partir des résultats du BC et de leurs analyses, les étudiant-es ont souhaité **regrouper tous les leviers d'action** possibles allant dans le sens d'une réduction des émissions de GES.

Ateliers participatifs

Comme expliqué ci-dessus (voir « Ateliers participatifs » page 45), plusieurs ateliers participatifs ont été réalisés au cours de l'année. Chaque atelier s'est déroulé en deux parties : une première partie portant sur la présentation des résultats du BC et une deuxième partie portant sur les leviers d'action possibles afin de réduire le BC des postes d'émissions présentés.

Cette deuxième partie, davantage participative, avait pour vocation d'**inclure l'ensemble de la communauté de l'ECN dans les réflexions portant sur la réduction des émissions de GES**. Il a donc été possible de co-construire des pistes d'actions collectivement et de connaître les **éventuels points de blocage ou de désaccord**. Les attentes des étudiant-es et des permanent-es de l'ECN sur les différents leviers d'action possibles ont ainsi pu être mieux cernées.

Pour prolonger le débat, une **boîte à idées** a également été mise en place à la cafétéria dans le bâtiment E. Elle a recueilli environ 80 contributions.

Cependant, il serait intéressant de soulever des limites, en termes de sensibilisation, de ces ateliers participatifs. En effet, il est probable que les personnes participantes aux ateliers ne soient pas entièrement représentatives de l'ensemble de la population centralienne. En effet, les ateliers ont principalement attiré les personnes les plus sensibles aux questions environnementales : tous les avis n'ont donc pas été représentés. Enfin, le nombre de participants peut également limiter l'impact de la sensibilisation effectuée.

Listes de leviers d'action possibles et chiffrage en ordre de grandeur

A partir des idées et des pistes de réflexion soulevées lors des ateliers participatifs, des **leviers d'action pour chaque thématique** du BC ont été proposés par les membres de l'option Neutralité carbone. Ces leviers d'action ont été, pour certains, **étouffés et chiffrés en ordre de grandeur** par la suite. Ce calcul en ordre de grandeur a été effectué dans le cadre d'une démarche de priorisation des actions, comme ce qui avait été fait pour le BC dans un premier temps. Dans la suite du projet, il faudrait chiffrer plus précisément les propositions les plus pertinentes (d'après les ordres de grandeur établis) en

utilisant par exemple QuantiGES, méthode de l'ADEME qui permet notamment de prendre en compte les effets rebonds des préconisations (voir partie 4.2.1 page 279).

Ces leviers d'action ont pour vocation de s'inscrire dans une stratégie bas carbone spécifique à l'ECN. Certains leviers nécessitent un engagement modéré avec une modification minimale du fonctionnement de l'ECN et des habitudes de ses étudiant-es et permanent-es et d'autres sont des leviers à engagement important nécessitant une remise en question de certains points et aspects de la politique et de la vision de l'ECN. Ces réflexions seront présentées dans la partie 4 « Discussion », page 160.

2.1.12 Evaluation de l'impact carbone de l'option

Dans le cadre de leur projet, il a été demandé aux élèves de l'option Neutralité Carbone de réaliser le BC de l'option. Il ne s'agissait pas de calculer les BC individuels de chacun-e mais bien de calculer celui lié à l'option en tant que telle, et à son travail. Le travail réalisé permet aux élèves d'être les plus cohérent-es possibles et totalement transparent-es dans leur démarche.

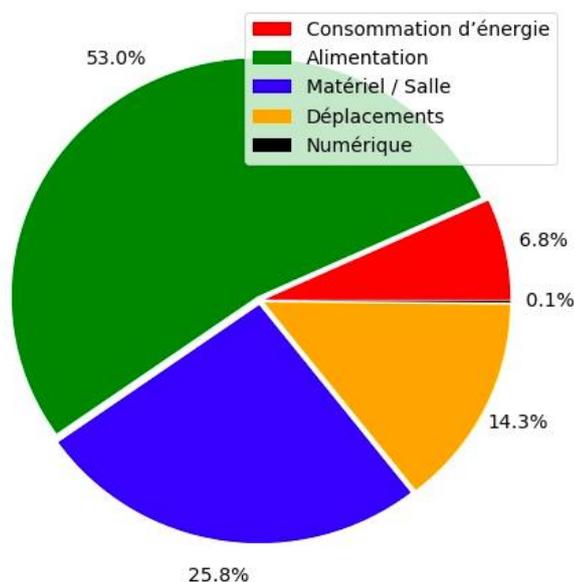


Figure 19 : Répartition du BC total de l'option NC

Le BC total de l'option NC est de **2,13 tCO₂eq** soit environ 2 aller-retours Paris-Moscou, cela représente 210 kg CO₂eq par personne. Le calcul prend en compte les scopes 1, 2 et 3 de la méthodologie de l'ADEME. Le détail du calcul comprenant les hypothèses et les facteurs d'émissions utilisés sont présentés en annexe (voir « Méthode de calcul du BC estimé en ordre de grandeur »). Le calcul est décomposé comme suit :

- **La partie "Consommation d'énergie"** comptabilise la consommation d'électricité et la consommation de chauffage dans la salle de l'option. Ces 2 consommations ont été calculées en faisant un produit en croix au m² avec les consommations du bâtiment E fournies par les services généraux ;

- **La partie “Alimentation”** comptabilise les repas du midi des membres de l’option, 5 jours par semaine ;
- **La partie “Matériel / Salle”** comptabilise du matériel acheté pour la mise en place d’un système de comptage de véhicules entrants dans l’école, les ordinateurs permanents, les tables et les chaises de la salle (tous calculées avec les facteurs d’émissions spécifiques de l’ADEME) ainsi que l’immobilisation de la salle de l’option dans le bâtiment E ;
- **La partie “Déplacements”** comptabilise les trajets domicile-école des membres de l’option, les trajets des intervenants dans l’option et les déplacements dans le cadre de cours suivis par les membres ;
- Enfin **la partie “Numérique”** comptabilise l’utilisation d’une *box* de stockage, l’envoi de mails et l’utilisation des ordinateurs durant les horaires de travail (calculées avec la méthodologie du Shift Project [Ferreboeuf, 2018]).

Sur les résultats en tant que tels, une large partie du BC de l’option concerne l’alimentation des élèves (53%). Le poste “Numérique” prend peu de place mais peu de choses ont pu être directement chiffrées dans celui-ci : la consultation de sites a par exemple été omise, de même que l’utilisation du Wi-Fi, le visionnage de vidéos, la réalisation de conférences pendant les vacances et la période de confinement... Certains matériels ont également été omis dans la partie “Matériel / Salle” car i-els ne bénéficiaient pas de facteurs d’émissions spécifiques et que leur impact a été considéré comme minime (ramette à papier, affiches, impressions, stylos, etc.).

2.2 Calcul du Bilan Carbone de l'École

Le calcul du BC se découpe en deux parties : **collecte** des données et **traitement de ces données**, qui ne sont pas nécessairement exploitables en tant que telles. Cependant le traitement des données, les hypothèses utilisées peuvent conduire à des incertitudes. Les **limites des calculs** seront donc également précisées.

Seront présentées dans cette partie en premier lieu les hypothèses qui ont été utilisées pour déterminer les incertitudes des données collectées.

Pour expliciter la méthodologie employée, les critères que distingue l'ADEME dans la méthode Bilan Carbone ont été regroupés par thématiques communes.

Sera traitée en premier lieu la captation carbone, par les espaces verts du campus. Seront considérées ensuite les émissions directes (ce qui correspond au scope 1 du BC, hors biomasse). Ont par la suite été regroupées les émissions indirectes liées à l'énergie (ce qui correspond au scope 2 du BC). Sera considéré à part l'impact lié à la construction des bâtiments et autre site de recherche. L'alimentation et son impact sont également traités à part, étant un poste important d'après le calcul réalisé en ordre de grandeur. Ont été regroupés l'ensemble des déplacements de personnes (déplacements professionnels des permanents, déplacements liés à la formation des étudiant-es, déplacements pendulaires). L'ensemble des critères concernant les "produits et services" ont été regroupés ; sont concernés par cette appellation les déchets, le transport des marchandises et les achats effectués par l'ECN. Enfin, en dernier lieu, l'impact de la vie associative sera pris en compte.

2.2.1 Incertitudes des calculs

Les données collectées et les facteurs d'émissions ne sont pas connus précisément. Ainsi, le résultat du BC présente des incertitudes, qui doivent être calculées ou à défaut estimées. Connaître les incertitudes et leurs sources permet en effet d'**identifier des pistes permettant d'améliorer la qualité des données collectées, afin de rendre le résultat final le plus fiable possible.**

Pour estimer les incertitudes liées aux données collectées, il a été choisi, lorsqu'il n'était pas possible de calculer la valeur autrement, de suivre la **grille proposée à titre d'exemple par l'ADEME** dans son guide méthodologique [Guignard, 2017] :

- 0% à 5% pour une donnée issue d'une mesure directe (factures ou compteurs) ;
- 15% pour une donnée fiable non mesurée ;
- 30% pour une donnée recalculée (extrapolation) ;
- 50% pour une donnée approximative (donnée statistique) ;
- 80% pour une donnée connue en ordre de grandeur.

Source : Guignard Q. *Bilan Carbone - Annexes*.
Guide méthodologique, v8. Août 2017

La deuxième source d'incertitude est **l'incertitude liée aux facteurs d'émissions** utilisés. Les facteurs d'émissions employés étant ceux de l'ADEME, l'agence précise, au sein de la base carbone (la base de données qui recense l'ensemble des facteurs d'émission), leurs incertitudes. Ces incertitudes sont généralement **comprises entre 20% et 80%**. Elles ont été utilisées directement pour la plupart des postes d'émissions. Néanmoins, lorsqu'il aurait été trop chronophage de calculer l'incertitude de certains résultats au vu de la complexité des calculs réalisés, il a été choisi de considérer une incertitude liée au calcul par défaut de 50%.

Les incertitudes se calculent de la façon suivante :

Pour une multiplication :

$$U_{total} = \sqrt{\sum_i U_i^2}$$

Pour une addition :

$$U_{total} = \frac{\sqrt{\sum_i (U_i \cdot X_i)^2}}{\sum_i X_i}$$

avec X_i les quantités considérées,

U_{total} le pourcentage d'incertitude associé au produit ou à la somme des quantités X_i ,
et U_i le pourcentage d'incertitude associé à chaque quantité X_i .

Source : Guignard Q. *Bilan Carbone - Annexes*.
Guide méthodologique, v8. Août 2017

Des incertitudes ont donc été estimées de cette façon pour chacun des critères du BC de l'ECN.

2.2.2 Calcul de l'impact carbone des espaces verts

Le campus de l'ECN comprend une grande surface d'espaces verts, composés d'arbres, de massifs, de haies et de prairies. Globalement, cette végétation capte du CO₂.

COLLECTE DE DONNEES

La végétation de l'ECN a été classée selon trois catégories : massifs et haies, prairies et bois. Les surfaces couvertes par chaque catégorie ont été fournies par les Services généraux. Ces données datent de l'année 2010. Ainsi, le campus abriterait 67 318 m² de prairies, 5 720 m² de massifs et haies et 16 700 m² de bois (entretenus ou non). Les autres types de végétation ont été ignorés mais représentent des surfaces minimales.

HYPOTHESES DE CALCUL

Pour les bois, un facteur de captation de $-6,91 \text{ tCO}_2/(\text{ha}\cdot\text{an})$ fourni par l'ADEME et correspondant à des « Forêts fermées - Mixte - Pays de la Loire (2019) » a été utilisé. Selon l'Institut Géographique National (IGN), les forêts fermées sont les forêts denses où le couvert des arbres est supérieur ou égal à 40 % de la surface de la forêt [Institut national de l'information géographique et forestière, s.d.].

En revanche la base de données de l'ADEME ne fournit pas de facteurs de captation pour les prairies, les massifs et les haies. Ainsi, l'étude menée par l'INRA, *Stocker du carbone dans les sols français, Quel potentiel au regard de l'objectif 4 pour 1000 et à quel coût ?* a été utilisée. Cette étude donne un facteur de captation carbone de $-50\text{kgCO}_2/(\text{ha}\cdot\text{an})$ pour les prairies [Pellerin, 2019]. Les massifs et haies ont la réputation d'être d'importants puits de carbone. Or, d'après l'étude, il semble que cela ne soit vrai que pour les haies plantées en bordure de surfaces agricoles [Pellerin, 2019]. Le même coefficient que pour les prairies a donc été appliqué pour la catégorie « massifs et haies ».

LIMITES

En appliquant un facteur de captation calculé sur des forêts aux bois de l'ECN, la captation carbone due à la partie boisée est probablement surestimée. Il a néanmoins été choisi de laisser cette surestimation pour mettre en avant le fait que la captation carbone seule, même surestimée, est insuffisante pour compenser les émissions de GES (voir « Compensation carbone page 297 »).

Par ailleurs, il est nécessaire de relativiser le gain CO₂eq des espaces verts au vu de leur entretien ; en effet, réaliser cet entretien contribue à l'émission de gaz à effet de serre ; ces émissions sont quant à elles comptabilisées dans le poste "achats de produits et services".

2.2.3 Calcul de l'impact carbone des sources d'émissions directes de gaz à effet de serre

Les émissions directes sont les émissions des GES émises, physiquement, par les activités de l'ECN. Sont concernés l'utilisation de gaz, l'utilisation de véhicules de fonction et de moteurs expérimentaux, la présence de moutons sur le campus et les fuites de fluides frigorigènes, liées à l'utilisation de systèmes de climatisation.

Chauffage au gaz

Les bâtiments M, N et O sont chauffés au gaz.

COLLECTE DE DONNEES

Transmises par les Services généraux de l'ECN, les étudiant-es de l'option ont eu accès aux consommations d'énergies de l'ECN. Celles de gaz sont notamment renseignées et détaillées. Ainsi, la consommation de gaz naturel de l'ECN sur l'année 2018 a été de 255 494 kWh.

HYPOTHESES DE CALCUL

Cette quantité d'énergie a ensuite été convertie en volume de gaz grâce au coefficient de conversion fourni par GRDF (Gaz Réseau Distribution France) selon les communes¹. Passer par le volume de gaz permet d'utiliser un coefficient de conversion volume – émissions spécifique à la ville de Nantes : le gaz est de type H (haute pression) et son coefficient de conversion est de 11,3.

Enfin, pour terminer le calcul, le FE de l'ADEME « Gaz naturel, Type H, France continentale sauf nord (2017) » de 2,53 kgCO₂/m³ a été utilisé.

LIMITES

Le choix de passer par un volume de gaz plutôt qu'utiliser directement le FE de l'ADEME « Gaz naturel - 2015 - mix moyen - consommation » a été effectué pour obtenir un résultat plus local, qui se rapproche donc plus de la réalité. Cela ajoute cependant une imprécision, due au rajout d'une étape supplémentaire dans le calcul

Véhicules appartenant à l'Ecole

L'ECN possède des voitures de service, qui sont utilisées très fréquemment.

COLLECTE DE DONNEES

Transmises par les Services généraux de l'ECN, des informations relatives aux voitures de service de l'ECN ont été reçues : immatriculation, motorisation, date de mise en circulation, dernier kilométrage connu et la date de ce dernier kilométrage. Pour chacune des six voitures, il a d'abord été calculé le temps d'utilisation – c'est-à-dire l'ancienneté – de la voiture : il s'agit de la différence entre la date du dernier kilométrage connu et celle de mise en service du véhicule.

Ensuite, une distance moyenne parcourue par année a été calculée grâce au dernier kilométrage connu et au temps d'utilisation calculé précédemment.

La puissance fiscale de chacun des véhicules (en chevaux) a également été relevée sur les cartes grises des voitures. Une différenciation entre voiture essence et voiture diesel a été effectuée.

¹ <https://www.grdf.fr/particuliers/coefficient-conversion-commune>

HYPOTHESES DE CALCUL

La puissance fiscale et le type de motorisation (essence ou diesel) ont permis d'utiliser des FE spécifiques pour chaque véhicule bien que la différence entre ces facteurs ne soit pas très significative. Selon l'ADEME, une « voiture particulière - puissance fiscale]0-5CV], motorisation gazole » émet 0,23 kgCO₂/km alors qu'une « voiture particulière - puissance fiscale [6-10CV], motorisation gazole » émet 0,261 kgCO₂/km.

LIMITES

La limite principale de ce critère est le calcul d'une distance moyenne parcourue par année. En effet, il aurait été plus précis d'utiliser les distances réelles parcourues chaque année mais ces données sont inaccessibles. Une évolution temporelle de ce critère est donc impossible en l'état.

Pour affiner cette mesure, une approche différente aurait pu être envisagée : les émissions auraient pu être calculées à partir de la consommation de carburant de chaque véhicule. Les facteurs d'émissions liés à la combustion d'essence ou de gazole sont plus fiables (incertitude de 5% au lieu de 25%). Toutefois, la part de ce critère dans le BC total étant faible, un travail d'affinement n'était pas nécessaire.

Ecopâturage : moutons

La Commission Développement Durable avait, en 2016 et 2017, expérimenté les services de moutons pour la tonte, ce qui a un impact positif sur le BC, mais surtout sur la biodiversité que l'on peut trouver dans les espaces verts [Commission Développement Durable, 2017]. Cette solution a été pérennisée et aujourd'hui l'ECN accueille neuf moutons qui paissent sur le campus, dans des zones non tondues qui leur sont dédiées. Les moutons étant des ruminants, ils émettent du méthane, qui est un GES.

COLLECTE DE DONNEES

La seule donnée fournie par l'ECN a été le nombre de moutons, c'est-à-dire 9.

HYPOTHESES DE CALCUL

Les émissions de méthane du mouton par an ont été trouvées sur le site Agri-Réseau (8 kgCH₄/an/mouton) [Chouinard, 2002]. Cette quantité de méthane a été convertie en équivalent CO₂ grâce au PRG à 100 ans « CH₄ biogénique - PRG à 100 ans (2017) » fourni par l'ADEME et valant 28 kgCO₂/kgCH₄b.

LIMITES

Le chiffre d'émissions de méthane par les moutons ne provient pas de la base de données de l'ADEME, contrairement aux autres données.

Il est important de signaler que ce chiffre n'abaisse pas le BC 2018 dans l'absolu. L'entretien des espaces verts serait néanmoins plus émissif si le travail des moutons avait été fait de manière classique, d'après la Commission Développement Durable [Commission Développement Durable, 2017].

Moteurs thermiques expérimentaux

L'équipe de recherche sur la Thermodynamique des Systèmes Moteurs (TSM) travaille sur l'optimisation des moteurs thermiques dans le but de réduire leur consommation et les émissions de polluants. Elle a donc besoin de faire fonctionner ces moteurs afin de procéder à des expérimentations.

COLLECTE DE DONNEES

Les données ont été fournies par un membre de l'équipe. Il a fourni la consommation des moteurs sur l'année 2018, en litres de gasoil et d'essence.

HYPOTHESES DE CALCUL

La consommation des moteurs en 2018 était la suivante :

- Essence : 900 L
- Gasoil : 4 000 L

L'estimation n'étant pas donnée au litre près, il a été estimé qu'une incertitude de 10 % sur les volumes était suffisante, vu les volumes impliqués. Le FE "ADEME – France continentale – Essence supercarburant sans plomb" valant 2,8 kgCO₂eq/L a été utilisé pour l'essence et pour le gazole le FE "ADEME – France continentale – Gazole" valant 3,16 kgCO₂eq/L a été utilisé.

LIMITES

Des générateurs d'électricité produisent de l'électricité grâce aux moteurs. I-els sont raccordés au réseau électrique de l'école via deux TGBT (Tableau général basse tension). Cependant l'énergie produite par la combustion des carburants représente environ 1% de l'électricité consommée par l'ECN, qui représente à son tour 1% du BC total. La production d'électricité de ces générateurs a donc été négligée.

Le Tableau 3 permet de détailler les calculs effectués pour aboutir au résultat énoncé précédemment. Ce calcul n'inclut pas les rendements des moteurs, générateurs et TGBT.

Tableau 3 : Détail des calculs (PCI et masse volumique fournis par l'ADEME)

Carburant	PCI (GJ/t)	ρ (t/m ³)	V (m ³)	Énergie carburant (kWh)	Électricité totale École (kWh)	% du total
Gazole	42	0,845	4	39 433,3	3 360 292	1%
Essence	44	0,755	0,9	8 305,0		

Fuites de fluides frigorigènes

L'ECN possède dans ses locaux plusieurs appareils de climatisation. I-els sont utilisés dans les activités de recherche, pour les serveurs informatiques et pour le confort dans une partie du bâtiment

A. Ces appareils présentent des fuites – il n'est en effet pas possible d'avoir des appareils totalement étanches. Le taux de fuite augmente avec le temps. Les fluides frigorigènes sont des GES avec des Potentiels de Réchauffement Global sur 100 ans très élevés (par exemple, pour le fluide R410A, $PRG_{R410A}=1\ 924$), donc même si le taux de fuite est faible, le fluide libéré a un fort impact.

COLLECTE DE DONNEES

Un premier travail de recensement des appareils de climatisation a été effectué auprès du responsable de la maintenance. Une partie de l'entretien des appareils de climatisation est effectuée par un prestataire de service. Ils sont recensés dans un document (tableur) détenu par le responsable de la maintenance. Ce tableur indique la localisation des appareils de climatisation, leur modèle, le fluide frigorigène utilisé, la quantité de fluide et l'état de l'appareil. Les autres appareils ne sont pas recensés. Une visite des laboratoires a donc été effectuée pour recenser ces appareils et vérifier les données du tableur.

HYPOTHESES DE CALCUL

La quantité de fluide par appareil était notée dans le tableur. Si elle n'était pas précisée, elle a été déterminée grâce à la documentation technique des appareils. Enfin, si le modèle n'était pas précisé, une quantité moyenne de l'ADEME a été utilisée en fonction du type d'appareil.

En l'absence de suivi précis de l'entretien des appareils, un taux de fuite moyen d'appareil de climatisation de l'ADEME (15% et 6%) a été utilisé pour calculer la quantité de fluide totale qui fuit chaque année.

Le Potentiel de Réchauffement Global à 100 ans a été utilisé conformément à la méthodologie de l'ADEME pour convertir les kg de fluide frigorigène (R410A et R407C) en kg de CO₂ équivalent. Cela correspond à des facteurs d'émissions de 1 924 kgCO₂eq/kg pour le fluide R410A et 1 624 kgCO₂eq/kg pour le fluide R407C.

LIMITES

De nombreuses données sont manquantes : cela empêche de calculer ce poste d'émission précisément. Certains appareils de climatisation n'ont pas été comptabilisés, notamment ceux utilisés dans le bâtiment S (certains laboratoires disposent de leurs propres serveurs). Cependant, il a été estimé qu'ils représentent une faible part (10%) du nombre total d'appareils. L'utilisation d'un taux de fuite moyen est peu précise, il faudrait avoir les données précises de rechargement, ou alors tenir compte de l'état de l'appareil.

2.2.4 Calcul de l'impact carbone des sources indirectes liées à l'énergie

L'ECN utilise plusieurs sources d'énergie pour son fonctionnement : de l'électricité et de la chaleur, provenant du réseau de chaleur fourni par ERENA.

Consommation d'électricité

COLLECTE DE DONNEES

Les consommations d'énergie transmises par les Services généraux de l'ECN incluent la consommation d'électricité. Elle est estimée à 3,36 GWh.

HYPOTHESES DE CALCUL

L'ECN a souscrit un contrat « 100 % énergies renouvelables » avec EDF. Un facteur d'émissions donné par EDF (17 gCO₂eq/kWh) a été utilisé.

LIMITES

Le FE utilisé ne correspond pas précisément au contrat d'électricité de l'ECN. EDF pourrait fournir le FE spécifique en échange d'une prestation de l'ordre du k€ mais cette dépense n'a pas été jugée nécessaire ni souhaitable.

Réseau de chaleur

COLLECTE DE DONNEES

Les consommations d'énergie ont également permis de connaître la consommation de chaleur de l'ECN, précise au MWh près. La consommation annuelle en 2018 est de 2,93 GWh.

HYPOTHESES DE CALCUL

Le FE du réseau de chaleur en 2018 a été fourni directement par ERENA (filiale d'ENGIE Réseau) qui gère le réseau de chaleur et avec qui un contrat a été souscrit. Ce FE est fixé à 58 gCO₂/kWh.

LIMITES

Les incertitudes liées au calcul de ce critère sont a priori faibles ; la plus grosse incertitude est celle liée à la consommation.

2.2.5 Calcul de l'impact carbone des constructions et bâtiments

COLLECTE DE DONNEES

La majorité des données relatives aux constructions du campus proviennent du Schéma Pluriannuel de Stratégie Immobilière (SPSI), qui a été établi en 2010, puis mis à jour régulièrement (après la construction des bâtiments T et U par exemple). Il a été fourni par la direction des services généraux. Il s'agit d'un document de 87 pages qui contient, entre autres, un état des lieux du patrimoine immobilier de l'ECN.

Ces données ont été complétées par des données financières, fournies par la direction des affaires financières. En effet, des travaux récents ont été effectués dans les bâtiments. L'impact de ceux-ci a donc été pris en compte à partir des sommes dépensées pour leur réalisation.

Il a également été choisi, ainsi qu'expliqué dans la partie 2.1.4, de prendre en compte l'impact lié à la mise en place du site SEM-REV ; "le SEM-REV est un site d'essais en mer, [...] géré par le Laboratoire de recherche en Hydrodynamique, Énergétique et Environnement Atmosphérique (LHEEA) de Centrale Nantes et du CNRS dans l'objectif d'aider les industriels à développer des nouvelles capacités de production d'énergie", répondant-e au "défi du développement des Energies Marines Renouvelables en France" [SEM-REV, 2017].

L'impact de la mise en place de ce site d'essai a été calculé par Yves Pérignon, chercheur-se au LHEEA.

HYPOTHESES DE CALCUL

Pour les constructions, l'ADEME distingue les bâtiments en fonction de leur matériau de construction et/ou de leur utilisation et fournit des FE pour chacun des types de bâtiments distingués (Tableau 4).

Tableau 4 : facteurs d'émissions utilisés pour les constructions

Source FE	Valeur	Unité
ADEME – France continentale – Établissement d'enseignement - structure	440	
ADEME – France continentale – Bâtiment de bureaux	650	kgCO ₂ eq/m ²
ADEME – France continentale – Bâtiment industriel – Structure Béton	825	kgCO ₂ eq/m ²
ADEME – France continentale – Bâtiment industriel – Structure métallique	275	kgCO ₂ eq/m ²
ADEME – France continentale – Parking classique – Bitume	73	kgCO ₂ eq/m ²
ADEME - Achats de services - Ratios monétaires - Construction	360	kgCO ₂ eq/k€

Pour chaque bâtiment de l'ECN (numérotés de A à U en omettant le Q et le R), un FE a été attribué en fonction de ce qui lui correspondait le plus (Tableau 5).

Il a été choisi d'amortir l'impact de l'ensemble des bâtiments sur 50 ans et celui des parkings sur 40 ans. Pour les travaux de rénovation, a été utilisé le ratio monétaire "Service - Construction", de 360 kCO₂eq/k€ HT (Tableau 4). Ces travaux (Rénovation du bâtiment E, réfection de peintures ou tuyaux) ont été amortis sur 20 ans.

¹ La SHOB est la Surface Hors Œuvre Brute mesurée qui comprend tous les niveaux d'un étage sans notion de hauteur ni d'accessibilité mais de laquelle sont déduits les pylônes et canalisations, les terrasses non couvertes ainsi que les vides et les espaces descendants. La SHOB est la surface de référence du constructeur du bâtiment.

La SHON est la surface Hors Œuvre Nette mesurée d'après la SHOB mais dont sont décomptées les surfaces des sous-sols et des combles non aménageables, les surfaces non closes et les aires de stationnement. La SHON est la surface de référence des dossiers d'urbanisme et des permis de construire. [Regoin, 2019]

L'installation du site SEM-REV a consisté en la mise en place d'une éolienne flottante [SEM-REV, 2017]. La durée de vie d'une éolienne étant de 20 ans, l'impact a été amorti sur cette durée.

Tableau 5 : Caractérisation des bâtiments de l'ECN

Bât.	FE attribué	Superficie (m ² SHON)	Date construction
A	Bâtiments de bureaux	2800	1978
B	Enseignement (béton)	2130	1978
C	Enseignement (béton)	1445	1978
D	Enseignement (béton)	3399	1978
E	Enseignement (béton)	2828	1978
F	Enseignement (béton)	2193	1978
G	Bâtiments industriels métal	5064	1978
H	Bâtiments industriels métal	1250	1978
I	Bâtiments industriels métal	1530	1978
J	Bâtiments industriels métal	2447	1978
L	Bâtiments industriels béton	4062	1989
M et N	Bâtiments industriels métal	2153	1982
O	Bâtiments industriels métal	864	1982
P	Bâtiments industriels métal	1296	1985
S	Bâtiments de bureaux	5308	1999
T	Bâtiments de bureaux	2845	2013
U	Bâtiments industriels béton	1203	2018

LIMITES

La durée d'amortissement d'une immobilisation peut être choisie selon deux critères : la durée d'amortissement comptable ou la durée de vie. La durée d'amortissement comptable est pratique, car elle est fixée à l'avance (avant la construction du bâtiment) et permet de faire un lien entre comptabilités financière et carbone. Il est habituellement d'usage de prendre une durée d'amortissement comptable de 20 ans à 50 ans pour le bâti¹ pour des raisons financières et comptables, bien qu'elle ne reflète pas la durée de vie effective. Cette durée ne s'appuie donc pas sur les caractéristiques propres du bâtiment.

¹ Voir les taux d'amortissement indiqués dans le bulletin officiel des finances publiques : <https://bofip.impots.gouv.fr/bofip/4520-PGP>

C'est pourquoi il a été choisi d'amortir les émissions sur la durée de vie, ce qui permet de connaître le coût carbone du bâti par année d'utilisation. Une grande majorité des bâtiments a été construite dans les années 1978-1982. D'après le SPSI, il n'y a pas de travaux importants programmés sous cinq ans (à l'exception du bâtiment C, dont la démolition va commencer dans le courant de l'année 2020 ou 2021). La durée de vie des bâtiments a donc été fixée à 50 ans avec une incertitude de 20% (i.e. de 40 ans à 60 ans).

Le BC du terrain de sport synthétique n'a pas pu être effectué par manque de données. Il aurait fallu avoir *a minima* la quantité de matériaux utilisés pour sa construction et sa durée de vie, mais cette donnée était indisponible.

L'utilisation d'un facteur monétaire pour les travaux de rénovation rend le résultat peu précis.

Les calculs pour site SEM-REV ont été effectués par un chercheur-se du LHEEA. Les hypothèses, limites et incertitudes n'ont pas été fournies, il n'est donc pas possible d'apporter plus de précisions à ce sujet. Il a été considéré que les résultats étaient connus en ordre de grandeur et une incertitude de 80 % a été associée à ce calcul, ainsi que préconisé par la méthodologie de l'ADEME (voir partie 2.2.1 page 49).

Enfin, l'utilisation de catégories générales pour les bâtiments génère une grande incertitude : il est difficile d'attribuer un FE qui corresponde parfaitement à chaque bâtiment. De plus ces FE ont intrinsèquement une grande incertitude, car i-els proviennent de moyennes réalisées sur des bâtiments différents.

2.2.6 Calcul de l'impact carbone des repas des usager-es

Pour quantifier l'impact carbone de l'alimentation, il a été considéré que tous les repas du midi des usager-es (étudiant-es et permanent-es) entraient dans le BC de l'ECN (voir partie 2.1.4 « Adaptation de la méthode Bilan Carbone de l'ADEME », page 35).

COLLECTE DE DONNEES

Il n'est *a priori* pas possible de savoir de façon certaine ce que les différent.es acteur-ices de l'ECN consomment le midi. Pour collecter les informations nécessaires au calcul du BC, un sondage a été rédigé, en anglais et en français. Ce sondage compte un total de 14 questions (hors talon sociologique¹) dont 4 questions destinées uniquement aux usager-es du restaurant universitaire (RU). Le questionnaire a été diffusé par mail et par Facebook sur le groupe de promotion le lundi 13 janvier 2020 vers midi. Soumettre une contribution était possible jusqu'au 22 janvier 2020 inclus.

Dans l'ordre d'affichage, les questions (numéro(s) entre parenthèses) concernent :

- Le régime alimentaire des personnes interrogées (1),
- L'impact environnemental personnel lié à l'alimentation, selon les personnes elles-mêmes (2),
- Le dernier repas du midi en semaine (lieu et source de protéines)(3 et 4),
- Les fréquences de consommation au repas du midi en semaine (lieux et sources de protéines) (5 et 6),

¹ Les questions dites de signalétique ont eu ici pour objet l'activité, le genre, la tranche d'âge et la nationalité.

- La vaisselle jetable du *food-truck* CROUS (7),
- Les fréquences de consommation des différentes sources de protéines au repas du midi en semaine au restaurant universitaire (RU) (9),
- Les éventuels leviers d'incitation à la consommation de plats végétariens au RU (10),
- Le gaspillage alimentaire au RU (11 et 12),
- Les critères de choix principaux à l'achat de produits alimentaires (13),
- Les leviers d'incitation à l'achat de produits à faible empreinte écologique (14).

Pour généraliser les résultats du sondage à l'ensemble de la population de l'ECN, les effectifs d'étudiant-es et de permanent-es ont été demandés. I-els ont été fournis respectivement par la direction de la formation et par le service des ressources humaines. Ces données sont disponibles en annexe : voir « Effectifs 2018 de l'ECN ».

Ont ainsi été récupérés les effectifs des étudiant-es au cours de l'année scolaire 2018-2019 et les effectifs de permanent-es au 31 décembre 2018. Ces données ont également permis d'obtenir les répartitions hommes-femmes des différentes catégories de population.

HYPOTHESES DE CALCUL

Le sondage a été réalisé début 2020. Il a néanmoins été considéré que les résultats de l'enquête étaient transposables à l'année 2018, pour réaliser le BC total et que le nombre d'étudiant-es restait stable entre l'année administrative 2018, date du BC et l'année scolaire 2018-2019 (à laquelle correspond le nombre d'étudiant-es présents sur le campus).

Cinq contributions manifestement fausses ou très contradictoires ont été écartées de l'analyse des résultats. Au total 462 contributions valides au questionnaire, dont 30 dans sa version anglaise ont été comptées. Le Tableau 6 décrit la population interrogée.

Tableau 6 : Echantillon du sondage sur les habitudes alimentaires

Nombre total de contributions : 462, dont :					
élèves-ingénieur-es	259 [56%]	moins de 25 ans	292 [63%]	femmes	160 [35%]
(femmes, hommes)	(87, 172)	25 – 35 ans	84 [18%]	hommes	290 [63%]
élèves en master	21 [4,5%]	35 – 45 ans	36 [7,8%]	autres identités	12
élèves apprenti-es	21 [4,5%]	45 – 55 ans	32 [6,9%]	de genre ou ne	souhaitant pas
élèves en doctorat	17 [3,7%]	plus de 55 ans	12 [2,6%]	répondre	
personnel académique	92 [20%]	Ne souhaite	6		
personnel non académique	52 [11%]	pas répondre			

La Figure 20 présente les effectifs selon le genre ; la Figure 21 présente les effectifs parmi les permanent-es en fonction de la tranche d'âge. Ces deux graphiques ne prennent pas en compte les catégories « autres identités de genre » (3 personnes) ou les personnes n'ayant pas souhaité renseigner leur genre (9 personnes) ou leur âge (6 personnes).

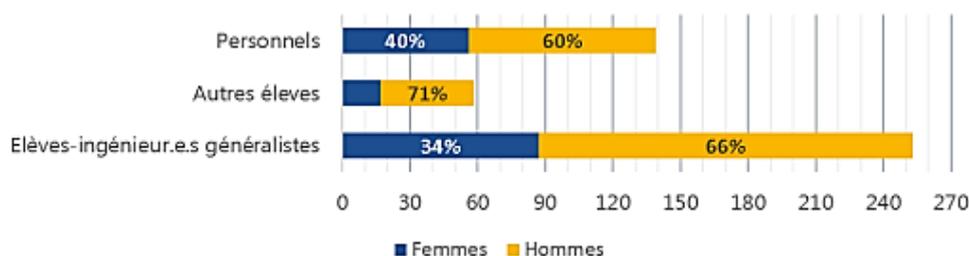


Figure 20 : Effectifs totaux selon le genre (effectif total : 450 personnes)

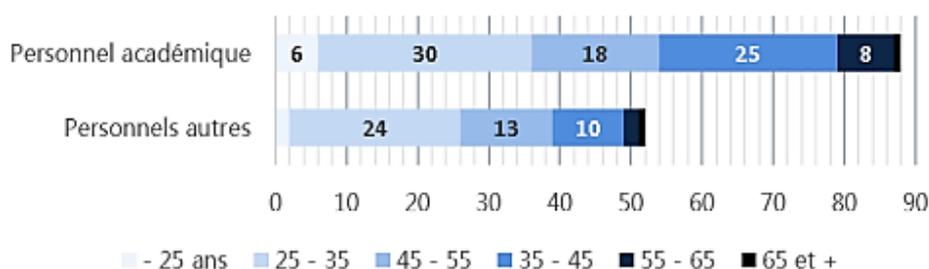


Figure 21 : Effectifs parmi les permanent-es selon la tranche d'âge (effectif total : 140 personnes)

Pour l'analyse des résultats, ont été regroupés dans la catégorie « Élèves » toutes les personnes des quatre premières catégories ci-dessus, à savoir les élèves ingénieurs, les élèves en Master, les élèves apprentis et les élèves en doctorat (318 personnes). Ont été regroupés dans la catégorie « Personnel » les deux dernières, c'est-à-dire les permanent-es académiques et non académiques (144 personnes). Lorsque la différence entre les deux groupes n'est pas significative, une catégorie globale « Ensemble » regroupant les 462 répondant-es est utilisée.

L'outil utilisé pour la diffusion du sondage n'a pas permis d'adapter le comportement du questionnaire en fonction des réponses des personnes. Certaines questions nécessitaient de donner une fréquence de consommation (c'est-à-dire combien de fois par semaine tel comportement était répété). Le nombre de jours ouvrés dans une semaine étant de cinq, la somme de ces fréquences ne pouvaient pas excéder les cinq jours. Or, pour la question 6, plus d'un tiers des réponses donnaient des fréquences supérieures à cinq jours. Dans ces cas, il a été supposé que la personne interrogée avait classé les types de repas selon une échelle différente mais transposable. Pour en déduire des fréquences valides, les réponses ont été ajustées avec une règle de trois pour obtenir un total de cinq jours.

La fréquence « Moins d'une fois par semaine » a été fixée de façon arbitraire comme égale à 0,5 fois par semaine, soit une fois toutes les deux semaines.

L'ensemble des résultats est détaillé dans la partie 3.2.5 « Impact carbone des repas des » page 112 du présent rapport.

Afin d'estimer le BC total lié aux repas du midi consommés par les usager-es de l'ECN, seront utilisées les hypothèses ci-après :

- Il a été supposé que tous les effectifs sont présents cinq jours par semaine et consomment un repas le midi chaque jour de la semaine, imputable au BC de l'ECN.
- Les contributions concernant les habitudes alimentaires des personnes interrogées (questions 5 et 6) sont considérées comme fiables. Elles coïncident bien avec la vérification effectuée sur le dernier repas consommé dans les questions 3 et 4 (cf. partie 3.2.5).

Le groupe « Élèves », hormis les doctorant-es, est considéré comme présent lors d'une année administrative 39 semaines, ce qui correspond à 52 semaines ouvrables auxquelles ont été retranchées 13 semaines de vacances (vacances scolaires : été 8 semaines, Toussaint 1, Noël 2, hiver 1, printemps 1). Cela correspond à 190 jours de présence, en comptant 5 jours fériés. D'après les données fournies par la direction de la formation de l'ECN sur les effectifs 2018-2019, sont dénombré-es quelques 1600 étudiant-es (hors doctorant-es) présent-es sur le campus.

Les élèves en deuxième et troisième année du parcours généraliste (EI2 et EI3) quittent l'ECN à partir du mois d'avril, soit 12 semaines de présence en moins. Les données fournies par la direction de la formation précisent que 335 EI2 et 404 EI3 sont inscrit-es. Il a été considéré que sur les 404 EI3 inscrit-es seuls 180 étaient présent-es sur le campus. En effet, tous les élèves de première et deuxième années inscrit-es ont été considéré-es comme présent-es sur le campus, soit respectivement environ 400 et 335 étudiant-es. Or, seuls 915 élèves-ingénieur-es en parcours généraliste sont présent-es sur le campus, ce qui conduit au nombre d'EI3 proposé.

Le groupe « Personnel » a été considéré comme présent lors d'une année administrative 47 semaines (52 semaines ouvrables auxquelles ont été retranchées 5 semaines de congés), c'est-à-dire 230 jours de présence, en comptant 5 jours fériés. D'après les données fournies par le service des relations humaines, l'ECN compte environ 350 personnes dans cette catégorie.

Les doctorant-es (environ 390 personnes) entrent dans le groupe des « Élèves » mais sont considéré-es présents sur le campus 230 jours par an, comme les permanent-es.

Le calcul de l'impact carbone de l'alimentation part de l'hypothèse que l'impact carbone lié à l'alimentation est principalement dû à la source de protéine consommée. C'est ce motif qui a conduit à demander, dans le sondage, les fréquences de consommation de différentes sources de protéines. Ces fréquences ont été converties en pourcentage de repas consommés, en fonction de la source de protéines. Sont distinguées, dans le sondage, les viandes rouges (bœuf, agneau) des viandes blanches (porc, volaille, poisson).

Ainsi, d'après les résultats obtenus à la question 6 (cf. partie 3.2.5), il est possible de dresser le Tableau 7.

Tableau 7 : Proportion des repas pris en fonction de la source de protéine choisie

	Bœuf, agneau...	Porc	Volaille	Poisson	Végétarien ou végétalien
Élèves	14,1 %	12,1 %	19,2 %	10,2 %	44,4 %
Personnels	14,1 %	13,6 %	19,9 %	12,5 %	39,9 %

Chacun des trois types de repas (repas à base de viande rouge, viande blanche ou sans viande) est associé à une donnée de la Base Carbone de l'ADEME, qui indique une grandeur de CO₂eq. Le facteur d'émissions choisi pour les repas à base de viande rouge est le facteur d'émissions de l'ADEME "Repas - classique (avec bœuf)" fixé à 6,29 kgCO₂eq/repas. Le facteur d'émissions choisi pour les repas à base de viande blanche est le facteur d'émissions "Repas - classique (avec poulet)" de 1,35 kgCO₂eq/repas. Enfin pour les repas sans viande il a été pris 0,51 kgCO₂eq/repas, ce qui correspond à un "Repas - végétarien".

L'empreinte carbone des repas ainsi déduite est précisée dans le Tableau 8.

Tableau 8 : Nombre de déjeuners correspondants sur un an, en fonction des effectifs et du nombre de jours de présence

Nombre de repas à base de :	bœuf, agneau ...	porc	volaille	poisson	(végétariens ou végétaliens)	Nombre total de repas
Élèves et doctorants	51296	44020	69850	37108	161526	363800
Personnels	18161	17517	25631	16100	51391	128800
Empreinte par repas (kgCO ₂ eq)	6,29	1,35	1,35	1,35	0,51	
Empreinte totale (tonnes CO₂eq)	437	83	129	72	109	

L'empreinte carbone totale des repas du midi consommés par les usager-es de l'ECN est d'environ **828 tCO₂eq pour l'année 2018**.

LIMITES

Les limites du calcul de l'impact carbone de l'alimentation résident à la fois dans les hypothèses prises et dans la façon dont les données ont été collectées, c'est-à-dire à travers un questionnaire dont les données ont été généralisées à l'ensemble de la population de l'ECN.

Comme tout sondage, la première limite de ce type d'étude aisée à mettre en œuvre est la fiabilité des personnes interrogées. Les données déclarées par les personnes ne peuvent être vérifiées et sont toujours considérées vraies.

Par ailleurs, les personnes peuvent avoir tendance à surestimer leur engagement, à donner une meilleure image de leurs pratiques par rapport à leurs pratiques réelles. Les résultats de l'enquête sont donc à considérer avec précaution.

Une autre limite est inhérente à l'outil utilisé (en l'occurrence Google Forms). En effet celui-ci ne permet pas d'adapter le comportement du questionnaire en fonction des réponses des personnes et

des réponses a priori contradictoires ont pu être saisies. Cependant, il est intéressant de noter qu'aucune personne n'a répondu manger non végétarien en s'étant déclaré au début végétarien ou végétalien.

Par ailleurs, la date à laquelle le sondage a été publié peut induire un biais. Il a été diffusé le lundi 13 janvier vers midi. Les questions concernant le dernier repas portant sur le dernier repas en semaine, certaines réponses ont pu perdre en fiabilité. Par ailleurs, l'emploi du temps de chacun-e étant variable en fonction des jours de la semaine, le fait que trois quarts des contributions aient été faites ce lundi 13 janvier (353 sur 462) aurait pu biaiser ces questions 3 et 4. Toutefois, les résultats de ces deux questions concordent avec celles des questions 5 et 6 portant sur les habitudes générales (cf. partie 3.2.5, page 112).

Une autre source de biais réside dans la constitution de l'échantillon des personnes interrogées : il est possible que les participant-es soient davantage sensibles aux questions écologiques, du fait du sujet de l'étude et de l'organisation qui la diffuse (l'option Neutralité Carbone). Par ailleurs, une légère surreprésentation de femmes parmi les élèves-ingénieur-es peut être remarquée dans l'échantillon (34 %, alors que parmi la population totale de l'ECN, le chiffre est de 25 %). La taille relativement conséquente de l'échantillon par rapport aux effectifs de l'École (462 répondant-es pour 2 550 personnes) permet de tempérer le risque de mauvaise représentation des usager-es de l'ECN.

Certaines personnes retournent à leur domicile pour le déjeuner. Dans ce cas, la catégorie concernée est « Plat maison ». Or, cette catégorie ne distingue pas le cas où un plat cuisiné à domicile serait consommé à l'ECN et celui où la personne mangerait à son lieu de résidence. A l'avenir, faire cette distinction pourrait apporter une information complémentaire utile.

Parmi les hypothèses qui pourraient conduire à des incertitudes, il est possible de citer l'hypothèse sur laquelle repose l'ensemble du calcul, c'est-à-dire le fait que l'impact carbone lié à l'alimentation est principalement dû à la source de protéine consommée. La provenance des produits et leur saisonnalité ont été négligées. Cependant cette hypothèse semble conduire à une incertitude faible [Poore, 2018].

L'hypothèse en revanche qui peut être contestée est le choix des FE. En effet, toutes les viandes rouges ont été assimilées à du bœuf. Les viandes blanches ont été assimilées à du poulet. Ce choix a été effectué faute d'autres données mais conduit à des incertitudes non négligeables.

Une autre hypothèse repose sur le nombre de permanent-es. En effet, il a été considéré que l'ensemble des permanent-es étaient présents pendant 230 jours ouvrés. Utiliser un nombre d'ETP (Équivalent Temps Plein) plutôt que le nombre de permanent-es total pourrait permettre d'ajuster le temps de présence sur le campus.

Enfin, les hypothèses sur les jours de présences des étudiant-es et des permanent-es ne sont pas très fines. Par exemple, les élèves-ingénieur-es de spécialité (ITII) sont alternant-es, i-els ne sont donc pas toujours présent-es sur le campus.

2.2.7 Calcul de l'impact carbone des déplacements

Cette sous-partie regroupe plusieurs critères du BC défini par l'ADEME (voir Tableau 1). Pour mieux expliquer la méthode et réaliser l'analyse, il a été choisi de ne pas suivre le format par « critères » adopté

dans le BC. Les déplacements rassemblent les critères suivants : « Déplacements professionnels » (critère 13 du BC), « Déplacement de visiteur-ses et de client-es » (critère 17 du BC) et « Déplacements domicile-travail » (critère 23 du BC).

En effet, les calculs et les analyses ont été effectués en fonction des données à disposition et des regroupements par thématiques. Les données provenaient de la direction de la formation et de la direction des relations internationales (Déplacements liés à la formation), du sondage mobilité (Déplacements pendulaires), des prestataires de voyage (Déplacement des permanent-es et des personnes extérieures) et du bureau de élèves (Déplacements liés aux Forums prépa). La méthode et l'analyse ont donc été subdivisées en quatre parties, en lien avec ces données.

Il est à noter que dans le BC de l'ECN, le critère 13 (« Déplacement professionnels ») comprend à la fois les déplacements des permanent-es dans le cadre de leurs missions et les déplacement liés à la formation des étudiant-es ; ont également été ajoutés les déplacements liés aux forums des classes préparatoires.

Déplacements liés à la formation des étudiant-es

La formation des étudiant-es impose un certain nombre de déplacements. En effet, sont obligatoires trois stages pour les élèves-ingénieur-es généralistes. Par ailleurs, pour valider son parcours d'ingénieur-e et obtenir son diplôme, il est obligatoire de faire un séjour de minimum 21 semaines à l'étranger.

L'ECN accueille de plus un certain nombre d'élèves internationaux-ales en double-diplôme et en master et propose des partenariats avec des écoles et universités nationales et internationales, permettant à ses étudiant-es de réaliser des doubles-diplômes (DD) et semestres d'étude (SE) en France ou à l'étranger.

Les étudiant-es ont également l'opportunité, s'i-els le souhaitent, de réaliser une année de césure entre deux années d'enseignement.

L'ensemble de ces déplacements liés à la formation ont été pris en compte pour le calcul du BC.

COLLECTE DE DONNEES

Deux bases de données ont été nécessaires pour calculer cet impact, à savoir les lieux où s'effectuent les doubles-diplômes et séjours d'étude et les lieux où s'effectuent les stages obligatoires et stages de césure. Ces bases ont été récupérées respectivement auprès de la Direction des Relations Internationales (DRI) et de la Direction de la Formation (DF).

HYPOTHESES DE CALCUL

Le Bilan Carbone étant réalisé pour l'année 2018, les données utilisées sont celles de l'année scolaire 2018-2019. Dans le calcul sont traités de manière identique les mobilités entrantes (élèves venant étudier à l'ECN dans le cadre d'un DD) et sortantes (étudiant-es de l'ECN allant étudier dans une autre école ou université dans le cadre d'un échange). Ont été pris en compte dans le calcul les DD (Double-diplômes)

entrants, les DD sortants, les Semestres d'Études (SE), les Masters et l'ensemble des stages (CME, STING, Césure, TFE, ...).

Pour la période donnée, il a été considéré que chaque élève mentionné-e dans la base de données, quel que soit son type de mobilité, effectuait un aller-retour de son pays d'origine ou de destination à Nantes, en avion. Pour les SE, les stages et les DD en un an, la quantité d'un aller-retour sur l'année est justifiée puisque la mobilité débute et se termine durant l'année scolaire 2018-2019. Pour les DD et les Masters en 2 ans, il fallait prendre en compte le trajet aller de ceux débutant à la rentrée 2018 et le trajet retour de ceux ayant débuté à la rentrée 2017. En première approximation, afin de simplifier les calculs et vu que le nombre d'élèves internationaux variait peu, le trajet retour des DD/Masters début 2017 a été remplacé par le trajet retour des DD/Masters début 2018.

Pour chaque trajet, la distance parcourue par l'élève concerné-e pour arriver à destination a été prise comme la distance, à vol d'oiseau, entre la capitale de leur pays d'origine et celui de leur pays d'arrivée (Paris pour la France). Le trajet Nantes-Paris ou Paris-Nantes est quant à lui négligé. Est donc également négligé l'impact des voyages intra-France, ce qui concerne uniquement 2 élèves en Masters mais aussi et surtout la grande majorité des stages. Ce choix a été fait pour plusieurs raisons.

Tout d'abord, la méthode de calcul qui a été choisie pour évaluer la distance entre 2 villes est basée sur les coordonnées géographiques des 2 villes et les fichiers existants sur Internet renseignent uniquement sur celles des capitales ;

Ensuite, les fichiers fournis par la DRI référencent seulement les pays d'origine pour les Masters et non les villes d'origine (et uniquement les universités d'origines pour les DD Entrants). De plus, un élève en DD sortant ne part pas forcément de Nantes, tout comme un élève en DD entrant ne part pas forcément de la ville de son université d'origine ;

Pour finir, le train émet environ 100 fois moins de GES que l'avion au km (3,69E-3 kgCO₂eq/passager.km contre 0,293 kgCO₂eq/passager.km pour un avion de 180-250 places pour un trajet entre 0 et 1000 km) et il peut être supposé que les trajets français notamment vers ou partant de Paris (obligatoires pour les trajets internationaux et très nombreux pour les stages) s'effectuent majoritairement en train. Les négliger par rapport à la partie du trajet en avion ou simplement négliger les trajets franco-français pour les stages par rapport aux mobilités internationales en termes d'émission carbone paraît donc convenable.

A propos du choix de l'avion comme moyen de locomotion pour les mobilités internationales, le sondage réalisé sur les habitudes par le groupe de travail sur les mobilités (cf partie 2.2.6) a permis de confirmer, de façon qualitative, cette hypothèse pour l'ensemble des mobilités avec des pays non Européens (sur 74 réponses sur les mobilités hors Europe, toutes les personnes ont utilisé l'avion au moins une fois dans leur trajet). Les moyens de transports utilisés pour se déplacer au sein de l'Europe (pays frontaliers comme non-frontaliers) sont plus variés : pour les pays frontaliers, sur 81 personnes, 36 personnes ont utilisé l'avion dans leur trajet (27 ont utilisé la voiture) contre 27 sur 34 pour les pays non-frontaliers. Ces résultats sont à relativiser compte tenu du faible nombre de réponses sur ce sujet dans le sondage.

Avec ces informations, il a été décidé de conserver l'avion comme moyen de locomotion pour l'ensemble des trajets. En outre, d'après l'ADEME, un voyage en avion est du même ordre de grandeur,

en termes d'impact carbone, qu'un voyage en voiture effectué de façon autosoliste, sur une même distance (0,259 kgCO₂/km pour une voiture particulière, puissance fiscale moyenne, motorisation essence. Ainsi cette hypothèse permet d'avoir un ordre de grandeur correct, même si le voyage a en réalité été effectué en voiture. L'impact serait significativement diminué uniquement si le voyage se faisait en train, en bus ou en covoiturage.

Pour calculer la distance entre deux capitales, les coordonnées de celles-ci ont été utilisées. Elles proviennent du tableau « Coordonnées géographiques des capitales du Monde » présent en annexe. La distance entre les deux capitales a été calculée comme suit, en supposant que la Terre est une sphère, et en considérant la longueur d'un arc de sphère. Soient A et B deux villes de latitudes respectivement a et b, de longitudes respectivement c et d. Alors D la distance à vol d'oiseau entre les deux villes est :

$$D = \cos^{-1}(\sin(a)\sin(b) + \cos(a)\cos(b)\cos(c-d))$$

Avec :

a = lat(A), b = lat(B), c = lon(A) et d = lon(B).

Ces distances ont été multipliées par l'impact d'un trajet en avion, pour une personne. Le Tableau 9 référence les facteurs d'émissions (FE) utilisés.

Tableau 9 : facteurs d'émissions de l'ADEME pour un trajet en avion ou en train

Catégorie	FE (kgCO ₂ eq/passager.km)
TGV, Train Grande Vitesse	3,69E-3
Avion (voyageurs) - 180-250 sièges, trajet de 0-1000 km	0,293
Avion (voyageurs) - 180-250 sièges, trajet de 1000-2000 km	0,216
Avion (voyageurs) - 180-250 sièges, trajet de 2000-3000 km	0,209
Avion (voyageurs) - 180-250 sièges, trajet de 3000-4000 km	0,23
Avion (voyageurs) - 180-250 sièges, trajet de 4000-5000 km	0,307
Avion (voyageurs) - 180-250 sièges, trajet de 5000-6000 km	0,23
Avion (voyageurs) - 180-250 sièges, trajet de 6000-7000 km	0,223
Avion (voyageurs) - 180-250 sièges, trajet de 7000-8000 km	0,202
Avion (voyageurs) - 180-250 sièges, trajet de 8000-9000 km	0,223
Avion (voyageurs) - 180-250 sièges, trajet de 9000-10000 km	0,216

LIMITES

Dans le fichier « Coordonnées géographiques des capitales du Monde », les coordonnées des capitales ont été arrondies au degré, ce qui provoque des incertitudes sur la distance entre les deux villes. La différence occasionnée peut être de 20 à 100 km. Cet écart reste néanmoins négligeable par rapport aux distances considérées. En outre, les incertitudes relatives des facteurs d'émissions (FE) de

l'ADEME sont indiquées à 50 % et donc bien supérieures que celle occasionnée par cet arrondi. Il semble donc peu utile de calculer précisément ces incertitudes sur les distances ; l'estimation est satisfaisante.

Malgré la prise en compte d'un avion identique pour les différentes fourchettes de distance, les facteurs d'émissions de l'avion varient non-linéairement en fonction de la distance ce qui peut paraître peu logique : la méthode de calcul de ces facteurs est expliquée dans le forum du site "base carbone" de l'ADEME¹.

Les déplacements professionnels liés aux périodes en entreprise des alternants, et notamment des élèves de spécialité (ITII) n'ont pas été quantifiés ce qui implique une sous-estimation des émissions liées à ce poste.

Enfin, la méthode omet totalement des observations sur les stages en France : il aurait pour cela fallu avoir des informations concrètes sur les moyens de transports utilisés pour ces stages. De manière identique, les déplacements durant les césures et notamment la validation de l'international au travers de projets personnels n'a pu être évaluée en termes d'impact car la scolarité ne bénéficiait pas d'informations précises sur le sujet, malgré le fait qu'il s'agisse probablement d'un gros poste en termes d'émissions de GES.

Déplacements pendulaires des permanent-es et étudiant-es

Pour se rendre à l'ECN, étudiant-es et permanent-es doivent se déplacer tous les jours, matin et soir, entre leur domicile et le campus.

Pour évaluer l'impact de ces déplacements, dits "déplacements pendulaires", un sondage a été réalisé et diffusé à l'ensemble des usager-es de l'ECN.

COLLECTE DE DONNEES

Le sondage compte un total d'environ 25 questions. Les répondant-es n'avaient cependant pas accès à l'ensemble des questions, certaines étant filtrées notamment en fonction du profil.

Le questionnaire a été diffusé par mail et par Facebook sur le groupe de promotion le jeudi 13 février 2020. Soumettre une contribution était possible jusqu'au 06 mars 2020 inclus. Deux relances ont été effectuées, le 24 février et le 02 mars 2020.

Dans l'ordre d'affichage, les questions (numéro(s) entre parenthèses) concernent :

- Le profil (1 et 2)
 - La catégorie d'utilisateur (1)
 - Les moyens de transport possédés ou à disposition (2)
- Les déplacements quotidiens (3 à 8)
 - La durée du dernier trajet (3)
 - La fréquence et le moyen de transport utilisé pour venir sur le campus (4) et si le moyen est multimodal, les moyens utilisés (4.1)
 - La fréquence des déplacements pour déjeuner à son domicile (5.1) et le moyen de transport utilisé (5.2)

¹ <https://www.basecarbone.fr/forum/viewtopic.php?f=20&t=4009&start=10&sid=6773a88589839eaf54c26b6e85a354c8>

- Les leviers d'action possibles pour encourager à prendre davantage le vélo pour les personnels et doctorant-es (6.1) et pour les étudiant-es, hors doctorant-es (6.2)
- Les leviers d'action possibles pour encourager à prendre davantage les transports en commun (7)
- Le covoiturage (8 et 9)
 - Les leviers d'action possibles pour encourager à faire davantage de covoiturage (9)
 - Des questions complémentaires pour savoir si la personne peut faire du covoiturage et avec qui (9)
- Les installations sur le campus (10 à 12)
 - L'état des parkings de voitures (10)
 - L'état des douches (11)
 - L'état des abris à vélo (12)
- Les déplacements professionnels, catégorie réservée aux permanent-es et doctorant-es (13 à 18)
 - Les personnes qui réalisent effectivement de tels déplacements (13)
 - Les critères du moyen de transport pour ces déplacements (14)
 - Le choix d'une alternative à l'avion (15)
 - Le temps porte-à-porte acceptable pour prendre le train plutôt que l'avion (16)
 - Le choix de la visio-conférence par rapport à un déplacement (17) et le cas échéant la raison pour laquelle la visio-conférence n'est pas privilégiée (17.1)
 - La connaissance et l'avis sur la compensation carbone (18)
- La mobilité internationale – catégorie réservée aux étudiant-es hors doctorant-es (19 à 22)
 - Le nombre de mobilités à l'international (19.1 et 19.2)
 - La zone géographique de ces mobilités (20.1.1, 20.1.2, 20.1.3, 20.1.4, 20.2.1, 20.2.2, 20.2.3, 20.2.4)
 - Le moyen de transport utilisé pour chacune des mobilités (21.1.1, 21.1.2, 21.1.3, 21.1.4, 21.2.1, 21.2.2, 21.2.3, 21.2.4)
 - Le moyen de transport utilisé par les étudiant-es internationaux-ales pour venir en France (22)
- Informations personnelles (23 et 24)
 - L'âge (23)
 - Le lieu de résidence : commune de résidence (24.1) et le quartier si la commune de résidence est Nantes (24)
- Suggestions diverses (25)

HYPOTHESES DE CALCUL

Au total 547 contributions valides ont été recensées. Une contribution est déclarée valide si les réponses sont cohérentes et, en particulier, si une fréquence plausible du campus a été déclarée et si l'adresse du domicile a pu être validée (et ainsi associé à une distance). Le Tableau 10 ci-dessous détaille la composition de l'échantillon.

Tableau 10 : Echantillon du questionnaire sur les habitudes en termes de mobilité

Nombre total de contributions : 547, dont :			
élèves-ingénieurs généralistes	252 [46,1 %]	moins de 19 ans	25 [4,6 %]
élèves-ingénieurs de spécialité	28 [5,1 %]	entre 20 et 24 ans	309 [56,5 %]
élèves en master	34 [6,2 %]	entre 25 et 29 ans	54 [9,9 %]
élèves en doctorat	50 [9,1 %]	entre 30 et 34 ans	31 [5,7 %]
permanent-es	183 [33,5 %]	entre 35 et 39 ans	27 [4,9 %]
		entre 40 et 44 ans	30 [5,5 %]
		entre 45 et 49 ans	17 [3,1 %]
		entre 50 et 54 ans	27 [4,9 %]
		entre 55 et 59 ans	15 [2,7 %]
		plus de 60 ans	10 [1,8 %]
		ne souhaitant pas répondre	2

La Figure 22 permet de mettre en vis-à-vis le nombre de répondant-es au sondage et la population totale des acteur-ices de l'ECN en 2018. Environ 30 % des élèves-ingénieurs généralistes et des permanent-es ont répondu au questionnaire. Pour les autres profils, le nombre de répondant-es se situe plutôt entre 8 et 15 % de taux de réponse.

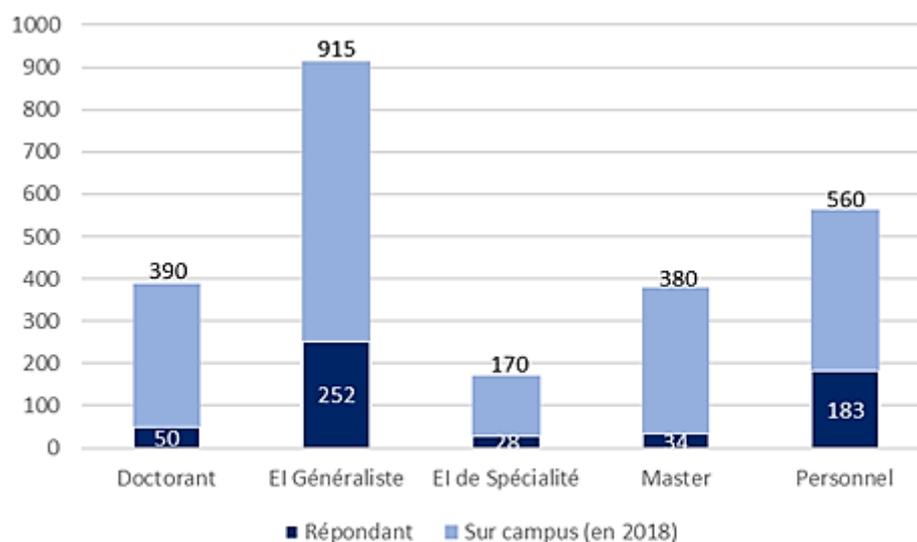


Figure 22 : Comparaison entre le nombre de répondant-es par catégorie d'utilisateur et les effectifs de 2018

La Figure 23 ci-dessous présente la répartition des permanent-es ayant répondu en fonction de leur catégorie d'âge.

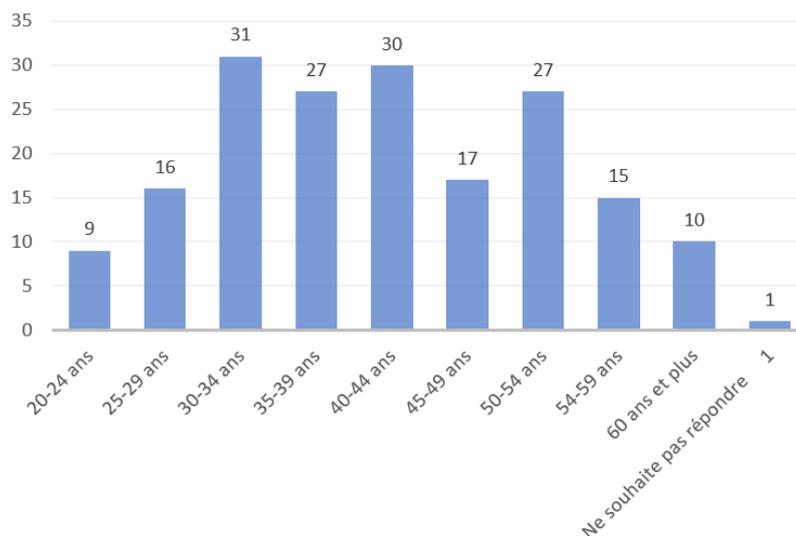


Figure 23 : Nombre de permanent-es en fonction de la tranche d'âge (effectif total : 183 personnes)

La répartition réelle des âges des permanent-es n'est pas connue. Il peut néanmoins être supposé que la catégorie des 45-49 ans est sous-représentée.

Pour l'analyse des résultats, deux catégories de personnes ont été créées à partir des profils cités dans le Tableau 10 :

- Ont été regroupés dans la catégorie « Élèves » les élèves-ingénieur-es (généralistes et de spécialité), les élèves en master et les élèves en doctorat. Ce groupe compte au total 364 répondant-es.
- La catégorie « permanent-es » (ou « Personnels ») est restée inchangée et compte toujours 183 répondants.

Ce regroupement a paru pertinent étant donné que les deux populations, Élèves et permanent-es se distinguent par un paramètre particulier, à savoir la distance entre leur domicile et l'ECN. En effet, les permanent-es sont établis dans la région. En revanche, les étudiant-es et les doctorant-es ne restent que quelques années dans la localité et choisissent des logements temporaires ; i-els habitent dans des locations, généralement des appartements autour du campus et dans le centre-ville de Nantes.

Pour calculer l'impact des déplacements pendulaires, plusieurs questions du sondage ont été nécessaires : les questions 4 et 5 fournissent une fréquence de déplacement, associée à un mode de transport. La question 24 permet d'estimer la distance entre le domicile et l'ECN. Les contributions des répondant-es ont été considérées comme fiables et généralisables à l'ensemble de la population de l'ECN.

La question 4 demande aux personnes sondées de remplir un tableau croisant mode de transport et fréquence de déplacement, ainsi que montré dans le Tableau 11. La plateforme utilisée (*LimeSurvey*) n'a pas permis d'effectuer un contrôle sur les données rentrées ; il aurait fallu vérifier que la somme des fréquences n'excédait pas cinq fois par semaine.

Tableau 11 : Choix possibles de la question 4 du questionnaire sur les habitudes en termes de mobilité des usager-es du campus

	Jamais	Moins d'une fois par semaine	Une à deux fois par semaine	Trois à quatre fois par semaine	Cinq fois par semaine
De manière multimodale	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
A pieds uniquement	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
En vélo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
En vélo à assistance électrique	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
En transports en commun (bus, tram)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
En voiture, seul (autosolisme)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
En covoiturage (conducteur)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
En covoiturage (passager)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Autre engin électrique	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
En scooter ou moto thermique	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Pour exploiter les réponses, une première phase de recodage a été nécessaire (Tableau 12).

Tableau 12 : Codage des réponses à la question 4

Catégorie proposée à la question 4 du sondage	Fréquence associée (nombre de jours par semaine)
Jamais	0
Moins d'une fois par semaine	0,5 (une fois toutes les deux semaines)
Une à deux fois par semaine	1,5
Trois à quatre fois par semaine	2,5
Cinq fois par semaine	5

Pour chaque répondant-e, ces fréquences ont été sommées pour vérifier si la fréquence totale était de 5 trajets domicile-ECN par semaine. Or, pour seulement 40 % des répondant-es la somme était effectivement égale à 5.

D'autres hypothèses ont donc été ajoutées pour ajuster les réponses des personnes pour lesquelles la fréquence était supérieure à 5. Les autres réponses sont restées inchangées.

- Si un mode de transport a été déclaré comme étant utilisé « Cinq fois par semaine » et que d'autres ont été déclarés comme utilisés « Moins d'une fois par semaine », il a été supposé que ces modes de transport étaient très minoritaires, avec une fréquence d'utilisation inférieure à une semaine sur deux. Ces modes ont donc été négligés.
- Si un mode de transport a été déclaré comme étant utilisé « Une à deux fois par semaine », un autre « Trois à quatre fois par semaine » et d'autres « Moins d'une fois par semaine », la même hypothèse a été utilisée : il s'agit de moyens de transport minoritaires qui peuvent être négligés.
- Si un mode de transport est déclaré comme étant utilisé « Trois à quatre fois par semaine » et deux autres utilisés « Une à deux fois par semaine », le codage a été modifié. « Trois à quatre fois par semaine » est devenu 3 ; « Une à deux fois par semaine » est devenu 1. Les autres modes de transport sont jugés minoritaires et négligés.

Ces hypothèses ont permis d'augmenter le nombre de répondant-es pour lesquelles la somme des fréquences était bien égale à cinq jours par semaine, jusqu'à 74 % des répondants. Cependant environ 11 % des répondant-es ont, avec le codage établi, une fréquence de trajet supérieure à cinq jours par semaine.

Il a été considéré possible de venir 6 jours par semaine sur le campus. En effet, plusieurs répondant-es affirmaient venir « Cinq fois par semaine » avec un moyen de transport et « Une à deux fois par semaine » avec un moyen différent. Auquel cas la catégorie « Une à deux fois par semaine » s'est transformée en 1.

Pour les autres, il a été considéré que les personnes interrogées avaient classé les modes de transport utilisés selon une échelle différente mais transposable.

Les contributions des répondant-es pour lesquelles la somme des fréquences était supérieure à 10 fois par semaine ont été considérées comme des erreurs ; i-els utilisent vraisemblablement plusieurs transports de façon multimodale. Ces réponses étant difficiles à traiter, elles ont été écartées.

Ce dernier recodage permet de faire en sorte qu'environ 79 % des répondant-es viennent cinq fois par semaine à l'ECN.

Il a été considéré comme possible de venir entre deux et six fois par semaine sur le campus. Les réponses pour lesquelles ce chiffre n'était pas respecté ont également été écartées.

La fréquence de déplacement, seule, est insuffisante. Il est nécessaire de connaître la distance à laquelle habitent les usager-es. Pour cela les réponses de la question 24 ont été utilisées.

Si la-e répondant-e affirme habiter à la résidence de l'ECN, la distance est mise à 0 km du campus.

Pour les répondant-es habitant à Nantes, la distance a été prise comme la distance entre le centre de leur quartier et l'ECN, par la route la plus courte.

Pour les répondant-es habitant dans une autre commune, la distance a été prise comme la distance entre le centre de leur commune et l'ECN, par la route la plus courte.

A chaque moyen de transport a été associé un facteur d'émission. Le Tableau 13 précise, pour chaque mode de transport, le facteur d'émissions utilisé et la provenance de celui-ci

Tableau 13 : facteur d'émissions utilisé en fonction du mode de déplacement

Mode de déplacement	facteur d'émissions (kgCO ₂ eq/km)	Source
A pied uniquement	0	-
En vélo	0,005	European Cyclists' Federation, 2016
En vélo à assistance électrique	0,016	European Cyclists' Federation, 2016
En transports en commun (bus, tram)	0,04	TAN, 2014
En voiture, seul (autosolisme)	0,253	ADEME - Voiture particulière - puissance fiscale moyenne, motorisation moyenne
En covoiturage	0,253/2	ADEME - Voiture particulière - puissance fiscale moyenne, motorisation moyenne
Autre engin électrique	0,016	estimée à partir de European Cyclists' Federation, 2016
En scooter ou moto thermique	0,204	ADEME - Moto - cylindrée inf. à 750 cm ³ , essence, zone urbaine

Pour le covoiturage, il a été supposé que deux personnes étaient présentes dans la voiture. L'impact lié au trajet a donc été divisé par deux.

Pour le vélo, le FE utilisé s'appuie sur une étude réalisée par l'*European Cyclists' Federation* (ECF). L'étude donne un facteur d'émissions de 21 gCO₂eq/km pour le vélo et de 22 gCO₂eq/km pour le vélo à assistance électrique. Or, pour réaliser ce calcul, a été pris en compte l'impact de l'alimentation des cyclistes, en considérant qu'il était nécessaire de manger plus de calories pour faire du vélo classique que du vélo électrique. La part de l'alimentation n'étant pas prise en compte par l'ADEME, cela n'a pas semblé pertinent de conserver cet ajout. Ainsi, les chiffres conservés (hors alimentation) sont de 5 gCO₂eq/km pour un vélo traditionnel (en comptant les émissions de GES induites lors de la production et la maintenance du vélo) et de 16 gCO₂eq/km pour le vélo à assistance électrique (7 gCO₂eq/km pour la production et la maintenance, et 9 gCO₂eq/km liés à la production de l'électricité).

Faute d'autres données, le même FE a été pris pour les autres engins électriques (trottinette, etc.) que pour le vélo à assistance électrique.

Enfin, pour les trajets effectués de façon multimodale, il a été supposé que chaque moyen de transport était utilisé sur la même distance. Par exemple, pour un trajet réalisé à pied puis en tramway, il a été supposé que la moitié de la distance était parcourue à pied et l'autre moitié en tramway. Pour

calculer cet impact on a donc la formule suivante, avec n le nombre de modes de transport utilisés et FE_i le FE du mode de transport i.

$$FE_{multimodal} = \sum_{i=1}^n \frac{FE_i}{n}$$

Pour chacun-e des répondant-es dont la réponse a été considérée comme valide, l'empreinte carbone de son trajet domicile-travail a été calculé avec la formule suivante :

$$\text{Impact du trajet} = \left(FE_{\text{midi}} * f_{\text{midi}} + 2 \sum_{i=1}^N FE_i * f_i \right) * d$$

Avec :

- FE_i le facteur d'émissions du mode de transport i,
- f_i la fréquence à laquelle ce mode de transport est utilisé par semaine,
- FE_{midi} le facteur d'émissions du moyen de transport utilisé par le répondant-e pour rentrer chez elle.lui le midi,
- f_{midi} la fréquence à laquelle la.e répondant-e rentre à son domicile pour la pause méridienne,
- d la distance entre le domicile et l'ECN.

Pour généraliser cette étude à l'ensemble des acteur-ices de l'ECN, une moyenne des impacts individuels a été effectuée pour chacun des groupes, Élèves et Permanent.es. Cela permet d'aboutir à un impact moyen de **2,04 kgCO₂eq/semaine pour un-e élève et de 17,5 kgCO₂eq/semaine pour un-e permanent-e.**

Pour obtenir l'impact de l'ensemble des usager-es de l'ECN, cette moyenne a été multipliée par le nombre de semaines pendant lequel chacun des profils se déplace à l'ECN pendant l'année et par le nombre de personnes correspondant à ladite catégorie.

Pour cela des hypothèses ont été effectuées sur le taux de présence des acteur-ices de l'ECN :

- Le groupe « Élèves », hormis les doctorant-es, est considéré comme présent lors d'une année administrative de 39 semaines, ce qui correspond à 52 semaines ouvrables auxquelles ont été retranchées 13 semaines de vacances (vacances scolaires : été 8 semaines, Toussaint 1, Noël 2, hiver 1, printemps 1). Cela correspond à 190 jours de présence, en comptant 5 jours fériés. D'après les données fournies par la direction de la formation de l'ECN sur les effectifs 2018-2019, sont dénombrés quelques 1600 étudiant-es (hors doctorant-es) présent-es sur le campus.
- Les élèves en deuxième et troisième année du parcours généraliste (EI2 et EI3) quittent l'ECN à partir du mois d'avril, soit 12 semaines de présence en moins. Les données fournies par la direction de la formation précisent que 335 EI2 et 404 EI3 sont inscrit-es. Il a été considéré que sur les 404 EI3 inscrit-es seul-es 180 étaient présent-es sur le campus. En effet, tous-tes les élèves de première et deuxième années inscrit-es ont été considéré-es comme présent-es sur le campus, soit respectivement environ 400 et 335 étudiant-es. Or, seul-es 915 élèves-ingénieurs en parcours généraliste sont présent-es sur le campus, ce qui conduit au nombre d'EI3 proposé.
- Le groupe « permanent-es » a été considéré comme présent lors d'une année administrative 47 semaines (52 semaines ouvrables auxquelles ont été retranchées 5 semaines de congés), c'est-à-dire 230 jours de présence, en comptant 5 jours fériés. D'après les données fournies par le service des relations humaines, l'ECN compte environ 350 personnes dans cette catégorie.

- Les doctorant-es (environ 390 personnes) entrent dans le groupe des « Élèves » mais sont considéré-es présent-es sur le campus 230 jours par an, comme les permanent-es.

LIMITES

Comme tout sondage, la première limite de ce type d'étude facile à mettre en œuvre est la fiabilité des personnes interrogées. Les données déclarées par les personnes ne peuvent être vérifiées et sont toujours considérées vraies, à l'exception des contributions manifestement fausses ou contradictoires.

Une autre source de biais pourrait résider dans la constitution de l'échantillon des personnes interrogées. Cependant celle-ci n'a pas pu être vérifiée : aucune question sur le sexe des répondant-es n'a été posée, ce qui est une erreur méthodologique.

Pour réduire le biais de désirabilité sociale (c'est-à-dire le fait que les personnes minimisent leur impact afin d'être conformes aux attentes), ou que seules les personnes sensibles à l'écologie répondent au questionnaire, le mail dans lequel le lien du questionnaire a été diffusé a été envoyé par un organisme neutre, à savoir les Services Généraux. En revanche le message posté sur le groupe de promotion a été envoyé au nom de Neutralité Carbone.

Une autre erreur méthodologique peut être remarquée. Il a été demandé aux répondant-es le dernier *temps de trajet* entre leur domicile et l'ECN. En revanche, le *moyen de transport utilisé* n'a pas été demandé. Obtenir cette donnée aurait permis de vérifier la cohérence avec les déclarations faites sur les moyens de transport utilisés, associés aux fréquences.

Calculer une moyenne que l'on généralise à l'ensemble de la population peut sembler assez grossier, en particulier pour les permanent-es chez lequel-les est rencontrée une forte disparité des profils. La taille relativement conséquente de l'échantillon par rapport aux effectifs de l'ECN (547 répondant-es pour 2550 personnes) permet de tempérer le risque de mauvaise représentation des usager-es de l'ECN.

Les autres incertitudes reposent sur les hypothèses effectuées et en particulier sur le recodage qui a été nécessaire.

Déplacements des permanent-es et des personnes extérieures

Les permanent-es sont amenés à réaliser des déplacements du fait de leurs missions. Ces déplacements, faisant partie de leur activité professionnelle en lien avec l'ECN, ont donc été pris en compte dans le calcul du BC.

Des personnes extérieures à l'ECN peuvent être conviées pour différentes missions. Des intervenants de cours viennent dispenser des enseignements aux étudiant-es de l'ECN ; des chercheur-es sont invités en tant que jury de thèse ou pour réaliser des partenariats. Ces déplacements étant également lié à l'activité de l'ECN, il convient de les prendre également en compte dans le calcul du BC.

COLLECTE DE DONNEES

Les déplacements des permanent-es sont gérés par des prestataires de voyage qui s'occupent d'effectuer les réservations.

A l'ECN, trois comptes bancaires sont disponibles : un compte spécifique à l'ECN, un compte possédé par "Centrale Innovation" (une filiale de valorisation des Écoles Centrales de Lyon, Nantes, Marseille et de l'École Nationale d'Ingénieurs de Saint-Etienne qui selon le site officiel "assure l'interface entre les acteur-ices de la recherche académique et industrielle" [Centrale Innovation, s.d.]) et un compte géré par le CNRS (Centre national de la recherche scientifique).

Trois prestataires de transport sont missionnés en fonction des différents comptes, c'est-à-dire en fonction de l'organisme qui finance le déplacement.

Ainsi, pour récupérer les données liés à ces déplacements, une demande a été effectuée auprès du prestataire de Centrale Nantes, par le biais de M. Dimitri Kisline, directeur des affaires institutionnelles. Centrale Innovation a également fourni les données. Le prestataire missionné par le CNRS n'a pas transmis les données à sa disposition.

Ces données transmises étant des données personnelles et donc sensibles (notamment du fait du RGPD), elles ont été anonymisées par un tiers avant d'être transmises aux étudiant-es. En l'occurrence MM. Rozière et Hilloulin se sont chargés de l'anonymisation. Pour permettre la réalisation de profils, des distinctions ont été rajoutées, ne permettant pas de remonter jusqu'à la personne qui s'est déplacée, mais permettant de la caractériser de façon anonyme. Ces informations sont les suivantes.

A chaque personne a été attribué un identifiant unique.

Il a été précisé le laboratoire ou direction dans lequel travaille le voyageur, parmi les choix suivants : Direction, Direction générale des services, Direction de la formation, Direction de la recherche, Direction de la communication, Direction du développement, Direction des relations internationales (DRI), LS2N, GeM, LHEEA, AAU, Jean Leray, ICI, IRSTV. Cette information a été précisée par un deuxième niveau de caractérisation, à savoir l'équipe ou le service dans lequel travaille le voyageur, d'après l'organigramme.

Le statut "extérieur" correspond aux visiteur-ses de l'ECN.

Enfin, a été précisé le "statut" de la personne au sein du laboratoire ou de la direction, c'est-à-dire enseignant et/ou chercheur, autre personnel, doctorant-e ou extérieur (invité-e non membre du personnel engagé par l'ECN). L'impact des personnes classées comme "extérieures" a été traité dans une partie spécifique, indépendante des déplacements professionnels précités.

Pour chaque personne, la distance parcourue, le mode de transport utilisé et l'impact carbone associé ont été donnés. Le niveau de détail de ces données est cependant à la discrétion du prestataire.

HYPOTHESES DE CALCUL

Les données collectées datent de l'année 2019. Il a été considéré que les résultats étaient transposables à l'année 2018.

L'émission de CO₂eq étant fournie directement par le prestataire, elle n'a pas été recalculée. La donnée a été vérifiée par un calcul en ordre de grandeur à l'aide de la distance parcourue. L'ordre de grandeur étant correct, il a été considéré que les valeurs proposées par les prestataires étaient plus précises que celles qui auraient pu être calculées par ailleurs. En effet, comme le prestataire s'occupe de la réservation, il connaît le modèle de l'appareil, sa taille, etc.

LIMITES

L'hypothèse a été faite que la concentration en CO₂eq fournie par le prestataire était plus précise que si elle avait été calculée avec les données disponibles. Toutefois, il pourrait en être autrement. En effet, ne sachant pas quelle méthode le prestataire a utilisée, il est impossible de connaître précisément la fiabilité des données. S'il s'agit des chiffres donnés directement par les compagnies aériennes, il faut savoir que celles-ci utilisent une méthode différente de celle de l'ADEME. En effet, l'article L1431-3 du code des transports oblige les prestataires de transport à informer les client.es des émissions de dioxyde de carbone liées à un trajet [Légifrance, 2015] ; ainsi seules les émissions de CO₂ sont comptabilisées. L'ADEME quant à elle comptabilise toutes les émissions : elle compte le CO₂ émis par combustion du kérosène en vol, le transport et la production du carburant et les traînées de condensation (la vapeur d'eau étant aussi un gaz à effet de serre).

Enfin, les prestataires peuvent avoir des méthodes différentes les uns des autres.

Cependant la plus grosse source d'erreur ne réside sans doute pas dans les données présentes, mais plutôt dans les données manquantes. En effet, le prestataire missionné par le CNRS n'a pas transmis les données qu'il possède. Les trajets effectués avec le CNRS sont cependant *a priori* moins nombreux que les trajets effectués avec les autres organismes.

Par ailleurs, n'ont pas été non plus pris en compte les déplacements non gérés par les prestataires. Or, certains permanent-es commandent leurs billets eux-mêmes et se font rembourser ensuite, par note de frais.

Le service du prestataire auquel Centrale Nantes faisait appel a été considéré par les usager-es comme peu pratique – raison pour laquelle le contrat qui était souscrit avec lui n'a pas été reconduit en 2020. Du fait de ce ressenti, il est possible qu'une part non négligeable de permanent-es aient préféré ne plus recourir à ses services et aient préféré commander leurs billets par leurs propres moyens.

Le problème est le même pour les extérieurs : une analyse un peu plus poussée des données a conduit à interroger leur complétude. En effet il semblerait que les personnes ayant un statut d'extérieur soient en très grande majorité des chercheur-ses constituant des jurys de thèse. Les intervenants de cours ne seraient alors pas (ou peu) représentés.

Ceci peut s'expliquer notamment par le problème rencontré avec le prestataire de Centrale Nantes. Une discussion menée avec Sabrina Lelièvre, responsable administrative du département d'enseignement MMGC (Mécanique, Matériaux et Génie Civil), a permis de mettre en avant le fait qu'elle avait souvent conseillé les intervenants de cours à faire des notes de frais et ce en particulier durant le dernier semestre de 2019. Par ailleurs certains intervenants ne souhaitent pas être remboursés ou bien leur voyage est pris en charge par un organisme indépendant de l'ECN. Ainsi, au total, il a été considéré 50% des intervenants de cours du département du MMGC ne seraient pas passés par la plate-forme du prestataire.

Pour obtenir des données plus fiables sur les déplacements des intervenants de cours, deux solutions sont possibles. La première consisterait à récupérer les données directement auprès des responsables administratifs de chaque département d'enseignement. L'autre solution consisterait à demander de plus amples informations au service facturier.

Déplacements liés aux forums prépas

Les "forums prépas" sont des demi-journées de présentation de plusieurs écoles d'ingénieur-es dans les lycées accueillant des Classes Préparatoires aux Grandes Écoles (CPGE). Les écoles d'ingénieur-es sont représentées, lors de ces demi-journées, par des ambassadeur-ices de l'école : des étudiant-es intégrés en première ou deuxième année qui informent les étudiant-es de classe préparatoire des modalités d'accessibilité, du contenu pédagogique proposé par l'école et des différentes activités présentes sur le campus. I-els apportent également différents *goodies* donnés par le service communication de l'ECN.

COLLECTE DE DONNEES

Les données liées aux forums prépas ont été fournies par le Bureau Des Elèves (BDE) en mandat en 2018 après accord du service de communication de l'ECN. En effet, l'ECN délègue le remboursement des frais de déplacements engendrés par les forums prépas au BDE. Les données collectées détaillent le(s) mode(s) de transport(s) utilisé(s) ainsi que les noms du lycée et de la ville où s'est déroulé le forum.

HYPOTHESES DE CALCUL

Les émissions de GES liées à ces déplacements ont été calculées en multipliant la distance parcourue par le facteur d'émissions associé au moyen de transport utilisé.

Pour les trajets en train et/ou voiture, la distance retenue a été la distance donnée par Google Maps entre Nantes et la ville où se trouve le forum prépa.

Pour les trajets réalisés en avion, la distance retenue a été la distance à vol d'oiseau obtenue grâce à un calculateur de distance¹ entre la ville de départ et la ville d'arrivée. En l'absence d'information, la ville d'arrivée retenue est celle de l'aéroport le plus proche de la destination finale.

Les facteurs d'émissions employés sont ceux fournis par l'ADEME et spécifiés dans le Tableau 14.

Tableau 14 : Facteurs d'émissions utilisés pour calculer l'impact des déplacements liés aux forums prépa

Catégorie	FE (kgCO ₂ /passagers.km)
TGV, Train Grande Vitesse	0,00369
Avion (voyageurs) - 100-180 sièges, trajet de 0-1000 km	0,314
Voiture particulière - puissance fiscale moyenne, motorisation essence	0,259

LIMITES

Les trajets interurbains ainsi que les moyens de transports secondaires utilisés sur une distance inférieure à 50 km ont été négligés dans le calcul de ce poste d'émissions. Cela a par exemple été le cas quand il s'agissait d'un trajet multimodal train-voiture où l'impact du trajet en voiture n'a pas été

¹ <https://fr.distance.to>

considéré. Ce choix implique une probable sous-estimation du BC de ce critère puisque les émissions de GES liées à un trajet urbain en voiture peuvent être supérieures à celles d'un trajet en TGV entre deux villes françaises.

Enfin, certain-es étudiant-es ne se sont peut-être pas manifesté-es auprès du BDE pour avoir un remboursement lorsque la prépa était dans une ville très proche de Nantes ce qui pourrait conduire à un manque de données collectées et traitées.

2.2.8 Calcul de l'impact carbone des autres produits et services

Plusieurs critères du BC ont été regroupés dans cette partie, concernant les produits et services. Tout d'abord les achats de produits et services (critère 9 du BC). Une fois achetés, les produits doivent être acheminés ou expédiés, ce qui conduit à un transport de marchandises amont et aval (critère 12 et 18 du BC). Une fois usés, les produits peuvent être jetés, ce qui implique la production de déchets (critère 11 du BC).

Achat de produits et services

La consommation d'un produit ou d'un service ne semble pas, intuitivement, être une source d'émissions carbone. Pourtant, la production de l'objet, ou la réalisation du service, mobilise en amont (ou en aval, pour les prestations), une importante quantité de GES, souvent sous-estimée. Ce poste vise donc à quantifier les émissions nécessaires à cela. Le but est de prendre aussi précisément que possible la comptabilisation de chaque produit ou service.

Pour un ordinateur par exemple, l'idéal serait de connaître chaque étape de son cycle de vie et les émissions associées, de la mine à l'utilisateur, en passant par l'usine d'assemblage. Pour un service, les émissions sur place du prestataire (tondeuse par exemple) peuvent être comptabilisées, celles des consommables utilisés, des déplacements éventuels du personnel prestataire...

Comme pour chaque BC, il faut estimer le degré de précision que l'on souhaite atteindre et il peut être complexe d'estimer correctement ce genre d'émissions (voir partie 4.1.7).

COLLECTE DE DONNEES

Les émissions du critère « Achats de produits et services » sont dispersées dans l'ensemble des activités de l'École, services, laboratoires, ... Afin d'obtenir des données sans devoir solliciter chaque organisme indépendamment (l'École étant dépourvue d'un service « achats »), le directeur financier de l'ECN, M. Matthieu Le Ny, a été sollicité.

Au premier abord, toutes les données redondantes avec les études précédentes faites sur les autres critères (achats d'énergie...) ont été écartées. En effet, ces activités apparaissent logiquement dans le bilan comptable, mais les données fournies par les services plus directement concernés (Services généraux, ...) seront privilégiées pour plus de précision et de fiabilité.

Les comptes sont identifiés par un numéro qui permet de les définir. Les comptes dont le premier chiffre est un « 2 » sont des comptes pour lesquels les achats sont amortis sur plusieurs années ; les

comptes dont le premier chiffre est un « 6 » sont des comptes pour lesquels les achats ne sont pas amortis. Tous les comptes sont *a priori* intéressants ; cependant pour certains faibles montants (de quelques dizaines de k€), il peut être présagé que leur impact relatif au reste sera faible, voire négligeable.

Ensuite, à partir de la liste des critères identifiés comme pertinents, le détail des factures associées à chacun des comptes a été demandé. Le libellé seul du compte ne donne qu'une information très partielle sur sa nature (« Matériel Informatique... »), et accéder au détail permettra une analyse plus fine.

Le détail des 32 comptes numérotés se trouve en annexe (voir « Tableau des numéros de comptes et libellés financiers à l'ECN »).

Pour le matériel informatique ou de bureau (comptes en gras dans le tableau en annexe), le détail des factures a permis de quantifier exactement le nombre d'ordinateurs, moniteurs, etc. achetés en 2018.

HYPOTHESES DE CALCUL

Les matériels achetés ont une durée de vie de plusieurs années. Il pourrait alors être considéré que leur impact est amorti sur plusieurs années (auquel cas cet impact serait translaté dans le critère « Immobilisations » du BC). L'impact des machines de laboratoires et du matériel informatique n'a cependant pas été amorti. Il semble en effet que les appareils de recherche soient souvent achetés pour un seul projet et peu utilisés sur l'ensemble de leur durée de vie.

Le matériel informatique a une durée de vie, en moyenne, de cinq ans. Il a cependant été considéré que les achats de matériel informatique sont identiques d'une année sur l'autre. Ainsi, si les achats sont constants année après année, l'impact carbone calculé avec ou sans amortissement est identique. Garder l'impact non amorti est ainsi à la fois stratégique (cela permet de le mettre en avant, en montrant qu'il n'est pas « subi » comme le laisserait penser une immobilisation) et pratique (obtenir les données de l'ensemble du matériel informatique avec leur date d'achat s'est révélé être une tâche difficile, sinon impossible à cause d'un manque d'outils de suivi).

Pour le matériel informatique, les facteurs d'émissions utilisés (en kgCO₂eq) ont été consignés dans le Tableau 15.

Tableau 15 : Facteurs d'émissions utilisés pour calculer l'impact du matériel informatique

Produit	Ordinateur fixe	Ordinateur fixe performant	Ordinateur portable	Imprimante multifonction	Ecran 23"	Tablette détachable	Tablette 10"
FE (kgCO₂eq/unité)	169	296	156	88	248	82	63

Pour les autres comptes, la base carbone de l'ADEME donne des facteurs d'émissions sous forme de « ratios monétaires », en kgCO₂eq/k€ HT dépensé. C'est-à-dire qu'à un certain montant (pour un type de dépense déterminé) est associé un impact carbone.

Les facteurs d'émissions, appliqués aux montants hors taxes des dépenses du bilan comptable, sont présentés dans Tableau 16.

Tableau 16 : Facteurs d'émissions utilisés pour calculer l'impact des achats de produits et services de l'ECN

Produit	Ratio monétaire (kgCO ₂ e/k€ HT)
Machine et équipements	700
Services (imprimerie, publicité, ingénierie...)	170
Informatique, électronique, optique	400
Réparation/Installation de machines	390
Meubles et autres biens manufacturés	600

Chaque ligne de dépense des comptes détaillés s'est ainsi vue affecter un facteur d'émissions (ratio monétaire), pour calculer l'empreinte carbone totale des achats de produits et services. Un total de 5,5 M€ a été ainsi traité. Quelques lignes à montants élevés, concernant des travaux (pouvant aller de la rénovation du bâtiment E à la réfection de peintures ou tuyaux) ont été amorties sur 20 ans, et affectées au critère « Immobilisations » du BC total (voir partie 2.2.5 « Calcul de l'impact carbone des constructions et bâtiments » page 56).

LIMITES

La première limite se trouve dans la collecte des données. Les données financières sont fiables mais le changement de direction à l'ECN à la fin de l'année 2019, alors que la collecte des données n'était pas achevée, a bloqué la possibilité d'accéder à davantage de détails de comptes. En effet, la direction doit donner l'autorisation à M. Le Ny, directeur du service financier, de communiquer certaines informations.

Une difficulté a ensuite été d'associer aux données collectées un facteur d'émission. En effet, les catégories proposées par l'ADEME n'englobent pas forcément l'ensemble des achats réalisés par l'ECN.

Pour les données qui ont été traitées, la plus grosse incertitude réside dans l'utilisation de ratios monétaires. En effet les catégories proposées par l'ADEME sont très larges et recourent de nombreux achats différents. Par ailleurs il est possible que, pour réaliser des achats de meilleure qualité, acheter des produits qui durent plus longtemps par exemple, un investissement financier plus important soit nécessaire. Auquel cas dépenser plus n'implique pas forcément émettre plus de GES. Les limites du calcul par ratio monétaire sont davantage développées dans la partie « Limites des ratios monétaires » sur les améliorations possibles.

Les autres limites sont liées aux hypothèses choisies, en particulier celle de ne pas amortir les achats.

Colis et palettes reçus au service technique

Les services techniques situés au bâtiment J de l'ECN centralise une grande partie des colis et des palettes reçus par les différent-es acteur-ices de l'ECN.

COLLECTE DE DONNEES

Les données ont été récupérées auprès du service colis de l'école. Les données récupérées étaient le nombre de colis et de palettes reçu en octobre 2019, et la masse moyenne de ces derniers.

HYPOTHESE DE CALCUL

Les informations concernant les colis et palettes reçus ne sont pas encore informatisées. Elles sont remplies dans un document à la réception. Il n'est donc pas possible de traiter les données sur une année (450 colis ont été comptés un par un pour le mois d'octobre). Il a donc été choisi d'extrapoler le nombre de colis et palettes reçus sur un an en multipliant le nombre de colis et de palettes par 11,5 mois, en considérant qu'il y avait une activité constante tout au long de l'année, sauf pendant la fermeture de l'école en août. Ensuite, pour convertir ce nombre de colis en émissions de GES à partir du ratio monétaire "Service - Courrier" de l'ADEME, une estimation du prix d'envoi via La Poste et donc de la masse moyenne des colis palettes reçus ont été nécessaires. Il a été considéré qu'un colis pesait en moyenne 10 kg et qu'une palette en pesait 30.

LIMITES

L'estimation de la masse moyenne a été réalisée par le service colis sans données chiffrées. L'utilisation d'un facteur monétaire rend de facto le résultat imprécis. Il faudrait avoir accès à l'ensemble des colis et palettes reçus en 2018, la distance qu'ils ont parcourue, ainsi que leur masse pour calculer un BC précis.

Impression et envoi des plaquettes taupin et alpha

Les plaquettes taupin et alpha sont des livrets d'informations envoyés par l'ECN aux élèves admissibles, suite aux résultats des épreuves écrites du concours "Centrale Supélec", pour leur présenter les atouts de l'établissement. La plaquette taupin rassemble des informations relatives à la formation, aux différentes options proposées, à la singularité de l'ECN et aux accords de doubles diplômes. La plaquette alpha, quant à elle s'attache à montrer l'attractivité de la ville de Nantes et présente également les différents clubs et associations présents sur le campus centralien.

COLLECTE DE DONNEES

Les données ont été fournies par le service communication de l'ECN et concernent le nombre d'envois de plaquettes. Des données relatives au nombre de pages et à la qualité de l'impression ont été trouvées sur le site de l'ECN.

HYPOTHESE DE CALCUL

Pour le calcul du BC lié à l'impression des plaquettes taupin et alpha, ont été retenues uniquement les émissions liées au papier et à l'encre car celles-ci sont facilement quantifiables. Un papier avec un

grammage de 130 g/m² (haute qualité) et une masse d'une feuille de 8 g ont été choisis. La quantité d'encre couleur utilisée sur une page a été considérée comme étant standard.

Concernant l'envoi, une distance moyenne correspondant à la distance Nantes-Paris a été prise en compte. Cette hypothèse a été formulée en l'absence d'informations sur la répartition géographique des étudiant-es admissibles sur le territoire national.

Les FE de l'ADEME utilisés sont répertoriés dans le Tableau 17.

Tableau 17 : facteurs d'émissions utilisés pour calculer l'impact de l'impression et de l'envoi des plaquettes alpha et taupin

Intitulé de l'ADEME	facteur d'émission
Cartouche toner couleur (CMY) reconditionnée	0,2 kg CO ₂ /100 feuilles A4
Papier neuf	1320 kgCO ₂ /tonne
Messagerie, ramasse distribution, PTAC 19T	0,379kgCO ₂ /tonne.km

LIMITES

- Les reliures et films plastiques ajoutés après l'impression ont été négligés dans le calcul.
- Le processus d'impression ainsi que l'équipement nécessaire pour produire ces plaquettes a également été ignoré dans le calcul.
- Approximer la distance moyenne à la distance Nantes-Paris peut sans doute entraîner une sous-estimation des émissions liées à l'envoi de ces livrets mais aucune information sur les villes d'arrivée des fascicules n'était disponible.

Déchets et recyclage

Les déchets à l'ECN sont collectés par deux prestataires différents. Solution Recyclage s'occupe des déchets recyclables de l'école, et Veolia du reste des déchets.

COLLECTE DE DONNEES

La masse des déchets collectée a été récupérée auprès des Services Généraux pour calculer leur impact carbone.

HYPOTHESES DE CALCUL

Aux déchets récoltés par Veolia ont été appliqués les facteurs d'émissions de l'ADEME les plus adaptés (Tableau 18).

Tableau 18 : facteur d'émissions utilisé, en fonction du type de déchet considéré

Type de déchet	facteur d'émission
Déchets en mélange	ADEME – Ordures ménagères - fin de vie moyenne
Ferraille broyée	ADEME – Déchets minéraux – fin de vie moyenne
Gravats	ADEME – Déchets minéraux – fin de vie moyenne
Gros de magasin	ADEME – Déchets minéraux – fin de vie moyenne
Petit électroménager	ADEME – Ordures ménagères - fin de vie moyenne

Pour les déchets traités par Solution Recyclage, a directement été utilisé l'impact carbone calculé par l'entreprise, en considérant que le recyclage correspond à un évitement d'émissions. En effet, le processus de recyclage émet des gaz à effet de serre, mais il en émet moins que si l'on devait extraire les matières premières nécessaires à la production de nouveaux biens.

Solution Recyclage a commandité en 2013 un projet d'étudiant-es de l'École des Mines de Nantes (devenue depuis IMT Atlantique) pour réaliser le calcul de cet évitement. Les hypothèses de calcul des gains environnementaux sont détaillées dans un document intitulé « Note méthodologique », fourni par Solution Recyclage.

La méthode retenue pour calculer les gains environnementaux est l'analyse de cycle de vie (ACV). L'évitement d'émissions de GES (ou gain de recyclage) lié au recyclage est calculé comme la différence entre les émissions de CO₂eq lors du cycle de vie du produit recyclé et les émissions de CO₂eq lors du cycle de vie du produit non recyclé.

$$\begin{aligned}
 & \text{« Gain de recyclage (CO}_2\text{eq)} \\
 & \quad = \\
 & \quad \text{Émissions de CO}_2\text{eq lors du cycle de vie du produit non recyclé} \\
 & \quad \quad - \\
 & \quad \text{Émissions de CO}_2\text{eq lors du cycle de vie du produit recyclé »}
 \end{aligned}$$

L'hypothèse formulée afin de calculer l'équivalent en produit des déchets recyclés est la suivante :

« Nous avons cherché des produits que nous pourrions fabriquer à partir des déchets recyclés de la liste, en fonction de la matière qui compose le produit. Par exemple, pour fabriquer un cintre il suffit de 20 gobelets en plastique. Pour savoir combien de déchets recyclés il faut collecter pour fabriquer ce produit, on effectue le calcul suivant. On divise la masse de déchets recyclés par celle du produit équivalent (différent du produit jeté), ce qui nous donne le nombre de produits que l'on peut créer avec les déchets :

Nombre de produits équivalents = Masse de déchets recyclés / Masse de produits équivalents »

source : M. Bennet, E. Milliere, E. Merrienne et C. Lejeune
Note Méthodologique, 18 janvier 2013

LIMITES

La méthode proposée par Solution Recyclage ne permet pas de comparer des produits semblables, et nécessite de considérer qu'il n'y a pas de perte de matière lors du processus de recyclage, ce qui n'est pas vrai.

Afin d'adopter une méthodologie plus proche de l'analyse de cycle de vie, il conviendrait de décomposer les produits recyclés selon les différents matériaux qui les composent et en fonction de ce qui est vraiment recyclé dans ces derniers. Cette dernière approche a également ses limites car elle néglige l'entropie des matériaux, c'est à dire la perte de qualité liée aux cycles d'utilisation. Cependant, elle paraît plus rigoureuse et permet d'utiliser la méthodologie de l'ADEME dans le calcul du BC. Cette approche a été utilisée dans le cas des Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques (DEEE) pour lesquelles l'approche initiale n'était pas applicable.

Enfin, les données de calcul datant de 2013, elles mériteraient d'être mises à jour afin d'obtenir un résultat plus précis.

2.2.9 Calcul de l'impact carbone de la vie associative

Le monde associatif est une part importante de la vie étudiante. La majorité des étudiant-es en première année s'engagent pendant au moins un an au sein d'une association, ce qui va leur permettre de développer des compétences pratiques, voire professionnelles. Par ailleurs, cette activité participe grandement à la vie du campus. Il a alors semblé important de prendre en compte l'impact de la vie associative. En revanche, il a été choisi de ne pas répartir les différentes composantes du BC associatif dans les postes d'émissions du BC de l'ECN mais d'en faire une catégorie à part.

En plus du fait de prendre en compte une dimension non négligeable de la vie de l'ECN, calculer le BC de la vie associative répond à un autre objectif. Dans l'optique de mettre en place une stratégie bas carbone, cette démarche permet d'établir une estimation des plus grands postes d'émissions des

associations et clubs de l'ECN. A partir de ce constat, il est possible de co-construire, avec chacune des entités associatives, un plan de réduction de ces émissions, en réfléchissant avec elles à l'ensemble des préconisations qu'elles pourraient mettre en place.

Un BC a été calculé pour une grande majorité des clubs et associations de l'ECN. Le BC de la vie associative est alors la somme de l'ensemble de ces bilans carbone individuels.

Il a été choisi de calculer l'impact carbone des clubs et associations qui ont un lien avec l'ECN. Bien que beaucoup d'associations soient légalement indépendantes de l'ECN, elles se composent presque qu'exclusivement de Centraliens de Nantes ; elles sont d'ailleurs présentées dans la plaquette alpha envoyée par l'ECN aux admissibles.

Le BC a été majoritairement réalisé sur l'année civile 2018, et parfois sur l'année 2019 lorsque les informations de l'année 2018 étaient inaccessibles ou incomplètes. Il a alors été supposé, dans ces cas, que leurs activités ne différaient pas trop d'une année sur l'autre.

L'impact carbone des associations qui ont été créées en 2019 a également été calculé. Il n'a pas été ajouté au BC global de 2018 de l'ECN mais il semblait toutefois important de le considérer, de façon à co-construire avec les associations concernées un plan de réduction de leurs émissions.

COLLECTE DE DONNEES

Une partie des informations nécessaires au calcul du BC ont été récupérées individuellement auprès de tous les présidents des clubs et associations liés à l'ECN. Le trombinoscope associatif 2018 et 2019 a permis de trouver ces contacts.

Une autre partie provient des comptes-rendus des CA des clubs du BDE et BDA de novembre 2017 et de mars et juin 2018. Ces comptes-rendus contiennent les montants maximaux des subventions accordées à chacun des clubs. Pour chaque entité associative, il a néanmoins été vérifié que cet argent avait bien été dépensé comme prévu, avant de les comptabiliser dans le BC ; cette vérification s'est révélée utile car ce n'était pas toujours le cas.

Enfin, les données relatives aux clubs BDS ont été obtenues par l'intermédiaire des professeurs d'EPS de l'ECN.

HYPOTHESES DE CALCUL

La grande majorité des facteurs d'émissions utilisés viennent de l'ADEME. Certains ont cependant été extraits du logiciel Toovalu¹.

CONSOMMATIONS DE REPAS ET BOISSONS

En l'absence de détail sur les repas consommés ou lorsqu'une prise en compte précise du contenu des repas aurait été trop chronophage, le facteur d'émissions « Repas moyen (/unité) » de Toovalu a été utilisé.

Pour les petits-déjeuners, il a été considéré que leur impact carbone était équivalent à 2/3 d'un repas végétarien, celui des goûters à la moitié d'un repas végétarien et celui des apéros à 1/4 d'un repas

¹ <https://app.toovalu.com/go/login>

végétarien par personne. Il a été par ailleurs supposé que l'impact des barbecues organisés notamment pendant la période d'intégration était équivalent à 75% de l'impact d'un « Repas moyen ».

Pour les événements au sein desquels de l'alcool est distribué, il a été considéré que chaque participant consomme 1 L de jus de fruits et 0,15 L d'alcool pur par soirée (cette hypothèse a été formulée en supposant la consommation de trois pintes de bières à 10°).

Lorsque seules des données monétaires étaient disponibles pour l'achat de nourriture et de boissons, deux cas de figures se sont présentés. Des ratios monétaires ont pu être utilisés ; ou bien les quantités de certains produits ont été estimées à partir de leur prix à l'unité - à ces quantités ont pu être associées un facteur d'émission. Par exemple, pour la SAT (Semaine à Thème), une semaine festive organisée par le BDE (Bureau des Élèves), 1 050 Euros ont été dépensés dans du jus de fruits et 2 250 Euros dans de l'alcool. En estimant à 10 Euros le litre d'alcool à 40° et à 50 centimes le litre de jus de fruit, un volume de boissons acheté a été déduit, ce qui a permis d'obtenir un ordre de grandeur de leur impact carbone.

UTILISATION DES MOYENS DE TRANSPORTS

Le Week-End Nantralien est un week-end organisé pour les diplômé-es, à la suite de leur remise des diplômes, le vendredi précédent. Ainsi les participant-es viennent de différentes zones, en fonction de leur lieu de travail.

N'ayant pas d'informations sur la provenance des participants, il a d'abord été considéré l'utilisation des données du sondage sur le lieu de travail des Nantralien-nes diplômé -es. Cependant, cette hypothèse n'a finalement pas semblé pertinente car ces données étaient à la fois trop difficiles à exploiter et non représentatives des diplômés faisant le trajet pour se rendre au WEN. L'hypothèse suivante a donc été préférée : 40% des participant -es sont venus depuis la région parisienne en train, 20% en train depuis Lyon, 20% depuis la région nantaise (cet impact a été négligé), 5% en avion depuis Toulouse, 9% en voiture depuis Orléans, 1% depuis New-York en avion et 5% en avion depuis Copenhague.

Le Forum Atlantique est un forum pendant lequel sont mis en relation les étudiant-es de l'ECN et différentes entreprises. Ainsi, des intervenant-es de ces entreprises sont conviés. Pour calculer l'impact lié à leurs déplacements, le lieu du siège social des entreprises participantes a été pris en compte ; le nombre d'intervenant-es moyen par entreprise a été estimé à 2,5. Il a ensuite été supposé que :

- les intervenant-es des entreprises dont le siège social est à Paris, Lyon, Lille, Roubaix, Strasbourg, Nancy et la moitié de ceux de Marseille venaient en train,
- ceux de Bordeaux, Angers, Angoulême, Clermont, La Roche, St Nazaire, St Malo, Rouen, Rennes, Poitiers, Orléans, Niort, Laval, Brest, Cherbourg et Caen venaient en une seule voiture,
- ceux de Toulouse, Göteborg et la moitié de ceux de Marseille venaient en avion.

Les déplacements en voiture sur des courtes distances n'ont presque jamais été comptabilisés dans le BC des associations, alors qu'ils pourraient avoir un impact carbone bien supérieur à d'autres pris en compte comme les trajets en train. Par exemple, un aller-retour Paris-Nantes en TGV est équivalent au trajet d'une voiture moyenne sur une dizaine de km (soit l'équivalent d'un aller-retour entre le campus de l'ECN et la place du Commerce à Nantes). I-els ont néanmoins été comptabilisés pour les campagnes associatives : déplacements nécessaires pour aller faire des courses et déplacements de personnes entre l'ECN et le centre-ville.

Les Ailes Centraliennes est un club qui propose un week-end de baptême de l'air à des enfants malades. *Skydive* est un club qui propose aux Centraliens de découvrir la chute libre. Ces deux clubs nécessitent donc le vol d'un avion pour réaliser leur activité. La prise en compte de l'aviation pour le calcul s'appuie sur la vitesse nominale d'un avion de petite taille (comme le Pilatus PC-6) qui est de 232 km/h. Connaître cette vitesse a permis de déduire une distance parcourue grâce aux durées de vol respectives de 20 et 60 minutes.

En ce qui concerne le club Centrale Karting Club, qui organise des courses en kart, aucun facteur d'émissions spécifique n'existe. Les karts ont alors été considérés comme des motos car ils ont *a priori* la même puissance (même si les karts de piste sont beaucoup moins réglementés du point de vue des émissions, ce qui implique que cette donnée est sûrement sous-estimée). Une vitesse moyenne de 70 km/h a été estimée, ce qui donne 280 km pour 4 h de conduite. Seuls 140 km ont finalement été considérés comme ayant été parcourus pendant 4 h, étant donné que ceux qui font du kart ne roulent pas tout le temps.

Pour les autocars interurbains, le facteur d'émissions de l'ADEME est de 1,33 kg CO₂/km.véhicule. Il sera supposé qu'un autocar accueille en moyenne 35 passagers, un facteur d'émissions de 0,038 kgCO₂/passager.km a donc été utilisé.

IMPACTS NEGLIGES

Certaines dimensions de la vie associative, bien que pouvant participer – indirectement – à l'émission de gaz à effet de serre n'ont pas été prises en compte.

En particulier, l'impact carbone du numérique étant difficilement quantifiable, il n'a pas été pris en compte dans ce bilan bien qu'il ne soit, *a priori*, pas négligeable (il a toutefois été inclus dans les préconisations de chaque association).

L'impact carbone des investissements et épargnes en banques n'a pas non plus été quantifié. Seuls les services payants ont été comptabilisés dans le BC.

Les trajets en transport en commun dans Nantes et ses alentours ont été systématiquement négligés.

L'impact des déchets a été systématiquement négligé, sauf pour le WEI (week-end d'intégration) ; il est cependant intéressant de constater que malgré l'envergure de cet événement, l'impact carbone des déchets est relativement faible par rapport aux autres postes d'émissions.

En ce qui concerne certains objets comme les *goodies* et le matériel sportif, seul l'impact carbone des matières les constituant a été pris en compte.

Enfin, la consommation d'énergie et notamment celle d'électricité induite par les activités d'un club ou d'une association n'a pas été considérée. En effet, elle est déjà en partie incluse dans le BC de l'ECN, et l'électricité restante (nécessaire aux événements organisés à l'extérieur de l'ECN) est à la fois difficile à quantifier, et certainement négligeable en termes d'impact carbone par rapport à d'autres postes d'émissions : la part du nucléaire en France rend l'électricité majoritairement décarbonée.

LIMITES

Les limites viennent principalement des hypothèses réalisées et des impacts négligés.

Tout d'abord, le BC du BDS n'a pas été réalisé club par club, mais dans son ensemble, ce qui implique un niveau de précision plus faible ainsi qu'une possible sous-estimation de ses émissions.

Des imprécisions liées au choix des facteurs d'émissions existent également. Par exemple, le facteur d'émissions « Voiture particulière - puissance fiscale moyenne, motorisation moyenne (par km) » a été systématiquement utilisé pour les trajets en voiture - il n'a pas été demandé ni le type de motorisation ni la puissance fiscale des véhicules utilisés.

Enfin, certains facteurs d'émissions de la catégorie « Achats de services » ont été utilisés pour calculer les émissions d'achats de biens matériels. Par exemple, le ratio monétaire « Services - activités créatives, artistiques, culturelles, bibliothèques, et organisation de jeux de hasard (/€) » a souvent été utilisé pour caractériser l'achat de produits artistiques et culturels pour lequel la seule information fournie était une dépense ou lorsqu'aucun facteur d'émissions n'existait pour les caractériser efficacement. De plus, les facteurs d'émissions liés aux achats de services regroupent souvent des activités très différentes, ce qui conduit à une grande incertitude.

3 Résultats

3.1	RESULTATS GENERAUX DU BILAN CARBONE 2018 DE L'ÉCOLE	92
3.1.1	<i>Bilan global</i>	92
3.1.2	<i>Résultats par profils types des usager-es de l'École</i>	93
3.2	RESULTATS DETAILLES PAR THEMATIQUE DU BILAN CARBONE 2018 DE L'ÉCOLE	102
3.2.1	<i>Impact carbone des espaces verts</i>	102
3.2.2	<i>Impact carbone des sources d'émissions directes</i>	103
	Chauffage au gaz	103
	Véhicules appartenant à l'École	104
	Ecopâturage : moutons	104
	Moteurs thermiques expérimentaux	105
	Fuites de fluides frigorigènes	105
3.2.3	<i>Impact carbone des sources d'émissions indirectes liées à l'énergie</i>	106
	Consommation d'électricité.....	106
	Réseau de chaleur	109
3.2.4	<i>Impact carbone des constructions et bâtiments</i>	110
3.2.5	<i>Impact carbone des repas des usager-es</i>	112
3.2.6	<i>Impact carbone des déplacements des personnes</i>	121
	Déplacements liés à la formation des étudiant.es	121
	Déplacements des permanent.es et des personnes extérieures	125
	Déplacements pendulaires des permanent.es et étudiant.es.....	131
	Déplacements liés aux forums prépas.....	147
3.2.7	<i>Impact carbone des autres produits et services</i>	149
	Achats de produits et services.....	149
	Colis et palettes reçus au service technique	150
	Impression et envoi des plaquettes taupin et alpha	151
	Déchets et recyclage	152
3.2.8	<i>Impact carbone de la vie associative du campus</i>	152
	Analyse par postes d'émissions	153
	Analyse par types de structure associative	155

3.1 Résultats généraux du Bilan Carbone 2018 de l'Ecole

3.1.1 Bilan global

Le Bilan Carbone calculé porte sur l'année civile 2018 et se chiffre à **5 683 tCO₂eq au total**. Cela équivaut à environ 22 trajets aller-retours d'une personne entre Paris et Moscou en avion, par jour, pendant une année ouvrée (252 jours en 2018)¹.

Le graphique, présenté en Figure 24 ci-dessous, indique que les émissions des scopes 1 et 2 sont très faibles (6 % du BC total) devant les émissions de GES liées au scope 3, ce qui était attendu, étant donné l'étendue de ce dernier, qui regroupe des postes très carbonés comme les déplacements ou les achats (parties 3.2.6 et 3.2.7).

Les trois plus grands postes d'émissions du BC représentent 72 % du Bilan Carbone total et sont :

- les produits et services avec 1 200 tCO₂eq (21 % du BC total),
- les déplacements des étudiant-es et des permanent-es avec 2 060 tCO₂eq (36 % du BC total),
- les repas des usager-es de l'ECN le midi avec 830 tCO₂eq (15 % du BC total).

Réparti uniformément entre les différent-es usager-es, le Bilan Carbone de l'ECN s'élève à **2,25 tCO₂eq/personne**. Ces émissions sont liées à la seule activité de l'ECN et sont à comparer avec les **2 tCO₂eq/personne/an nécessaires** afin de respecter l'**Accord de Paris**, qui comptabilisent les émissions de GES liées à l'ensemble des activités personnelles comme professionnelles de chaque personne (voir partie 2.1.4).

Il apparaît donc primordial et inéluctable de baisser sensiblement la part professionnelle de son BC afin de se conformer à l'Accord de Paris.

Il est d'ailleurs important de prendre en considération le fait que le BC réalisé **n'est pas exhaustif** et qu'il est donc très probablement **sous-estimé**.

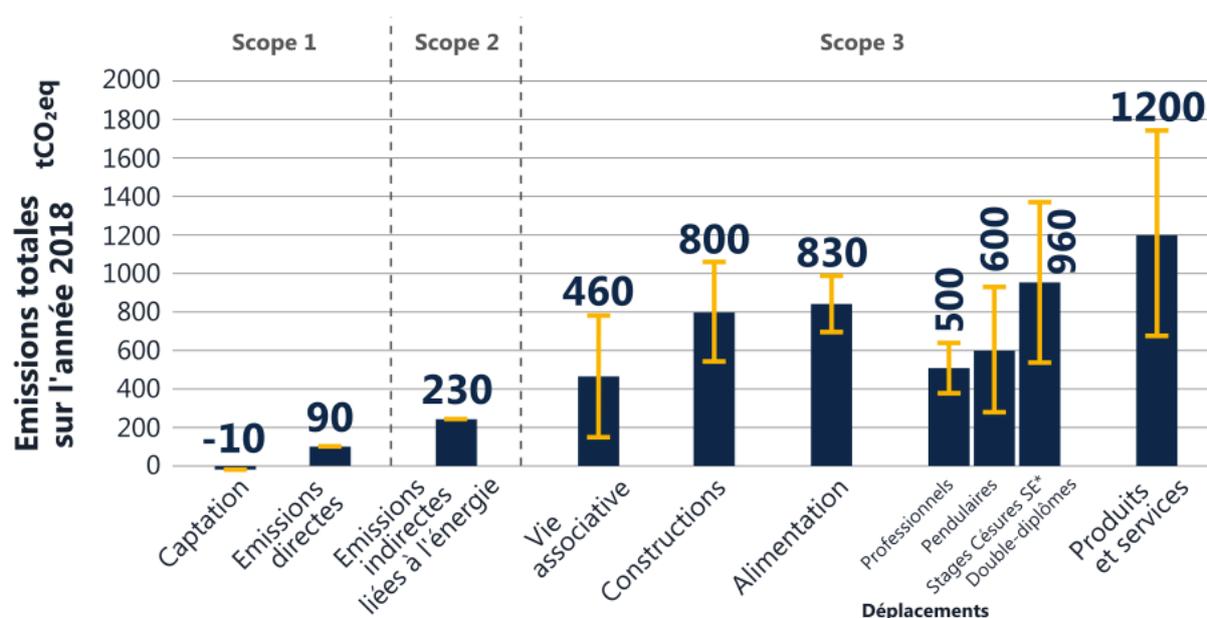
En effet, **certains postes d'émissions**, trop compliqués à quantifier, **n'ont pas pu être pris en compte dans le calcul du BC** : c'est le cas des émissions de GES liées aux infrastructures d'énergie (canalisations du réseau de chaleur par exemple) et de celles liées à l'usage du numérique (cf. partie adaptation du BC).

De plus, pour de nombreux critères du BC, les **données collectées n'étaient que partielles** et il a souvent été choisi de **ne pas extrapoler** les données partielles, via des hypothèses grossières. Ainsi, tous les achats n'ont pas pu être reliés à des émissions de GES, les déplacements remboursés par notes de frais ou par le CNRS n'ont pas pu être comptabilisés, et le terrain synthétique n'a pas pu apparaître dans les immobilisations de l'ECN, **alors qu'il s'agit très certainement de postes d'émissions de GES**

¹ Un aller-retour Paris-Moscou pour une personne correspond à 1 tCO₂eq.

importants. De la même manière – mais concernant des émissions plus marginales – les événements organisés par les permanent.es de l’ECN n’ont pas été considérés ; seules les plaquettes taupin et alpha ont été comptées dans le transport de marchandises aval ; toutes les climatisations n’ont pu être recensées, etc.

Les détails des calculs réalisés sont accessibles dans l’outil de calcul joint au document «Bilan_Carbone_ECN_2018.xlsx ».



Sources des données : Services généraux, Direction des Affaires financières, Dir. Relations Internationales, Dir. Formation, Dir. Patrimoine
Enquête du Groupe mobilité, Sondage Alimentation, LHEEA, Commission DD, Bureau des élèves, Clubs et Associations
Sources des facteurs d'émissions : ADEME, INRA * : Semestre à l'étranger

Figure 24 : Résultats globaux du Bilan Carbone de l’ECN

3.1.2 Résultats par profils types des usager-es de l’École

Afin de nuancer cette répartition uniforme, sur tous-tes les usager-es, le BC a été divisé de façon plus fine entre les usager-es, en distinguant **quatre profils**. Ces profils, appelés “profils-types” ne représentent pas une personne en particulier mais sont des moyennes.

L’impact des usager-es sur le campus n’est pas seulement lié à leur activité, mais aussi à un environnement dans lequel le travail est effectué, aux installations nécessaires, etc.

Quatre profils d’usager-es ont été distingués en fonction de caractéristiques communes :

- **les élèves** : cette catégorie regroupe à la fois les élèves-ingénieur-es (généralistes ou de spécialité) et les masters. La formation des élèves-ingénieur-es généralistes impose un certain nombre de déplacements, ainsi que détaillé dans la partie page 121. Les étudiant-es peuvent également participer à la vie associative du campus ;

- **les enseignant-es ou chercheur-ses** ; les permanent-es concerné-es doivent réaliser, dans le cadre de leur activité, un certain nombre de réunions à distance, de conférences, etc. ;
- **les doctorant-es** : cette catégorie a été créée pour distinguer la situation des doctorant-es, qui se situe entre les chercheur-ses et les étudiant-es. En effet, ces dernier-es ont une situation provisoire et ne sont pas établi-es durablement ; i-els n'ont pas non plus exactement les mêmes responsabilités ou pouvoir de décision que les autres chercheur-ses ;
- **les personnels administratifs**, en charge du bon fonctionnement de l'ECN ; leur activité peut imposer des relations extérieures, qui se traduisent par des déplacements – ceux-ci sont *a priori* moins nombreux que ceux imposés par une activité de recherche.

HYPOTHESES DE CALCUL

Les différent-es acteur-ices de l'ECN évoluent dans des environnements de travail différents en fonction de leur activité.

DECOUPAGE DES PROFILS PAR BATIMENTS

Les étudiant-es suivent des formations dans des amphithéâtres ou des salles de cours. Les chercheur-ses travaillent dans des laboratoires. Les personnels administratifs ont des bureaux ou *open-space* en fonction des services.

Ainsi, dans un premier temps a été réalisé un premier **découpage par bâtiment, en fonction de l'activité de chacun-e**. Ce découpage a été réalisé grâce à deux sources complémentaires. Le plan de l'ECN fourni par le service communication (Figure 25, page 98) montre dans quels bâtiments les permanent-es travaillent, en fonction de leur laboratoire ou service de rattachement.

Ce plan a été comparé au schéma pluriannuel de stratégie immobilière 2019 (SPSI). Ce dernier donne une répartition des surfaces par "fonction". Les fonctions spécifiées sont les suivantes : recherche, enseignement, sport, administration, incubateur, vie étudiante, foyer, bibliothèque et garage. Ces fonctions sont associables aux profils-types, et ont donc été réparties de la façon suivante :

- élèves (hors doctorant-es) : enseignement, sport, vie étudiante, bibliothèque
- enseignant-es-chercheur-ses (dont doctorant-es) : recherche
- personnels administratifs : administration, incubateur

Certains lieux sont des lieux de vie commune, partagés par les différents profils. Ces lieux ont donc été considérés à part et seront placés dans un "talon" commun à l'ensemble des usager-es de l'ECN ; est en particulier concerné le Foyer dans le bâtiment E.

La répartition des bâtiments par fonction a servi pour calculer l'impact des constructions selon les profils, en appliquant la méthode détaillée à la partie 2.2.5. Les travaux effectués, dont en particulier les travaux de réfection du bâtiment E, ont été placés dans un talon commun à tous-tes les usager-es. Il a été fait de même pour l'impact des parkings et voiries.

La répartition des bâtiments par fonction a également servi à calculer l'impact (direct ou indirect) des énergies utilisées par l'ECN.

La répartition des services dans les bâtiments en 2019 s'approchant davantage de celle fournie par le SPSI que la répartition de 2018, il a été choisi de s'appuyer non pas sur les consommations d'énergie de 2018, comme cela a été fait pour le BC total, mais sur les consommations d'énergie de décembre 2018 à novembre 2019. Cela a semblé plus pertinent pour se rapprocher davantage de l'utilisation réelle, en fonction des besoins de chacun des profils.

Les bâtiments sont chauffés, soit grâce au réseau de chaleur (pour la majorité des bâtiments), soit au gaz pour les bâtiments M, N et O ; le bâtiment P est chauffé à l'énergie électrique. Pour les bâtiments chauffés au gaz et avec le réseau de chaleur, l'impact total a été divisé uniformément selon les surfaces utilisées. Cette hypothèse se justifie par le fait que la température de consigne de l'ensemble des bâtiments est identique, quelles que soient leurs fonctions, les besoins ou les pertes de chaleur des bâtiments.

La consommation d'électricité en revanche a fait l'objet d'un travail plus spécifique. En effet, les services généraux ont fourni le détail des compteurs d'électricité par bâtiment. Deux compteurs, en particulier, sont à distinguer.

Le premier compteur permet de mesurer un ensemble appelé « général éclairage » à l'aide de sous-compteurs pour chacun des bâtiments A, B, C, D, E, F, G, H, I, J et L, ainsi que le supercalculateur de l'ICI (Institut de Calcul Intensif) et les éclairages extérieurs. C'est à ce compteur qu'a eu accès le bureau d'étude Qualiteo pour réaliser son étude sur l'électricité, détaillée plus loin dans le présent rapport (voir partie « Consommation d'électricité » page 106). Ces données, par bâtiment, ont été divisées à nouveau de façon uniforme en fonction de la surface utilisée par chacun des profils. Pour cela, la répartition par fonction du SPSI a de nouveau été utilisée.

Le deuxième compteur permet de mesurer les consommations d'un ensemble appelé « Général expérimentaux » à l'aide de sous-compteurs pour les mêmes bâtiments que le compteur précédent. Il a été supposé, d'après l'intitulé, que ces consommations étaient uniquement liées aux projets de recherche, ce qui a été confirmé par les chiffres : dans les bâtiments uniquement dédiés à l'enseignement ou à l'administration, aucune consommation n'est mesurée. Ces consommations ont donc été attribuées aux personnels de recherche (dont doctorant-es).

Les mesures de deux autres compteurs sont précisées dans le document fourni par les services généraux ; le premier est dédié au bâtiment T ; le deuxième est dédié aux bâtiments M, N, O et P. Cependant les mesures de ces compteurs sont incomplètes, sinon erronées.

Un différentiel non négligeable s'observe donc entre la consommation totale et la somme des consommations par bâtiments dont le détail a été trouvé. Faute de données supplémentaires, ce différentiel a été partagé entre l'ensemble des usager-es, dans la partie de « talon ».

Pour les installations de climatisations, l'analyse de l'impact lié aux fuites de fluides frigorigènes a été faite par bâtiment : ont été recensées les systèmes de climatisation en fonction des laboratoires et services. La majorité de ces systèmes ne sont pas des climatisations de confort, mais des climatisations nécessaires au fonctionnement et à la précision des équipements de recherche ; seule une climatisation de confort est installée au bâtiment A. L'impact associé à cette dernière a été attribuée aux personnels administratifs, tandis que les autres ont été réparties sur les chercheur-ses (dont doctorant-es).

REPARTITION DES DEPLACEMENTS PROFESSIONNELS EN FONCTION DES PROFILS

Dans un deuxième temps, les déplacements professionnels ont été répartis entre les différents profils. Cette répartition a été permise grâce à au travail de catégorisation effectué sur ces données. En effet, ainsi qu'expliqué dans la partie « Déplacements des permanent-es et des personnes extérieures », malgré l'anonymisation, il a été précisé le laboratoire ou direction dans lequel travaille la-e voyageur-se, parmi les choix suivants : Direction, Direction générale des services, Direction de la formation, Direction de la recherche, Direction de la communication, Direction du développement, Direction des relations internationales (DRI), LS2N, GeM, LHEEA, AAU, Jean Leray, ICI, IRSTV. A également été ajouté un statut (« chercheur-se », « autre personnel », « doctorant-e », « extérieur-e »).

L'ensemble des déplacements faits pour les laboratoires ont été attribués aux chercheur-ses (hors doctorant-es). L'ensemble des déplacements faits par les autres services a été attribué aux personnels administratifs.

Grâce au statut précisé, les doctorant-es ont pu être séparé-es des autres chercheur-ses.

Le statut « d'extérieur-e » désigne les visiteur-ses. Ces dernier-es peuvent être des personnes qui viennent de manière exceptionnelle pour par exemple assister à des jurys de thèse, ou participer à des projets de recherche ; il pourrait également s'agir d'intervenant-es de cours (pour les étudiant-es) ou d'invité-es des personnels administratifs. Cependant, il semblerait que les « extérieur-es » soient uniquement des personnes venant pour de la recherche (lorsque cela a pu être identifié). Il a été considéré que l'ensemble de ces déplacements seraient attribués aux chercheur-ses, dont deux tiers pour les doctorant-es (jurys de thèse) et un tiers pour les autres chercheur-ses.

D'autres déplacements sont imputables à l'ensemble des personnels. En particulier, des voitures de service sont mises à disposition de l'ensemble des permanent-es. Plusieurs hypothèses pourraient être faites sur l'usage de ces voitures.

Tout d'abord, il pourrait être supposé que les voitures sont davantage utilisées par les personnels administratifs. En effet, ceux-ci, contrairement aux chercheur-ses, ont besoin d'aller *a priori* moins loin dans le cadre de leurs missions ; les chercheur-ses pourraient donc favoriser les voyages en avion. Cependant, rien n'indique que les voitures sont utilisées sur des courtes distances.

Ensuite, il pourrait être supposé que les doctorant-es se déplacent moins, ou en particulier, utilisent moins les voitures que leurs collègues, car i-els sont généralement moins au courant des usages que ces dernier-es. Cependant les doctorant-es pourraient également se déplacer davantage car un-e jeune chercheur-se a besoin de créer davantage de liens, de rencontrer plus de monde, etc. Deux hypothèses contradictoires pourraient donc être établies.

Ainsi, en l'absence de données précises sur l'utilisation des voitures de service, il a été décidé de répartir celle-ci de façon uniforme sur chacun des profils : un tiers pour les personnels administratifs, un tiers pour les doctorant-es et un tiers pour les autres chercheurs.

ANALYSE DES AUTRES CRITERES DU BC EN FONCTION DES PROFILS

Dans un troisième temps, les autres critères du BC ont été analysés selon les informations disponibles. Les données qui ont permis de calculer les impacts de l'alimentation des usager-es et leurs

déplacements pendulaires ont été catégorisées. Ainsi, la répartition entre les usager-es s'est faite de façon immédiate, en multipliant à chaque fois par les effectifs de chacun des profils.

Les moteurs expérimentaux sont utilisés par les chercheur-se (dont doctorant-es), mais également à des fins d'enseignement. D'après les chercheur-se qui les utilisent, 20 % de l'utilisation correspond à de l'enseignement et 80 % à de la recherche. Cette répartition a donc été utilisée pour distribuer l'impact entre les étudiant-es et les chercheur-se (dont doctorant-es).

L'analyse des achats a permis de mettre en avant le fait que les montants les plus importants et avec le plus fort impact sont liés à des achats de matériels de recherche et à leur installation et à leur maintenance. Ceux-ci ont été attribués aux chercheur-se (dont doctorant-es). Le reste des dépenses est lié à des achats moins spécifiques ; il a donc été décidé de les placer dans le talon commun à l'ensemble des usager-es.

Les autres postes d'émissions ont également été placés dans ce talon, à savoir : l'impact carbone des moutons, des déchets, du transport des marchandises (amont et aval).

Le BC de la vie associative a été partagé sur l'ensemble des étudiant-es, en faisant l'hypothèse que tous-tes les élèves du campus participent à la vie associative et pas seulement celle-eux qui l'organisent (c'est-à-dire en général les élèves en première année).

L'ensemble des activités de recherche a été réparti entre les doctorant-es et les autres personnels de recherche en fonction de leurs effectifs respectifs.

L'ensemble des calculs réalisés pour établir ces profils-types est disponible dans un tableur joint au présent rapport : « Profils-types_ECN.xlsx ».

- A** Niveau 0 : ACCUEIL - Scolarité - Direction des Relations Internationales AMPHI A - HALL A
Niveau 1 : Direction - Direction de la formation - Direction de la recherche - Direction générale des services - Salle des conseils
Niveau -1 : Direction de la Communication - Direction du développement - Centrale Nantes Alumni
- B** Niveau 0 : Salle de cours - INFIRMERIE
Niveau 1 : Salle de cours - Salles informatiques - Bureau des PEI - Plateau de réalité virtuelle
- C** Niveau 0/1 : Salle de cours - Salles multimédias
- D** Niveau 0 : Direction des Systèmes d'Information - Direction de la prévention et des services généraux - Direction Immobilière
Niveau 1 : Salles de TP Mécanique des Fluides et Énergétique (MFE) et TP Automatique / Robotique
Supercalculateur
Niveau 2 : LHEEA : Laboratoire de recherche en Hydrodynamique, Énergétique et Environnement Atmosphérique
> Équipes Hydrodynamique et Génie Océanique et Modélisation numérique
Service Facturier
- E** Niveau 0 : AMPHI E - Cafétéria
Niveau 1 : Département Informatique / Mathématiques
Direction des ressources humaines - Direction des affaires financières
Direction des affaires institutionnelles - Incubateur Centrale Audencia ensa
- F** Niveau 0 : Salle de cours Informatique - TP Mécanique, Matériaux et Génie Civil
Niveau 1 : GeM - Institut de Génie Civil et Mécanique
Pôles Structures et Couplage et Matériaux poreux, interactions, ouvrages
GeM - équipes Matériaux-Ouvrages-Environnement et Structures et Simulations
- G** LHEEA > Moyens d'essais en hydrodynamique : bassin des carènes - bassin océanique
- H** LHEEA > Équipe Énergétique des Moteurs à Combustion Interne - Banc d'essais moteurs
GeM > RMP Rapid Manufacturing Platform
- I** Atelier de Fabrication Mécanique / Plateforme RFI
GeM > Plateforme de magnéto formage et soudure. Hautes Puissances Pulsées (HPP)
- J** GeM - Institut de Génie Civil et Mécanique > dalle d'essais en génie civil
Atelier du service technique
Livraison de Marchandises - local colis
- L** Niveau 0 : AMPHI L - HALL L, Gymnase - Médiathèque - Bureau des élèves - Salle piano
Niveau 1 : Communication, Langues, Entreprises et Sport
- M** Local archives
- N** LHEEA > Équipe Dynamique de l'Atmosphère Habitée
et équipe Énergétique des Moteurs à Combustion Interne
Département Mécanique des Fluides et Énergétique
- O** GeM > Centre de ressources en essais dynamiques
- P** Ingénierie des Produits et Systèmes Industriels - TP Automatique / Robotique
- R** MDE (maison des élèves)
- S** LS2N - Laboratoire des Sciences du Numérique de Nantes - Dpt. Automatique et Robotique
AMPHI S - HALL S
- T** GeM - Institut de Génie Civil et Mécanique > Pôle Matériaux et Procédés de Fabrication
Équipe de recherche du CERMA / IRSTV - Institut de Calcul Intensif (ICI)
Incubateur Centrale - Audencia - ensa Nantes
- U** Salle Multisports / Dojo - Terrains de squash
Résidences Étudiantes
- IM3** Entreprises hébergées : CALLIGÉE / LEDIXIS / NEXTFLOW - SOFTWARE - INNOSEA
Bureau MAURIC / D-ice ENGINEERING

Codes couleurs	
■	Plateformes
■	Laboratoires de Recherche
■	Départements d'enseignement et services



Direction de la communication - octobre 2019

Figure 25 : Plan du campus de l'ECN 2019. (Source : Service Communication de l'ECN, 2019)

RESULTATS

Les résultats obtenus, par profils, sont donnés en Figure 26. I-els sont comparés à l'objectif de l'Accord de Paris de 2 tCO₂eq par Français.

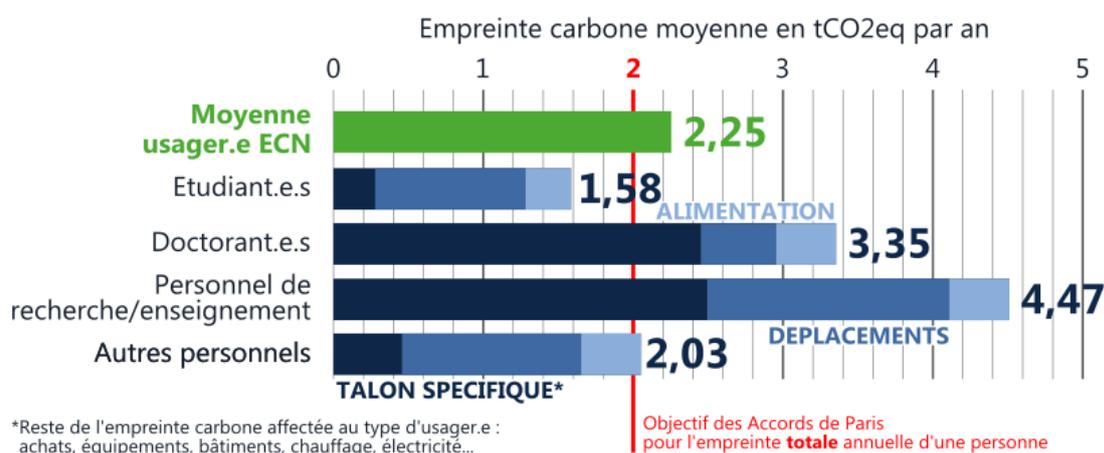


Figure 26 : Comparaison des profils types des usager-es de l'ECN : empreinte moyenne par usager-e de l'ECN selon quatre profils pour l'année 2018

Plusieurs remarques peuvent être faites grâce à ce découpage par profils.

DEPLACEMENTS

La majeure partie de l'impact des étudiant-es est liée aux déplacements pour leur formation et, en particulier, à l'obligation de passer six mois à l'étranger.

Les personnels administratifs ("autres personnels" sur la Figure 26) doivent réaliser moins de déplacements que les personnels de recherche dans le cadre de leurs fonctions. Cependant, il est à noter que l'impact des **déplacements pendulaires (domicile-travail) occupe une place significative dans l'impact total des déplacements des permanent-es (68 %)**, ce qui explique l'importance relative du poste "déplacements" des personnels administratifs.

D'après les données collectées, **les doctorant-es se déplacent moins que les autres chercheur-es pour des raisons professionnelles, et habitent en général plus près du campus**, du fait de leur situation provisoire. 29 % du poste « déplacements » qui leur est attribué, sont liés au déplacement des visiteurs.

Pour les chercheur-es, hors doctorant-es, le poste "déplacements" est important car i-els habitent en général plus loin et se déplacent beaucoup pour des raisons professionnelles. 45,3 % de cet impact est dû aux déplacements professionnels ; 5,5 % de cet impact est dû aux venues de visiteur-es ; 49,2 % de cet impact est dû aux déplacements pendulaires.

AUTRES THEMATIQUES

Les émissions liées à l'alimentation (repas du midi) sont globalement identiques pour tous-tes les usager-es.

Il est intéressant de se rendre compte que ce sont les activités de recherche qui contribuent le plus à l'impact de l'ECN. En effet, elles nécessitent davantage de moyens matériels : achat d'équipements, besoin de davantage d'immobilisations et installations spécifiques telles que les systèmes de climatisation. A l'inverse, les étudiant-es utilisent presque exclusivement des salles de cours, et sont donc nombreux pour une surface limitée.

LIMITES

Les sources d'incertitudes pour les profils établis sont multiples. La première provient des calculs initiaux. Il faut lui rajouter une nouvelle imprécision liée aux données disponibles et aux hypothèses qui en ont découlé.

Les effectifs utilisés constituent une limite au calcul. En effet, le nombre utilisé pour les personnels administratifs correspond au statut de "BIATSS" (ingénieur-es, personnels administratifs, techniques, sociaux et de santé et des bibliothèques). Or, au sein de ce statut peuvent être inclus des ingénieur-es de recherche, qui travaillent donc dans des laboratoires et contribuent à l'activité de recherche.

DECOUPAGE PAR BATIMENTS

Il a été remarqué que les répartitions sont légèrement différentes par rapport à ce découpage, entre le SPSI et le plan fourni par le service communication. En particulier, la direction des ressources humaines, la direction des affaires institutionnelles et la direction des affaires financières sont localisées dans le bâtiment E ; néanmoins, la Figure 25 ne donne pas de fonction administrative au bâtiment E. Un commentaire du SPSI pourrait venir expliquer cette différence : « Actuellement, une partie des personnels du bâtiment A a migré provisoirement vers d'autres bâtiments, principalement dans le bâtiment E, en raison des travaux de rafraîchissement des sanitaires du bâtiment A » [Regoin, 2019]. Ainsi, à terme, les personnels administratifs travaillant actuellement dans le bâtiment E seraient amenés à intégrer le bâtiment A.

D'autres imprécisions ont été remarquées : les sommes des surfaces réparties par fonction ne sont pas toujours égales à la surface totale du bâtiment. Cependant, en l'absence de données supplémentaires, les chiffres fournis par le SPSI font foi.

DEPLACEMENTS PROFESSIONNELS

Pour les déplacements professionnels, le découpage aurait pu être plus précis. En effet, une personne peut avoir plusieurs rôles au sein de l'ECN et être, par exemple, à la fois chercheur.se et mener une activité de direction. Une donnée supplémentaire à obtenir serait le cadre ou la mission associée au déplacement professionnel.

AUTRES LIMITES

Comme évoqué par ailleurs, certaines données sont manquantes, en particulier celles concernant les intervenant-es de cours, qui interviennent dans la formation des étudiant-es.

Les sous-compteurs par bâtiments donnent une consommation d'électricité mais les données sont imprécises, voire incomplètes.

Malgré les limites et incertitudes, cette analyse par profils-types permet de déterminer, de façon plus précise, quels peuvent être les leviers d'action par catégorie d'utilisateur-es. Par ailleurs, comprendre

sa place dans le Bilan Carbone total de l'ECN est plus facile pour une personne en l'identifiant à son profil-type. L'objectif est donc double : permettre aux usager-es de s'approprier le BC de l'ECN (et comparer son activité à un profil moyen) et affiner les leviers d'action par usager-e.

3.2 Résultats détaillés par thématique du Bilan Carbone 2018 de l'École

Tout comme pour la méthodologie (partie 2), les critères distingués par l'ADEME dans la méthode Bilan Carbone ont été regroupés par thématiques communes.

Suivant le même plan que précédemment, seront développés et analysés les résultats des thématiques suivantes, dans l'ordre : la captation carbone par les espaces verts du campus, les émissions directes de l'ECN, les émissions indirectes liées à l'énergie, la construction, l'alimentation, les déplacements de personnes, les produits et services et la vie associative.

3.2.1 Impact carbone des espaces verts

Tableau 19 : Résumé des informations relatives à la captation carbone de la végétation

Valeur finale (tCO ₂ eq)	Incertitude (%)	ODG	Pourcentage du BC total
-12	49 %	0	0,21 %

Lors du calcul en ordre de grandeur, il avait été supposé que les espaces verts du campus étaient globalement neutres en carbone. Cette hypothèse s'approche de la réalité, car le calcul effectué, probablement surestimé comme expliqué dans la partie méthode (partie 2.2.2), aboutit à un résultat de -11,9 tCO₂eq (Tableau 19). L'incertitude de ce résultat vient, en grande partie, des incertitudes des facteurs d'émissions utilisés.

Les bois du campus ont un rôle prédominant, puisqu'ils captent à eux seuls 11,5 tCO₂eq (96,9%), alors qu'ils ne représentent que 19% des surfaces végétales du campus. Les prairies et les haies complètent donc cette captation à hauteur de 0,34 tCO₂eq (2,7%) et 0,03 tCO₂eq (0,2%). Les captations des prairies et des haies sont considérées comme équivalentes au mètre carré. Les prairies couvrent plus de 75% du campus et les haies 4%.

Finalement, **la captation carbone** permise par les espaces verts du campus **ne compense que 0,2 % des émissions de GES de l'ECN.**

3.2.2 Impact carbone des sources d'émissions directes

Tableau 20 : Résumé des informations relatives aux émissions directes

Valeur finale (tCO ₂ eq)	Incertitude (%)	ODG	Pourcentage du BC total
107	6,4 %	306	2 %

La thématique "émissions directes" regroupe les émissions liées aux points suivants :

- Chauffage au gaz
- Véhicules appartenant à l'Ecole
- Ecopâturage : moutons
- Moteurs thermiques expérimentaux
- Fuites de fluides frigorigènes

Le Tableau 20 récapitule les informations relatives à l'ensemble des émissions directes : valeur trouvée pour ce poste d'émission, incertitude, comparaison à l'ordre de grandeur initialement estimé et proportion relative que cela représente sur le BC total.

Chauffage au gaz

Tableau 21: Résumé des informations relatives au chauffage au gaz

Valeur finale (tCO ₂ eq)	Incertitude (%)	ODG	Pourcentage du BC total
57	9,3 %	144	1 %

Le résultat obtenu pour l'impact du gaz (Tableau 21) est trois fois plus faible que ce qui avait été évalué dans la première estimation du BC. Cette différence s'explique par une différence entre la consommation estimée et la consommation réelle. En effet, il avait été estimé que le besoin s'élevait à 200 kWh/m²/an, ce qui semble trop élevé par rapport à la réalité. Cela implique donc que le ratio choisi n'était pas pertinent. En raison de l'importante hauteur sous plafond de ces bâtiments et de leur occupation intermittente (en dehors des bureaux, la plupart des espaces ne sont pas utilisés toute la journée), il avait été décidé de prendre le même ratio de consommation qu'un gymnase. Avec le recul, cette hypothèse semble défavorable puisqu'elle ne prend pas en compte le fait qu'une partie de la surface correspond à des bureaux avec une hauteur sous plafond plus faible et donc à des besoins plus faibles. Un autre élément qui a pu perturber l'estimation, est le fait que les activités dans ces bâtiments, en l'occurrence la réalisation d'expériences sur les bancs moteurs, sont émettrices de chaleur ; cette génération de chaleur implique logiquement une réduction du besoin.

Comme **le chauffage des bâtiments de l'ECN est majoritairement assuré par un réseau de chaleur et que seuls trois bâtiments sont chauffés au gaz** (les bâtiments M, N et O), il est logique que **l'impact carbone lié à l'utilisation de gaz soit faible** (Tableau 21). En effet, si le chauffage du campus se faisait exclusivement au gaz (c'est-à-dire si le chauffage aujourd'hui assuré par le réseau de chaleur l'était par des chaudières à gaz), le BC de l'école augmenterait de 500 tCO₂eq et la part du gaz serait de 12,6 %. L'incertitude sur le résultat est relativement faible, et est surtout due à l'incertitude sur les différents coefficients utilisés :

- Le FE du gaz (en kgCO₂eq/m³) qui a une incertitude de 5 %,
- Le pouvoir calorifique volumique (en kWh/m³) utilisé pour convertir l'énergie en volume de gaz consommé qui a une incertitude de 6 %.

Véhicules appartenant à l'École

Tableau 22 : Résumé des informations relatives aux émissions dues aux véhicules thermiques

Valeur finale (tCO ₂ eq)	Incertainitude (%)	ODG	Pourcentage du BC total
23	12 %	40	0,4 %

Les "Émissions directes des sources mobiles à moteur thermique" correspondent aux émissions dues à l'utilisation des **six véhicules de service** de l'école. Ce critère représente **moins de 1 % des émissions totales du campus** (Tableau 22). Ce résultat semble logique étant donné le nombre faible de véhicules et leur utilisation raisonnable. En effet, ces véhicules ont parcouru moins de 100 000 km cumulés sur l'année 2018 soit près de 16 000 km par véhicule. En France, une voiture parcourt en moyenne 17 423 km par an [Largus, 2015].

Dans la première estimation du BC, l'utilisation des véhicules était de 200 000 km pour dix véhicules. Ceci explique logiquement le facteur 2 entre le résultat final et l'ordre de grandeur initial.

L'incertitude sur ce résultat est importante, car les différents facteurs d'émissions utilisés (en kgCO₂eq/km) couvrent un panel de véhicules important, et présentent donc une incertitude relative importante. Comme expliqué dans la méthode page 52, pour affiner le résultat, il faudrait modifier l'approche et raisonner en litre de carburant consommé.

Ecopâturage : moutons

Tableau 23 : Résumé des informations relatives aux émissions dues aux moutons

Valeur finale (tCO ₂ eq)	Incertainitude (%)	ODG	Pourcentage du BC total
2	32 %	2	0,04 %

Le calcul du BC de la présence de moutons sur le campus aboutit à **2 tCO₂eq**. Il va sans dire que **ce poste d'émission est totalement négligeable face aux autres postes**. De plus, comme présenté dans la partie méthodologie page 53, il est surtout à comparer aux émissions que l'on peut attendre d'une tonte mécanique régulière sur la même surface. Ce travail a été effectué par la Commission de Développement Durable [Commission Développement Durable, 2017].

Moteurs thermiques expérimentaux

Tableau 24 : Résumé des informations relatives aux moteurs thermiques expérimentaux

Valeur finale (tCO ₂ eq)	Incertitude (%)	ODG	Pourcentage du BC total
14	12 %	Non estimé	0,2 %

Les émissions de GES dues à l'utilisation des moteurs thermiques expérimentaux représentent **un pourcentage très faible du Bilan Carbone, en l'occurrence 0,2 %**. Par ailleurs, ces moteurs sont utilisés pour mener des activités de recherche dont le but est, entre autres, de réduire les émissions de GES des moteurs thermiques.

Pour nuancer cet impact, il serait intéressant d'évaluer l'impact de la recherche, en termes d'émissions évitées et d'effets rebonds (voir « Limites des estimations de réduction et prise en compte de l'effet rebond »).

Fuites de fluides frigorigènes

Tableau 25 : Résumé des informations relatives aux fluides frigorigènes

Valeur finale (tCO ₂ eq)	Incertitude (%)	ODG	Pourcentage du BC total
8,5	28 %	120	0,15 %

L'impact carbone des fluides frigorigènes représente **0,15 % du BC total de l'ECN** (Tableau 25). L'utilisation des systèmes de climatisation qui entraîne des pertes de fluides frigorigènes est principalement due à des activités de recherche. Ainsi, cet impact est difficilement compressible. Cependant, il semble qu'il existe encore des appareils contenant du R22 (fluide frigorigène hors protocole de Kyoto, illégal dans l'UE depuis le 1er janvier 2015) sur le campus.

L'incertitude liée au résultat ne prend pas en compte les appareils de climatisation qui n'ont pas été comptés. L'impact des fuites de fluides frigorigènes ne représentant qu'un faible pourcentage du BC total de l'ECN, ajouter les données manquantes n'apporterait pas de changement significatif.

Une comparaison avec l'ordre de grandeur initialement établi montre que ce dernier avait été très largement surestimé. La différence vient de la surestimation du nombre d'installations de climatisation sur le campus. En effet, il a été considéré qu'il y avait une installation par bâtiment. De plus des hypothèses défavorables de PRG (2 500) et de taux de fuites (20 %) ont été utilisées, ce qui justifie l'importance de l'écart. Pour valider cet ordre de grandeur, la valeur obtenue avait été comparée à celle des Mines de Douai (186 tCO₂eq pour 2 000 étudiant-es) et avait ainsi été validée.

3.2.3 Impact carbone des sources d'émissions indirectes liées à l'énergie

Tableau 26 : Résumé des informations relatives aux émissions indirectes liées à l'énergie

Valeur finale (tCO ₂ eq)	Incertitude (%)	ODG	Pourcentage du BC total
227	5,6 %	253	4 %

La thématique "émissions indirectes liées à l'énergie" regroupe les émissions liées à la consommation d'électricité et au chauffage par le réseau de chaleur.

Consommation d'électricité

Tableau 27 : Résumé des informations relatives à la consommation d'électricité

Valeur finale (tCO ₂ eq)	Incertitude (%)	ODG	Pourcentage du BC total
57	7 %	57	1 %

Il a été établi que la consommation d'électricité équivaut à une émission de **57 tCO₂eq/an** (Tableau 27). Les émissions de GES liées à l'électricité sont particulièrement faibles. L'école possède en effet un contrat d'électricité verte.

L'incertitude du calcul de l'impact carbone de l'électricité est faible. Elle est principalement due au fait que le FE fourni par l'ADEME n'est pas celui qui correspond exactement à l'électricité consommée sur le campus. L'ECN aurait pu obtenir le FE exact par EDF mais étant donné le faible impact sur le BC total et le coût nécessaire à l'acquisition de l'information, cette décision n'a pas été prise.

Le résultat final correspond à l'estimation effectuée en ordre de grandeur, car les données comptables étaient déjà disponibles au moment du calcul des ordres de grandeur.

Pour déterminer en détail comment est utilisée l'électricité, il a été fait appel à un bureau d'étude, Qualiteo. Ce dernier, a **relevé la consommation toutes les vingt minutes pendant un an sur chacun des bâtiments** (A à J, L, S et supercalculateur de l'ICI). Ne sont pas prises en compte dans ces consommations les machines expérimentales, qui sont sur un autre TGBT.

La consommation électrique totale de l'ECN est estimée à 3,36 GWh ; celle analysée par Qualiteo est estimée à 0,81 GWh (soit environ 24% de la consommation totale), ce qui est dû au fait que l'étude menée porte seulement sur un des deux TGBT (Tableau Général Basse Tension) et que cela n'englobe pas la consommation très énergivore des machines de laboratoires qui sont sur l'autre réseau électrique. L'estimation de la part traitée par Qualiteo a été obtenue par un calcul intégral, l'ensemble des relevés étant exprimés en Watt.

Pour fiabiliser les résultats, il serait intéressant d'obtenir des données du deuxième réseau dont l'analyse n'a pas été effectuée pour l'instant. L'ECN a préféré commencer à faire analyser une partie de sa consommation électrique sur les postes d'émissions dont elle a jugé que les améliorations étaient les plus faciles à mettre en œuvre. Une seconde analyse portant sur le second TGBT n'est pas à exclure en revanche.

A l'aide d'une décomposition du signal électrique et d'une première analyse (qui a ensuite été approfondie par l'équipe Neutralité Carbone), **Qualiteo a précisé quelles étaient les sources consommant le plus d'électricité. Ces sources sont le CVC (chauffage, ventilation, climatisation), l'éclairage et l'informatique.** Il reste cependant un « talon » qui représente une part non négligeable de la consommation ; il s'agit d'une consommation continue résiduelle que Qualiteo n'est pas parvenu à répartir complètement sur les sources d'émissions mentionnés ci-dessus. Pour approfondir l'étude, il faudrait réduire la part de « talon ».

L'analyse de la consommation électrique a permis de faire ressortir le fait que **35 % de l'électricité consommée sur ce périmètre relève du supercalculateur et des serveurs** (qui sont exclus de la consommation propre du bâtiment D). Les bâtiments D (8,43 % de la consommation totale), E (10,12 % de la consommation totale) et S (9,61 % de la consommation totale) sont également très énergivores (Figure 27).

L'étude de la consommation d'électricité montre que **l'éclairage est une part importante de la consommation**, voire prépondérante dans certains bâtiments (de l'ordre de 40 à 60 % dans les bâtiments administratifs ou exclusivement dédiés à l'enseignement). La Figure 28 permet de réaliser une comparaison des bâtiments A, B et C.

La Figure 29 et la Figure 30 présentent la consommation surfacique d'électricité instantanée en W/m².

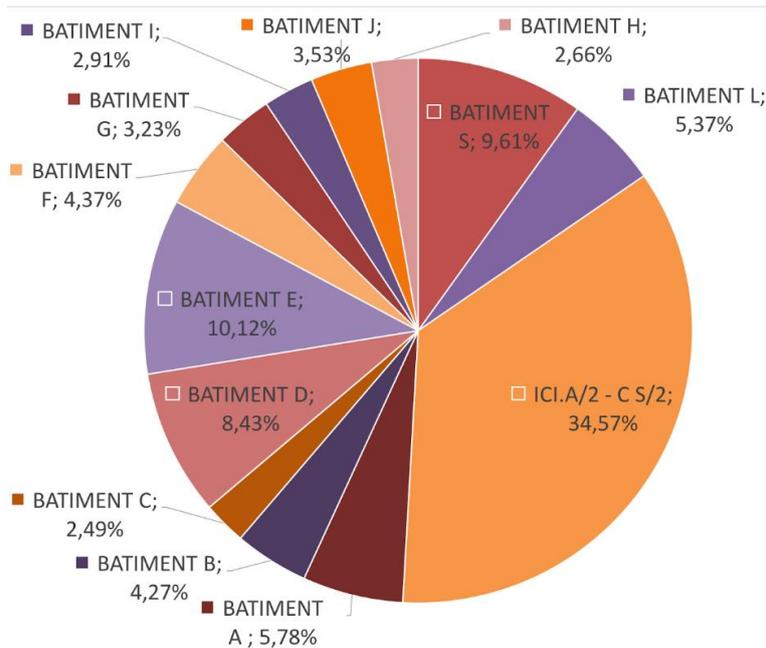


Figure 27 : Répartition de la consommation électrique par bâtiment

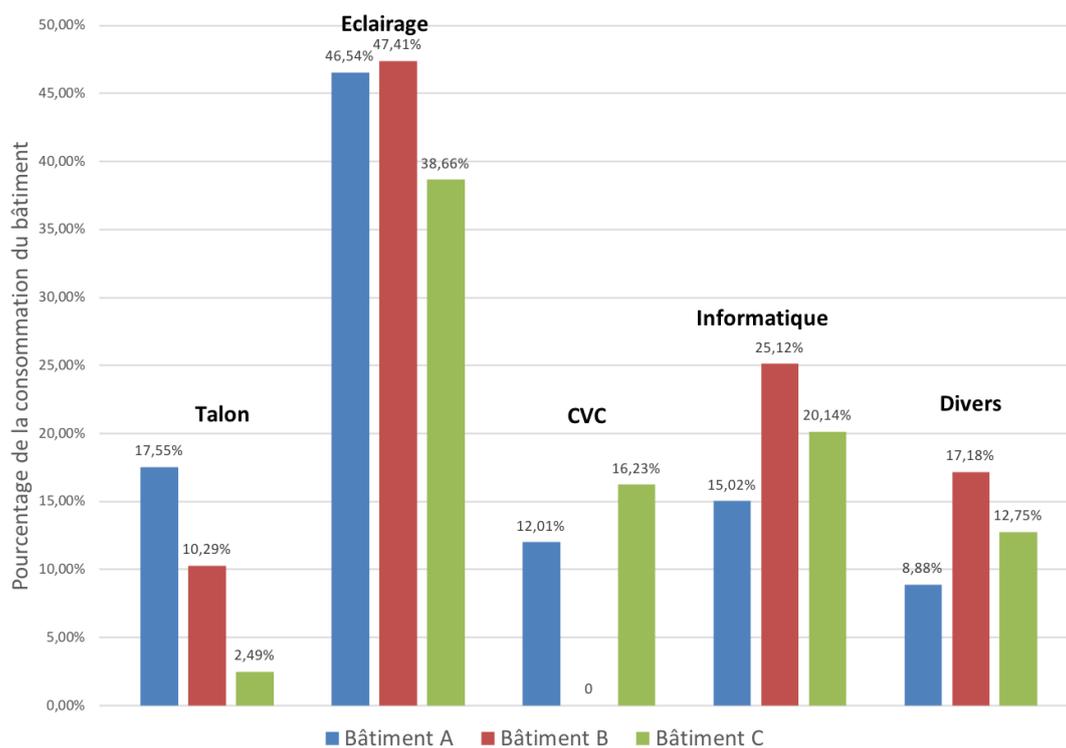


Figure 28 : Comparaison de la répartition de la consommation électrique

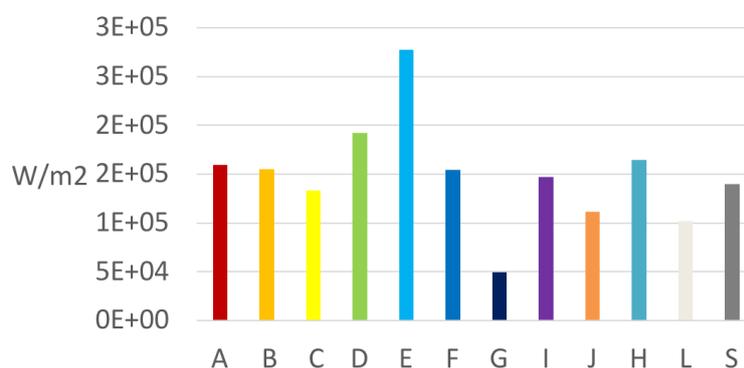


Figure 29 : Consommation globale surfacique par bâtiment

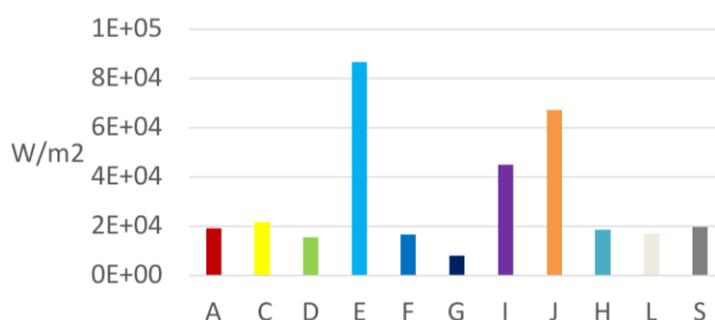


Figure 30 : Consommation surfacique par bâtiment pour la consommation de CVC

Les figures ci-dessus montrent que le bâtiment E a une consommation surfacique supérieure aux autres bâtiments ; la différence de consommation est principalement due à la CVC. Il est à noter que ce bâtiment est le seul parmi l'ensemble des bâtiments A à F à posséder une ventilation mécanique. Les machines à café ainsi que les distributeurs d'aliments (réfrigérés) sont également situés dans ce bâtiment.

Réseau de chaleur

Tableau 28 : Résumé des informations relatives à la consommation de chaleur via le réseau de chaleur

Valeur finale (tCO ₂ eq)	Incertitude (%)	ODG	Pourcentage du BC total
170	7 %	196	3 %

Les émissions dues au chauffage des bâtiments (hors M, N et O) représentent **3 % du BC total** (Tableau 28).

L'incertitude sur ce résultat est relativement faible et est majoritairement due à l'incertitude sur le facteur d'émissions fourni par ERENA.

Une légère diminution entre la valeur estimée et la valeur calculée peut être remarquée (Tableau 28). Cette différence s'explique par l'utilisation d'un nouveau facteur d'émission. Pour l'estimation, le facteur utilisé est celui de 2016 ; pour le calcul final, en revanche, il s'agit de celui de 2018. La valeur de consommation, elle, est la même (les données étant déjà disponibles au moment de l'estimation en ordre de grandeur). **La baisse du facteur d'émissions identifié entre 2016 et 2018 devrait se prolonger (il s'agit en effet d'un objectif de la Mairie de Nantes)**. Ainsi, si la consommation du campus n'évolue pas dans les années à venir, une baisse des émissions pour le chauffage sur le campus devrait être observée. Le réseau de chaleur deviendrait ainsi une solution de plus en plus intéressante.

En ajoutant la part du BC due à la consommation de gaz, l'impact en termes de consommation de chaleur (c'est-à-dire chauffage et eau chaude des sanitaires) du campus – hors bâtiment P, qui est chauffé à l'électricité – représente 4,4 % du Bilan Carbone total. L'impact de la consommation de chaleur est donc relativement faible.

A titre de comparaison, dans le Bilan Carbone de l'UTC réalisé en 2019, la consommation de chaleur compte pour près de 10 % [Collin, 2019]. La faible valeur trouvée pour l'ECN peut s'expliquer par l'utilisation importante du réseau de chaleur de Nantes, qui a de surcroît un facteur d'émissions relativement faible, ainsi qu'en témoigne le Tableau 29 qui compare l'impact des différentes énergies utilisées par l'ECN.

NB : Étant donné le rendement d'un chauffage électrique standard, **le réseau de chaleur de Nantes semble être une bonne solution** (hors énergies renouvelables) en termes d'émissions.

Tableau 29 : Comparatif de l'impact des différentes énergies disponibles

Sources	Réseau de chaleur de Nantes	Réseau de chaleur français moyen	Mix électrique français en 2018 (hors énergie verte)	Gaz naturel - 2015 - mix moyen
facteur d'émissions (en gCO₂eq/kWh)	58	151	57	227

3.2.4 Impact carbone des constructions et bâtiments

Tableau 30 : Résumé des informations relatives aux constructions

Valeur finale (tCO ₂ eq)	Incertitude (%)	ODG	Pourcentage du BC total
799	32 %	778	14 %

L'impact carbone des constructions représente une part importante du Bilan Carbone : **14 % du BC total de l'ECN**.

Sur les 799 tCO₂eq de l'impact lié aux constructions, 290 tCO₂eq proviennent de l'**installation du site d'essais SEM-REV**. Comme mentionné dans la partie 2.2.5, le calcul des émissions n'a pas été effectué par l'équipe Neutralité Carbone. L'incertitude associée à SEM-REV a été choisie à 80% en fonction de la grille proposée par l'ADEME (voir partie « Incertitudes des calculs » page 49) en considérant que la donnée brute était directement l'impact carbone du site.

L'**analyse va donc être effectuée sans compter ce projet** ; les informations relatives à l'impact des émissions des constructions hors site SEM-REV sont présentées dans le Tableau 31.

Tableau 31: Résumé des informations relatives aux constructions, excepté SEM-REV

Valeur (tCO ₂ eq)	Incertitude (%)	ODG	Pourcentage du total du poste "Constructions"
509	24	778	15

L'incertitude pour ce poste est peu élevée. De plus, la surface des bâtiments est connue précisément, donc si le FE change ou est affiné (i.e. diminution de l'incertitude), l'impact et l'incertitude changeront, mais pas la surface, donc les résultats pourront être comparés.

La valeur de l'incertitude dépend notamment de la durée de vie choisie pour les bâtiments (Figure 31).

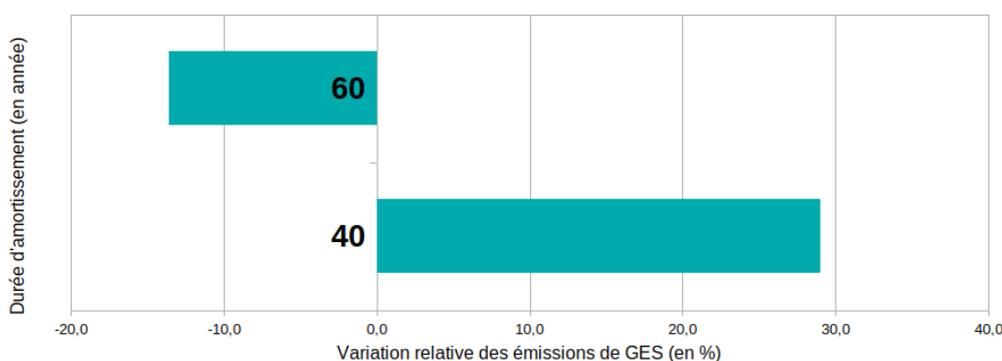


Figure 31: Variation relative des émissions de GES par rapport à une durée d'amortissement de 50 ans

Comme détaillé dans la méthode, la **durée d'amortissement a été fixée à 50 ans**. La Figure 31 montre que le résultat du calcul dépend grandement de la durée d'amortissement choisie, avec des variations du Bilan Carbone allant de -14% à +29%. Cette variation du BC est artificielle, car elle dépend simplement des hypothèses formulées, mais peut se traduire concrètement par une variation de la durée de vie.

En effet, **la durée d'amortissement a été choisie égale à la durée de vie du bâtiment**. Allonger la durée de vie revient donc à réduire l'impact carbone lié à un bâtiment pour l'année en cours. Ainsi, un

bâtiment utilisé pendant 40 ans aura un impact par année d'utilisation 50 % plus élevé que le même bâtiment utilisé pendant 60 ans. Cependant, ce calcul n'inclut pas les émissions de GES liées à la rénovation probablement nécessaire d'un bâtiment qui verrait sa vie prolongée de 20 ans et les déperditions énergétiques supplémentaires d'un vieux bâtiment.

Le calcul du Bilan Carbone en ordre de grandeur donne un résultat presque deux fois plus grand que la valeur finale calculée (Tableau 31). Cela est simplement dû à la différence de durée d'amortissement ; il avait été pris une durée de 20 ans dans le calcul d'ordre de grandeur initial, alors qu'elle est de 50 ans dans le calcul final. En changeant simplement la durée d'amortissement dans le calcul d'ordre de grandeur, ce dernier vaut 311 tCO₂eq, au lieu de 509 tCO₂eq pour la valeur finale (sans SEM-REV).

La différence restante s'explique principalement par des ajouts de constructions et de rénovations comptabilisées dans le BC. L'impact des parkings et de l'entretien des bâtiments (cf. partie 2.2.5) n'avaient pas été pris en compte dans le calcul en ordre de grandeur.

3.2.5 Impact carbone des repas des usager-es

Tableau 32 : Résumé des informations relatives aux repas des usager-es de l'ECN

Valeur finale (tCO ₂ eq)	Incertitude (%)	ODG	Pourcentage du BC total
828	18 %	1000	15 %

Le poste alimentation est, comme anticipé lors du calcul du BC en ordre de grandeur, un gros poste émetteur de GES. Il correspond à **15 % du BC total** ainsi que rappelé dans le Tableau 32.

Les premières estimations situaient cette empreinte carbone à environ 1000 tCO₂eq. La différence entre le résultat final et l'estimation initiale s'explique principalement par la **forte proportion de repas végétariens dans les repas consommés par les usager-es de l'ECN**, qui permet de réduire considérablement le BC des repas.

Les deux plus grandes sources d'incertitudes sont l'hypothèse basant le chiffrage sur le seul aspect protéique, ainsi que le biais induit par le sondage déclaratif. De plus, comme il n'existait pas de FE lié à la consommation d'un repas classique avec du porc ou de poisson, une extrapolation du FE concernant le poulet a été réalisée. C'est pourquoi, pour ces repas, une incertitude de 80% sur le FE utilisé a été estimée.

Le sondage sur les habitudes alimentaire diffusé auprès des usager-es a permis d'analyser les comportements et avis des répondants. La méthodologie et les résultats complets relatif à ce sondage seront présentés dans un document joint au présent rapport : « Rapport_Sondage_alimentation.pdf ».

REGIME ALIMENTAIRE

La première question du sondage portait sur le régime alimentaire (déclaré) des usager-es de l'ECN. Les résultats sont donnés en Figure 32.

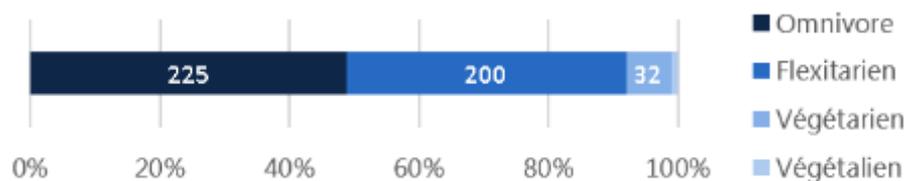


Figure 32 : Régime alimentaire déclaré de l'ensemble des personnes interrogées (échantillon total : 462 personnes)

Parmi les personnes omnivores (c'est-à-dire consommant de la viande, donc sur la Figure 32 « omnivore » ET « flexitarien.ne »), une proportion importante de personnes déclare **rationaliser leur consommation de produits carnés**. Sans que cette information témoigne à coup sûr d'une diminution de la consommation de viande par rapport à la moyenne, elle sous-entend un intérêt pour la réduction de la part de la viande dans l'alimentation. De plus, le pourcentage de personnes se déclarant végétariennes (8 %) est supérieur à la moyenne nationale (environ 3 %). La proportion de personnes omnivores reste toutefois très majoritaire (plus de 90 %).

IMPACT ENVIRONNEMENTAL « RESENTI » LIE A L'ALIMENTATION

La deuxième question du questionnaire avait pour intitulé : « **D'après vous, quel est l'impact environnemental lié à votre alimentation ?** ». Les réponses recensées sont données en Figure 33.

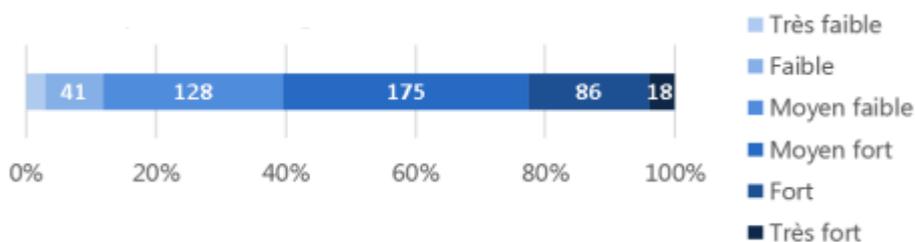


Figure 33 : Avis sur l'impact personnel de l'alimentation (échantillon total : 462 personnes)

Les avis personnels sur le régime de chacun-e sont plutôt nuancés dans l'ensemble. L'analyse du résultat de cette question n'est cependant pas approfondie, un problème de compréhension ayant pu apparaître entre les deux extrémités de l'échelle donnée. **Une minorité de personnes interrogées estiment leur impact particulièrement faible ou important**, gage de lucidité ou d'impact moyen assumé.

TYPE DE RESTAURATION

Deux questions ont été posées à propos du type de restauration fréquenté. Les types de restauration proposés étaient les suivants : plat "maison" (i.e. préparé à partir d'ingrédients frais), plat préparé (i.e. plat acheté tel quel en grande surface), R.U. (restaurant universitaire, autre restaurant). En effet, l'ECN ne propose pas de solution de restauration sur site. Un restaurant universitaire, géré par le CROUS (Centre Régional des Œuvres Universitaires et Scolaires) se trouve à environ cinq minutes à pied de l'ECN. Ce R.U. est commun à l'ensemble du campus du Tertre, qui regroupe l'ECN, l'école de management Audencia et l'Université de Nantes.

Une première question portait sur le dernier type de restauration tandis que la deuxième portait sur la fréquence d'utilisation de chacun des types de restauration. La première question avait pour but d'être croisée avec la deuxième, afin de vérifier sa fiabilité.

Les résultats à la question sur le dernier type de restauration fréquenté sont donnés en Figure 34.

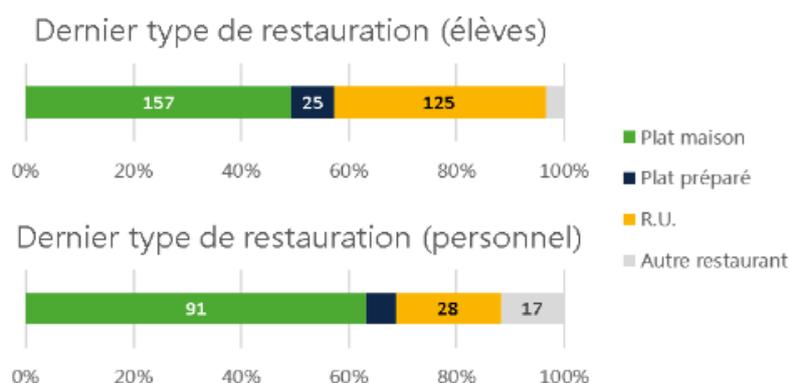


Figure 34 : Dernier type de restauration (échantillon total : 318 puis 144 personnes)

Ces résultats peuvent être comparés aux réponses données à la question sur la fréquence de fréquentation des différents types de restauration (Figure 35).

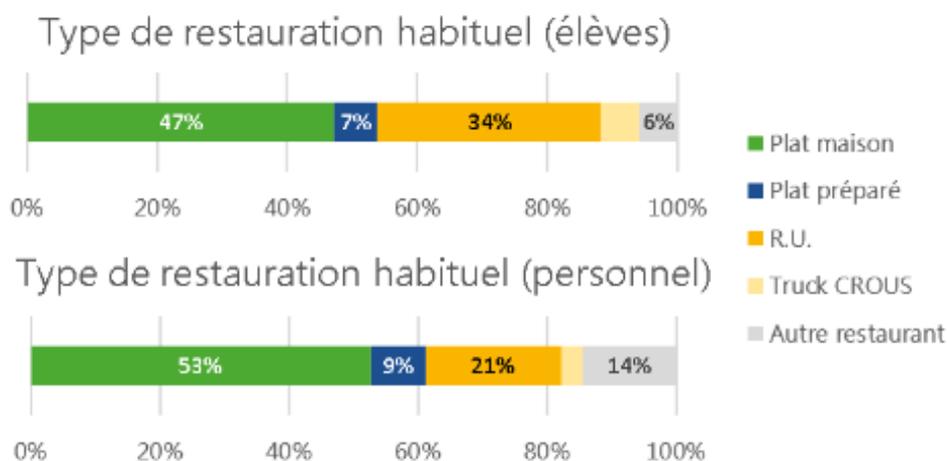


Figure 35 : Type de restauration habituel déclaré le midi en semaine (échantillon total : 317 puis 143 personnes)

Les réponses données aux questions sur le dernier type de restauration et les habitudes de fréquentation, ainsi que le montrent la comparaison entre les figures 3.x et 3.x et celle entre les figures 3.x et 3.x, sont cohérentes.

Une part importante de repas faits « maison » est consommée (environ **50 % des repas**, d'après la Figure 34 et la Figure 35). Cela peut s'expliquer par le manque de solutions de restauration au sein du campus de Centrale Nantes.

Les permanent-es fréquentent sans surprise moins le restaurant universitaire que les étudiant-es, bien qu'une proportion non négligeable de ce groupe déclare y déjeuner de manière assidue : 25 permanent-es sur 143 (18 %) fréquentent le R.U. au moins quatre fois par semaine.

VAISSELLE JETABLE AU *FOOD-TRUCK* DU CROUS

Le CROUS installe, deux fois par semaine, un camion restaurant ambulant (*food-truck*) à proximité du foyer de l'ECN. Il est alors possible de s'y restaurer. Cependant les repas proposés entraînent la production de déchets. Il a donc été demandé aux sondés si ce critère était discriminatoire pour eux, au moment de choisir leur lieu de restauration : environ un tiers des personnes ayant envisagé de manger à la camionnette du CROUS déclarent avoir renoncé à y manger à cause la vaisselle jetable qui y est utilisée.

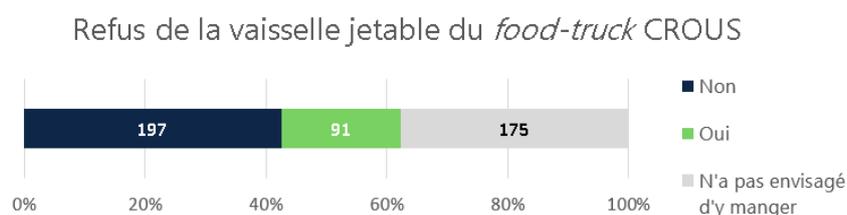


Figure 36 : Renoncement au *food-truck* CROUS à cause de la vaisselle jetable fournie (échantillon total : 463 personnes)

SOURCES DE PROTEINES CONSOMMEES

Il a été souhaité dresser une estimation du contenu du déjeuner moyen pour les usager-es de l'École.

Comme pour les questions sur les habitudes de fréquentation des différents types de restauration, deux questions ont été posées. La première sur la dernière source de protéine consommée et la deuxième sur la fréquence de consommation des sources de protéines. La première question (Figure 37) avait pour objectif de vérifier la cohérence des réponses à la deuxième (Figure 39).

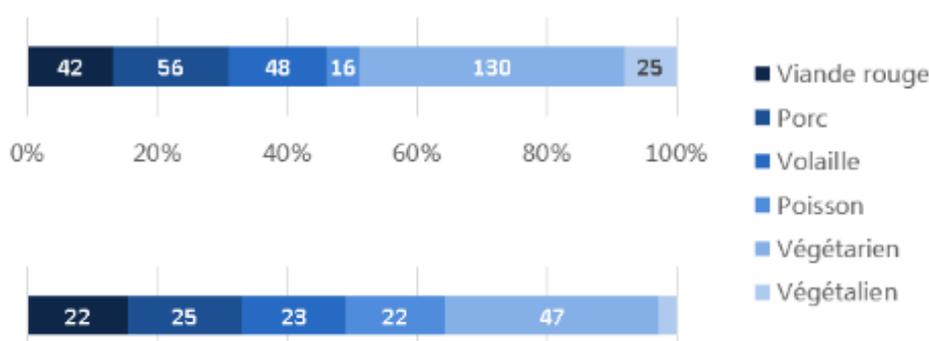


Figure 37 : Dernière source de protéines consommées au cours du dernier repas le midi en semaine (échantillons totaux : 317 (élèves en haut) puis 143 personnes (permanent.es en bas))

Il peut être remarqué que les élèves consomment une proportion supérieure de repas végétariens (49 % contre 36 %). Les types de viandes sont répartis en parts similaires.

La différence des proportions de plats végétariens peut s'expliquer par le **prix élevé de la viande, la rendant moins accessible aux étudiant-es**. De plus, cette différence peut aussi impliquer une **prise de conscience élargie parmi les étudiant-es**, les nouvelles générations ayant davantage intégré l'impératif de réduire la consommation de produits animaux.

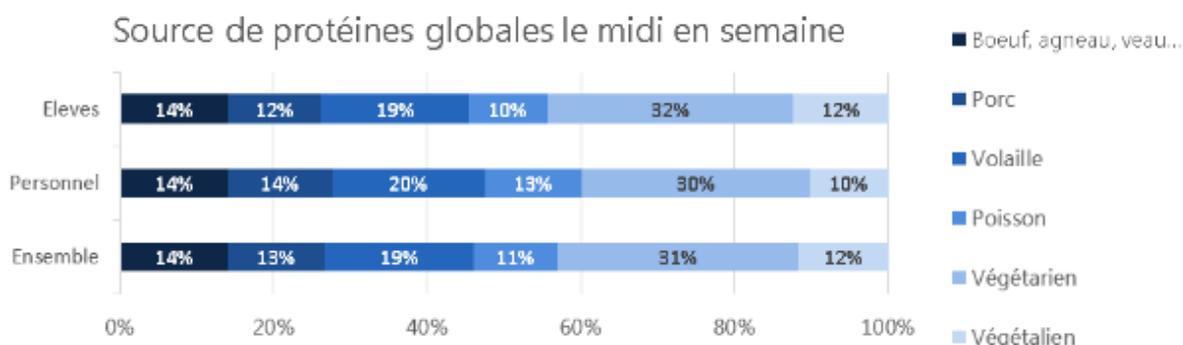


Figure 38 : Fréquence hebdomadaire de consommation des différentes sources de protéines (échantillon total : 460 personnes)

Les résultats montrés en Figure 38 sont cohérents avec ceux présentés à la Figure 37.

Les réponses détaillées, pour chaque source de protéines sont fournies dans la Figure 39.

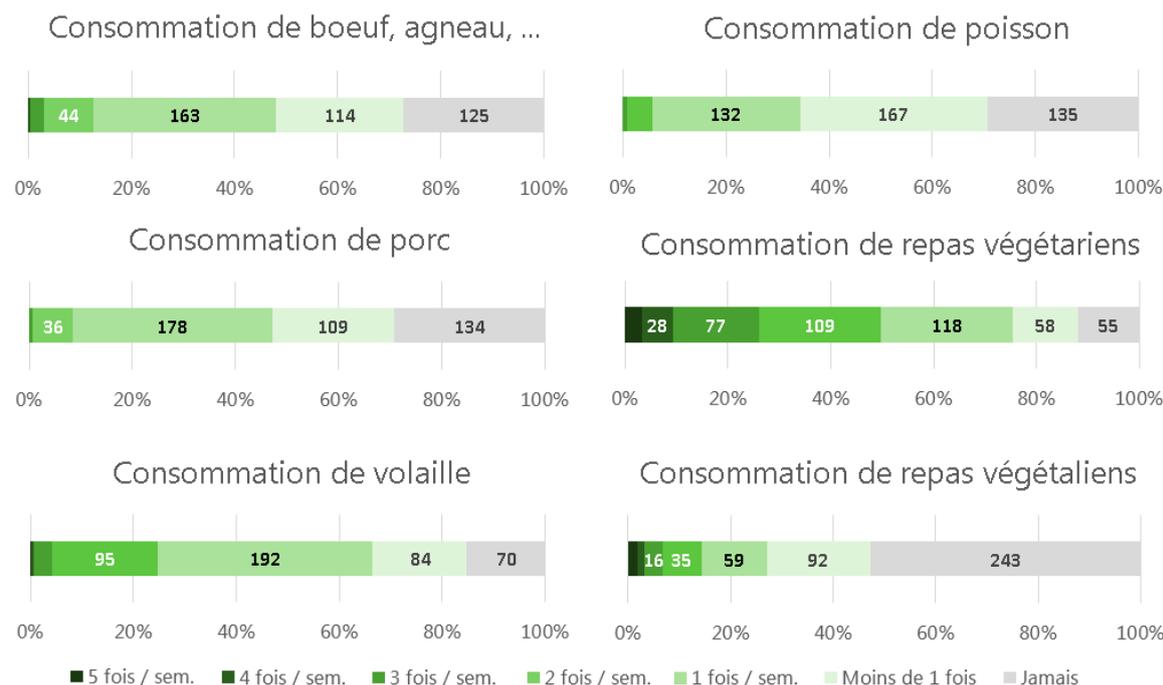


Figure 39 : Détail des fréquences hebdomadaires de consommation des différentes sources de protéines (échantillon total : 460 personnes)

D'après les habitudes déclarées par chacun-e, près de la moitié des repas moyens sont végétariens. La proportion est sensiblement supérieure parmi les étudiant-es. Par ailleurs, les viandes ont toutes des

succès semblables à l'exception de la volaille, pour laquelle deux tiers des personnes déclarent en consommer au moins une fois par semaine.

Ainsi qu'expliqué dans la partie « Calcul de l'impact carbone des repas des usager-es », à partir des fréquences hebdomadaires des sources de protéines des repas des usager-es, un tableau calculant les émissions (en tCO₂eq) liées à la consommation des différents types de plats a été dressé (Tableau 8).

Cela a permis de calculer **l'empreinte carbone totale des repas du midi consommés par les usager-es de l'ECN, qui est de 827,6 CO₂eq.**

La figure ci-dessous montre le lien entre les émissions de GES et le type de déjeuner consommé par les usager-es de l'ECN (élèves et personnel confondus).

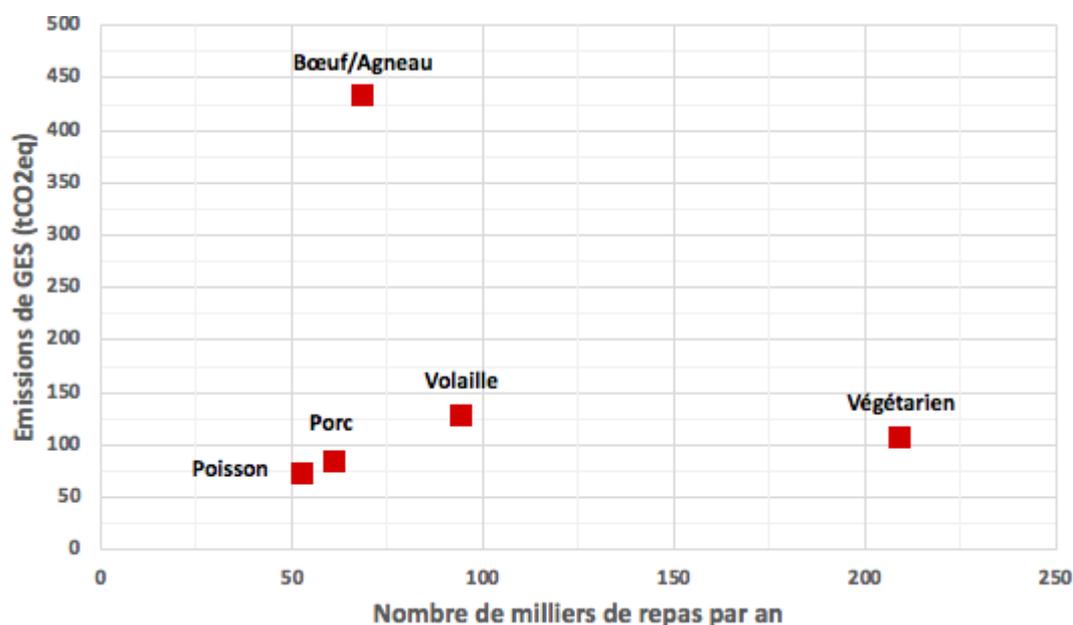


Figure 40 : Repas consommés à l'ECN sur une année et émissions correspondantes de GES

Ramené au nombre de personnes à l'École, le poids carbone d'un repas est de 1,7 kgCO₂eq.

Ce chiffre est inférieur à celui de la moyenne nationale, qui situe les repas moyens français à environ 2 kgCO₂eq.

La réduction des émissions de GES liées à l'alimentation relève beaucoup des **choix individuels** – bien que les choix alimentaires soient influencés par la société : les choix de chacun-e permettront avant tout de réduire ce poste d'émissions. C'est un moyen efficace pour faire évoluer l'offre.

Si une réduction de la consommation de viande est souhaitable, l'objectif idéal n'est pas nécessairement de passer à 100% de plats végétariens mais plutôt d'avoir un recours raisonné à la viande : peu de viande rouge au profit de la viande blanche, en petite proportion, d'une meilleure qualité et provenant de circuits de production locaux.

Dans la suite de l'analyse, des leviers d'action incitatifs vont être recherchés, en s'appuyant sur les réponses des acteur-ices de l'ECN au sondage sur les habitudes alimentaires.

LEVIERS D'INCITATION AU REPAS VEGETARIEN AU RESTAURANT UNIVERSITAIRE

La question sur les sources de protéines habituelles a été spécifiquement posée aux personnes qui fréquentent le restaurant universitaire (R.U.). A ce jour, le restaurant universitaire ne propose pas systématiquement de menus entièrement végétaliens. La question a donc été posée sans ce choix. Cette question a concerné 233 personnes. Les réponses sont données dans la figure suivante.

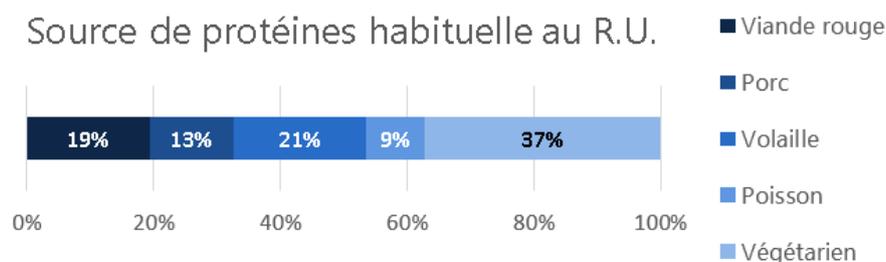


Figure 41 : Sources de protéines moyennes au R.U. (échantillon total : 233 personnes)

D'après les données du CROUS, **12 % des repas servis chaque jour à l'ensemble des usager-es du R.U. sont végétariens**. D'après les déclarations de ses usager-es régulier-es, les menus végétariens pèsent pour plus d'un tiers des repas servis. La différence pourrait notamment s'expliquer par le fait que les Centraliens de Nantes ne sont pas les seuls utilisateurs du restaurant universitaire - ou par un biais du sondage.

Des leviers ont été cherchés pour inciter les usager-es à consommer davantage de repas végétariens. Parmi les usager-es du restaurant universitaire, 38 % demandent une plus grande diversité dans les plats végétariens (88 sur 233), 11 % (26 sur 233) souhaite de **plus grandes quantités dans l'assiette**. Par ailleurs, 16 % de ces usager-es (37 sur 233) indique **fréquenter le R.U. pour y profiter de la viande cuisinée**.

GASPILLAGE ALIMENTAIRE AU RESTAURANT UNIVERSITAIRE

Afin d'estimer le gaspillage alimentaire au R.U., il a été demandé aux personnes qui y mangent à quelle fréquence elles ne finissent pas leur assiette. Les réponses à cette question sont illustrées en Figure 42.

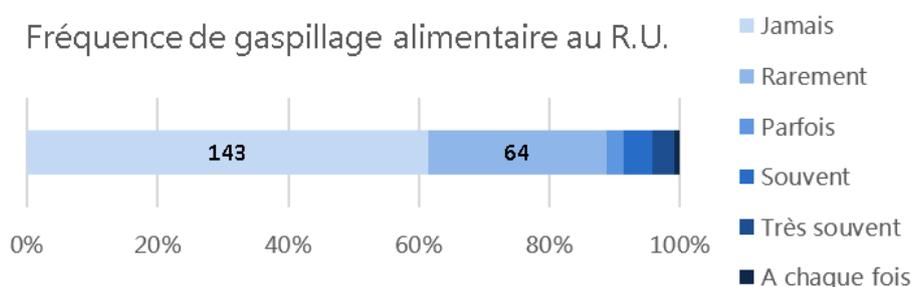


Figure 42 : Fréquence à laquelle les personnes ne terminent pas le contenu de leur plateau au R.U. (échantillon total : 233 personnes)

Parmi les personnes ayant indiqué parfois ne pas terminer les aliments sur leur plateau (90 sur 233 soit 39%), deux justifications principales sont données : **un problème de goût ou de qualité** (36 sur

90), ou des **quantités trop copieuses** (40 sur 90). Parmi ce deuxième cas, certaines personnes justifient l'excès de quantité par le service au R.U (26 sur 40) : « Les plats sont parfois servis en trop grosse quantité » ; « La portion servie est trop copieuse, même si on dit ["un petit peu"] ».

Il convient de noter que vu la formulation de la question – « Au restaurant universitaire (RU), vous arrive-t-il de ne pas consommer l'intégralité des aliments de votre plateau ? » – les personnes indiquant parfois ne pas tout consommer peuvent également garder les aliments pour plus tard (fruits, pain...) ou les donner à autrui.

LEVIERS D'INCITATION A L'ACHAT DE PRODUITS A PLUS FAIBLE IMPACT

La proportion de personnes qui mangent des plats qu'elles préparent elles-mêmes est grande. Une question a donc été posée pour comprendre quels étaient les **critères de choix principaux au moment de faire un achat alimentaire**. Les réponses à cette question sont données dans la Figure 43.

Lors du sondage, les choix de cette question étaient présentés dans un ordre aléatoire pour ne pas biaiser dans un sens le choix des personnes interrogées. Les personnes pouvaient choisir au maximum 4 critères.

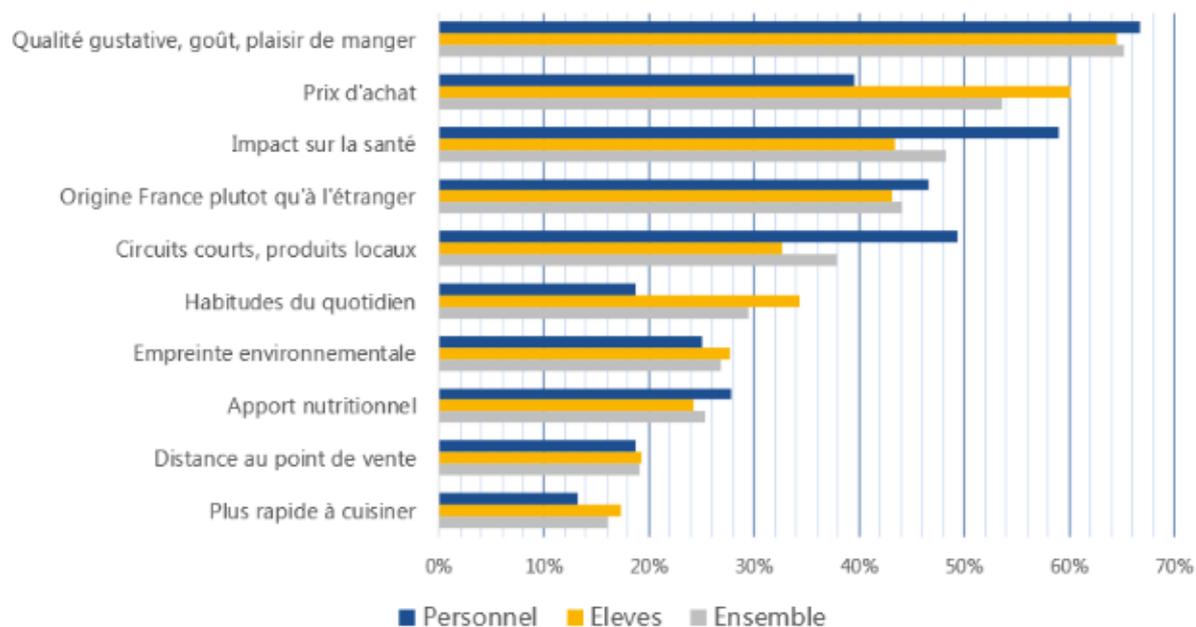


Figure 43 : Critères de choix à l'achat de produits alimentaires : proportions des personnes interrogées ayant sélectionné le critère correspondant (échantillons totaux : 318 (élèves) et 144 (personnel) personnes)

Sans surprise, **le goût est le critère principal à l'achat** pour près de deux tiers des personnes. Le prix d'achat est en moyenne le second critère le plus cité (54 %), bien qu'il soit bien plus cité par les élèves (60 %) que par les membres du personnel (40 %).

Des proportions similaires sont observables chez les élèves sur les critères de lieu de production, des habitudes et d'impact sur la santé, suggérant la prise en compte globale de ces critères sans en favoriser un autre mesure. **L'impact sur la santé préoccupe cependant davantage les membres du personnel.**

Suite à cette question, il a été demandé aux personnes sondées **ce qui pourrait les conduire à réaliser des achats plus responsables**. Lors du sondage, les choix de cette question étaient présentés dans un ordre aléatoire pour ne pas biaiser dans un sens le choix des personnes interrogées. Les personnes pouvaient choisir au maximum 3 critères. Les réponses sont détaillées dans la Figure 44.

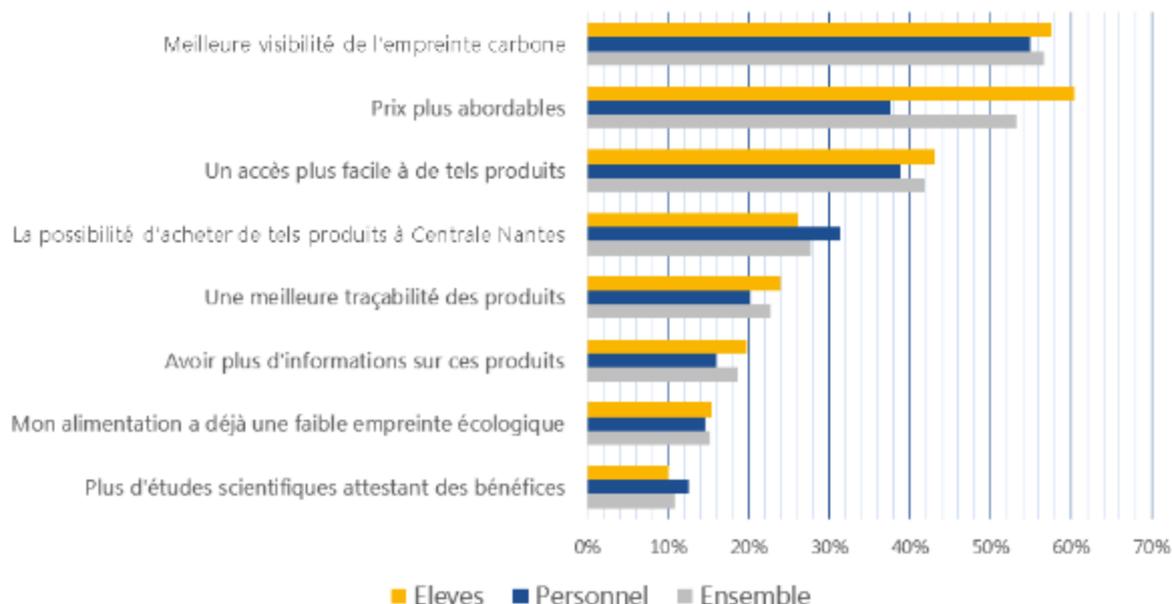


Figure 44 : Leviers d'incitation à l'achat de produits alimentaires ayant une empreinte carbone plus faible : proportions des personnes interrogées ayant sélectionné le critère correspondant (échantillon total : 462 personnes)

Actuellement, seuls des services spécifiques indiquent leur empreinte carbone (transport en train, ...). Les produits alimentaires ne sont pas soumis à une réglementation similaire. Certaines informations peuvent constituer cependant une bonne indication : le pays d'origine, un éventuel label, le commerce lui-même, ...

Conformément aux critères de la question précédente, **le prix à l'achat constituerait un frein important à l'achat de produits à faible empreinte pour près de deux tiers des élèves.**

3.2.6 Impact carbone des déplacements des personnes

Tableau 33 : Résumé des informations relatives aux déplacements

Valeur finale (tCO ₂ eq)	Incertitude (%)	ODG	Pourcentage du BC total
2067	27 %	2172	36 %

La thématique “déplacements” regroupe les émissions liées aux points suivants :

- Déplacements liés à la formation des étudiant-es
- Déplacements des permanent-es et des personnes extérieures
- Déplacements pendulaires (domicile-travail)
- Déplacements liés aux forums prépas

Le Tableau 33 récapitule l’impact carbone calculé pour l’ensemble de ces déplacements, comparé à l’ordre de grandeur estimé initialement ; afin de se rendre compte de l’impact relatif des déplacements sur l’ensemble du BC total, la proportion qu’ils représentent est également précisée.

Déplacements liés à la formation des étudiant-es

Tableau 34 : Résumé des informations relatives aux déplacements liés à la formation des étudiant-es

Valeur finale (tCO ₂ eq)	Incertitude (%)	ODG	Pourcentage du BC total
964	43 %	1367 (hors stages)	17 %

Il a été calculé que les déplacements scolaires (les DD, les SE, les Masters et les stages) représentaient 964,1 tCO₂eq soit 17 % du BC total de l’ECN (Tableau 34) et près de la moitié du poste “Déplacements” (46,6%).

L’incertitude sur ce résultat est relativement importante : elle est de 43 %. Elle a été estimée en considérant l’incertitude sur les FE des moyens de transport utilisés (50% pour les FE de l’avion de l’ADEME) et les incertitudes de mesure de distance entre 2 capitales (29 %). De ce fait, l’importance de cette incertitude est à relativiser car les incertitudes sur les FE de l’ADEME sont elles aussi souvent élevées. En outre, le calcul d’incertitude omet tout de même plusieurs autres variables dont, notamment, la distance Nantes-Paris non considérée dans le calcul (voir partie 2.2.7) et les émissions des trajets des stages en France en général.

Si un seul aller-retour est considéré par personne par an, il faut également envisager le fait qu'une personne proche de la France pourrait effectuer des allers-retours supplémentaires non comptabilisables. Ce problème est évoqué et développé dans la partie 2.2.7.

L'ordre de grandeur estimé pour ce poste en première approche était de 1 367 tCO₂eq en comptant uniquement les départs en double diplôme (c'est-à-dire les mobilités hors stage).

Il avait été compté que deux tiers des 2 000 étudiant-es partaient en double diplôme (DD) et que cela représentait une grande majorité des déplacements scolaires. Il avait été supposé que les élèves effectuaient deux allers-retours Paris-New York par an. Or, dans le calcul du BC, il a finalement été considéré que les allers-retours vers la France au cours de l'année relevaient des déplacements personnels (voyages pendant les vacances, etc.) et ne pouvaient pas être comptabilisés dans le BC de l'ECN car étant en-dehors du cadre de la formation. Le changement de périmètre entraîne donc une surestimation. L'ordre de grandeur serait cohérent avec les chiffres obtenus pour les mobilités hors stages (DD/SE/Masters) si un seul aller-retour avait été considéré dans le calcul (683,5 tCO₂eq contre 639,6 tCO₂eq calculé finalement, mobilités entrantes et sortantes incluses).

Les mobilités scolaires seront détaillées au travers de plusieurs chiffres.

En premier lieu, les effectifs par type de mobilité sont présentés dans le Tableau 35.

Tableau 35 : Effectif par type de mobilité pour l'année scolaire 2018-2019

Type de mobilité	Stages	DD/SE entrants	DD/SE sortants	Masters
Effectifs	1085	140	118	72

1 085 élèves de l'ECN ont réalisé un stage (CME, STING, TFE, dans le cadre d'une césure, ...) sur l'année scolaire 2018-2019. Sur ces 1085 élèves, seulement 210 élèves ont effectué ce stage à l'international (ou Outre-Mer) et sont donc inclus-es dans le calcul du BC. Le déplacement des 875 autres élèves a donc été omis dans le calcul.

Le Tableau 36 affiche les émissions, par type de mobilité, obtenues avec la méthodologie décrite précédemment pour les 1 085 élèves dont l'impact a été compté.

Tableau 36 : Emissions par type de mobilité pour l'année scolaire 2018-2019

Type de mobilité	Stages	DD/SE entrants	DD/SE sortants	Masters
Emissions totales (tCO₂eq)	324,4	325,2	147,1	167,3
Emissions par élève	1,5 ¹	2,3	1,2	2,3

¹ Stages internationaux uniquement

Sur les résultats du Tableau 36, obtenus en suivant la méthode décrite page 65, et sans prise en compte d'effet rebond (pourtant potentiellement non négligeable, voir partie 2.2.7), il est intéressant de noter que par élève, les DD/SE entrants et les Masters sont plus émetteurs que les stages et les DD/SE sortants. Globalement, cette différence s'explique par le fait que **la plupart des stages à l'international s'effectuent en Europe comme la plupart des DD/SE sortants** ; les DD/SE entrants et les Masters viennent en général de régions hors Europe (Figure 45).

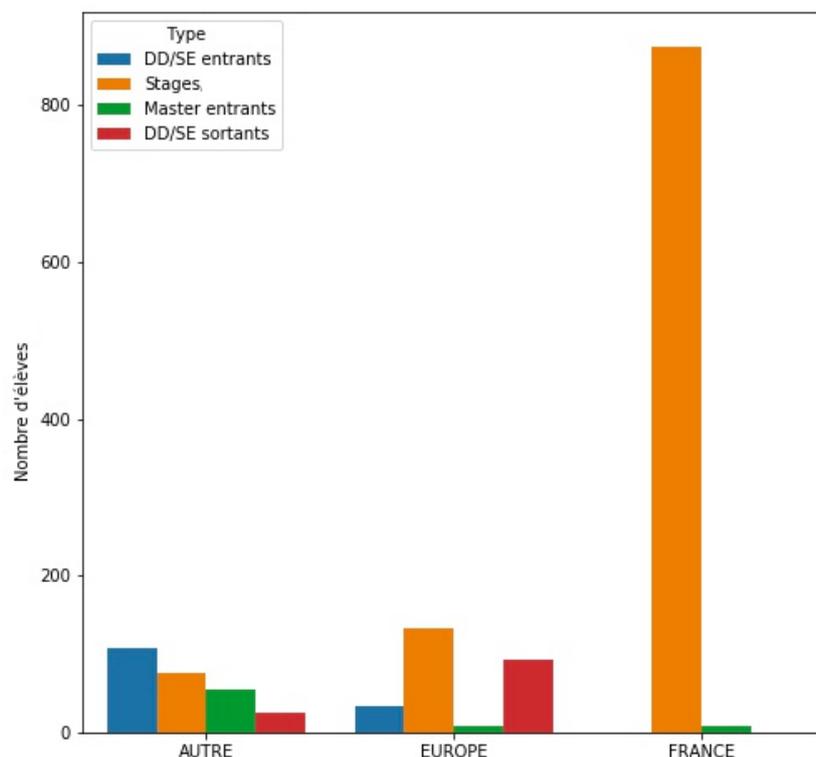


Figure 45 : Répartition par zone géographique des mobilités élèves (2018-2019)

S'il n'y a pas de souhait de changer la politique de l'ECN et les effectifs pour chaque mobilité, il peut être envisagé de jouer sur les mobilités en Europe afin de réduire les émissions de GES ; en effet, une action peut être menée plus facilement sur les moyens de transport utilisés que pour les autres mobilités (voir « Leviers pour les déplacements liés à la formation des étudiant.es »).

Cependant, **la part des émissions due aux mobilités européennes dans les déplacements scolaires représente seulement 11,8 % de l'émission totale du poste**. Pour rappel, ce chiffre ne prend pas en compte les mobilités franco-françaises qui ont été retirées du périmètre ; le fait de négliger cet impact équivaut à penser que l'ensemble de ces mobilités s'effectue par un moyen de transport très peu émetteur (autocar, train, stage sur place...).

Finalement, **88,2 % des émissions dues aux déplacements scolaires paraissent être difficiles à réduire sans réduire le nombre d'élèves venant à l'école ou sans changer la destination de la mobilité, car l'avion est le seul moyen de transport possible dans le cadre de ces mobilités**. Plusieurs préconisations sont proposées pour résoudre ce problème (voir « Leviers pour les déplacements liés à la formation des étudiant.es »).

Plusieurs gros contingents venant du ou allant dans le même pays sont repérables dans les mobilités hors Europe (entrantes et sortantes confondues) ainsi qu'en témoigne la Figure 46.

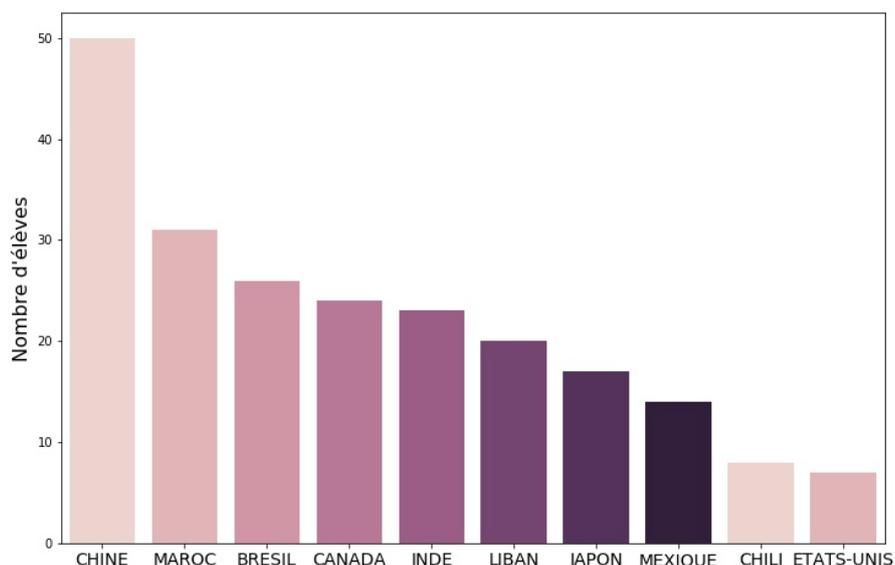


Figure 46 : Les 10 mobilités hors Europe les plus importantes en nombre à l'ECN (2018-2019)

Ces effectifs sont mis en regard ci-dessous avec l'impact carbone de leur voyage.

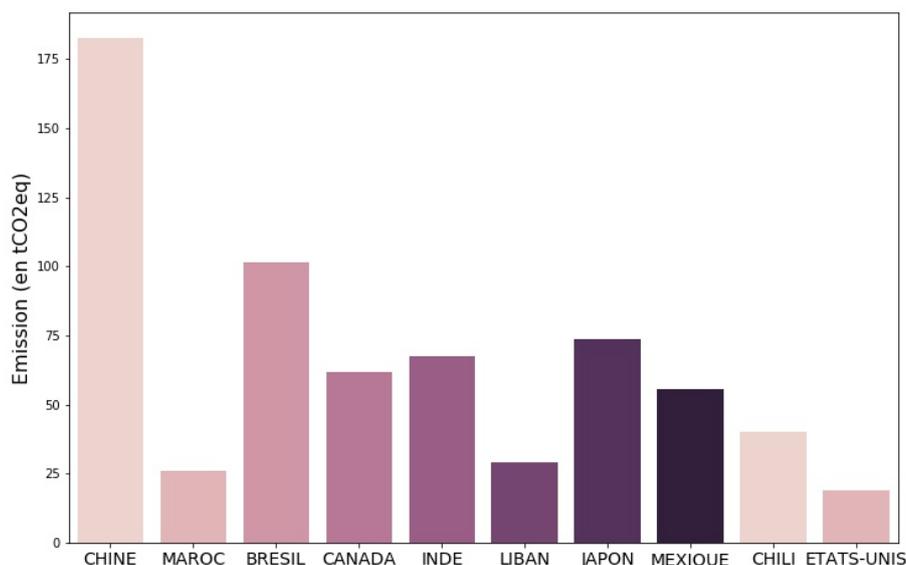


Figure 47 : Émissions des 10 mobilités hors Europe les plus importantes (2018-2019)

Le principal enseignement de ces 2 graphiques (Figure 46 et Figure 47) est premièrement d'observer de nouveau la prépondérance du facteur distance dans l'émission d'un trajet.

Ces figures soulèvent également un autre problème, déjà évoqué : il est possible que les émissions de personnes venant de pays relativement proches de la France dépassent le cadre obligatoire qu'impose la venue (ou le départ) de l'ECN. Pour le calcul du BC de l'ECN, un seul aller-retour a été pris en compte, alors que la proximité du pays permet d'en faire beaucoup plus – pour des raisons

personnelles ; à l'inverse des personnes venant de pays lointains resteront vraisemblablement en France. Cette discussion est développée dans la partie « Réduction du nombre de DD/SE/masters selon leur éloignement ».

Déplacements des permanent.es et des personnes extérieures

Tableau 37 : Résumé des informations relatives aux déplacements professionnels

Valeur finale (tCO ₂ eq)	Incertitude (%)	ODG	Pourcentage du BC total
492	29 %	317	9 %

Les émissions dues aux déplacements professionnels représentent 9 % du BC total (491 tCO₂eq).

L'incertitude est de ce critère est de 29 %. En effet, une incertitude de 50 % a été appliquée aux données fournies par les prestataires pour les concentrations en CO₂eq des voyages réalisés en avion ; cela correspond, en moyenne, à l'incertitude qu'associe l'ADEME aux FE utilisés pour calculer l'impact des voyages de personnes en avion. Une incertitude de 60 % a été appliquée aux concentrations en CO₂eq des voyages réalisés en train ; cela correspond, en moyenne, à l'incertitude qu'associe l'ADEME aux facteurs d'émissions utilisés pour calculer l'impact de ce moyen de transport.

L'incertitude étant liée aux facteurs d'émissions de l'ADEME, il semble difficile de la réduire. En revanche, les données pourraient être complétées car certaines restent manquantes (voir la description de la méthodologie page 76).

Deux analyses différentes et complémentaires ont été réalisées pour les déplacements professionnels : une par personne et une autre par mode de transport. Cela permet de mieux cibler les gisements de réduction par la suite, et de permettre à chacun de se rendre compte de son impact.

Dans chaque analyse, **les données fournies concernent l'ensemble des personnes pour lesquelles des informations étaient disponibles**. Par exemple, pour les déplacements des permanent-es (doctorant-es compris-es), les données disponibles concernent 200 personnes sur l'ensemble des permanent-es (doctorant-es compris-es) que compte l'ECN, soit un peu plus de 500 personnes.

L'ensemble des calculs réalisés pour analyser les données fournies est disponible dans un tableur joint au présent rapport : « Analyse_Deplacements_Professionnels.xlsx ».

ANALYSE PAR PERSONNE

L'analyse par personne a révélé de **fortes disparités en termes de déplacements, à l'échelle des laboratoires et des services, mais aussi à l'échelle de l'ECN** dans son ensemble. Dans cette analyse, les données relatives (distance, émission de GES, FE) à chaque personne font référence à l'ensemble des voyages qu'elle a effectués au cours de l'année 2019.

La Figure 48 permet d'illustrer ce propos.

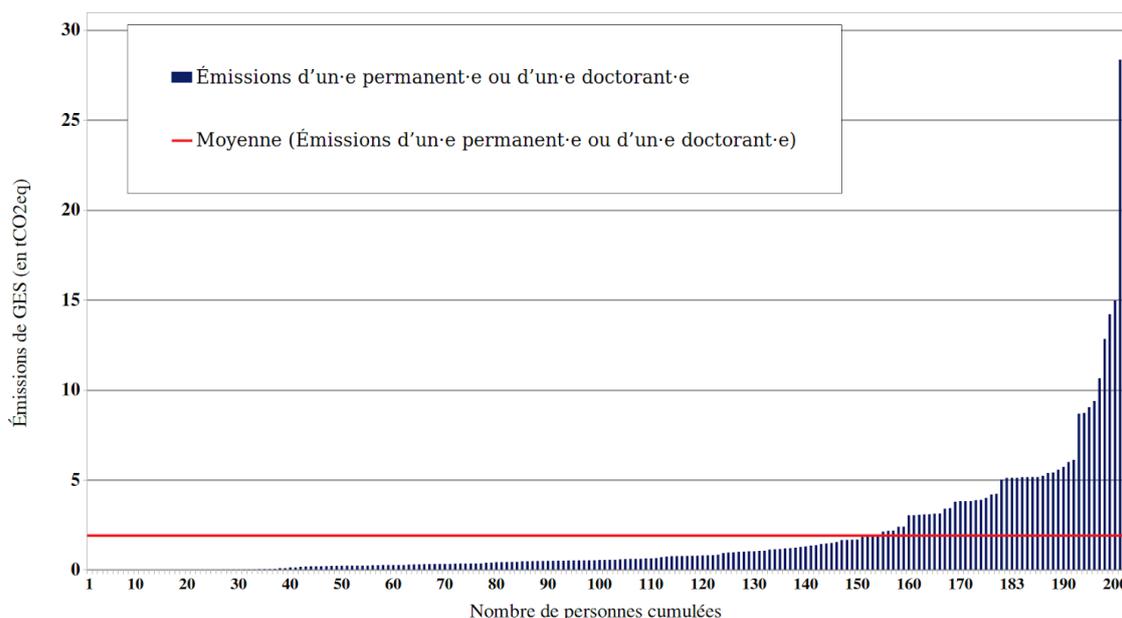


Figure 48 : Émissions de GES (en tCO₂eq) liés au déplacement des permanent-es et doctorant-es

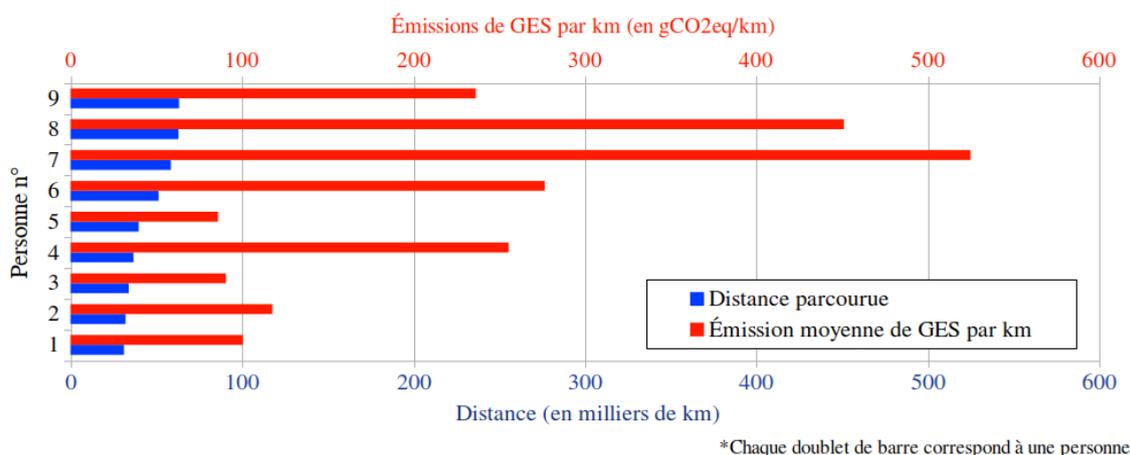


Figure 49 : Distance parcourue par personne et émissions de GES par km associées

Sur 200 personnes, seulement un quart d’entre elles sont au-dessus de la moyenne des émissions de GES par personne (1.89 tCO₂eq/personne).

18 personnes (soit 9 %) émettent 50 % des GES totaux. La moyenne des émissions de ces 18 personnes les plus émettrices est de 10,7 tCO₂eq/personne. À l’inverse, 50 % des personnes représentent 6 % des GES pour une moyenne de 0,21 tCO₂eq/personne.

Il y a donc de fortes disparités entre les personnes. Il convient alors de questionner la mobilité de certaines personnes qui émettent la plupart des GES au sein de l’école, au regard de leur activités respectives.

Des disparités peuvent s’exprimer à plusieurs niveaux. Y compris pour deux personnes parcourant une même distance, la quantité d’émissions de GES peut différer, ce qu’illustre la Figure 49.

Par exemple, les émissions par kilomètre de neuf personnes qui ont parcouru au cours de l'année 2019 des distances du même ordre de grandeur (entre 30 000 et 60 000 km) sont comparées.

La Figure 49 montre que malgré des distances parcourues similaires, un grand écart entre les émissions de GES moyennes par kilomètre de leurs voyages peut être observé.

Ces moyennes kilométriques ne sont pas à comparer avec des facteurs d'émissions classiques, étant donné qu'ils font référence à la somme de plusieurs voyages, effectués via des modes de transport différents (train, avion court courrier, moyen-courrier, etc.). Par exemple, les personnes n°7 et 9 sur la Figure 49 ont parcouru respectivement 59 000 km et 63 000 km en émettant 31 tCO₂eq et 15 tCO₂eq. Pour la personne n°7, cela équivaut à un doublement de la moyenne kilométrique par rapport à la personne n°9 (525 gCO₂eq/km contre 236 gCO₂eq/km).

Cette grande différence s'explique principalement par le type de cabine d'avion dans lequel la personne voyage. En effet, **les cabines type "Business" occupent un espace plus grand dans l'avion que les cabines type "Economy", les émissions par passager.km sont donc plus importantes pour les cabines type Business.**

ANALYSE PAR LABORATOIRE DE RATTACHEMENT

Cinq laboratoires ont été étudiés : l'Institut de Calcul Intensif (ICI), le laboratoire Jean Leray (laboratoire de mathématiques), l'Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique (GeM), le Laboratoire de recherche en Hydrodynamique, Énergétique et Environnement Atmosphérique (LHEEA) et le LS2N (Laboratoire des Sciences du numérique de Nantes). Le laboratoire Ambiance Architecture et Urbanité (AAU) n'a pas été pris en compte dans cette analyse par manque d'informations.

La Figure 50 permet de mettre en évidence **les différences d'émission de GES par statut au sein de chaque laboratoire et entre les différents laboratoires** ; les émissions par statut sont comparées à la moyenne par laboratoire. **Quatre types de profils** sont distingués : personnes extérieures au laboratoire (visiteur-se occasionnel-le), doctorant, enseignant et/ou chercheur-se (EC), autre personnel.

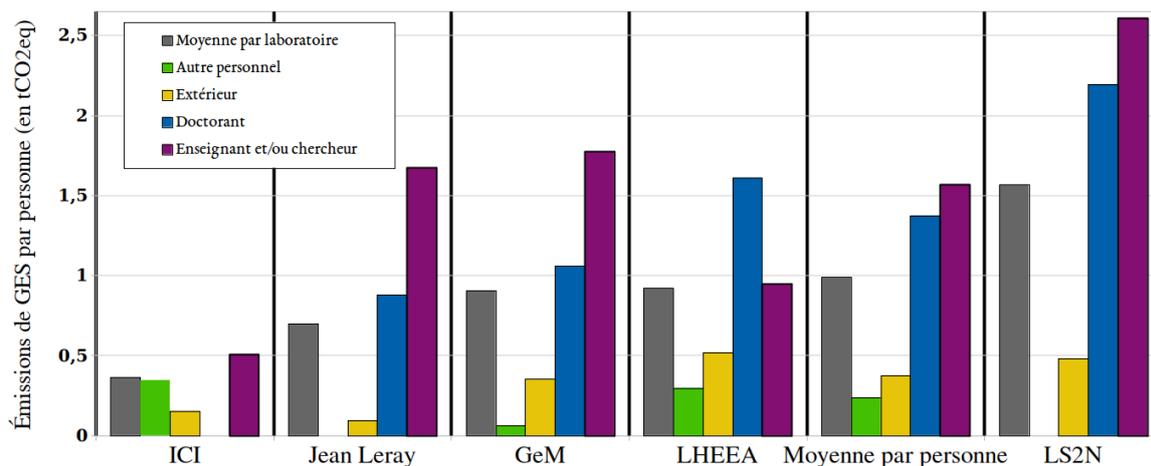


Figure 50 : Émissions de GES (en tCO₂eq) par personne et par statut au sein des différents laboratoires

Les "extérieurs" sont des personnes pour lesquelles l'ECN n'est pas le lieu de travail. Elles viennent sur le campus dans le cadre de partenariats, de jury de thèse, etc. Leurs émissions par personne sont plus faibles que la moyenne du laboratoire ; cela est lié au fait que **les personnes qui arrivent à l'ECN parcourent une distance plus faible que les personnes qui en partent** (2 000 km en moyenne contre 6 000 km).

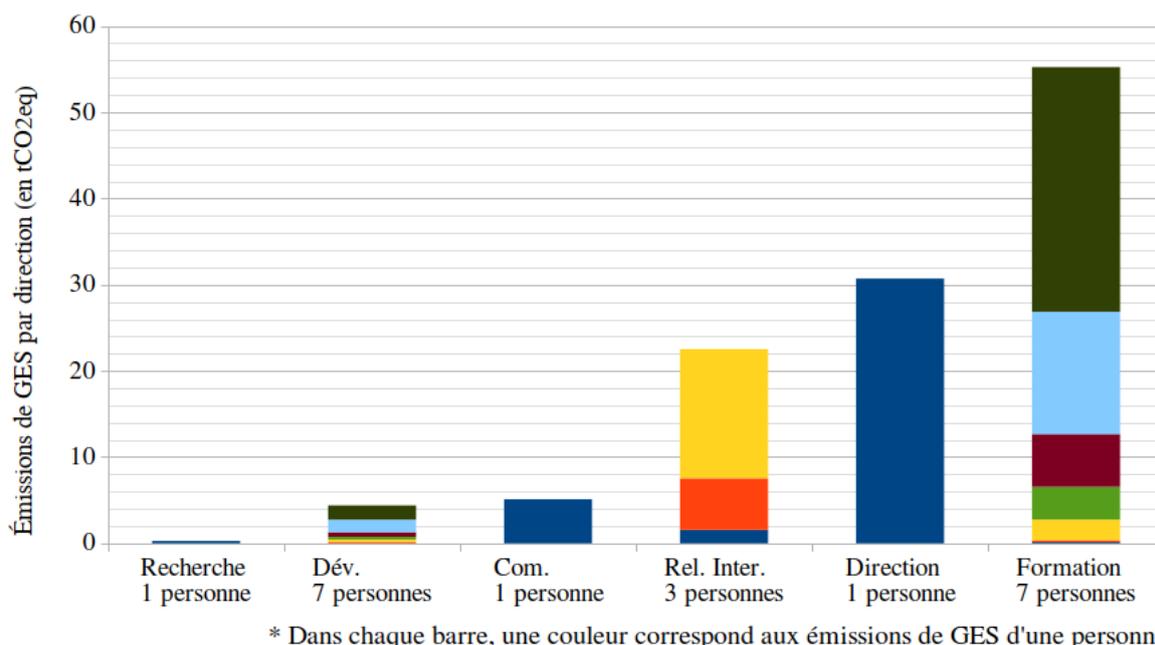
Il existe des **disparités assez grandes entre les enseignant-es-chercheur-ses et les doctorant-es**. En effet, les enseignant-es-chercheur-ses au sein des laboratoires peuvent émettre jusqu'à 50 % de plus que les doctorant-es. Des hypothèses peuvent être formulées, sans être pour autant vérifiées : les chercheur-ses plus expérimenté-es doivent se déplacer plus afin de diffuser les travaux qu'ils ont effectués au cours de leur carrière, ou les doctorant-es ont plus conscience l'impact des mobilités. Le LHEEA se démarque cependant des autres laboratoires, par un rapport inversé entre émissions des EC et des doctorant-es.

Enfin, les "autres personnels" sont les personnes qui ne rentrent pas dans les trois autres catégories. Leurs émissions correspondent à moins de 50% de la moyenne.

Une grande différence peut être observée entre les émissions moyennes de chaque laboratoire. Les chercheur-ses du laboratoire Jean Leray, du GeM et du LHEEA ont des émissions moyennes comparables, tandis qu'un-e chercheur-ses lié au LS2N émet environ quatre fois plus de GES qu'un-e chercheur-ses lié à l'ICI. Les EC et les doctorant-es émettent environ 1,5 tCO₂eq/personne/an. Ce chiffre est à mettre en regard des 2 tCO₂eq/personne/an à atteindre en 2050 pour respecter l'Accord de Paris (voir partie « Conséquences du réchauffement climatique » page 10).

ANALYSE PAR SERVICE DE RATTACHEMENT

La Figure 51 montre l'impact carbone des différents services administratifs de l'ECN. Chaque service administratif est attaché à une direction, qui se découpe ensuite en sous-directions, selon l'organigramme de l'ECN. Les services administratifs de l'ECN sont les suivants : Direction, Agence comptable, Direction Générale des Services, Direction de la Formation (DF), Direction de la Recherche, Direction des Relations Internationales (DRI), Direction du Développement et des Relations Industrielles, Direction de la Communication.

Figure 51 : Émissions de GES (en tCO₂eq) par service administratif

Les informations à disposition ne permettent pas d'expliquer les émissions de la direction de la formation.

La direction des relations internationales et la direction sont directement concernées et garantes de la qualité des relations internationales, ce qui explique les grandes distances parcourues (150 000 km au total) et le fort impact carbone associé.

D'un point de vue plus global, quatre personnes (DRI, DF et direction) représentent 85% de l'impact carbone total de l'ensemble des services administratifs.

ANALYSE PAR MODE DE TRANSPORT

L'analyse des déplacements par mode de transport fait apparaître clairement la **grande différence d'impact carbone entre le train et l'avion**.

Cette analyse se borne à l'étude du train et de l'avion par **manque de données disponibles sur les autres modes de transport** (notamment pour la voiture et l'autocar).

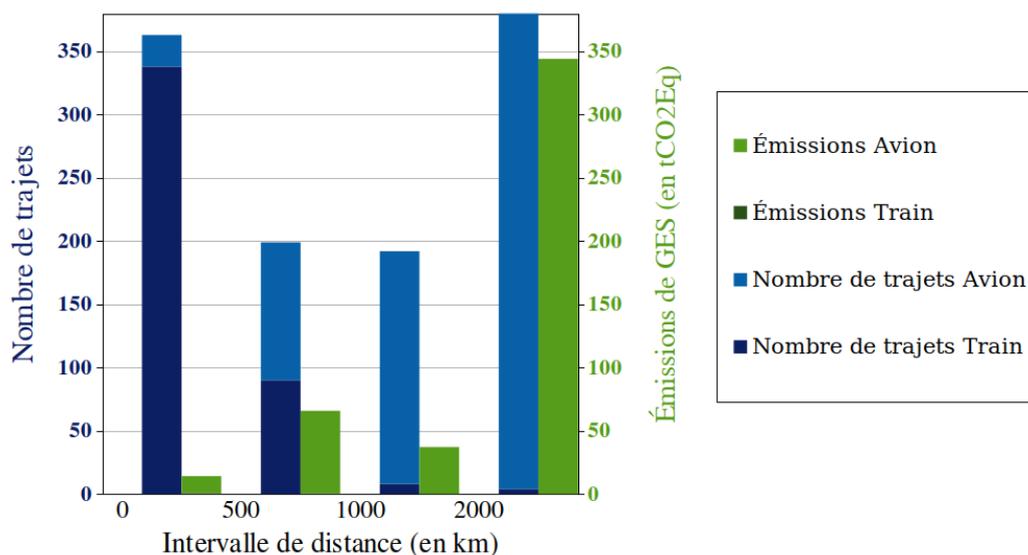


Figure 52 : Nombre de trajets effectués et émissions de GES en fonction des distances parcourues, par mode de transport

Il est intéressant de remarquer que malgré la présence de quatre items dans la légende (Figure 52), il n'y a que trois couleurs visibles.

Pour pouvoir observer les émissions du train, l'échelle a été modifiée ; plutôt qu'exprimer les émissions en tonnes de CO₂eq, elles ont été exprimées en centaines de kilogramme (quintal) de CO₂eq pour les trajets de moins de 500 km (Figure 53). Malgré le changement d'échelle, les émissions de train restent difficilement observables. Cela est dû au fait que **les émissions des déplacements en train sont anecdotiques à côté de celles des déplacements en avion.**

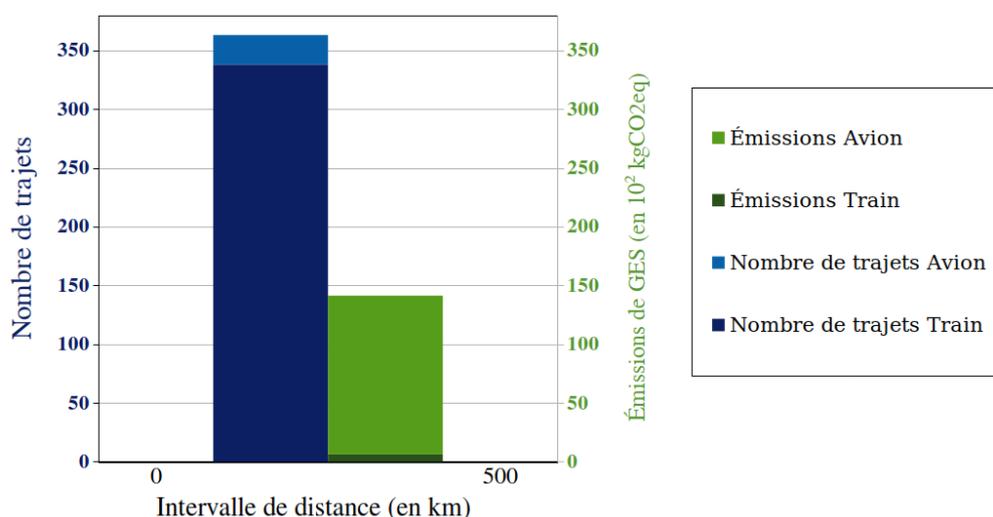


Figure 53 : Nombre de trajets de moins de 500 km effectués et émissions de GES, par mode de transport

La Figure 53 montre qu'**une majorité de trajets de moins de 500 km sont effectués en train** (93%). Ces trajets correspondent, pour beaucoup, à des trajets Nantes-Paris. La ligne de TGV est très pratique sur cet axe ; en effet, le temps d'aller à l'aéroport (souvent éloigné du centre-ville), de

s'enregistrer, et de faire la procédure inverse à l'arrivée rend l'avion moins compétitif sur les trajets de courte distance. Un projet de loi visant à réduire le trafic aérien estime ce temps à 2h30 au total¹.

Les 7 % de trajets en avion représentent quant à eux 96% des émissions de cet intervalle de distance.

Sur l'intervalle 500 - 1000 km, distance qui reste accessible en train selon les destinations, environ **autant de trajets sont effectués en train qu'en avion**. Il s'agit d'un intervalle intermédiaire, où le train peut perdre son avantage – qui équivalait à un temps de trajet total réduit pour une même distance parcourue sur les courtes distances. De plus, certaines villes sont mal desservies au niveau du réseau ferroviaire, et l'avion profite d'un avantage fiscal important (TVA réduite à 10% et exonération de TVA sur le carburant) rendant l'avion plus compétitif, malgré son rendement énergétique dix fois plus faible que le train [ARANDA USON A.,2010].

Enfin, pour **des distances supérieures à 1 000 km**, **l'usage du train devient négligeable face à l'avion** qui est moins cher et plus rapide sur ces distances ; par ailleurs prendre le train n'est pas toujours possible, certaines destinations nécessitant parfois de traverser un océan.

La faible valeur des émissions dans l'intervalle 1 000 - 2 000 km paraît incohérente. Cela peut être dû à la grande variabilité des facteurs d'émissions fournis par l'ADEME (cf partie Méthode - Déplacements liés à la formation des étudiant-es) en fonction de la distance parcourue en avion et du nombre de sièges.

Les trajets en avion de plus de 2 000 km représentent 33 % du nombre total de trajets et 74 % des émissions totales.

En moyenne, sur les 303 personnes comptabilisées dans les calculs, 7 500 km sont parcourus annuellement en avion. Les trajets font en moyenne 2 200 km, ce qui est à comparer aux 1 500 km (avec nuitée) et 500 km (sans nuitée) effectués en moyenne pour un trajet professionnel pour un français².

Déplacements pendulaires des permanent.es et étudiant.es

Tableau 38 : Résumé des informations relatives aux déplacements pendulaires

Valeur finale (tCO _{2eq})	Incertitude (%)	ODG	Pourcentage du BC total
599	56 %	489	11%

Le sondage à destination des permanent-es et étudiant-es, portant sur leurs habitudes en termes de mobilité (appelé sondage "Mobilités"), a été réalisé de manière à évaluer l'impact des déplacements,

¹ Proposition de loi visant à remplacer les vols intérieurs par le train (quand c'est possible...) : http://www.assemblee-nationale.fr/dyn/15/textes/15b2005_proposition-loi

² Données issues du Commissariat général au développement durable : <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2018-11/datalab-essentiel-138-mobilite-longue-distance-2016-fevrier2018.pdf>

dont celui des trajets domicile-travail (dits trajets "pendulaires"). Il a permis d'établir le fait que **ces déplacements représentent 598,8 tCO₂eq, soit près d'un tiers (29 %) du poste « déplacements ».**

L'incertitude sur ce résultat est relativement importante. Elle est principalement due aux incertitudes liées au sondage : biais déclaratif, utilisation d'une moyenne généralisée sur l'ensemble des usager-es. Une incertitude de 50% sur ces données a été estimée selon la grille proposée par l'ADEME (voir partie « Incertitudes des calculs » page 49).

Dans l'optique de réduire les incertitudes qu'un tel système de collecte de données induit inmanquablement, il a été décidé de **mettre en place un système de capteurs, qui permette de comptabiliser le nombre de voitures et de deux-roues entrant sur le campus de l'ECN.** Le principe de fonctionnement de ce système est décrit dans l'annexe « Guide de conception du compteur de véhicules ».

L'acquisition de cette donnée objective serait néanmoins à mettre en regard avec les distances des domiciles de chacun des acteur-ices de l'ECN - il faut donc récupérer cette donnée par ailleurs. De plus, un tel système ne permet pas de prendre en compte l'impact des personnes qui viennent en transport en commun (les personnes qui viennent à pied peuvent être négligées puisqu'elles ont un impact nul).

A cela, s'ajoute l'incertitude liée aux calculs réalisés et aux facteurs d'émissions utilisés, elle a été choisie par défaut à 50% (voir page 49).

Il est à constater que l'ordre de grandeur préalablement estimé à 489 tCO₂eq est proche de la valeur finale calculée. Il avait en effet été calculé à partir d'un sondage réalisé en 2008 par le Commission Développement Durable, qui permettait d'avoir la proportion de permanent-es et étudiant-es qui venaient à l'ECN en voiture ou en covoiturage (données qui ont, d'après les résultats, peu évolué en 12 ans). L'estimation la plus grossière résidait dans la distance parcourue par les voitures chaque jour, ce qui explique en partie la différence observée.

De grandes disparités existent entre les étudiant-es et le personnel, qui émettent respectivement 148 et 451 tCO₂eq par an (soit en moyenne 3 fois plus).

DISTANCE ET DUREE DES TRAJETS

Comme le montre la figure..., il est à noter que les permanent-es habitent globalement plus loin du campus que les étudiant-es de l'ECN.

Près de 80% des étudiant-es habitent à moins de 5 km de l'ECN : soit dans la résidence étudiante jouxtant l'ECN (pour une grande partie des EI1), soit dans le centre-ville, dans les autres quartiers de Nantes ou villes aux alentours (Orvault, Carquefou...). Environ 15% d'entre elle-eux habitent entre 6 et 10 km de l'ECN et aucun-e n'habite à plus de 30 km de l'ECN. Ceci peut s'expliquer par le fait qu'il y ait moins d'activités étudiantes dans ces endroits-là. De plus, cela peut nécessiter le fait d'avoir une voiture, synonyme de frais supplémentaires, que les étudiant-es ne peuvent pas forcément se permettre.

Enfin, **les étudiant-es et doctorant-es ne sont souvent que de passage pendant quelques années autour de Nantes**, ce qui les incite à prendre des logements pour une durée limitée, relativement proches du campus.

A l'inverse, **les permanent-es sont des personnes établies dans la région. 70% d'entre elle-eux possèdent une voiture, ce qui leur permet d'habiter plus loin.** En effet, près de 40% des personnels

déclarent habiter à moins de 5 km de l'ECN mais la même proportion déclare habiter à plus de 10 km de l'ECN.

Il est intéressant de noter qu'historiquement, la démocratisation de la voiture a peu à peu provoqué un étalement urbain qui a progressivement poussé les individus hors des villes [Castaignède, 2018]. Ainsi, le gain de temps provoqué par des voitures plus accessibles et performantes et été totalement compensé par des distances plus longues à parcourir et des congestions qui rendent en plus les trajets moins agréables. C'est un effet rebond qu'il est pertinent de garder en mémoire (voir partie 4.2.1).

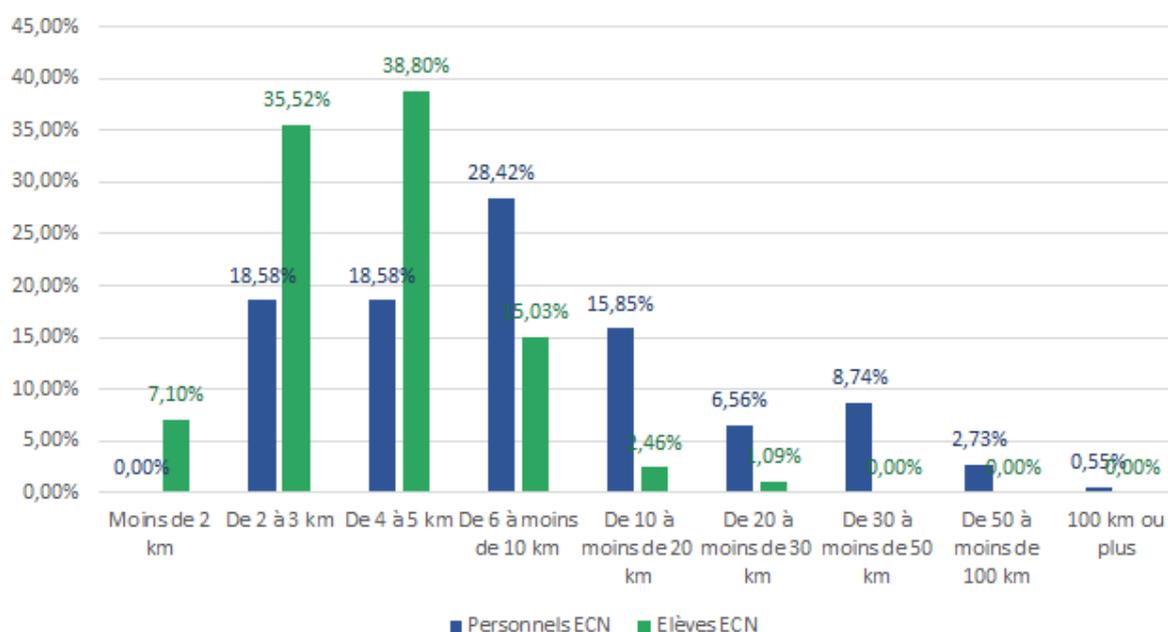


Figure 54 : Répartition des usager-es du campus en fonction de la distance entre leur domicile et leur lieu de travail (échantillon total : 547 personnes)

La boîte à moustache en Figure 55, qui traduit la répartition des usager-es du campus en fonction de la distance entre leur domicile et leur lieu de travail, permet de mieux visualiser ces différences entre les étudiant-es (à gauche) et le personnel (à droite).

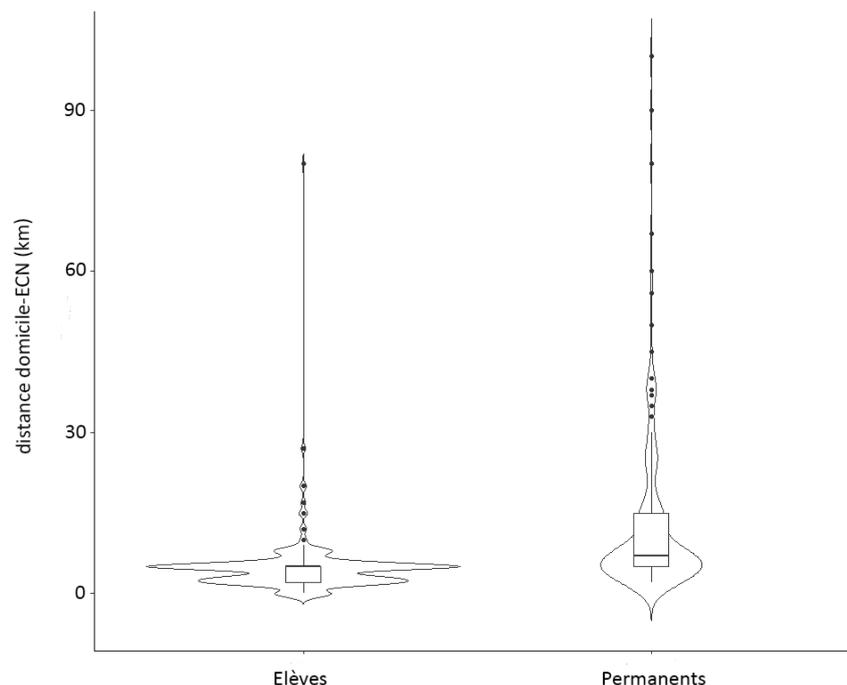


Figure 55 : Boîte à moustache présentant la répartition des usager-es du campus en fonction de la distance entre leur domicile et leur lieu de travail (échantillon total : 547 personnes)

Il pourrait être pertinent de comparer la répartition des permanent-es (ou personnels) et étudiant-es avec la moyenne nationale. Seules des informations concernant des navetteur-ses, c'est-à-dire les personnes qui travaillent dans une commune différente de celle dans laquelle i-els vivent, ont été trouvées [Coudène, 2016]. Ces données ont donc été comparées avec celles de l'ECN sur la Figure 56, même si seuls 87 personnels (sur 183 répondant-es) et 24 élèves (sur 364 répondant-es) étaient concernés.

Il est intéressant de constater que **la répartition des personnels de l'ECN suit presque parfaitement celle de la moyenne française**. A contrario, celle des étudiant-es est différente avec une surreprésentation pour les courtes distances et une sous-représentation pour les grandes distances (Figure 55).

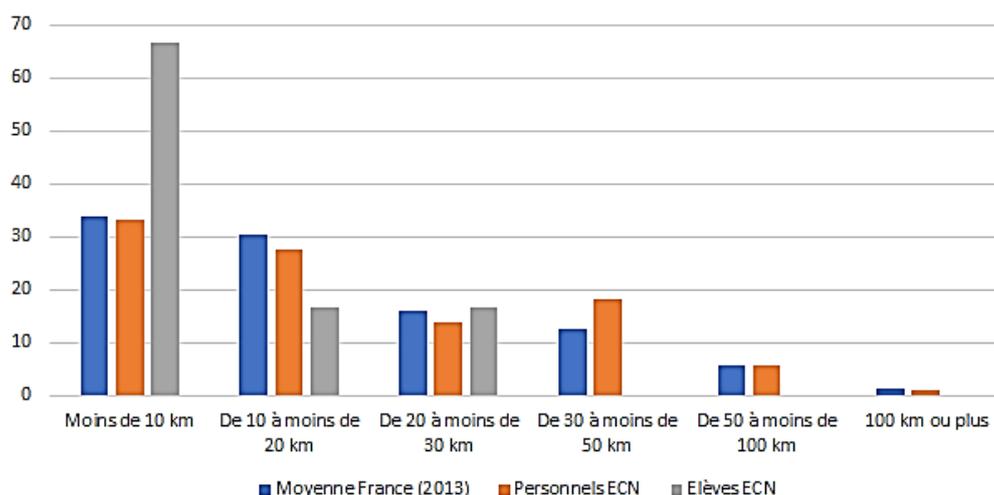


Figure 56 : Répartition des navetteur-euses en fonction de la distance entre leur domicile et leur lieu de travail (échantillon : 87 permanent-es et 24 étudiant-es)

Les résultats sur la distance parcourue par les étudiant-es et permanent-es sont corrélés avec ceux de la durée de trajet pour venir à l'ECN. **En moyenne, les étudiant-es mettent 16 minutes pour venir à l'ECN, contre 28 minutes pour les permanent-es.**

MOYENS DE TRANSPORT A DISPOSITION DES USAGER-ES DE L'ÉCOLE

Cette partie s'intéresse aux moyens de transport qu'ont à disposition les permanent-es et les étudiant-es (qu'i-els les utilisent pour leurs déplacements pendulaires ou non).

MOYENS DE TRANSPORT A DISPOSITION DES PERMANENT-ES

La Figure 57 montre que les membres du personnel ont à leur disposition **trois modes de transport principaux**, à savoir une **voiture thermique** (70% d'entre elle-eux), **un vélo** (44% d'entre elle-eux) ou un **abonnement de transports en commun** (40% d'entre elle-eux).

Il peut être intéressant de croiser les données entre elles, pour savoir, par exemple, si les personnes qui possèdent un vélo ou un abonnement de transports en commun sont celles qui n'ont pas de voiture. Cette analyse comparative, présentée ci-dessous, n'a été menée que pour les modes majoritaires précédemment cités : vélo, abonnement TAN (Transports en commun de l'Agglomération Nantaise) et voitures.

La Figure 58 représente la proportion de la population possédant un mode de transport donné. Lorsque les arcs-de-cercle se « superposent », cela signifie que ce sont les mêmes personnes qui possèdent, à la fois, plusieurs modes de transport (sans renseigner sur l'utilisation qu'elles en font).

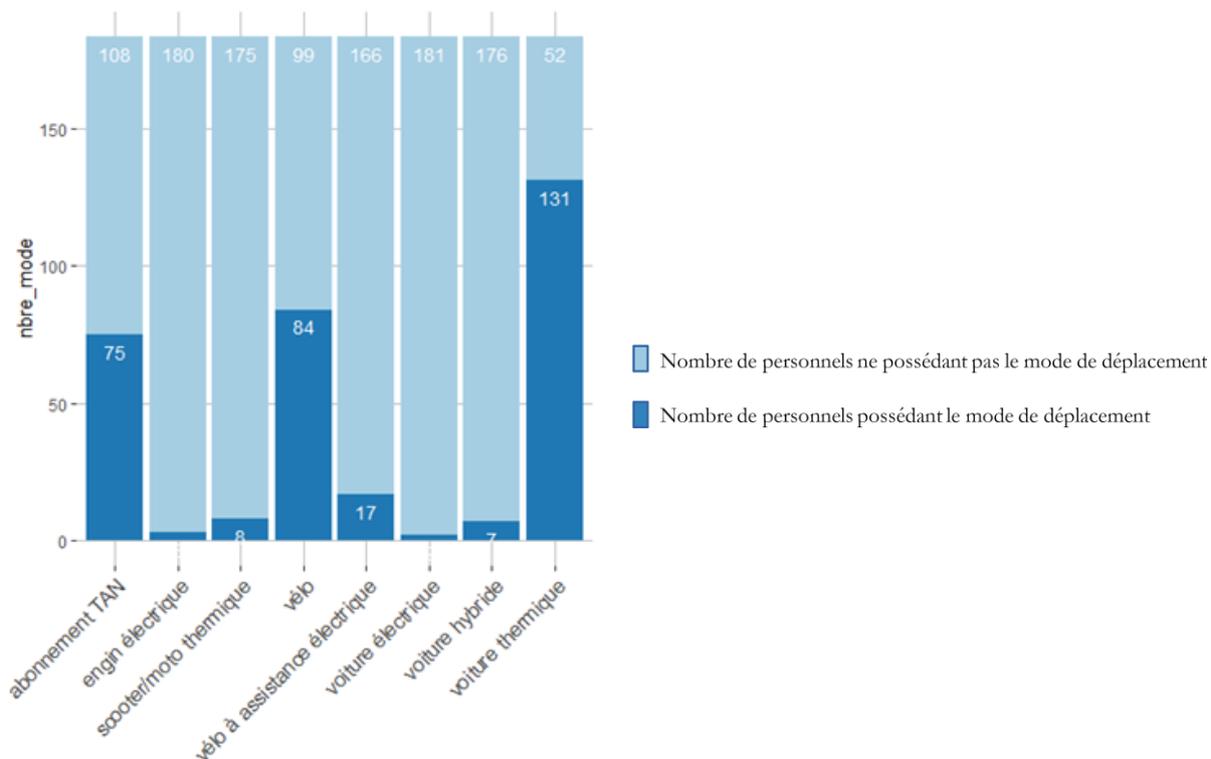


Figure 57 : Nombre de permanent-es par moyen de transport possédé (échantillon total : 183 personnes)

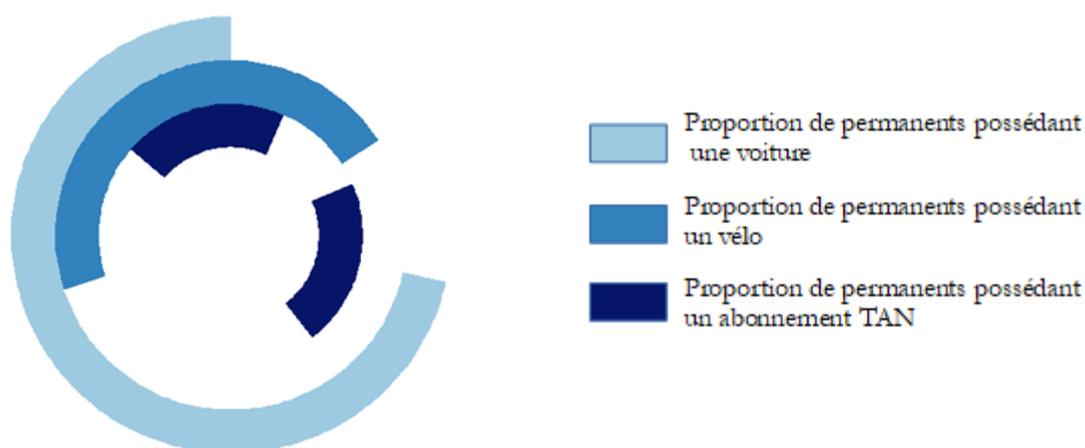


Figure 58 : Répartition de la population en fonction des moyens de transport à disposition des permanent-es (échantillon total : 183 personnes)

L'analyse comparative des modes de transport dont les résultats sont présentés en Figure 58 permet de mettre en évidence le fait que **la majorité des personnes qui possèdent un vélo ou un abonnement TAN possèdent également une voiture.**

MOYENS DE TRANSPORT A DISPOSITION DES ETUDIANT-ES

Une étude similaire a été menée avec les modes de transports à disposition des élèves. Le nombre d'élèves par moyen de transport possédé est donné en Figure 59.

Les trois mêmes modes de transport que pour les permanent-es se distinguent pour les élèves. En revanche la tendance est inversée : les étudiant-es possèdent plus d'abonnements de transport en commun qu'i-els ne possèdent de voitures.

Comme pour les permanent-es, les données, pour les modes majoritaires, ont été croisées et comparées. Les résultats sont fournis en Figure 60.

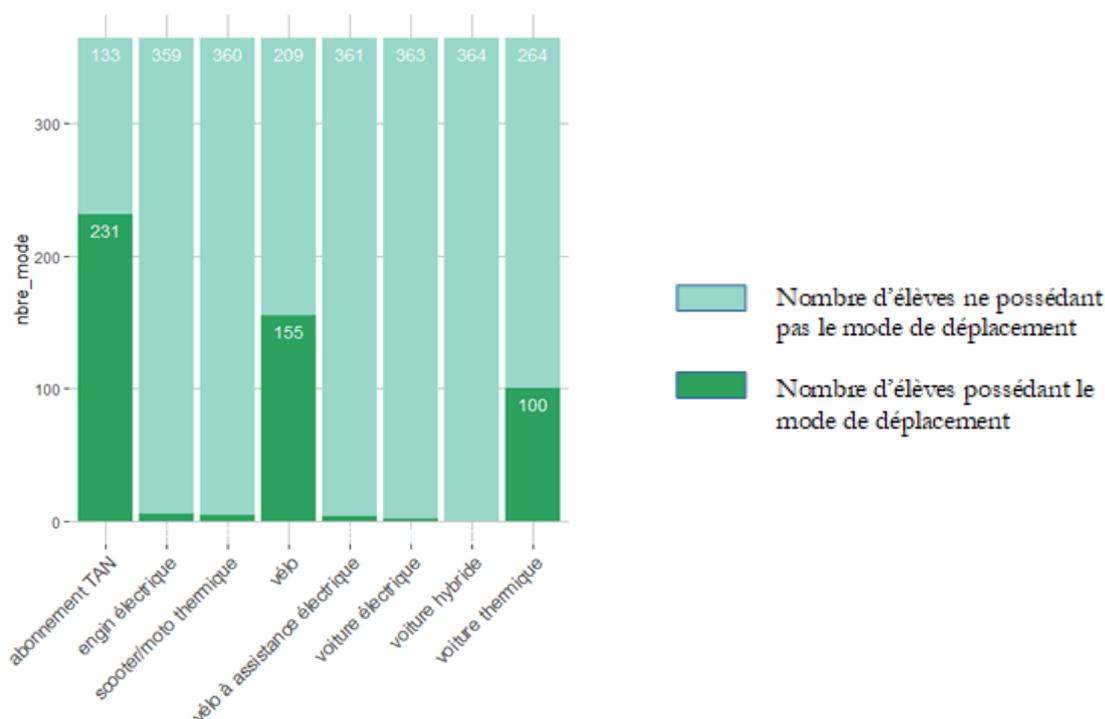


Figure 59 : Nombre d'élèves par moyen de transport possédé (échantillon total : 364 personnes)



Figure 60 : Répartition de la population en fonction des moyens de transport à disposition des élèves (échantillon total : 364 personnes)

Le même mode de représentation a été choisi que pour la Figure 58. L'analyse comparative permet de constater que **la plupart des élèves possédant une voiture ont également un autre moyen de transport à disposition, vélo ou abonnement TAN.**

PARTS MODALES

Personnels et étudiant-es ont à leur disposition plusieurs moyens de transport, mais il peut être intéressant de comparer cela avec les modes réellement utilisés.

Ainsi, ont été étudiées, à partir des résultats du sondage "Mobilités", la part modale de chaque moyen de transport ainsi que la part relative de l'impact carbone de chaque mode de transport. La Figure 61 et la Figure 62 montrent ces parts, pour un trajet, respectivement pour les étudiant-es (à gauche) et le personnel (à droite).

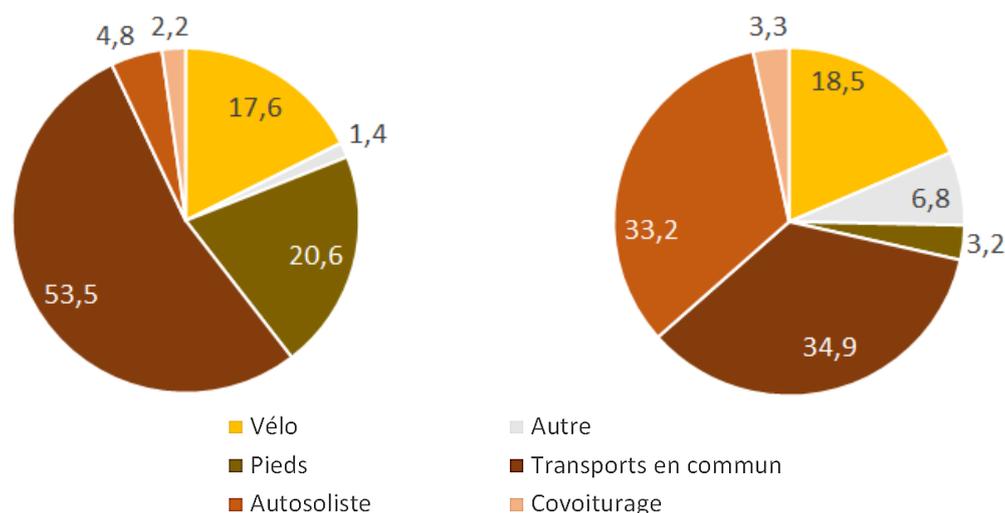


Figure 61 : Part modale des déplacements pendulaires des étudiant-es (gauche) et des permanent-es (droite) (échantillon total : 364 et 183 personnes)

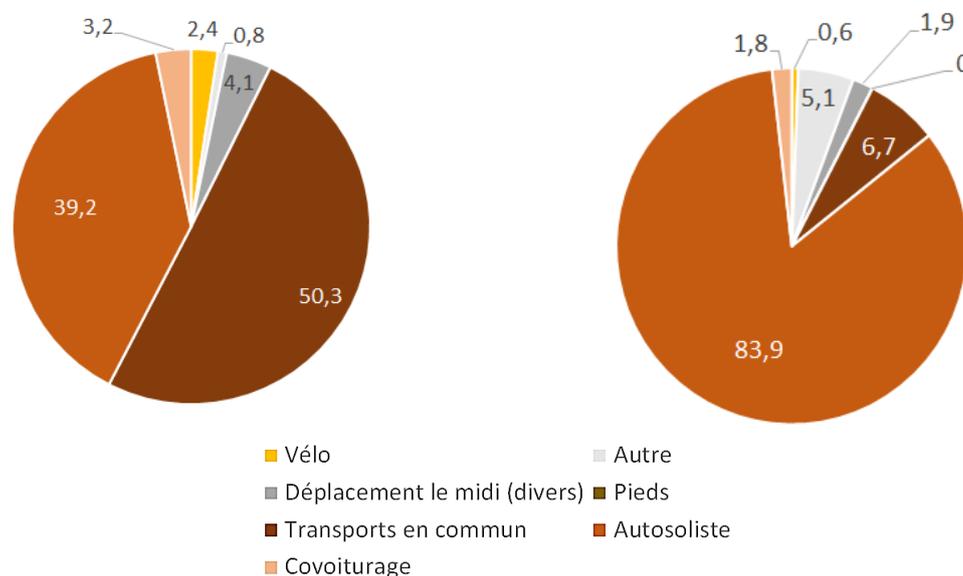


Figure 62 : Part relative de l'impact carbone de chaque mode de transport utilisé par les étudiant-es (gauche) et les permanent-es (impact mode divisé par l'impact total) en pourcent (échantillon total : 364 et 183 personnes)

Les transports en commun (tram, bus...) représentent la part modale la plus importante pour les étudiant-es et pour le personnel, avec respectivement 54 % et 35 % des trajets réalisés de cette

manière. L'ECN est en effet plutôt bien desservie par les transports en commun, avec une ligne de tramway et 5 lignes de bus. Ces lignes font directement le lien entre le centre-ville et les villes proches de l'ECN comme Carquefou (ligne 75), Sainte-Luce (ligne 80) et Orvault (ligne 2 du tramway). Les transports en commun représentent donc la moitié des émissions de GES des déplacements pendulaires des étudiant-es contre seulement 7 % pour ceux des permanent-es.

Le vélo représente également une part modale importante, avec environ **18 % des trajets réalisés en vélo par les étudiant-es et le personnel.** En plus de la proximité d'habitat d'une bonne partie de la communauté centralienne de Nantes, cela peut s'expliquer par un réseau cyclable autour de l'ECN de bonne qualité. L'impact carbone du vélo est négligeable alors qu'il concerne près d'un cinquième des déplacements des étudiant-es et permanent-es.

La marche à pied est un mode de déplacement pendulaire quasi-uniquement plébiscité par les étudiant-es, ce qui est directement lié à la présence de la résidence étudiante à côté de l'ECN. 72 % des étudiant-es en première année y logent [A Club of Centrale Nantes for Travelling Students, 2017], ce qui explique que 20 % des répondant-es étudiant-es viennent à l'ECN à pied.

La voiture représente la part modale la plus importante pour le personnel, alors que son usage est très marginal chez les étudiant-es. Pour les étudiant-es, la voiture représente toutefois presque 40% des émissions liées à leurs déplacements pendulaires alors que seuls 5 % de ceux-ci sont réalisés avec ce moyen de transport. Quant aux permanent-es, un tiers des déplacements se font en voiture (seul-e) avec des trajets pouvant parfois excéder les 180 km aller-retour. Plus de 80 % de l'impact carbone des déplacements pendulaires des permanent-es sont attribuables à l'usage de la voiture. A noter que **l'usage du covoiturage est encore très marginal**, alors qu'il pourrait être une solution efficace – avec le télétravail – pour diminuer l'impact carbone de celle-eux qui habitent loin.

Compte-tenu de l'analyse des résultats du questionnaire, il sera important de réduire considérablement la part de la **voiture dans les trajets domiciles-travail, qui représente à elle seule 435,9 tCO₂eq/an, soit 72,8 % des émissions** liées au domicile-travail. Favoriser le télétravail (en faisant attention aux effets rebonds, c'est-à-dire dans le cas présent, l'impact du numérique d'une part et d'autre part le fait que certaines personnes seraient prêtes à parcourir globalement plus de distance si le télétravail est proposé, plutôt que de déménager plus près de leur lieu de travail), privilégier les transports en commun et les mobilités douces (comme le vélo) ou a minima, choisir le covoiturage permettra de diminuer l'impact carbone des déplacements pendulaires.

Bien que certains leviers d'action puissent paraître logiques, comme privilégier l'utilisation du vélo ou des transports en commun, des freins peuvent être rencontrés face à un changement d'habitude.

Le sondage "Mobilités" s'est donc attaché à demander aux répondant-es quels freins ceux-ci pourraient rencontrer pour utiliser le vélo, prendre les transports en commun ou faire du covoiturage.

FREINS A L'UTILISATION DU VELO

La question sur les freins à l'utilisation du vélo posée via le sondage "Mobilités", n'a été proposée qu'aux personnes ne pratiquant pas régulièrement le vélo. Ont été concerné-es par la question 80 % des

élèves et 88 % des permanent-es ayant répondu au sondage. Chaque répondant-e pouvait choisir, au maximum, trois leviers d'action.

Les réponses à cette question sont données en Figure 63 et Figure 64.

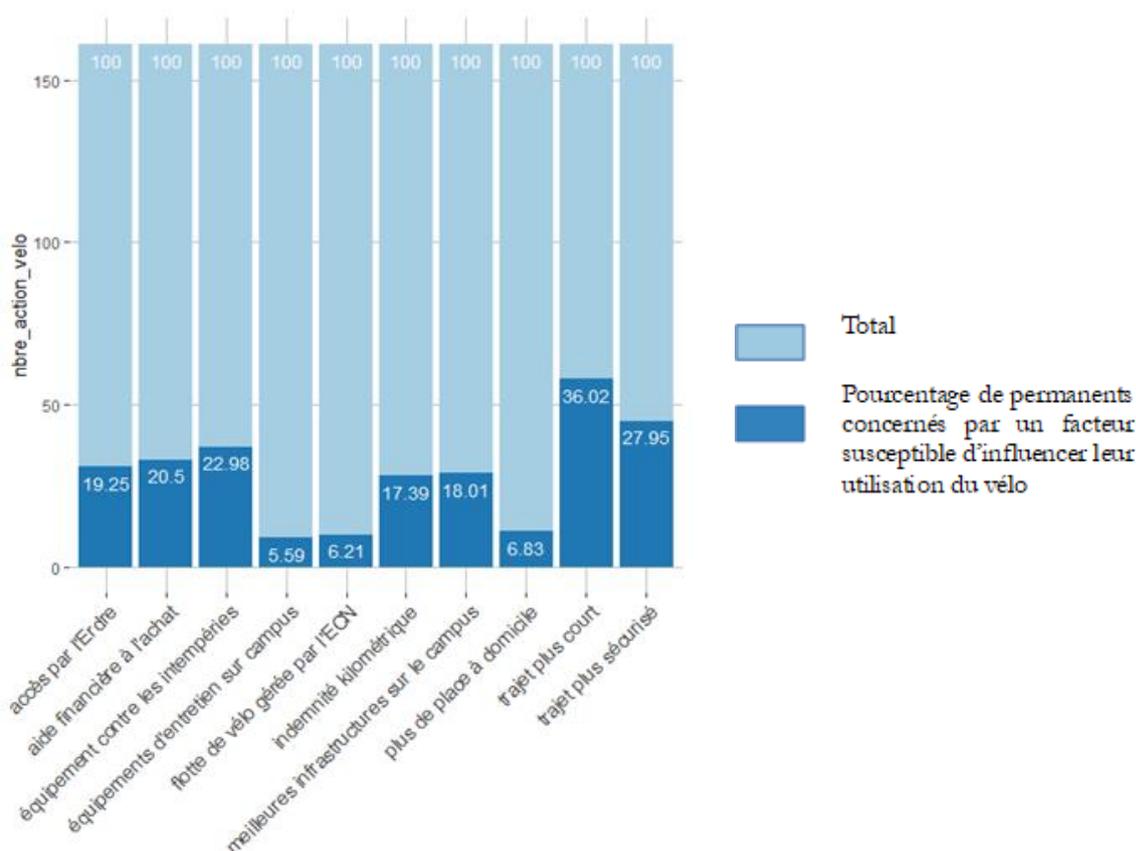


Figure 63 : Fréquence d'expression des facteurs susceptibles d'influencer l'utilisation du vélo (échantillon total : 161 personnes)

D'après la Figure 63, une partie conséquente (36%) des **permanent-es** concerné-es par la question jugent que **leur trajet est trop long pour leur permettre de faire du vélo**. 28% des permanent-es considèrent que **leur trajet en vélo n'est pas assez sécurisé**. En revanche, la place disponible au domicile n'est pas un facteur limitant à la possession d'un vélo. Pour les permanent-es, il semble que le fait que l'ECN ait sa propre flotte de vélo ou le fait que l'ECN installe des équipements d'entretien ne soit pas un moyen d'inciter la pratique du vélo.

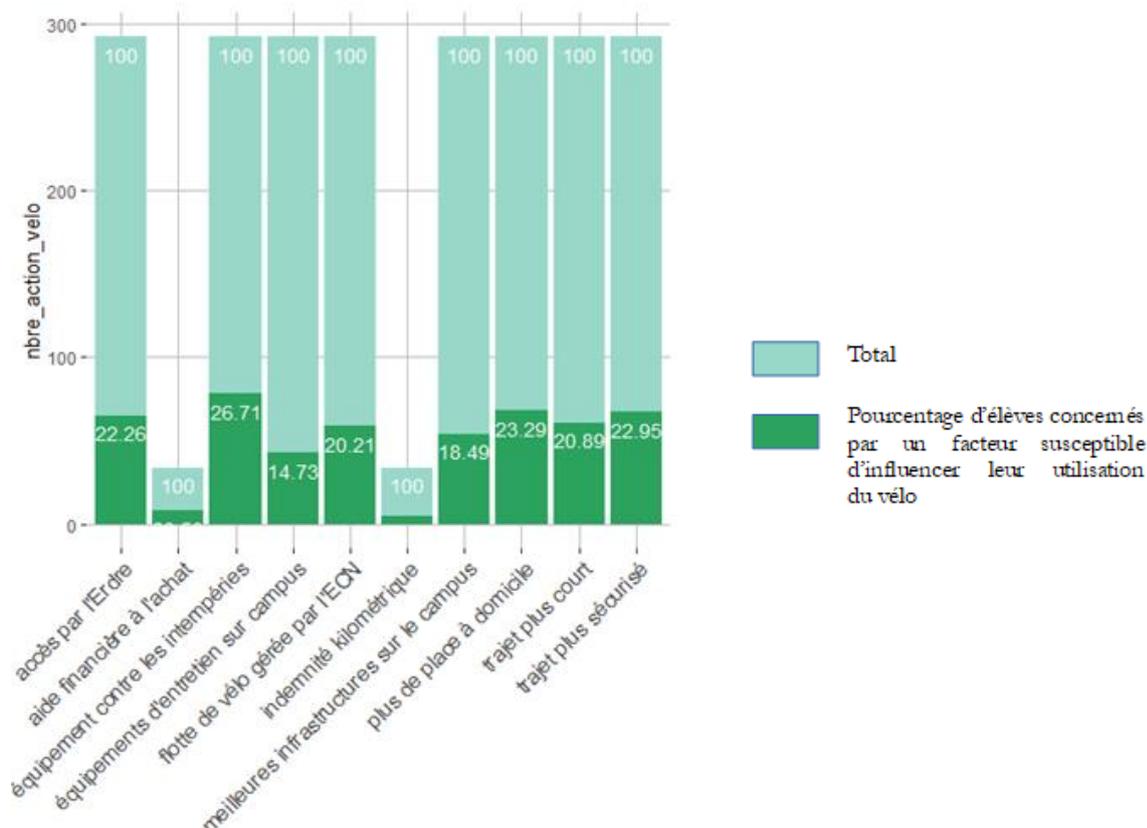


Figure 64 : Fréquence d'expression des facteurs susceptibles d'influencer l'utilisation du vélo (échantillon total : 292 personnes, dont 34 doctorant-es)

En ce qui concerne les étudiant-es, **la place dans le domicile est**, d'après la Figure 64, **un facteur plus limitant pour les étudiant-es que pour les permanent-es** ; pour ces derniers, contrairement aux permanent-es, le fait que l'ECN possède une flotte de vélos et des équipements d'entretiens pourraient être des leviers incitatifs. Une part conséquente d'étudiant-es ne faisant pas une utilisation quotidienne du vélo (21 %) jugent, comme les permanent-es, habiter trop loin et avec un trajet pas assez sécurisé.

Il est à noter que parmi les élèves, seul-es les doctorant-es ont pu répondre aux leviers d'incitations suivants : avoir une aide pour l'achat d'un vélo et recevoir une indemnité kilométrique de la part de l'ECN. En effet, les étudiant-es n'étant pas employés par l'ECN, i-els n'ont pas droit à ces services.

De mauvaises infrastructures sur le campus peuvent **décourager certaines personnes à utiliser leur vélo**. Les infrastructures concernées sont notamment les **douches et les abris à vélo**.

A travers le sondage "Mobilités", les usager-es ont donc été interrogés à propos de ce qu'ils pensent de ces installations.

ANALYSE DE L'ÉTAT DES INFRASTRUCTURES DEDIES AU VELO : LES DOUCHES

Le sondage "Mobilités" a permis aux usager-es de s'exprimer sur leur ressenti à propos de l'état des douches. Leurs avis sont rapportés à travers la Figure 65.

La question était posée à l'ensemble des usager-es de l'ECN. Chacun était libre de se déclarer concerné ou non par la question (il était possible de répondre "Ne sait pas/Non concerné"). Ne sont

analysées ici que les réponses des personnes qui se sont déclarées concernées pour au moins une des questions sur l'état des douches.

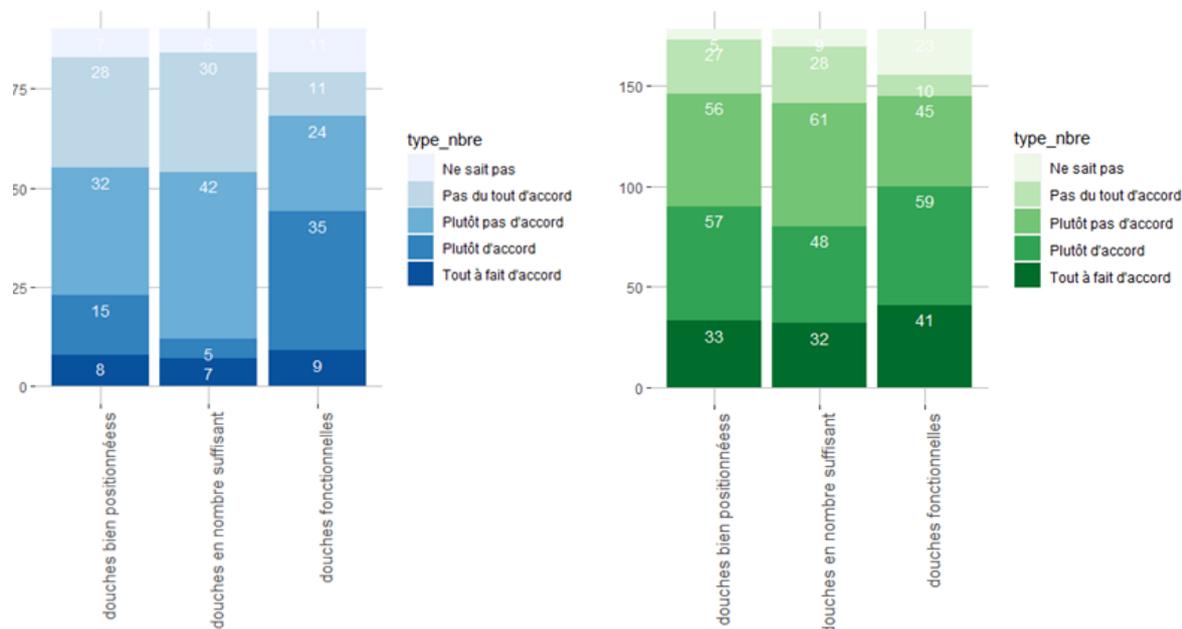


Figure 65 : Avis des permanent-es (gauche) et des étudiant-es (droite) à propos des douches (échantillon total : 90 et 178 personnes)

D'après la Figure 65, la moitié des permanent-es sont "plutôt d'accord" ou "tout à fait d'accord" pour dire que les douches sont fonctionnelles. 80% des permanent-es trouvent que les douches ne sont toutefois pas en nombre suffisant et les deux tiers trouvent qu'elles ne sont pas très bien positionnées.

Près de la moitié des étudiant-es trouvent les douches bien positionnées, fonctionnelles mais pas en nombre suffisant (respectivement 50, 56 et 50%).

Il faut cependant noter certaines personnes pourraient être concernées mais ne pas savoir où se trouvent les douches. La réponse "Ne sait pas/Non concerné" ne permet pas de distinguer ce cas de figure.

ANALYSE DE L'ÉTAT DES INFRASTRUCTURES DEDIES AU VELO : LES ABRIS A VELO

Comme pour la question précédente, le sondage "Mobilités" a permis aux usager-es de s'exprimer sur leur ressenti à propos de l'état des abris à vélo. Chaque répondant-e avait la possibilité de répondre "Ne sait pas/Non concerné" aux questions posées.

N'ont été analysées ici que les réponses des personnes qui se sont déclarées concernées pour au moins une des questions sur l'état des abris à vélo. Leurs avis sont rapportés à travers la Figure 66.

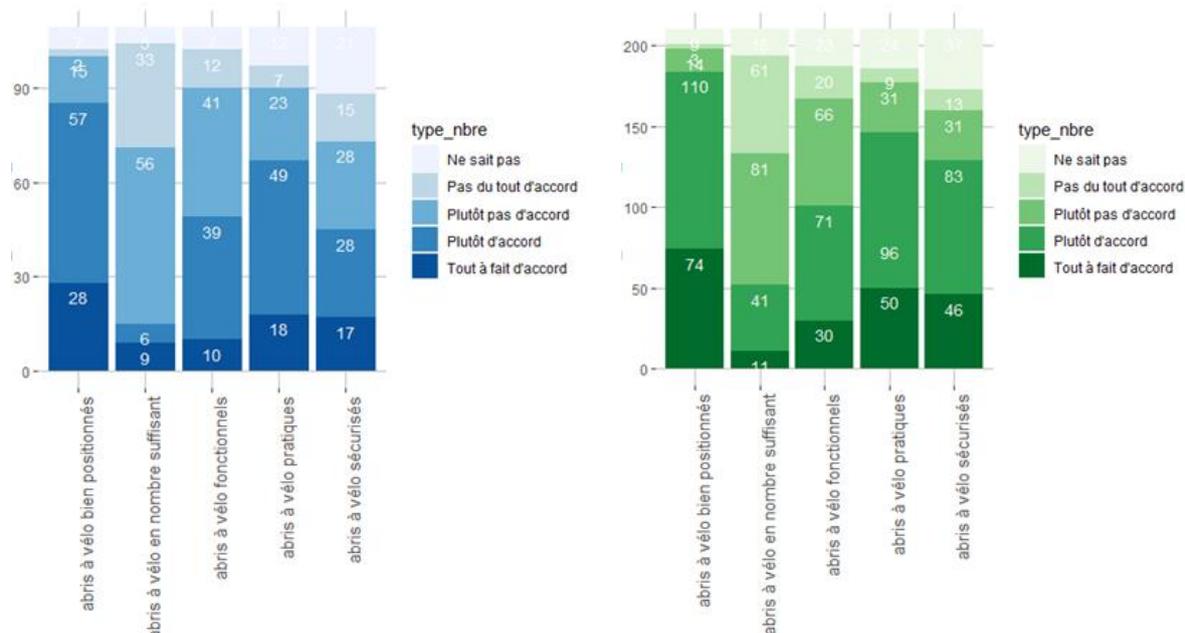


Figure 66 : Avis des permanent-es (gauche) et des étudiant-es à propos des infrastructures liés au vélo (échantillon total : 109 et 210 personnes)

La Figure 66 montre que 80% des permanent-es trouvent que les abris à vélo sont bien positionnés et 60% les trouvent pratiques. En revanche, 40% ne les trouvent pas assez sécurisés et 84% les trouvent en nombre insuffisant.

Près de 90% des étudiant-es trouvent les garages à vélo bien positionnés, 60% les trouvent sécurisés et 70% les trouvent pratiques. Toutefois, près de 70% des étudiant-es ne les trouvent pas en nombre suffisant.

Il est à noter que ce sondage a été publié avant que le groupe de travail sur les mobilités n'évacue des garages à vélo quelques vélos - peu nombreux - manifestement abandonnés.

FREINS A L'UTILISATION DES TRANSPORTS EN COMMUN

La question portant sur les freins liés à l'utilisation des transports en commun a été posée aux personnes qui prennent la voiture seules ou en covoiturage (que ce soit une ou plusieurs fois par semaine), aux personnes qui utilisent un scooter ou une moto, ou utilisent les transports en commun moins de cinq jours par semaine. Ont été concerné-es par la question soit 80 % des élèves et 88 % des permanent-es ayant répondu au sondage. Chaque répondant-e pouvait choisir, au maximum, trois leviers d'action.

Les réponses à cette question sont données en Figure 67 pour les permanent-es et en Figure 68 pour les étudiant-es.

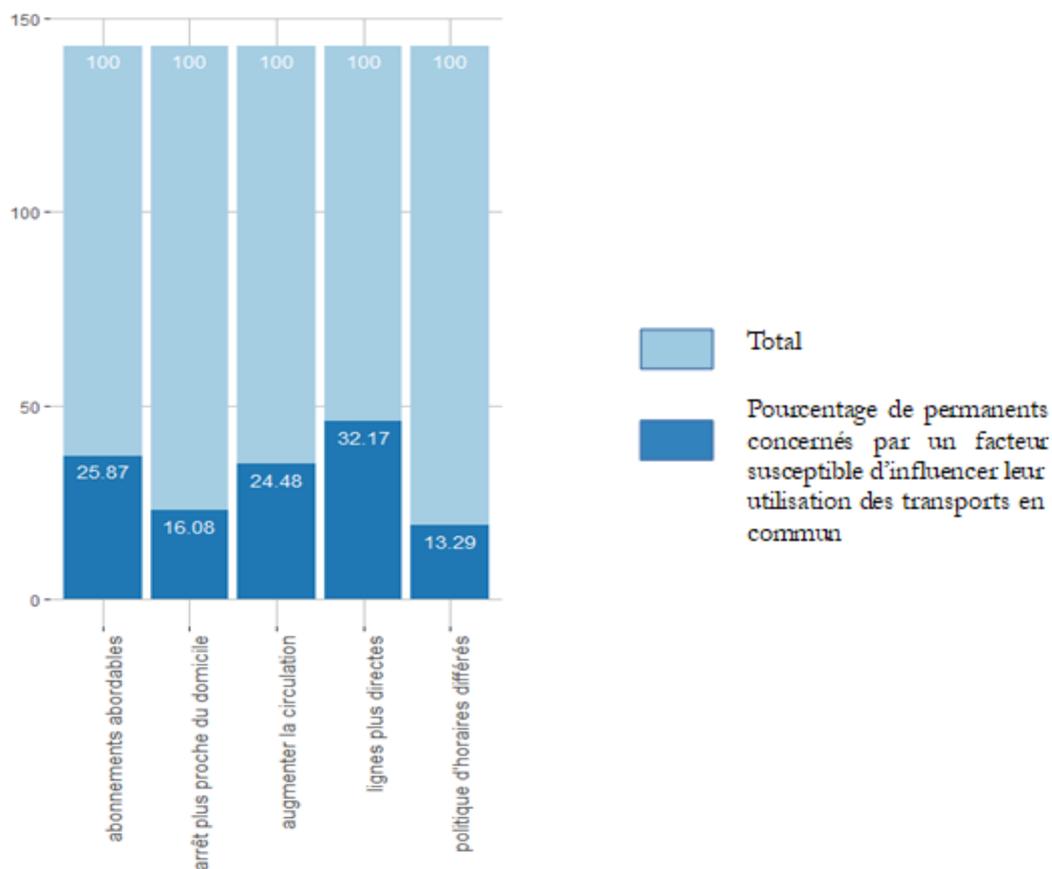


Figure 67 : Fréquence d'expression des facteurs susceptibles d'influencer l'utilisation des transports en commun (échantillon total : 143 personnes)

La Figure 67 montre que **la principale limite à l'utilisation des transports en commun est le fait qu'il n'existe pas de ligne directe entre le domicile des permanent-es et l'ECN (32 %)**, suivie ensuite du **prix des abonnements**. La mise en place d'une politique d'horaires différenciés n'est pas complètement plébiscitée par les membres du personnel ; 13 % d'entre elle-eux pourraient néanmoins être incité-es à changer leurs habitudes par une telle mesure.

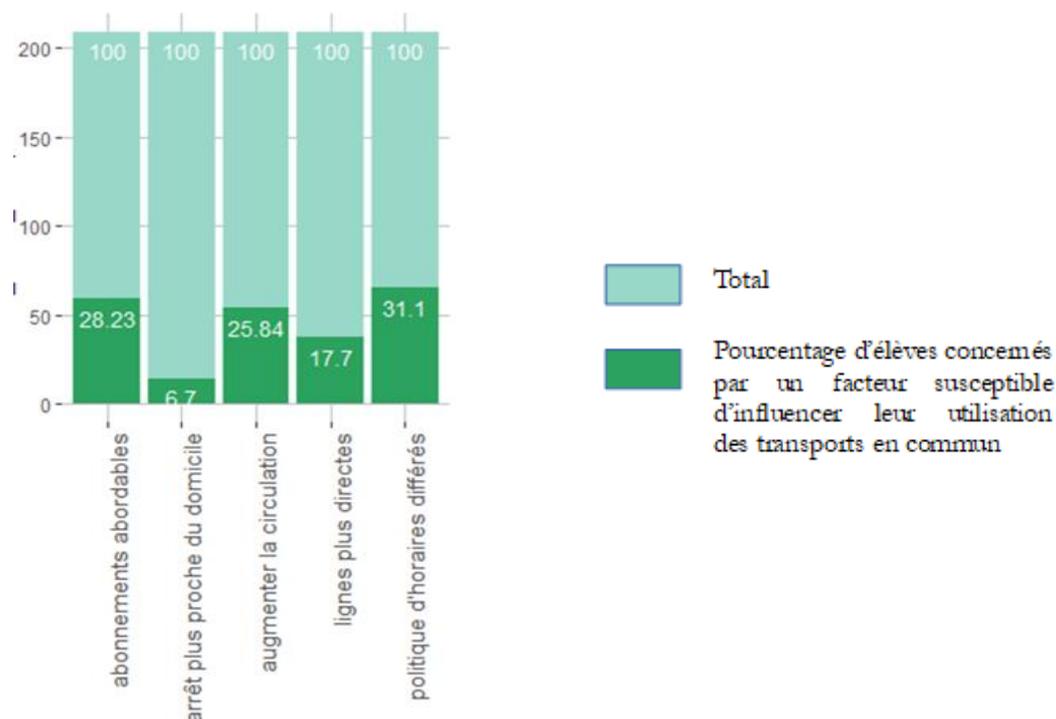


Figure 68 : Fréquence d'expression des facteurs susceptibles d'influencer l'utilisation des transports en commun (échantillon total : 209 personnes)

Pour les étudiant-es (Figure 68), le prix de l'abonnement est la limite la plus importante (28%).

L'instauration d'une **politique d'horaires différenciés** remporte plus de suffrages auprès des étudiant-es que des permanent-es (31 %), de même qu'une **augmentation de la densité de circulation** (26 %). Il faut néanmoins prendre en compte le fait que le volume de tramway circulant aux heures de pointe est indépendant de l'ECN et est déjà conséquent. Agir sur ce levier semble difficile en l'état.

Les **transports en commun** ont, dans la plupart des villes comme Nantes, été **organisés en étoile autour du centre-ville**. Ainsi, les étudiant-es qui habitent dans le centre-ville se trouvent tous-tes bien desservi-es, ce qui n'est pas forcément le cas pour celle-eux qui habitent en périphérie dans d'autres quartiers ou villes aux alentours. Le réseau de bus tente toutefois de compenser cette faiblesse en tissant des toiles autour des voies principales de tramways.

Il est intéressant de préciser que cette analyse peut être retranscrite avec les pistes cyclables.

Ainsi, il n'est pas étonnant de voir que le fait qu'il n'existe pas de ligne directe entre le domicile des permanent-es et l'ECN soit pour elle-eux la principale limite à l'utilisation des transports en commun (32 %). Ce pourcentage est deux fois moins élevé chez les étudiant-es qui habitent majoritairement autour de l'ECN, où le réseau de transports en commun est plus dense que dans la périphérie.

FREINS A LA PRATIQUE DU COVOITURAGE

La question sur les freins rencontrés pour la pratique du covoiturage a été posée aux personnes qui prennent la voiture (que ce soit une ou plusieurs fois par semaine), seules ou en covoiturage.

Les réponses à cette question sont donnés en Figure 69 pour les permanent-es et en Figure 70 pour les étudiant-es.

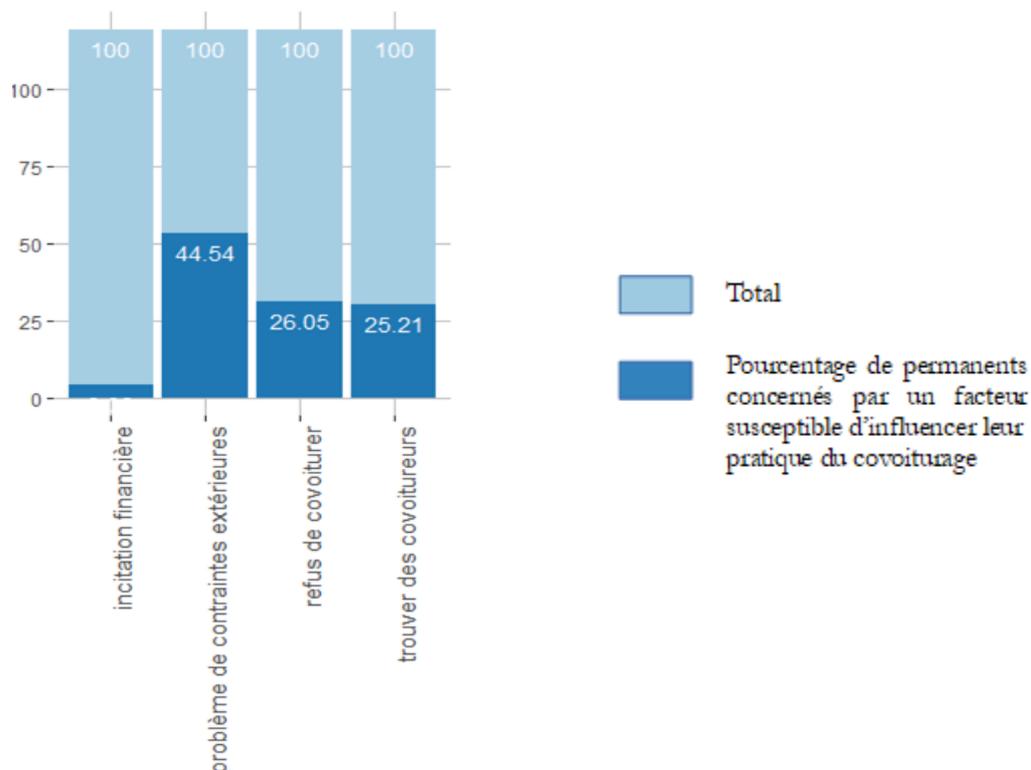


Figure 69 : Fréquence d'expression des facteurs susceptibles d'influencer la pratique du covoiturage chez les permanent.es (échantillon total : 119 personnes)

Pour les **permanent-es** (Figure 69), les **contraintes extérieures** (horaires de travail, vie de famille...) sont la **principale limite qu'ils rencontrent pour pratiquer le covoiturage** (45 %).

Un quart des répondant-es seraient intéressé-es de faire plus souvent du covoiturage s'i-els trouvaient des covoitureur-euses.

Un quart des répondant-es ne souhaitent simplement pas covoiturer. Enfin, il est intéressant de noter qu'une incitation financière ne résoudrait pas le problème.

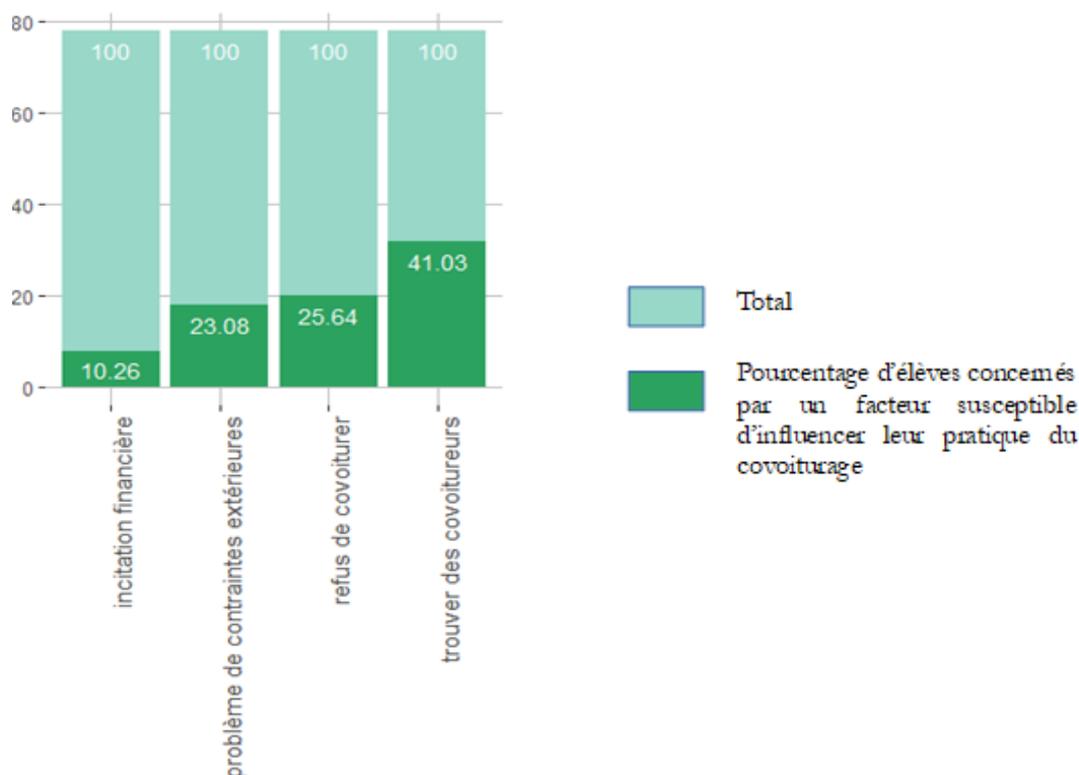


Figure 70 : Fréquence d'expression des facteurs susceptibles d'influencer la pratique du covoiturage, chez les étudiant.es (échantillon total : 78 personnes)

La principale difficulté pour les étudiant-es (Figure 70) est de trouver des covoitureur-euses (41 %). Ce chiffre est néanmoins à prendre avec précaution car le nombre de répondant-es est faible (78), étant donné la faible proportion étudiant-es qui vient à l'ECN en voiture.

Déplacements liés aux forums prépas

Tableau 39 : Résumé des informations relatives aux déplacements liés forums prépa

Valeur finale (tCO ₂ eq)	Incertitude (%)	ODG	Pourcentage du BC total
13	32 %	non estimé	0,2 %

Les déplacements liés aux forums prépas sont responsables de 13,4 tCO₂eq, ce qui correspond à moins de 1% du BC total (Tableau 39).

En 2018, **un quart des étudiant-es qui ont participé à leur forum prépa y sont allé-es en avion** ; cela correspond néanmoins à **82% des émissions carbone** liées aux déplacements pour les forums prépa. Ces chiffres sont à mettre en parallèle avec le train, moyen de transport utilisé par la moitié des étudiant-es, qui représente uniquement 2% des émissions et la voiture (en covoiturage) qui concerne un quart des étudiant-es et est responsable de 16% des émissions (Tableau 40).

Pour les trajets en voiture, l'ECN ne rembourse que la moitié du prix du trajet, incitant ainsi les étudiant-es à faire du covoiturage à au moins trois personnes et en considérant que les deux passager-es paient chacun-e un quart du trajet. Il a donc été supposé dans les calculs que les étudiant-es en voiture faisaient effectivement en moyenne du covoiturage à trois.

Tableau 40 : Moyens de transport utilisés pour les déplacements dans les forums prépa et leur impact carbone respectif

Moyens de transport	Etudiant-es participant à leur forum prépa	Émissions liées au transport des forums prépa	Emissions liées au transport des forums prépa (kgCO ₂)
Avion	25,5 %	81,6 %	8179
Train	50 %	2,1 %	205
Voiture	24,5 %	16,3 %	1636

Afin d'affiner l'analyse, le Tableau 41 recense les villes de destination des personnes qui ont utilisé l'avion et la proportion que cela représente.

Tableau 41 : Proportion des vols pour chaque destination

Villes de destination des vols (aéroport le plus proche, le trajet a pu être complété par train ou voiture)	Effectif
Toulouse	6
Lyon	6
Marseille	5
Montpellier	3
Nice	4
Strasbourg	2

Il peut être constaté que certaines villes citées dans le Tableau 41 sont accessibles en TGV directement depuis Nantes (comme Strasbourg, Lyon, Marseille et Montpellier) en moins de 6h30 (avec par exemple un train qui arrive le vendredi matin à 11h19 à Montpellier).

Pour Nice, il peut être en effet compliqué d'envisager un aller-retour en train ou en voiture sur un week-end.

Quant à Toulouse, il peut être également compliqué d'y aller en train (faire Nantes-Toulouse prend entre 6h30 à 10h selon les trajets) mais il est toutefois possible d'y aller en voiture (5h30 depuis Nantes).

3.2.7 Impact carbone des autres produits et services

Tableau 42 : Résumé des informations relatives aux produits et services

Valeur finale (tCO ₂ eq)	Incertitude (%)	ODG	Pourcentage du BC total
1203	44 %	6062	21 %

La thématique “produits et services” regroupe les émissions liées aux points suivants :

- Achats de produits et services (critère 9 du BC), hors alimentation.
- Transport de marchandises aval (critère 17 du BC), c’est-à-dire l’impact carbone des colis et lettres envoyés par l’ECN. Seules les plaquettes taupin et alpha ont été considérées.
- Transport de marchandises amont (critère 12 du BC), c’est-à-dire l’impact carbone des colis et palettes reçus au service technique.
- Déchets et recyclage (critère 11 du BC).

Le Tableau 42 récapitule les informations relatives aux produits et services : impact carbone calculé, comparé à l’ordre de grandeur initial et proportion relative que cela représente sur l’ensemble du BC total.

Achats de produits et services

Tableau 43 : Résumé des informations relatives aux achats de produits et services

Valeur finale (tCO ₂ eq)	Incertitude (%)	ODG	Pourcentage du BC total
1183	45 %	6038	21 %

Tout comme les déplacements des personnes, les achats augmentent considérablement le BC de toute organisation et expliquent le poids du scope 3. La compilation des données issues principalement de la direction des affaires financières de l’ECN donne un total **représentant près du quart du BC total de l’ECN** (Tableau 43).

La valeur calculée est par ailleurs une large sous-estimation. Seules les données accessibles ont été traitées : une grande partie de l’impact carbone des achats de l’ECN n’a pas été prise en compte. Cette différence s’observe avec la valeur de l’ordre de grandeur, qui prévoyait un total bien plus élevé. Cette valeur approximative est sans doute plus proche de la valeur réelle des émissions totales des achats de produits et services.

La méthode utilisée pour estimer l’impact des achats implique de prendre en compte de très grandes incertitudes (jusqu’à 80%) : les ratios monétaires permettent d’établir un ordre d’idée très global du poids des achats dans le bilan total, et non une valeur précise — à moins de pouvoir détailler

précisément toutes les transactions de l'année, tâche irréaliste pour une organisation de la taille de l'ECN pour l'effectif de l'option Neutralité Carbone. Toutes les données pertinentes pour les calculs n'étant de surcroît ni centralisées, ni présentées de manière homogène, le travail "d'extraction" des émissions de GES prendrait trop de temps.

La majeure partie du bilan est due aux dépenses suivantes, dont l'impact carbone a été calculé à partir de ratios monétaires de l'ADEME. Le Tableau 44 détaille les grandes sources d'émissions estimées à partir des données financières reliées aux facteurs d'émissions de l'ADEME.

Tableau 44 : Impact carbone des dépenses de l'ECN (achats de produits et services)

Type de produits / services	Impact total calculé en tCO _{2eq}
Machines et équipements	529 (44 %)
Services (imprimerie, publicité, ingénierie, ...)	83 (7 %)
Informatique Électronique Optique	145 (12 %)
Réparation et installation de machines	365 (30 %)
Autres biens manufacturés	45 (4 %)
Total (à partir de ratios monétaires)	1167
Total Produits et services	1203

D'après les résultats détaillés dans le Tableau 44, l'impact des achats est presque pour moitié dû à l'achat de **machines et équipements**. Ceux-ci sont utilisés à des fins de recherche. Presque un quart supplémentaire de l'impact est lié à la réparation et l'entretien de ces appareils.

Ainsi les activités de recherche, qui nécessitent des ressources matérielles conséquentes, contribuent grandement au Bilan Carbone de l'ECN.

Du fait des grandes incertitudes, il conviendrait de préciser les résultats avant de pouvoir agir sur ce poste d'émission.

Colis et palettes reçus au service technique

Tableau 45 : Résumé des informations relatives aux colis et plaquettes reçus

Valeur finale (tCO _{2eq})	Incertitude (%)	ODG	Pourcentage du BC total
14	100 %	2	0,24 %

L'extrapolation du nombre de colis et palettes reçus au sein du service technique de l'ECN pendant le mois d'octobre 2019 a permis de calculer **un impact carbone de 14 tCO₂eq** sur une année (Tableau 45).

Le résultat de ce poste d'émissions est à prendre avec précaution, il résulte davantage d'un calcul en ordre de grandeur qu'un calcul précis. L'incertitude élevée résulte à la fois des incertitudes sur le ratio monétaire de l'ADEME, sur la masse moyenne des colis et palettes et sur leur nombre.

L'ordre de grandeur estimé au début d'année a visiblement été sous-estimé, il se basait sur 50 colis de 2 kg par jour ouvrés sur une distance Paris-Nantes. Bien que le nombre de colis arrivant chaque jour à l'ECN soit en réalité plus faible, la masse des colis a notamment été revue à la hausse. De plus, la méthode de calcul concernant les émissions liées au transport de marchandises a été modifiée : l'ordre de grandeur de l'impact carbone avait été estimé via le site de La Poste alors que le calcul final se base sur un ratio monétaire de l'ADEME.

Impression et envoi des plaquettes taupin et alpha

Tableau 46 : Résumé des informations relatives aux plaquettes taupin et alpha

Valeur finale (tCO ₂ eq)	Incertitude (%)	ODG	Pourcentage du BC total
0,93	21 %	non estimé	0,02 %

La majorité de l'impact carbone des plaquettes concernées est due à leur impression et non à leur envoi par courrier. En effet, sur les 0,9 tCO₂eq considérées, plus de 78 % correspondent à l'achat de papier et 14% viennent de l'encre utilisée. L'envoi des plaquettes représente donc les 8 % du BC (80 kgCO₂eq) restant puisque le processus d'impression en lui-même n'a pas été considéré dans l'impact calculé (voir la méthodologie page 83).

L'incertitude élevée (Tableau 46) de ce poste d'émissions est majoritairement dû à l'incertitude sur le facteur d'émissions lié aux cartouches d'encre. En effet, cette donnée est fournie par l'ADEME avec une incertitude de 100%.

Un ordre de grandeur avait été estimé pour l'ensemble des courriers et colis envoyés par l'ECN. Il se basait sur une facture de 20 000 € de marchandises envoyées par an et sur un ratio monétaire de l'ADEME pour une valeur d'approximativement 3 tCO₂eq. Il semble normal que ce résultat soit bien plus élevé que celui correspondant au seul envoi des plaquettes taupin et alpha.

Déchets et recyclage

Tableau 47 : Résumé des informations relatives aux déchets

Valeur finale (tCO ₂ eq)	Incertitude (%)	ODG	Pourcentage du BC total
5,6	49 %	20	0,1 %

Le traitement des déchets (déchets en mélange, ferrailles broyées, gravats, gros de magasin, petits électroménagers) **par Veolia émet 11,1 tCO₂eq**. En parallèle, la **valorisation des autres déchets** (papier, cartouches d'encre, gobelets, etc) par Solution Recyclage **permet d'éviter -5,6 tCO₂eq** (Tableau 47).

L'incertitude a été calculée pour les déchets traités par Véolia et estimée pour les déchets valorisés par Solution Recyclage. En effet, comme expliqué dans la méthodologie de calcul page 84, les étudiant-es ont eu accès à la méthode mais pas aux détails des calculs de l'impact carbone des déchets de Solution Recyclage, puisqu'il a été calculé par l'entreprise elle-même. Ainsi, la grille d'incertitude proposée par l'ADEME a été utilisée pour définir une incertitude de 30 % directement sur l'impact carbone fourni, considéré comme la donnée brute.

L'ordre de grandeur estimé au début de l'année était légèrement plus élevé que la valeur finale calculée, car aucun évitement n'avait été considéré.

Ce poste d'émissions est très minime au regard du BC total de l'ECN. Néanmoins, il convient de rappeler que les déchets constituent un enjeu environnemental majeur même si leur impact environnemental principal n'est pas directement lié à l'augmentation du réchauffement climatique. Leur impact est divers : pollution des eaux, impact sur la faune et la flore, ...

3.2.8 Impact carbone de la vie associative du campus

Tableau 48 : Résumé des informations relatives à la vie associative de l'ECN

Valeur finale (tCO ₂ eq)	Incertitude (%)	ODG	Pourcentage du BC total
464	71 %	non estimé	8 %

En comptabilisant l'impact carbone de tous les clubs et associations dont les activités sont liées à l'ECN, **un total de 464 tCO₂eq est atteint, correspondant à 8% du BC total de l'ECN** (Tableau 48). A titre de comparaison, cet impact est légèrement inférieur à celui de tous les déplacements professionnels des permanent-es de l'ECN sur une année (500 tCO₂eq). Il est deux fois supérieur aux émissions induites par les consommations de chaleur (réseau ERENA) et d'électricité à l'ECN.

Les informations collectées sont plus ou moins fiables selon les sources et le calcul comprend des biais et limites difficilement quantifiables. L'incertitude moyenne sur ces données a donc été estimée à 50 %, ce qui correspond à l'incertitude pour une "donnée approximative" selon la catégorisation de l'ADEME (cf. partie « Incertitudes des calculs » page 49). A cela, s'ajoute l'incertitude liée aux calculs réalisés et aux facteurs d'émissions utilisés, elle a été choisie par défaut à 50 %.

Aucun ordre de grandeur n'avait été préalablement calculé, puisque ce poste d'émissions ne faisait pas partie du premier périmètre établi. Cependant, le monde associatif étant une part importante de la vie étudiante et de la vie du campus, il a ensuite semblé important d'élargir le périmètre défini pour prendre en compte cet impact.

Analyse par postes d'émissions

Il a été choisi de ne pas répartir les différentes composantes du Bilan Carbone associatif dans les postes d'émissions du Bilan Carbone de l'ECN mais d'en faire une catégorie à part bien qu'elle regroupe globalement les mêmes sources d'émissions comme le montre la Figure 71.

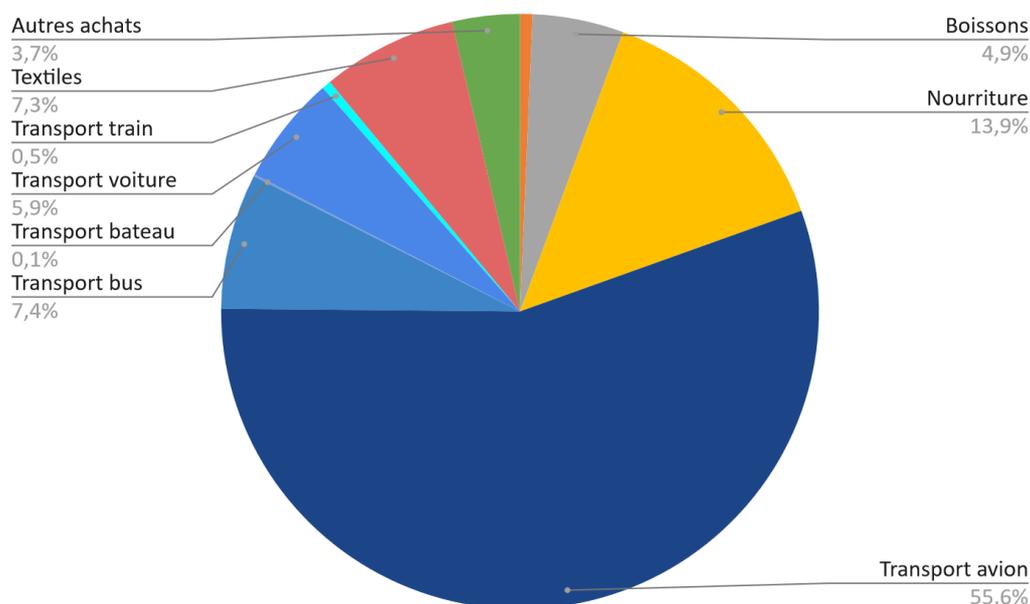


Figure 71 : Bilan Carbone de la vie associative de l'ECN en 2018 par postes d'émissions

Tout d'abord, la Figure 71 montre que, comme pour le Bilan Carbone lié à l'institution ECN, **les déplacements (en avion, bus, voiture, train et bateau) représentent le plus grand poste d'émissions de GES**. En effet, plus des deux tiers des émissions de GES des associations et clubs sont liées à des déplacements de personnes. **Le transport en avion est responsable, à lui seul, de plus de la moitié (55 %) des émissions de GES** des associations et clubs, quand bien même il ne concerne que 9 associations et clubs sur les 72 comptabilisés dans le BC 2018¹. Les transports en bus et en voiture sont ensuite les postes les plus importants parmi les déplacements. A noter que l'impact des trajets en voiture

¹ Le Bilan Carbone du BDS et de ses clubs a été réalisé globalement et non club par club, ils sont donc comptabilisés comme une seule entité.

a probablement été sous-estimé car la plupart des trajets urbains nantais n'ont pas pu être comptabilisés dans le Bilan Carbone.

Le poste alimentation (qui comprend à la fois nourriture et boissons) représente presque **20 % des émissions de GES**. Avec plus de 30 400 repas équivalents dans l'année, la nourriture est responsable de 14% des émissions de GES des associations/clubs. Sont inclus dans ces repas, les ventes de nourriture et les repas servis lors des activités et week-ends associatifs (dont les campagnes). A noter que **seuls 8% des repas sont végétariens** (2600 repas) mais qu'ils ne représentent que 2% des émissions de GES du poste alimentation.

Le troisième plus grand poste d'émissions concerne les **textiles**. La Figure 72 montre que plus de 1000 pulls ont été achetés – et donc produits – dans le cadre de la vie associative de l'ECN durant l'année 2018. **Ces pulls représentent 38 % des textiles achetés mais sont responsables de plus de 80 % des émissions de GES liées aux textiles**. Au contraire, les 680 tee-shirts et polos, deuxième type de textile majoritaire, n'émettent que 10% des GES de ce poste.

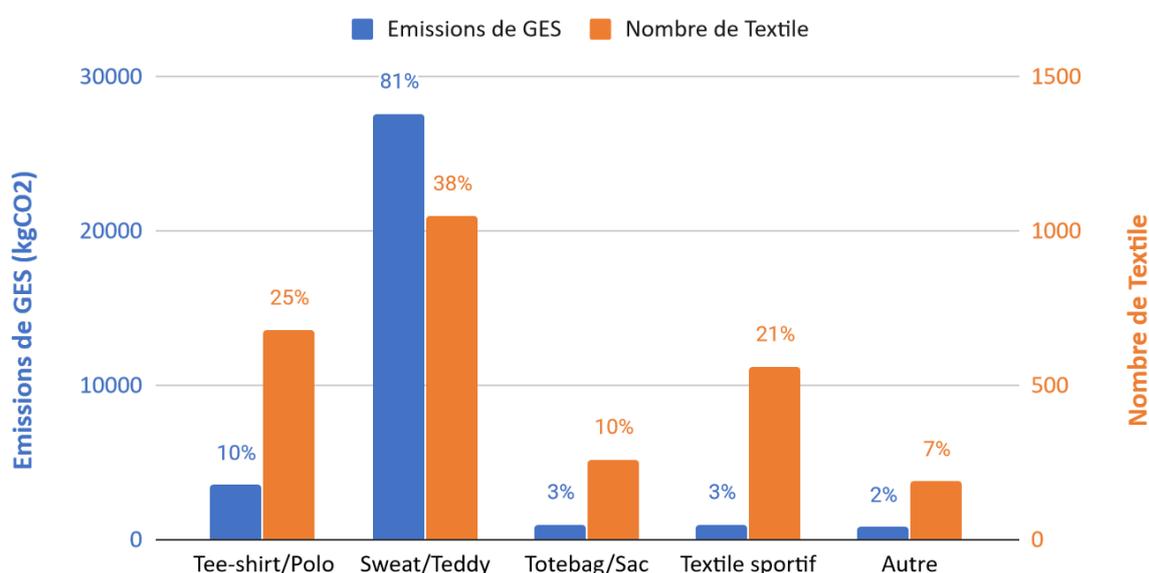


Figure 72 : Émissions de GES et nombre de textiles achetés dans le cadre de la vie associative, selon leur type

De plus, la Figure 73 ci-dessous permet de mettre en évidence que 57% des émissions de GES liées à ce poste d'émissions sont des textiles de promotion (sweats mais aussi casquettes, polos, ...) proposés à l'achat à tous les élèves du campus. Ensuite, viennent les textiles achetés pendant les campagnes associatives (pulls, déguisements) qui représentent 26% des émissions de GES liées aux textiles. La catégorie "Textiles Goodies", responsable de presque 10% des émissions, regroupe tous les textiles distribués aux étudiant-es de l'ECN. Elle concerne l'association Accents accueillant les élèves étrangers sur le campus (*tote-bags*) et le club Week-End d'Intégration (tee-shirts).

Selon l'ADEME, les vêtements de sport (shorts, maillots, ...) ont des FE plus faibles que les textiles classiques ce qui explique leur faible part (1%) dans le Bilan Carbone total des textiles malgré leur nombre important.

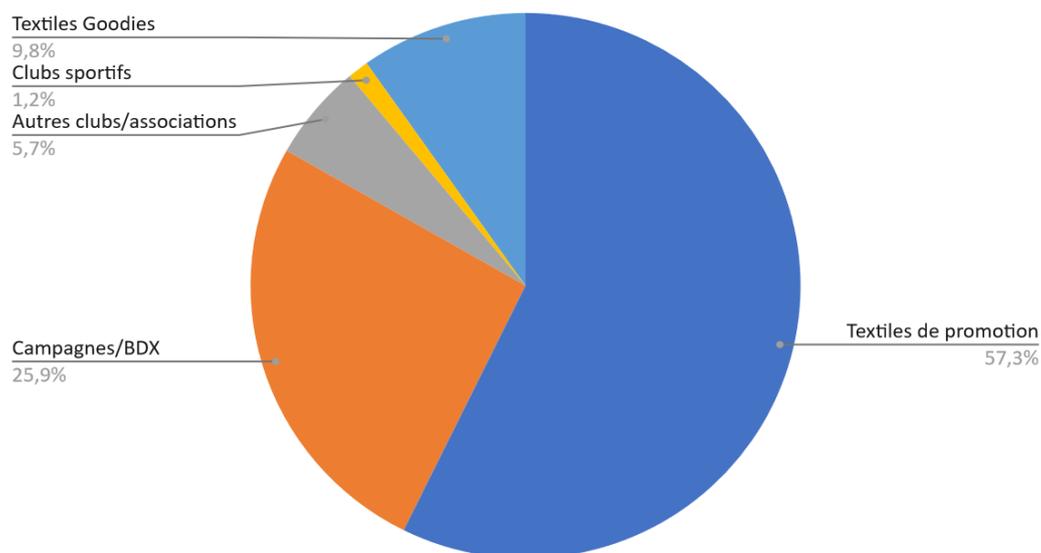


Figure 73 : Répartition des émissions liées aux textiles selon leur destination

Pour compléter les déplacements, l'alimentation et les textiles dans le BC associatif 2018, viennent ensuite **les autres achats de produits ou de services** (matériel électronique, matériel sportif, matériel artistique...) et les *goodies*.

Analyse par types de structure associative

L'impact carbone n'est pas équivalent selon le **type de l'association ou du club**. Il a donc été choisi d'affiner l'analyse des résultats pour les structures suivantes : associations humanitaires, Bureau Des Elèves (BDE) et ses clubs, campagnes étudiantes, Bureau Des Sports (BDS) et ses clubs, autres associations et Bureau Des Arts (BDA) et ses clubs. La répartition des émissions de GES selon le type de structures est représentée sur la Figure 74.

Il est important de noter que cette analyse a ses limites, car le rattachement d'un club à un BDX n'est pas forcément cohérent avec ses activités. Par exemple, certains clubs sportifs ou artistiques dépendent administrativement du BDE.

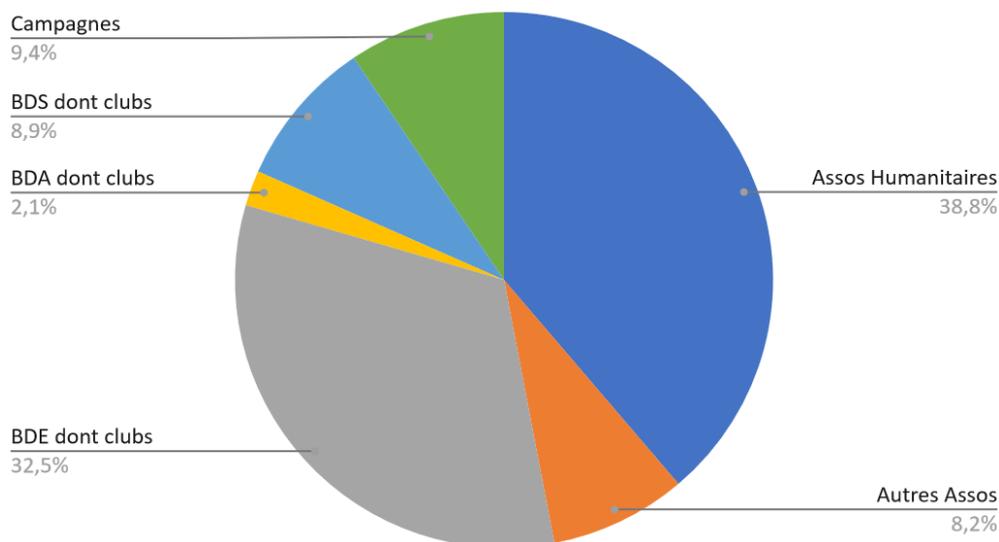


Figure 74 : Bilan Carbone de la vie associative de l'ECN en 2018 par types de structures

La Figure 74 montre que **les 4 associations humanitaires** – Culture Au Burkina, Kids Nepal, Take my Andes et Récup'eau Vietnam – **concentrent près de 40% des émissions de GES des 72 associations et clubs liés à l'ECN**. En effet, chaque année, les associations humanitaires font partir en avion dans les pays étrangers aidés un certain nombre d'étudiant-es. De plus, ces derniers prennent parfois des vols intérieurs pour se rapprocher des villages où se situent les associations locales.

Ainsi, pour une **association humanitaire** moyenne de l'ECN, **95% de ses émissions de GES est dû au transport en avion**. En ramenant les émissions de GES liées à ces trajets en avion au nombre de personnes parties en voyage, une moyenne de **5,2 tCO₂eq par personne** est atteinte. Ce chiffre, d'autant plus important qu'il se rapporte à seulement deux semaines ou à un mois de l'année, est à comparer avec les **10 tCO₂eq/an correspondant à l'empreinte carbone d'un-e français-e moyen-ne** et aux **2 tCO₂eq/personne/an recommandés par l'Accord de Paris** pour limiter le réchauffement climatique en dessous des 2°C.

Le BDE (en-dehors des campagnes associatives) **et les 35 clubs BDE** comptabilisés dans le BC 2018 sont le deuxième poste d'émission de GES avec plus de **30% de l'impact de la vie associative**. Les activités sont très variées d'un club à l'autre, mais là encore et comme le montre la Figure 75, ce sont les **déplacements** (presque 70% du total) **et plus particulièrement les trajets en avion** (55% du total) liés au Week-End Nantralien (WEN) et au club Croisière qui **expliquent la majorité des émissions de GES calculées**. Le second poste d'émissions concerne l'alimentation (14%) ce qui semble cohérent puisque le BDE et ses clubs organisent de nombreux événements.

Les entités les plus émettrices sont donc celles qui organisent des événements accueillant un grand nombre de personnes et qui induisent d'importants déplacements : le WEN, le club Week-end d'Intégration (WEI), le club Croisière et le BDE lui-même. Toutefois, l'impact carbone du WEN est à considérer avec précaution car il a été estimé assez grossièrement en l'absence de données sur les déplacements des participant-es.

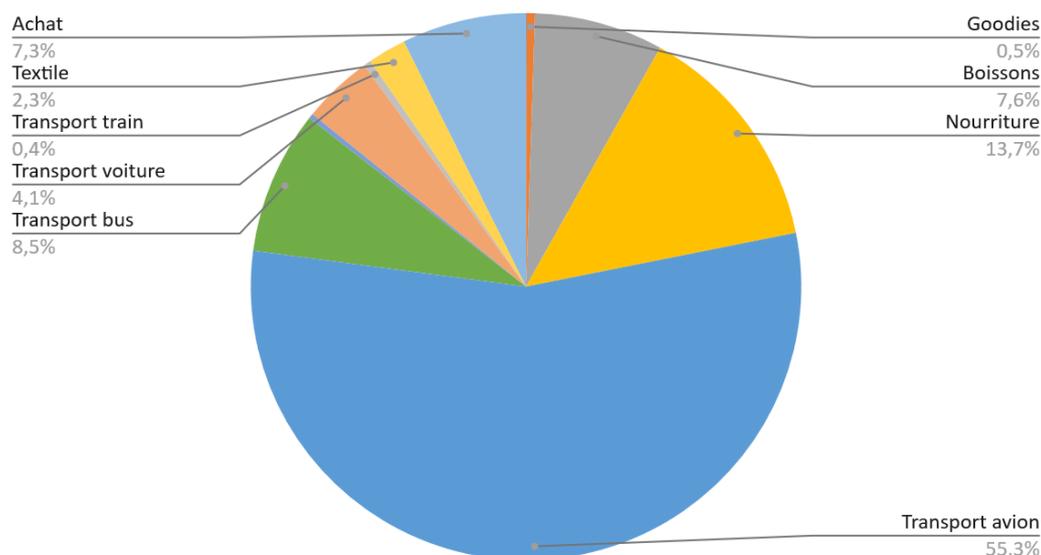


Figure 75 : Bilan Carbone du BDE et de ses clubs en 2018 par postes d'émissions

En troisième position, **les campagnes associatives** représentent un peu moins de **10% de l'empreinte carbone de la vie associative de l'ECN**. C'est cet impact carbone non négligeable, associé à l'opportunité unique de sensibiliser une grande partie des élèves du campus, qui a motivé les étudiant-es de l'option Neutralité Carbone à participer au projet « Pour des campagnes plus responsables » (voir le kit et le bilan joint au rapport). **L'alimentation (nourriture et boissons) représente 70 % de cet impact** (voir Figure 18).

Ensuite, le BDS et ses clubs ainsi que les autres associations (Forum Atlantique, Franfrale, Brio, Centrale Nantes Etudes, 4LTrophy, ...) représentent chacun entre 8 et 9% de l'impact carbone de la vie associative. **Quasiment la moitié des émissions liées au BDS et aux autres associations sont respectivement dues au textile et aux trajets en voiture** (Figure 76 et Figure 77). En effet, c'est le BDS qui s'occupe de commander les textiles de promotion (sweats, joggings, ...) de tous les élèves. De plus, de nombreux vêtements pour le sport sont achetés chaque année pour les clubs. Les autres associations ont plus souvent des activités délocalisées – hors du campus – ou des week-ends de rencontre nationaux que les clubs, ce qui explique la part importante de la voiture dans leurs émissions.

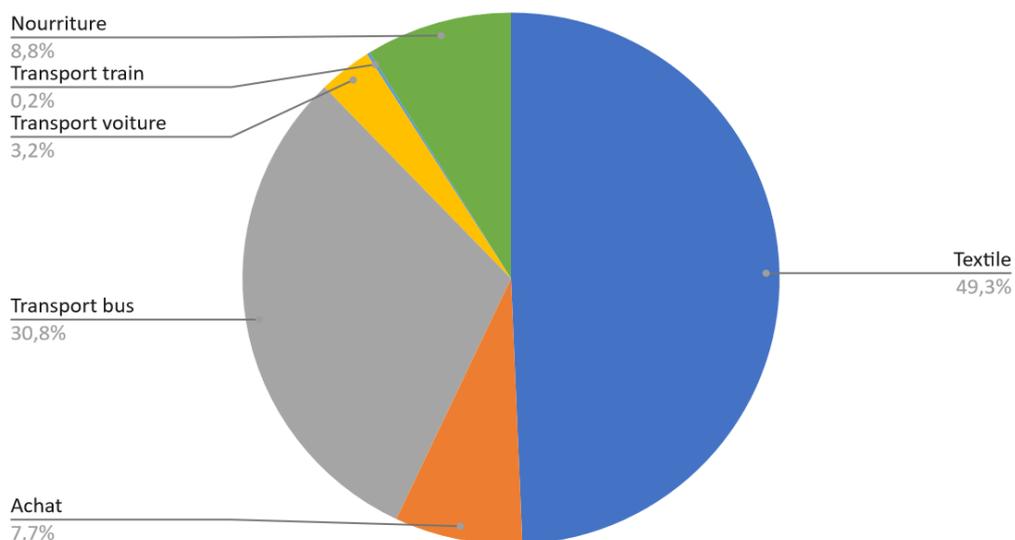


Figure 76 : Bilan Carbone du BDS et de ses clubs en 2018 par postes d'émissions

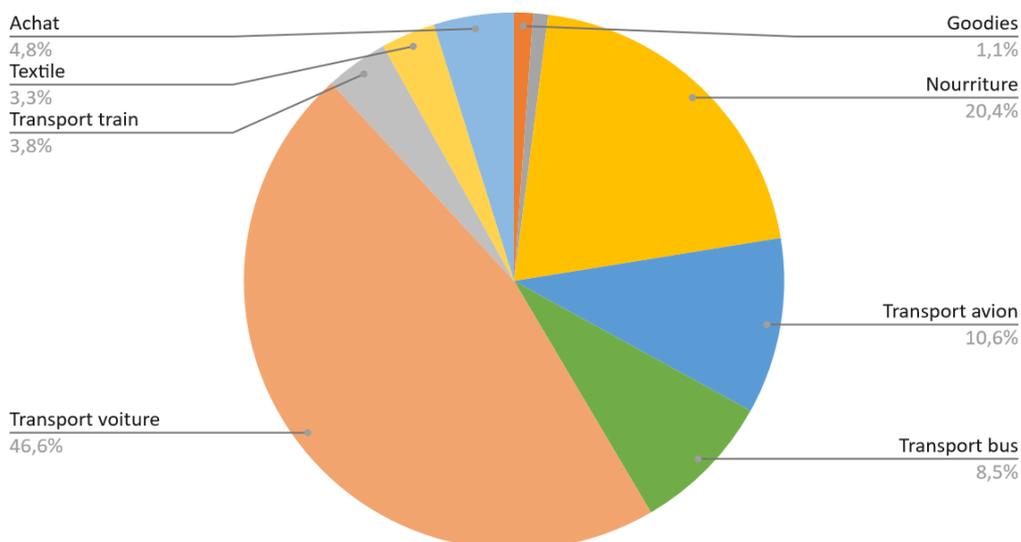


Figure 77 : Bilan Carbone des autres associations en 2018 par postes d'émissions

Enfin, **le BDA et ses 13 clubs comptabilisés ne représentent que 2% du Bilan Carbone de la vie associative du campus.** Le bus, utilisé pour participer aux Icares (InterCentrales des Arts, une compétition artistique entre les cinq écoles du groupe du Groupe des Ecoles Centrale) et pour le WEQ (week-end culturel) est le poste d'émissions le plus important (43%).

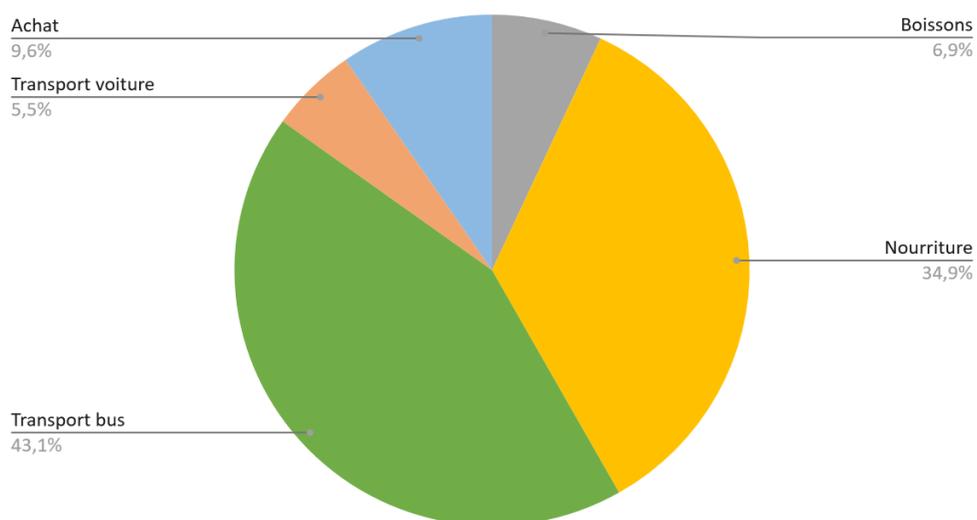


Figure 78 : Bilan Carbone du BDA et de ses clubs en 2018 par postes d'émissions

Le détail des calculs réalisés est consultable dans le tableur joint au présent rapport : « Bilan Carbone – Clubs & Assos.xlsx ».

4 Discussion

La suite de ce document présentera diverses réflexions à la lumière des résultats du BC, notamment une recherche de différents leviers d'action permettant de réduire l'empreinte carbone de l'ECN.

La trame de fond de ces réflexions reste la Stratégie Nationale Bas-Carbone [Ministère de la Transition Écologique et Solidaire, 2020] qui comporte des orientations sectorielles (transport, production d'énergie, industrie, etc.) mais aussi des orientations transversales comme « Education, sensibilisation et appropriation des enjeux et des solutions environnementaux par les citoyen·nes » qui sont tout aussi importantes que les premières. Ces discussions visent à rendre la culture du bas-carbone accessible à tous·tes. Ils permettent également de fournir les outils et réflexions permettant à chacun·e de faire des choix éclairés à la lumière des enjeux du changement climatique et de favoriser l'exemplarité des services publics.

L'objectif est de renforcer la mobilisation des étudiant·es et des autres acteur·ices de l'ECN, tout en s'assurant de l'acceptabilité sociale des mesures proposées.

Les divers leviers d'action de réduction des émissions de GES envisagés par les étudiant·es de l'option, et par les différent·es acteur·ices de l'ECN au cours des ateliers participatifs, sont tout d'abord présentés. Ensuite, les étudiant·es de l'option ont souhaité prendre du recul sur la notion de « neutralité carbone » et exposent plusieurs réflexions autour de cette thématique.

(Table des matières page suivante)

4.1	LEVIERS D'ACTION : COMMENT REDUIRE LE BILAN CARBONE ?	162
4.1.1	<i>Leviers pour les espaces verts</i>	162
4.1.2	<i>Leviers pour les sources d'émissions directes</i>	167
	Leviers pour le chauffage au gaz	167
	Leviers pour les véhicules appartenant à l'École	170
	Leviers pour l'écopâturage	175
	Leviers pour les moteurs thermiques expérimentaux	176
	Leviers pour les fuites de fluides frigorigènes	176
4.1.3	<i>Leviers pour les sources d'émissions indirectes liées à l'énergie</i>	180
	Leviers pour la consommation d'électricité	181
	Leviers pour le réseau de chaleur	186
4.1.4	<i>Leviers pour les constructions et bâtiments</i>	195
4.1.5	<i>Leviers pour les repas des usager-es</i>	198
	Leviers pour la restauration au Restaurant Universitaire (R.U.)	199
	Leviers pour la restauration sur le site de l'École	207
	Autres initiatives	209
	Conclusion	211
4.1.6	<i>Leviers pour les déplacements des personnes</i>	211
	Leviers pour les déplacements liés à la formation des étudiant.es	212
	Leviers pour les déplacements pendulaires des permanent.es et étudiant.es	221
	Leviers pour les déplacements des permanent.es et des personnes extérieures	241
	Leviers pour les déplacements liés aux forums prépas	249
4.1.7	<i>Leviers pour l'impact carbone des autres produits et services</i>	251
	Leviers pour les achats de produits et services	251
	Leviers pour les colis et palettes reçus au service technique	255
	Impression et envoi des plaquettes taupin et alpha	256
	Déchets et recyclage	256
4.1.8	<i>Leviers pour l'impact carbone de la vie associative du campus</i>	256
	Leviers d'action transversaux	257
	Leviers d'action sur les déplacements	261
	Leviers d'action sur l'alimentation et les déchets	266
	Leviers d'action sur les textiles	269
	Leviers d'action sur les autres achats	273
	Leviers d'action sur les <i>goodies</i>	274
	Leviers d'action sur le numérique	276
4.1.9	<i>Une préconisation transversale : le Bilan Carbone comme indicateur</i>	276
4.2	PRISE DE RECU.....	278
4.2.1	<i>Limites des estimations de réduction et prise en compte de l'effet rebond</i>	279
4.2.2	<i>Impact du numérique et bonnes pratiques pour le réduire</i>	281
4.2.3	<i>Etude de l'impact des missions de l'ECN : recherche et formation</i>	286
4.2.4	<i>Emissions évitées</i>	295
4.2.5	<i>Compensation carbone</i>	297
	Définition de la compensation carbone	297
	Les limites de la compensation	298
	Perspectives pour la compensation carbone	302

4.1 Leviers d'action : comment réduire le Bilan Carbone ?

Pour chacun des postes d'émission de l'ECN, une liste de leviers d'action pour réduire les émissions de GES qui lui sont associées a été établie.

Il est important de signaler que ce qui suit sont des **pistes de réflexion** et non un ensemble de mesures applicables immédiatement. Les réductions de GES présentées sont calculées en **ordre de grandeur**, en première approche. Une **analyse plus poussée**, notamment des nombreux **effets rebonds** que ces leviers d'action peuvent induire, est souhaitable.

Enfin, ces réductions ne sont pas toutes sommables, certaines représentant **plusieurs moyens d'action incompatibles sur le même poste d'émissions** ; certaines mesures d'incitation différentes peuvent inciter les mêmes personnes à changer leurs habitudes - la réduction induite par un changement d'habitude pourrait donc être comptée deux fois.

Cependant, il existe des **outils** qui permettent de **quantifier les bénéfices des différents leviers d'action**, en **comparant leur coût de mise en œuvre et leur gain carbone**. Il est possible d'utiliser le prix carbone, c'est-à-dire le prix d'une tonne de carbone. Le modèle DICE, construit par William Nordhaus (prix Nobel d'économie 2018) avait lui fixé à 50 euros/tCO₂eq l'impact social des externalités, comme par exemple la perte de la biodiversité, la baisse de la productivité agricole, les effets sur la santé, la climatisation des bâtiments, la hausse du niveau des eaux, les catastrophes naturelles... [Gollier, 2019] Le **prix carbone** peut donc être un **bon indicateur** pour évaluer grossièrement la **pertinence des investissements financiers** dans les leviers d'action proposés.

4.1.1 Leviers pour les espaces verts

A l'échelle nationale, d'après la Stratégie Nationale Bas Carbone [Ministère de la Transition Écologique et Solidaire, 2020], les espaces verts et plus particulièrement les zones forestières constituent un élément important à prendre en compte dans les considérations climatiques. Depuis l'Accord de Paris, le **renforcement des puits et des réservoirs de GES des écosystèmes naturels** est devenu primordial dans les stratégies bas carbone, au même titre que l'utilisation de produits forestiers, dans le cadre d'une **gestion raisonnée et durable**, pour la production d'énergie ou de produits biosourcés et renouvelables. Diverses actions peuvent être envisagées dans cette optique : préservation des surfaces forestières et maintien d'îlots de vieux arbres pour la préservation de la biodiversité, réduction du défrichage, intégration de la gestion forestière dans la gestion du patrimoine, développement du boisement pour répondre aux enjeux écologiques de protection de la biodiversité et des paysages, limitation du mitage et de la dégradation des sols naturels et forestiers, favorisation de la mixité des usages des espaces verts, réduction des îlots de chaleur urbain par végétalisation des sols, murs et toitures ou limitation de l'imperméabilisation des sols et du ruissellement des eaux pluviales. Plusieurs

indicateurs peuvent être considérés pour le suivi des espaces verts dans le cadre d'une stratégie bas carbone :

- Surfaces boisées,
- Surface nette artificialisée par usager-e,
- Population animale (oiseaux, mammifères, insectes...),
- Part des récoltes utilisées à de fins énergétiques, de construction, etc.,
- Quantité de bois mort à l'hectare.

Les végétaux captent du CO₂ grâce à la photosynthèse. Ainsi, une captation de CO₂ a lieu sur le campus de l'ECN, via les espaces verts. Cependant, la partie de ce document traitant plus précisément de la compensation (voir « Impact carbone des espaces verts » page 102), montre indirectement que **cette captation ne restera que très marginale à l'ECN**. Sur l'année 2018, les surfaces végétalisées ont permis de capter 0,2 % de la quantité de GES émise.

Il est donc nécessaire de **ne pas se focaliser uniquement sur la captation carbone dans la gestion des espaces verts**. Par ailleurs, il est nécessaire de relativiser le gain en CO₂eq des espaces verts au vu de leur entretien dont les émissions sont comptabilisées dans le poste "achats de produits et services".

C'est pourquoi, il est indispensable de prendre en compte d'autres enjeux dans la gestion des espaces verts tels que la **biodiversité** ou l'utilisation des espaces verts pour créer plus de **liens sociaux** entre les personnes présentes sur le campus.

Trois leviers d'action seront proposés : l'établissement d'un plan de gestion des espaces verts (déjà en cours de réalisation), la transformation de certaines surfaces de parkings en espaces verts et la végétalisation des parkings s'il est réellement nécessaire d'en construire de nouveaux.

ETABLISSEMENT D'UN PLAN DE GESTION DES ESPACES VERTS

Les services généraux de l'ECN sont en cours de rédaction d'un cahier des clauses techniques particulières (CCTP) concernant la gestion des espaces verts pour les trois prochaines années. C'est la première fois que l'ECN souhaite faire appel à un prestataire extérieur pour évaluer cette gestion.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Il serait donc intéressant d'intégrer les différents enjeux environnementaux, dont la captation des émissions de GES, dans ce **plan de gestion des espaces verts**.

Plusieurs idées ont émergé du Groupe de Travail sur les espaces verts organisé par les services généraux (voir page 40). Cette liste de propositions a été complétée pour finalement aboutir aux préconisations suivantes :

- ajout d'un compost sur le campus,
- aménagement d'un poulailler,
- réduction des surfaces de tonte,
- aménagement d'un potager ou d'un jardin participatif,
- plantation d'arbres fruitiers,
- préservations des bois du campus tout en en laissant une partie non entretenue,
- embellissement des espaces verts, notamment avec des fleurs mellifères,

- aménagement d'une topographie favorisant l'infiltration de l'eau et non son ruissellement vers des surfaces artificialisées imperméables.

Certaines de ces propositions peuvent permettre d'**économiser des moyens humains et financiers** (zones non tondues) tandis que d'autres impliqueraient des **investissements conséquents** (poulailler).

LIMITES

Le plan de gestion des espaces verts devra s'adapter à l'état actuel du campus, mais aussi être adaptable en fonction des évolutions futures, ce qui pourrait limiter les possibilités offertes. Intégrer tous les enjeux environnementaux et sociaux de manière systémique dans un plan de gestion des espaces verts peut être très complexe.

TRANSFORMATION DES SURFACES DE PARKINGS EN ESPACES VERTS

Augmenter la surface d'espaces verts sur un campus à superficie constante implique de transformer des espaces actuellement artificialisés. Comme il s'agit d'un processus relativement énergivore et coûteux, pour commencer, il peut être pertinent de **ne plus artificialiser de sols qui ne le sont pas encore**. Limiter l'artificialisation des sols est d'ailleurs l'un des objectifs de la Stratégie Nationale Bas-Carbone. Ensuite, il peut être envisagé de **désartificialiser certains espaces** qui nécessitent d'être rénovés. Il est alors nécessaire d'identifier les espaces les plus dispensables.

D'après le Schéma Pluriannuel de Stratégie Immobilière 2019 (SPSI) de l'ECN, la surface de l'espace boisé classé du campus est de 19 200 m² et la surface des espaces verts est 69 000 m². Les surfaces végétales représentent donc 57 % des surfaces du campus [Regoin, 2019]. Cependant, une étude réalisée début 2020 a mis en évidence une surestimation de la surface des espaces verts et une sous-estimation de la surface de parkings sur le campus. Les résultats de cette étude ne sont pas encore disponibles.

Les parkings de voiture sont considérés comme en nombre suffisant par 72 % des personnels et 83 % des étudiant-es selon le sondage "Mobilités"¹.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

L'ECN pourrait **remplacer certaines surfaces de parkings par des espaces verts** ce qui pourrait, entre autres avantages, augmenter les surfaces de captation des émissions de GES.

Si l'ECN s'engage à mettre en place des **actions visant à faire évoluer les déplacements vers des mobilités plus douces**, la part de la voiture sera forcément amenée à diminuer et le nombre de places de parkings nécessaires également. A l'inverse, diminuer le nombre de places de parkings pourrait **ajouter une contrainte supplémentaire aux autosolistes ce qui en amèneraient peut-être certains à changer de mode de transport**. C'est d'ailleurs ce qui a été fait avec succès dans d'autres écoles ou universités. A noter que des places de parkings pourront être réservées à celle-eux qui effectuent du covoiturage. Il faut toutefois prévenir la possibilité que des voitures aillent se garer sur les pistes cyclables et les trottoirs.

En amont, d'un tel changement, l'ECN devra faire des **études plus précises** à propos du nombre de places de parkings effectivement nécessaires et de celles qui pourraient être supprimées. De plus, il

¹ Cette question sur l'état des parkings a été posée à l'ensemble des sondés. Les personnes interrogées avaient néanmoins la possibilité de déclarer si elles se sentaient concernées, ou non. Ainsi 168 élèves ont répondu, de même que 128 personnels.

sera nécessaire d'étudier attentivement le Plan Local d'Urbanisme (PLU) pour savoir s'il y a un nombre minimal de places de parking à garantir.

Enfin, une étude devra être menée de manière à **évaluer l'impact environnemental de cette désartificialisation** des surfaces :

- Si le coût environnemental est jugé trop élevé, il sera possible d'envisager des plantations hors-sol, ou une désartificialisation sur une superficie réduite (coulée verte par exemple),
- Sinon, un havre de biodiversité et de verdure pourra être envisagé et co-construit par l'ensemble des usager-es de l'ECN.

LIMITES

Comme précisé ci-dessus, un **effet pervers** lié à ce levier d'action n'est pas à sous-estimer (stationnement gênant). Il serait intéressant de collecter les **retours d'expériences** des entreprises et écoles où ce levier d'action a déjà été réalisé.

Ce levier d'action peut entraîner à premier abord une surcharge de travail pour les personnels d'entretien des espaces verts. Toutefois, pour ces espaces verts comme pour tous les autres, il sera possible de les imaginer moins entretenus par interventions humaines : la biodiversité s'en porterait mieux et la charge de travail pour les agent-es n'en serait pas augmentée.

PERMEABILISATION DES PARKINGS

Les **grandes surfaces bitumées** (comme les parkings ou les routes) sont la plupart du temps sombres et captent la chaleur en été, pouvant ainsi favoriser les **îlots de chaleur urbains**. De plus, leur artificialisation **empêche l'infiltration de l'eau de pluie**. Enfin, ces eaux de voiries et de parkings sont généralement polluées par des hydrocarbures à cause du ruissellement.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Toute nouvelle artificialisation des sols est à éviter, conformément aux recommandations de la Stratégie Nationale Bas Carbone. Cependant, **s'il y a réellement un besoin fondé de construire un nouveau parking alors il sera préférable d'en construire un végétalisé**.

La Figure 79 expose différents types de parkings végétalisés. Une étude plus approfondie permettrait de déterminer la structure la plus adaptée aux parkings de l'ECN.

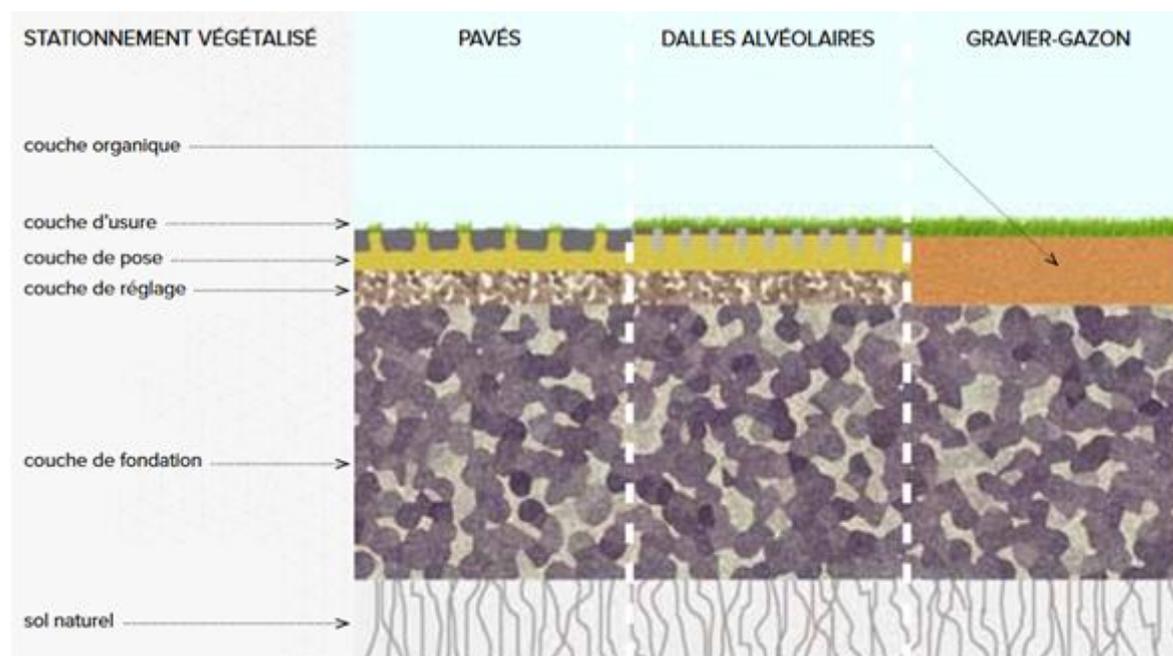


Figure 79 : Différents types de stationnements végétalisés.

Source : Conseil d'Architecture et d'Urbanisme et de l'Environnement d'Eure et Loire

En plus de la captation carbone des végétaux, la création de stationnements végétalisés est une bonne alternative pour que le sol conserve ses **fonctions naturelles de régulation thermique et hydrique** tout en apportant un **aspect esthétique** qualitatif pour les espaces extérieurs. En effet, l'albédo (pouvoir réfléchissant) des surfaces naturelles est beaucoup plus important que celui de surfaces artificialisées ce qui limite le stockage de chaleur. De plus, un stationnement végétalisé permet à l'eau de s'infiltrer, puis d'être filtrée naturellement par le sol. Le sol continue à jouer son rôle naturel d'absorption des eaux de pluie et donc de régénérer les nappes phréatiques.

LIMITES

Les parkings végétalisés sont généralement **déconseillés lorsque des voitures restent statiques** durant plusieurs jours sur un même emplacement ce qui peut être le cas pour une partie des véhicules à l'ECN. En effet, la végétation pourrait en pâtir.

Un **effet rebond** (voir partie 4.2.1 page 279) de ce levier d'action pourrait être que les automobilistes se sentent moins "coupables" de prendre leur voiture étant donné que le parking permet l'infiltration d'eau et de capter du carbone. Or, si les déplacements en voiture augmentent, le parking végétalisé aura des impacts plus néfastes que bénéfiques : les émissions de GES carbonés seront plus grandes.

A noter que l'**infiltration de l'eau ne serait pas aussi efficace** que sur des surfaces totalement naturelles étant donné que le sol des parkings végétalisés est généralement très tassé à cause de la masse des véhicules.

Enfin, il est possible qu'**un entretien de ces parkings** soit à prévoir ce qui nécessiterait des moyens humains et donc financiers supplémentaires.

CONCLUSION

Les **gains carbone** en lien avec les leviers d'action proposés n'ont pas été quantifiés mais seront probablement **minimes**.

Cependant, cela ne signifie pas pour autant que ces pistes d'actions ne sont pas intéressantes : l'aspect **biodiversité** est au cœur des enjeux environnementaux actuels. De plus, les espaces verts offrent des **cadres de travail plus agréables** pour les usager-es du campus.

4.1.2 Leviers pour les sources d'émissions directes

Au niveau national, les objectifs de limitation des émissions directes liées à l'énergie (gaz, moteurs thermiques ou fluides frigorigènes) sont clairs [Ministère de la Transition Écologique et Solidaire, 2020] : une **réduction des émissions de GES de 33% entre 2015 et 2030**, et l'atteinte d'une **décarbonation complète du secteur en 2050**. La part des énergies d'origine renouvelable devra augmenter jusqu'à atteindre l'objectif de 33% en 2030, avec plus précisément 15% du carburants et 10% du gaz consommé d'origine renouvelable. Pour parvenir à ces objectifs, une transition vers des comportements plus sobres et un travail sur l'efficacité énergétique sera nécessaire. Les solutions issues de la biomasse ou de l'utilisation de réseaux de chaleur devront être favorisées. Une limitation de l'utilisation des moteurs thermiques sera nécessaire et un suivi des fuites annuelles atmosphériques en lien avec les matières entrant dans les installations (méthane, fluides frigorigènes...) devra être mise en place. Divers indicateurs de suivi pourront être envisagés :

- Émissions annuelles de GES associées,
- Consommation énergétique finale et part relative des différentes sources d'énergie,
- Fuites annuelles de fluides frigorigènes.

Leviers pour le chauffage au gaz

Sur le campus de l'ECN, seuls **les bâtiments M, N et O sont chauffés au gaz**. Le bâtiment P est chauffé à l'électricité et les autres bâtiments sont raccordés au réseau de chaleur.

Pour réduire l'impact de lié à la consommation de gaz, il semble nécessaire de **réduire la consommation** en elle-même. Pour cela, il existe deux possibilités, réduire le besoin de gaz ou remplacer les chaudières à gaz. Trois leviers d'action seront proposés : la rénovation et/ou l'optimisation thermique des bâtiments M, N et O et le raccordement de ces bâtiments au réseau de chaleur.

RENOVATION DES BATIMENTS M, N ET O

Pour réduire les besoins de chauffage d'un bâtiment, la première possibilité est de réduire les pertes thermiques qui ont lieu dans le bâtiment. Parmi ces pertes, les plus importantes sont les **déperditions thermiques par l'enveloppe**. Pour réduire ces déperditions, il faudrait rénover le bâtiment.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Le premier levier d'action serait de **rénover ces bâtiments afin d'augmenter leurs performances énergétiques** et donc de réduire les déperditions thermiques.

LIMITES

Une **étude plus approfondie** de ces bâtiments est nécessaire pour identifier le gain réel en termes d'économie d'énergie et les coûts monétaires et environnementaux engendrés par ces travaux. C'est seulement à la lumière de cette étude que l'intérêt de ce levier pourra être déterminé.

REALISATION D'UN AUDIT ENERGETIQUE DES BATIMENTS M, N ET O

En plus de la rénovation d'un bâtiment, il existe une autre solution pour réduire ces pertes thermiques. En effet, une utilisation de chaleur non nécessaire peut être considérée comme une perte. Pour réduire voire supprimer ces pertes, il faudrait identifier les **mauvaises utilisations de la chaleur** dans les bâtiments M, N et O. Pour cela, il est possible de réaliser un audit énergétique des trois bâtiments.

Un audit énergétique du campus avait été réalisé en 2010 par Veritas. Cependant, les conclusions de cette étude ne sont plus nécessairement d'actualité.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Ce levier d'action consisterait donc à réaliser un audit énergétique des bâtiments afin d'identifier certains points d'amélioration. Cet audit viserait à **optimiser énergétiquement l'utilisation et la production de la chaleur**. Pour cela, il faudrait recueillir les courbes de chauffe des chaudières (pour identifier des périodes de chauffage excessif) et des retours d'expériences pour estimer si les bâtiments sont chauffés de manière pertinente. En effet, il est courant que des vieux bâtiments soient **surchauffés**, car il n'y a pas de suivi de l'évolution des températures. La deuxième partie de l'audit consisterait à réaliser un **plan des actions** à effectuer (réduction du chauffage dans certaines zones, optimisation du fonctionnement de la chaudière, etc.). À partir de ce plan, il faudra **mettre en place les actions** et identifier la baisse réelle des émissions en suivant l'évolution de la consommation.

Pour réaliser cet audit énergétique, il existe différentes possibilités, celui-ci pourrait être réalisé par un **bureau d'études spécialisé**, mais aussi par un **groupe d'étudiant-es** dans le cadre d'un projet d'option disciplinaire par exemple. En effet, les élèves de l'option "Production et gestion d'Énergie" suivent un cours sur les audits énergétiques.

LIMITES

L'audit en lui-même n'aura pas d'impact sur les émissions. Seule la mise en place des actions proposées pourra réduire la consommation. Sans les résultats de l'audit, il n'est pas possible de savoir si ce levier d'action aura réellement un impact. Toutefois, l'avantage de l'audit énergétique est qu'il n'engendrera presque aucunes émissions de GES en lui-même et ce même si aucunes actions n'en ressortaient.

RACCORDEMENT DES BATIMENTS M, N ET O AU RESEAU DE CHALEUR

Réduire la consommation de gaz ne suffira pas pour réduire efficacement les émissions de GES. En effet, l'impact réel des deux précédents leviers est soit inconnu soit réduit. Pour une réduction plus importante des émissions, une piste d'action serait d'utiliser une **énergie moins émissive**. Ainsi, dans une situation comme celle de l'ECN où le **réseau de chaleur est déjà partiellement implanté**, la généralisation de celui-ci, et donc le raccordement des bâtiments M, N et O semble être la solution la plus efficace.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Ce levier consisterait donc à supprimer les chaudières à gaz et de remplacer cet approvisionnement de chaleur en raccordant les bâtiments au réseau de chaleur. Les travaux exacts à réaliser dépendent des installations actuelles. Il faudrait **identifier la sous-station la plus proche et faire les travaux pour s'y raccorder**. Il est aussi possible que le plus intéressant soit de créer une **nouvelle sous-station** dans les bâtiments.

Il serait aussi nécessaire de vérifier la compatibilité du réseau de chaleur avec le système de diffusion de chaleur. En effet, en fonction de la température du système de chauffage, il faudrait adapter le système de diffusion, ainsi la température doit être plus basse pour un plancher chauffant que pour des radiateurs.

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

Pour estimer, l'impact de cette action, il a été nécessaire de faire plusieurs hypothèses. L'impact lié aux travaux de raccordement n'a pas été pris en compte, même si cet impact n'est pas négligeable et devrait être estimé avant d'effectuer de tels travaux. En effet, trop d'informations précises sont manquantes concernant les installations du réseau de chaleur sur le campus (emplacement exact des sous-stations, nombre de raccordements possibles, type de canalisations utilisées, etc.). Cependant, cet impact pourrait être réduit en **mutualisant les travaux avec ceux prévus pour le bâtiment G**.

Il a été considéré que la totalité de la consommation de gaz est remplacée par le réseau de chaleur.

La fin de vie des chaudières à remplacer n'a pas non plus été prise en compte. Pourrait être pris en compte l'impact dû à leur traitement et à leur recyclage mais aussi l'impact évité en n'achetant pas de nouvelles chaudières. Ces émissions causées ou évitées n'apparaissent donc pas dans le calcul.

L'estimation de réduction prend en compte exclusivement les réductions annuelles et non les émissions causées ou évitées au moment du changement. Les calculs effectués pour réaliser cette estimation sont donnés dans le Tableau 49.

Tableau 49 : Estimation de l'impact annuel du rattachement des bâtiments M, N et O au réseau de chaleur

Solution de chauffage	Chaudière à gaz	Réseau de chaleur
Besoins de chaleur des bât. M, N et O (kWh)	255 494	
facteur d'émissions utilisé (gCO₂eq par kWh)	224	58
Émissions correspondantes (tCO₂eq)	57,15	14,82
Gain par rapport à la situation initiale (tCO₂eq)	0	-42,33
Réduction correspondante du critère 1¹	0 %	-59,50 %
Réduction du BC total	0 %	-0,74 %

¹ Critère 1 : "Emissions directes des sources fixes de combustion"

Ce levier d'action permettrait donc d'**éviter l'émission de 42 tCO₂eq par an, ce qui réduirait l'impact de ce poste d'émission de 60 %**. Cependant, en comparant cette réduction au BC total de l'ECN, l'impact de ce levier d'action resterait très marginal (Tableau 49).

LIMITES

Les limites résident dans les hypothèses faites pour estimer les réductions. En effet, il est important de **prendre en compte tous les coûts carbonés et financiers** avant de réaliser des travaux.

CONCLUSION

Le rattachement au réseau de chaleur semble être la piste d'action à favoriser pour réduire l'impact de la consommation de gaz. Les autres leviers ne sont pas pour autant à ignorer. En effet, la rénovation des bâtiments et leur optimisation thermique seraient des moyens de pousser plus loin la démarche de réduction des émissions. En effet, tous ces leviers secondaires permettraient de **réduire le besoin en chaleur des bâtiments concernés en plus de changer pour une énergie de chauffage plus propre**, et donc de réduire les émissions de GES.

Leviers pour les véhicules appartenant à l'École

L'ECN met à disposition des permanent-es 6 voitures de service, qu'i-els peuvent utiliser pour leurs déplacements professionnels.

Pour réduire l'impact des voitures de service de l'ECN, deux solutions sont possibles. La première consiste en la **réduction de leur utilisation** ; la deuxième option consiste à préférer des **moyens de locomotion plus propres** (vélos, voitures électriques, voitures thermiques moins émissives). Quatre leviers d'action seront proposés : l'évaluation de l'utilisation des véhicules et le remplacement de la flotte de voiture de l'ECN par des voitures électriques, par des vélos électriques et enfin par des véhicules thermiques moins émissifs.

EVALUATION DE L'UTILISATION DES VOITURES

Avant d'envisager une modification du parc automobile de l'ECN, la première action à effectuer serait d'étudier l'utilisation actuelle de celui-ci : qui les utilise ? Dans le cadre de quelle mission ?

Connaître l'utilisation des voitures (nombre de kilomètres parcourus, nombre de personnes dans le véhicule, trajet effectué, ...) permettrait également de juger de leur utilité et d'identifier si les kilomètres parcourus avec ces voitures étaient nécessaires. I-els seraient ainsi envisageable de réduire cette utilisation voire de réduire le nombre de véhicules.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

La première étape de ce levier serait de sonder les utilisateur-rices des véhicules. On pourrait ainsi imaginer la mise en place d'un **questionnaire** à rendre avant de prendre le véhicule en cas d'utilisation occasionnelle et d'un seul questionnaire à tous-tes les utilisateur-rices régulier-es.

A partir des résultats de ces questionnaires, il sera possible d'identifier la **nécessité des différents trajets** ou la nécessité de l'**utilisation d'une voiture par rapport à un autre moyen de locomotion plus propre**.

Plus globalement, la mise en place du sondage même si aucune action n'est mise en place par la suite serait un atout pour valider l'intérêt des différents leviers donnés dans la suite de ce rapport.

LIMITES

L'appréciation de la nécessité des déplacements est un travail qui reste subjectif et difficile. L'ECN ne peut qu'inciter les usager-es à réfléchir eux-mêmes à l'utilité de leur déplacement, en proposant par exemple une phase de sensibilisation.

Cependant connaître la nature des trajets peut aider à la mise en place d'autres leviers d'action.

REMPLACEMENT DE LA FLOTTE DE VOITURES PAR DES VOITURES ELECTRIQUES

La solution la plus simple pour réduire l'impact d'un déplacement est d'utiliser un moyen de locomotion moins émissif. Dans le cadre des voitures thermiques de l'école, une solution à envisager est celle de remplacer ces dernières par des voitures électriques. En effet, en dehors du problème de l'autonomie, celles-ci peuvent remplacer complètement les véhicules thermiques.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Le deuxième levier serait donc de remplacer les véhicules actuels par des véhicules électriques. Pour estimer l'impact d'une telle action, **trois scénarios** ont été modélisés.

Le scénario de référence correspond à la **conservation des véhicules actuels**. Les deux autres scénarios correspondent au remplacement des voitures thermiques par des voitures électriques, dans un laps de temps différent.

Le **scénario "changement immédiat"** correspond à un changement dès l'année 2020 et comprend donc l'impact de la construction de la voiture électrique. Le scénario **"changement raisonné"** correspond à un changement de véhicules une fois que les voitures thermiques sont hors d'usage et comprend donc l'impact de la construction de la voiture électrique auquel l'impact de la fabrication d'une voiture thermique évitée par l'achat de la voiture électrique a été soustrait.

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

La Figure 80 représente l'impact sur 10 ans de ces trois scénarios et permet d'identifier le temps de retour sur investissement écologique des deux scénarios de changement. Les détails des différents scénarios modélisés sont fournis dans le Tableau 50.

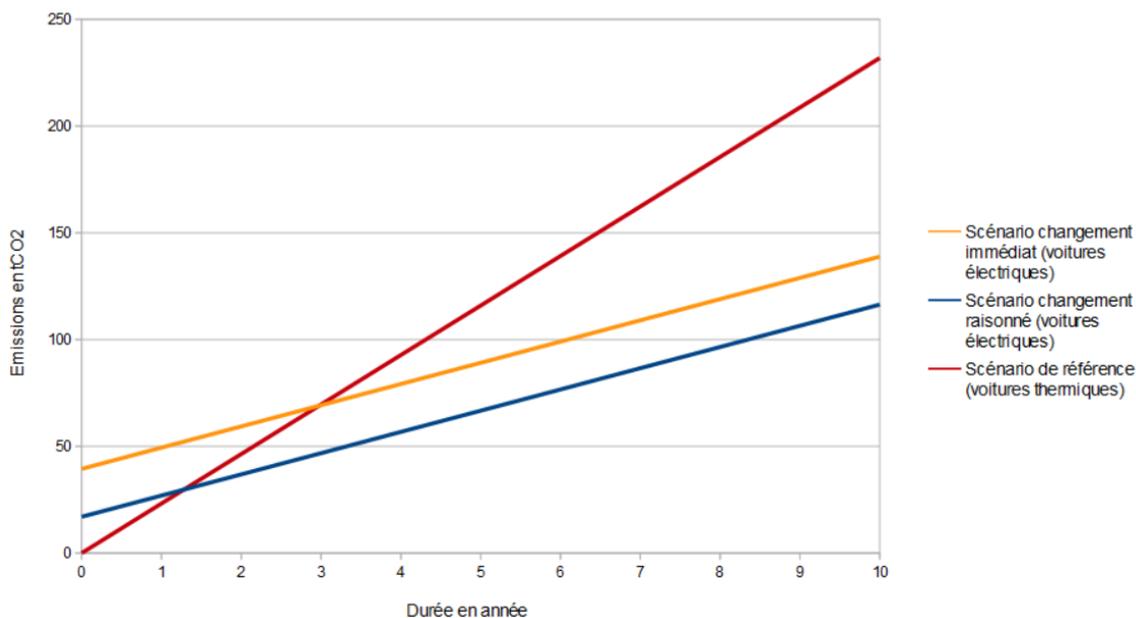


Figure 80 : Impact sur 10 ans des trois scénarios modélisés pour l'évolution du parc automobile

Tableau 50 : Détails des trois scénarios modélisé pour estimer le potentiel des voitures électriques

Scénarios	Répartition	Impact au changement de parc (tCO ₂ eq)	Émissions ¹ (tCO ₂ eq/an)	Différence par rapport au scénario de référence (tCO ₂ eq/an)	Temps de retour sur investissement écologique
Scénario de référence	par véhicule	0	3,86	0	-
	total	0	23,19	0	
Scénario changement immédiat	par véhicule	6,57	1,66	-2,21	3,0 années
	total	39,42	9,94	-13,25	
Scénario changement raisonné	par véhicule	2,83	1,66	-2,21	1,3 année
	total	16,98	9,94	-13,25	

¹ Source des facteurs d'émissions utilisés : ADEME

La comparaison réalisée dans le Tableau 50 entre les différents scénarios montre l'intérêt écologique de l'investissement dans un parc automobile électrique. En trois ans maximum, les émissions dues à la fabrication des véhicules électriques seront compensées par la baisse des émissions annuelles.

Cette estimation souligne également le gain que représente un changement raisonné du parc automobile. En effet, attendre la fin de vie des véhicules et donc remplacer l'achat d'un nouveau véhicule thermique par un véhicule électrique correspond en termes d'émissions à 1,7 ans (= 3 - 1,3) de réductions des émissions annuelles. Ainsi, **si les véhicules actuels doivent être remplacés d'ici 1,7 ans alors le remplacement "raisonné" est plus intéressant** au-delà, un changement immédiat aura à long terme un impact plus faible.

LIMITES

La comptabilisation carbone n'est pas la seule façon de prendre en compte l'impact environnemental des activités humaines. Les véhicules électriques peuvent poser d'autres problématiques qui ne sont pas tous liés aux émissions de gaz à effet de serre. Ainsi, construire les batteries des voitures électriques implique une **utilisation de ressources** qui s'épuisent. De plus, les batteries actuelles des voitures électriques ne sont pas recyclables, ce qui entraîne la **production de déchets** – à l'inverse, les moteurs thermiques sont facilement recyclables.

Posséder des véhicules électriques implique d'augmenter la production d'électricité pour subvenir à un besoin supplémentaire - énergie certes relativement décarbonée en France.

REMPLACEMENT DE LA FLOTTE ACTUEL PAR DES VELOS ELECTRIQUES

A l'instar du levier précédent, le remplacement du parc automobile actuel par un moyen de locomotion plus propre pourrait réduire les émissions de GES. Des vélos électriques pourraient ainsi remplacer une partie des véhicules actuels.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Ce levier consisterait donc à **remplacer certains véhicules actuels par des vélos électriques**. Ce levier d'action est cependant hypothétique, car il paraît peu probable que des vélos, même électriques, soient suffisants pour remplacer les voitures et puissent répondre au besoin des usager-es. Pour s'en assurer, il faudrait mieux connaître l'utilisation qui est faite des véhicules de service (voir « Evaluation de l'utilisation des voitures »).

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

Une estimation de l'impact d'un tel remplacement a néanmoins été réalisée pour montrer l'intérêt de la mise en place ne serait-ce que de quelques vélos pour réduire les déplacements en voitures. Plusieurs hypothèses ont été utilisées pour l'estimation.

- Il a été supposé que deux vélos sont nécessaires pour remplacer une voiture.
- L'impact de fabrication d'un vélo est négligeable (40 fois moins qu'une voiture thermique). Le changement immédiat ne sera pas distingué du changement raisonné. Plus globalement, les impacts positifs et négatifs liés au changement lui-même ne seront pas pris en compte.
- Les facteurs d'émissions utilisés sont issus d'une étude de TNO (pour les vélos 16 gCO₂,eq/km) et de la documentation de l'ADEME pour les voitures (235-261 gCO₂,eq/km)

Différents scénarios sont proposés, en considérant des taux de remplacement différents – c'est-à-dire en fonction du nombre de voitures remplacées (Tableau 51).

Tableau 51 : Estimation de l'impact annuel du remplacement de voitures par des vélos électriques dans le parc

Taux de remplacement / nombre de voitures remplacés	Distance parcourue en vélos (km/an)	Émissions (tCO ₂ eq/an)	Différence par rapport au scénario de référence (tCO ₂ eq/an)	Réduction du critère ¹	Réduction du BC total
0 % / 0 voiture	0	23,2	0	0 %	0 %
16.7 % / 1 voiture	16084,5	19,6	-3,6	-15,5 %	-0,06 %
50 % / 3 voitures	488253,4	12,4	-10,8	-46,6 %	-0,19 %
100 % / 6 voitures	96506,8	1,54	-21,6	-93,3 %	-0,38 %

L'estimation proposée dans le Tableau 51 montre que la mise en place de seulement quelques vélos à la place d'une partie du parc automobile actuel représente déjà une baisse intéressante de l'impact de ce critère. En effet, si **une seule voiture est remplacée par 2 vélos** électriques, les émissions de GES liées aux véhicules de service seront **réduites de plus de 15%**. La **suppression totale des voitures thermiques** au profit de vélos électriques représenterait **une division par 15 des émissions** de ce critère.

LIMITES

La mise en place pratique de ce levier d'action nécessite de préciser l'utilisation des voitures de service. Il s'agirait ainsi de vérifier si toutes les utilisations de ces véhicules nécessitent une voiture et si un vélo électrique (vélo cargo si nécessaire pour le transport de matériel) peut suffire. Ainsi, le premier levier d'action – à savoir **l'étude approfondie de l'utilisation des véhicules de service** – serait à coupler avec le changement de la flotte actuelle (tout ou partie) pour des vélos électrique.

REPLACEMENT DE LA FLOTTE ACTUELLE PAR DES VEHICULES THERMIQUES MOINS EMISSIFS

Les différents véhicules thermiques ne consomment pas tous la même quantité de carburant et ne rejettent donc pas la même quantité de GES dans l'atmosphère. Selon l'ADEME, un véhicule d'une puissance comprise entre 0 et 5 chevaux émettra en moyenne 0,23 kgCO₂eq/km contre 0,345 – soit 1,5 fois plus – pour un véhicule ayant une puissance de plus de 11 chevaux. A l'ECN, le véhicule le plus émissif de la flotte de véhicules circulant en 2018 avait une puissance de 8 chevaux.

De façon plus anecdotique, une façon de réduire l'impact carbone des véhicules de service de l'ECN serait de **choisir les modèles des véhicules de service selon des critères environnementaux**.

¹ Critère 2 : « Emissions directes des sources mobiles à moteur thermique »

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Ce levier consisterait donc à **remplacer progressivement les véhicules actuels par des modèles de véhicules moins émissifs**. La masse de la voiture ainsi que leur puissance fiscale seront à minimiser notamment afin de diminuer la consommation d'essence ou de gasoil par kilomètre parcouru. En effet, il est probable que les trajets effectués ne nécessitent pas de voitures particulièrement puissantes ni spacieuses. Les critères environnementaux pourraient alors être davantage privilégiés dans le choix de ces véhicules par rapport à d'autres critères (esthétique, espace, taille, puissance, ...).

En plus d'entraîner une diminution des émissions de GES, ce levier d'action permettrait à l'ECN de **faire preuve d'exemplarité** et ainsi, de **montrer symboliquement son engagement** dans une démarche bas-carbone.

Les véhicules de plus petites tailles et moins puissants sont généralement moins chers ce qui pourrait également permettre des **économies financières** pour l'ECN.

LIMITES

Il peut être **chronophage** pour les services concernés, d'effectuer une comparaison précise des véhicules entre eux sur le plan environnemental. Néanmoins, les indicateurs concernant la consommation de carburant d'un véhicule sont en général accessibles.

La réduction des émissions de GES liée à un changement de modèles de véhicules restera probablement minime si elle n'est pas **accompagnée d'une réduction des distances parcourues**.

CONCLUSION

Les leviers étudiés donnent une idée de l'impact d'un changement de système de locomotion via un changement du parc automobile. Il serait possible d'aller plus loin en encourageant l'utilisation des **transports en commun**. Toutefois, cette idée n'a pas été développée ici car l'utilisation des véhicules de l'école ne semble pas remplaçable par les transports en commun.

NB : des leviers d'action plus poussés sur les transports ont été réfléchis et proposés dans la partie « Leviers pour les déplacements des personnes » page 211.

L'étude des véhicules de l'école a permis d'identifier un véhicule ayant beaucoup moins roulé que les autres depuis son acquisition (kilomètres parcourus par an). Ceci permet de soulever une autre problématique environnementale, celle de l'**épuisement des ressources**. En effet, il serait intéressant de considérer que le fait de conserver un produit en fin de vie empêche le recyclage de ces composants. La fabrication d'une voiture thermique représente approximativement 4 tCO₂eq. De plus, si un des 6 véhicules n'est pas utilisé, l'intérêt d'avoir 6 véhicules au lieu de 5 peut être questionné.

Leviers pour l'écopâturage

L'impact des moutons sur le campus dépasse le simple dégagement de méthane. En effet, les surfaces occupées ont un entretien différent (pas de tonte) et une captation différente des autres surfaces et donc un impact carbone différent. Une **étude plus poussée serait nécessaire** pour valider l'intérêt de l'augmentation ou de la diminution du nombre de moutons sur le campus. Ainsi, il n'a pas été considéré comme pertinent de proposer des leviers d'action pour ce poste d'émissions.

Leviers pour les moteurs thermiques expérimentaux

Les émissions dues aux moteurs thermiques expérimentaux sont directement liées à l'activité de recherche de l'ECN. **Réduire cette activité ne représente pas un véritable levier d'action.** De plus, les recherches sur les moteurs expérimentaux visent à réduire l'impact de l'ensemble des moteurs thermiques. Une estimation de l'effet positif de ces recherches pourrait en revanche être un exercice intéressant à mener (voir partie « Emissions évitées »). En l'état, il n'a pas été jugé pertinent de proposer des leviers d'action pour ce poste d'émissions.

Leviers pour les fuites de fluides frigorigènes

Pour réduire les émissions liées à l'utilisation des fluides frigorigènes des climatisations, peu de solution sont envisageables. En effet, les climatisations sont principalement liées à l'**activité de recherche** (hors bâtiment A) donc le besoin ne semble pas compressible. Cependant, quelques leviers ont été étudiés pour identifier le potentiel de réduction de ce critère : la suppression de la climatisation dans le bâtiment A, le remplacement des fluides frigorigènes par des substituants moins polluants, l'optimisation énergétique des bâtiments et procédés de recherche et l'entretien approfondi des circuits de climatisation.

SUPPRESSION DE LA CLIMATISATION DU BATIMENT A

La première solution pour réduire les fuites liées à l'utilisation de ces fluides, serait d'en réduire l'utilisation. La seule zone pour laquelle la climatisation pourrait être réduite serait le bâtiment A. Il s'agit de la **seule climatisation de confort** sur le campus.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

La première action à mener serait le **retrait des installations de climatisation** du bâtiment A. Ensuite, il faudrait **garantir le recyclage des fluides utilisés** dans les circuits. En effet, les émissions à la destruction d'un circuit de climatisation peuvent atteindre jusqu'à trois ans d'émissions annuelles (taux de fuite de destruction jusqu'à 50% hors climatisation à air, source : ADEME). Une mauvaise gestion des circuits retirés annulerait donc complètement les réductions dues au retrait de cette climatisation.

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

Ne possédant pas d'information permettant de montrer que cette climatisation est essentielle pour le fonctionnement de l'ECN, il a été décidé d'estimer l'impact de sa suppression. Deux scénarios sont proposés. Le premier correspond à la situation actuelle ; le deuxième correspond à la suppression de l'appareil de climatisation du bâtiment A.

Les étapes permettant de parvenir aux résultats en termes de réduction des émissions de GES sont montrées dans le Tableau 52.

Tableau 52 : Estimation de l'impact annuel de la suppression de la climatisation du bâtiment A

Scénarios	Quantité totale de fluide sur le campus (kg)	Émissions (tCO ₂ eq/an)	Différence par rapport au scénario de référence (tCO ₂ eq/an)	Réduction du critère*	Réduction du BC total
Scénario de référence	32.7	8.52	0	0 %	0 %
Suppression de la climatisation du bâtiment A	27.6	7.05	-1.47	-17,3 %	-0,03 %

La suppression de cette climatisation de confort impliquerait une **économie de 7tCO₂eq par an** ce qui reviendrait à **réduire de 17% les émissions de GES de ce critère**.

LIMITES

Le **caractère superflu** de cette climatisation n'a pas été prouvé. La mise en place de ce levier nécessitera donc de collecter plus d'informations concernant le bâtiment, son système de refroidissement et la situation sans climatisation.

La suppression d'un tel système, dans de bonnes conditions, peut être **complexe**.

Le critère étant probablement sous-estimé (voir partie « Fuites de fluides frigorigènes »), **sa réduction relative** est donc probablement **surestimée**.

REMPACEMENT DES FLUIDES FRIGORIGENES PAR DES SUBSTITUANTS MOINS POLLUANTS

Les émissions des fluides frigorigènes sont étroitement liées à leur Potentiel de Réchauffement Global (PRG). En effet, en réduisant celui-ci, on réduit les émissions de GES à fuite égale. Ainsi, pour réduire le PRG des fluides frigorigènes, il convient de changer ceux-ci pour des **équivalents moins polluants**. Aujourd'hui les deux fluides les plus utilisés sur le campus sont le R410a et le R407c (qui ont un PRG respectif de 1 924 et 1 624).

De plus, la réglementation européenne "F-GAS" prévoit d'ici 2030 l'**interdiction de nouveaux fluides frigorigènes** dont la plupart des HFC (Hydrofluorocarbure). Les fluides utilisés sur le campus étant des HFC, leur utilisation pourrait être interdite, il convient donc de trouver une alternative. Si, à terme, ces fluides doivent être changés, il serait intéressant de le faire **dès que possible** pour réduire dès à présent le Bilan Carbone de l'école.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Les fluides frigorigènes majoritairement utilisés sur le campus sont le R410a et le R407c. Pour les remplacer, il convient d'identifier les fluides pouvant les remplacer selon leur utilisation. Aujourd'hui, il est prévu que ces fluides soient majoritairement remplacés par le R32 et le R600a. Toutefois, il sera nécessaire de faire appel à un spécialiste afin de valider ce choix, mais aussi d'**étudier les travaux**

nécessaires pour le remplacement de ces fluides. En effet, aujourd'hui, il est impossible d'affirmer si des travaux seront ou non nécessaires.

Ensuite, comme pour le levier précédent, il faudra **garantir le recyclage des fluides utilisés** dans les circuits et veiller au sérieux dans les manipulations de changement de fluide.

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

Il a été décidé d'estimer la réduction des émissions en remplaçant les fluides actuels. Pour ce faire, quatre scénarios ont été modélisés. Il a été considéré que des changements de réseaux de climatisation ne seraient pas nécessaires.

- Scénario de référence : situation actuelle
- Scénario R32 : remplacement du R410a par du R32
- Scénario R600a : remplacement du R407c par du R600a (isobutane)
- Scénario changement complet : deux scénarios précédent additionnés

Ces différents scénarios et le gain en impact carbone associé sont présentés dans le Tableau 53.

Tableau 53 : Estimation de l'impact annuel du remplacement des fluides frigorigènes par des substituants moins polluants

Scénarios	Quantité de fluide remplacé (kg)	Émissions (tCO ₂ eq/an)	Différence par rapport au scénario de référence (tCO ₂ eq/an)	Réduction du critère 4	Réduction du BC total
Scénario de référence	0	8,52	0	0 %	0%
Scénario R32	31,5	3,19	-5,33	-62,5 %	-0,094 %
Scénario R600a	1,2	8,22	-0,30	-3,5 %	-0,005 %
Scénario changement complet	32,7	2,89	-5,63	-66,0 %	-0,099 %

Bien que la réduction permise par ce levier pour ce critère soit faible voire négligeable sur l'ensemble du Bilan Carbone de l'ECN (de l'ordre de 0,1 % au maximum), un tel levier permettrait une **diminution relative intéressante du poste d'émissions, pouvant aller jusqu'à 66 %** dans le cas du scénario changement complet.

LIMITES

La principale limite réside dans l'hypothèse formulée pour le chiffrage de l'estimation, à savoir l'absence de changement de matériels.

L'interdiction des fluides utilisés n'étant pas encore actée, il conviendra de **suivre la réglementation**. Les fabricants de climatisation devront en principe assurer la transition.

OPTIMISATION ENERGETIQUE DES BATIMENTS ET PROCEDES DE RECHERCHE

Si un audit énergétique doit être réalisé pour réduire les besoins de chauffage (voir partie « Réalisation d'un audit énergétique des bâtiments M, N et O »), il serait envisageable d'**étendre l'audit à la production de froid** afin d'optimiser les besoins. En effet, la réduction de ces besoins peut déboucher sur un ajustement dans les circuits de climatisation et ainsi réduire les volumes de fluides utilisés voire supprimer certains circuits de climatisation.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Dans le cadre de l'audit réalisé pour le chauffage, il faudrait donc étendre l'étude au réseau de climatisation et identifier par exemple si certaines **salles climatisées présentent une mauvaise isolation** causant ainsi un réchauffement naturel important en été. L'étude pourrait également concerner l'**optimisation des procédés de recherche** en lien avec l'utilisation de la climatisation.

LIMITES

L'audit en lui-même n'aura pas d'impact sur les émissions. Seule la mise en place des actions proposées pourra réduire la consommation. Sans les résultats de l'audit, il n'est pas possible de savoir si ce levier d'action aura réellement un impact. Toutefois, l'avantage de l'audit énergétique est qu'il n'engendrera presque aucunes émissions de GES en lui-même et ce, même si aucune action n'en ressortait. Par ailleurs, il est peu probable qu'une optimisation dans les procédés de recherche soit possible.

ENTRETIEN APPROFONDI DES CIRCUITS DE CLIMATISATION

Les émissions de GES liées aux systèmes de climatisation sont directement dues aux fuites dans les circuits. Ainsi, pour réduire les émissions sans modifier l'utilisation de ces climatisations, il faudrait **réduire le taux de fuites des différents circuits**. Un entretien approfondi des circuits de climatisation pourrait réduire ces fuites.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Ce levier relève du **suivi** et de l'**entretien**, il ne s'agit donc pas d'une action ponctuelle. Ainsi, il faudrait, sur la durée, suivre les différents circuits de climatisation puis identifier et résoudre les différents défauts repérés, etc. Il faudrait pour cela assurer un entretien approfondi des différentes canalisations.

LIMITES

L'impact carbone de ce levier n'est pas quantifiable. En effet, les taux de fuite actuels n'étant pas connus, les taux de fuite utilisés sont des taux génériques fournis par l'ADEME. Ainsi, il faudrait avoir accès aux quantités de fluides injectés dans les circuits annuellement pour assurer un réel suivi et observer une diminution de l'impact des fluides frigorigènes. Il faut cependant remarquer que même si la mesure n'est pas quantifiée, l'appliquer pourra permettre une **réduction physique des émissions de GES**.

CONCLUSION

Ce critère a un impact très faible sur l'ensemble du Bilan Carbone (0,15 %) et représente un potentiel de réduction restreint. Cependant, avec l'**évolution des normes** européennes sur les fluides frigorigènes, des actions seront nécessaires. Il serait pertinent de profiter de celles-ci pour **réduire dès à présent l'impact carbone** de ce critère.

4.1.3 Leviers pour les sources d'émissions indirectes liées à l'énergie

La Stratégie Nationale Bas-Carbone [Ministère de la Transition Écologique et Solidaire, 2020] fixe divers objectifs d'évolution du secteur énergétique : une réduction des émissions de GES de 33 % devra avoir lieu entre 2015 et 2030 afin d'atteindre une décarbonation complète en 2050. La part des énergies renouvelables attendue à 23 % en 2020 devra atteindre au moins 33 % en 2030 (plus spécifiquement, les sources renouvelables devront représenter 40% de l'électricité, 38 % de la chaleur, 15 % des carburants et 10 % du gaz consommés). Concernant les réseaux de chaleur, c'est une multiplication par 5 de la part du renouvelable entre 2012 et 2030 qui est attendue. A l'horizon 2035, l'électricité devra être à 50 % d'origine nucléaire (décarbonée).

Ces objectifs pourront être atteints via diverses démarches : une évolution vers des comportements plus sobres, la poursuite et l'accentuation des actions en faveur de l'utilisation d'énergies renouvelables (ex : biomasse), de la récupération énergétique (revalorisation, chaleur fatale, etc.), un travail sur l'efficacité énergétique (ex : isolation thermique des bâtiments) ou le recours aux réseaux de chaleur.

Certains indicateurs de suivi pourront être envisagés :

- Intensité énergétique du budget de l'établissement,
- Consommations finales en énergie,
- Proportion des différentes sources renouvelables ou de récupération,
- Par des sources fossiles,
- Émissions de GES annuelles,
- Conditions météorologiques annuelles (pour le suivi et l'adaptation du chauffage).

Un audit énergétique de l'intégralité du campus a été réalisé en 2010 par le bureau d'étude Veritas. Ce dernier comprenait un diagnostic des performances énergétiques (électricité et chaleur alors fournie par du gaz et non par le réseau de chaleur nantais) de chacun des bâtiments du campus sur 3 ans (2007-2009) mais aussi deux plans d'actions complets et chiffrés permettant de réduire les consommations d'énergie et les émissions de GES associées.

Le premier scénario, établi sur 10 ans, reprenait les objectifs du Grenelle de l'Environnement : une diminution de 40% de la consommation énergétique et de 50% des émissions de GES entre 2010 et 2020. Le second scénario, établi sur 40 ans, reprenait le principe du facteur 4¹ : une diminution des émissions de GES de 75% entre 2010 et 2050.

¹ L'expression "facteur 4" désigne un engagement écologique qui consiste à diviser par 4 les émissions de gaz à effet de serre d'une organisation ou d'un territoire sur une échelle de temps de 40 ans

Les conclusions de cette étude sont aujourd'hui à prendre avec précaution puisque la situation a évoluée depuis 2009 (passage au réseau de chaleur, rénovation de certains bâtiments, ...). Pilotée par la Commission Développement Durable, une étude comparative entre la situation énergétique du campus en 2009 et en 2019 est en cours.

Leviers pour la consommation d'électricité

En France, l'électricité est très décarbonée du fait de l'utilisation majoritaire du nucléaire. Cependant, réduire la consommation d'électricité peut permettre de répondre à d'autres enjeux socio-environnementaux que celui de la limitation des émissions de GES (ressources, sécurité, déchets, ...). A l'ECN, l'électricité est utilisée pour divers usages tels que l'éclairage, les systèmes de Chauffage Ventilation Climatisation (CVC) ou l'informatique (voir partie « Consommation d'électricité »).

Différents leviers d'action seront proposés pour ces différents usages : fermeture de l'alimentation électrique des bâtiments B et C la nuit via un disjoncteur général, réduction de la quantité d'électricité liée à l'éclairage et consommée la nuit, extinction des écrans d'ordinateur après utilisation, réduction de la consommation électrique due au CVC du bâtiment E et installation de capteurs solaires photovoltaïques sur les toitures.

COUPURE DE L'ALIMENTATION ELECTRIQUE DES BATIMENTS B ET C LA NUIT (22H-6H) VIA UN DISJONCTEUR GENERA

Les bâtiments B et C étant des bâtiments exclusivement **dédiés à l'enseignement**, il n'y a *a priori* **pas d'activités la nuit** ; il semble donc surprenant d'observer une consommation électrique, même négligeable, entre 22h et 6h alors que l'ECN est fermée.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Pour réaliser des économies d'électricité, une première action consisterait à **programmer une coupure d'alimentation générale dans les bâtiments B et C**. Cette coupure se ferait grâce à un disjoncteur présent dans chacun de ces bâtiments coupant l'électricité à heure fixe (par exemple entre 22h et 6h) et permettant de repousser l'heure d'extinction dans le cas d'événements particuliers.

Le réseau d'urgence resterait quant à lui opérationnel.

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

Couper complètement l'électricité dans les bâtiments B et C la nuit permettrait une économie de 12 MWh ce qui correspondrait à 0,4 tCO₂eq soit à environ 1% de l'impact carbone lié à la consommation d'électricité.

LIMITES

Mettre en place une mesure de coupure générale nécessite auparavant de **vérifier qu'aucun appareil n'a besoin d'une alimentation électrique permanente** dans ces bâtiments qui sont exclusivement réservés à l'enseignement.

Le bâtiment B accueille par exemple l'infirmerie. Celle-ci pourrait avoir besoin de garder des produits au frais. Toutefois, il sera possible d'installer des câbles reliant les appareils qui nécessitent une alimentation continue aux sources d'électricité qui ne s'arrêteront pas de fonctionner.

Les **misés à jour informatiques** sont actuellement programmées à 1h du matin pour des raisons historiques (au début des années 2000, l'école fermait à minuit) mais pourraient être **décalées à 6h du matin**. Une concertation avec la Direction des Systèmes d'Information (DSI) sur ce sujet semblerait nécessaire.

REDUCTION DE LA QUANTITE D'ELECTRICITE LIEE A L'ECLAIRAGE ET CONSOMMEE LA NUIT

Comme évoqué dans l'analyse (voir partie « Consommation d'électricité »), alors même que l'**ECN est fermée**, une partie de l'**électricité consommée est due à l'éclairage**, en particulier dans les bâtiments A et D, où cette consommation est non négligeable.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Afin de limiter la consommation d'électricité, une mesure simple à mettre en œuvre serait de **limiter les consommations inutiles**, et en particulier l'éclairage des salles à des heures où personne ne les utilise. Pour mettre en place cette action, des **disjoncteurs** sélectifs pourraient être placés dans chaque bâtiment. Une autre solution serait de **charger l'agent-e de sécurité d'éteindre les lumières** lors de son tour de fermeture le soir et pour le week-end.

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

L'extinction des lumières entre 22h et 7h permettrait une réduction de l'ordre de **20 % du poste éclairage pour les bâtiments A et D**. Dans les bâtiments B, E, F et I ce gain serait de l'ordre de 10 %.

Cette mesure permettrait une réduction des émissions de GES de 0,2 tCO₂eq soit 0,4% des émissions de GES liées à la consommation d'électricité.

LIMITES

Si cette extinction n'est pas automatique, cela représenterait une tâche supplémentaire pour l'agent-e de sécurité. Ce n'est *a priori* pas dans ces attributions de s'occuper de ce genre de faire ce genre de choses.

EXTINCTION DES ECRANS D'ORDINATEUR APRES UTILISATION

Des pics d'éclairage sont observés dans les bâtiments B et C à 1 h du matin. Cela correspond à une mise sous tension des ordinateurs en vue des mises à jour mais aussi aux oublis d'éteindre les écrans de la part des utilisateur-rices.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Afin d'éviter l'allumage intempestif des écrans d'ordinateur à une heure du matin, plusieurs actions sont possibles.

La première possibilité serait de **sensibiliser** les étudiant-es afin que celle-eux-ci éteignent les écrans des ordinateurs des salles informatiques après utilisation. Cette campagne de sensibilisation serait à mener conjointement avec la DSI. Elle pourrait prendre plusieurs formes : campagne d'affichage, rappels à des endroits stratégiques - en changeant le fond d'écran des ordinateurs par exemple.

La deuxième possibilité serait de mettre en place des **programmeurs** qui éteindraient automatiquement les écrans d'ordinateurs du campus, passée une certaine heure.

Enfin, au même titre que pour l'éclairage des bâtiments, il pourrait être demandé à **l'agent-e de sécurité** de vérifier que les écrans sont bien éteints bien que cette tâche ne fasse pas non plus partie de ses missions.

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

Les solutions proposées permettraient une économie d'électricité du poste éclairage des bâtiments B et C relative respectivement de 5 % et 3 % soit de 1,4 MWh.

En termes d'émissions de GES, cela correspond à une baisse de 0,1 tCO₂eq soit un pourcentage proche de zéro du BC lié au poste électricité de 0,002 %.

LIMITES

La principale limite d'une sensibilisation est de s'assurer de son **efficacité**. En effet, il n'est pas certain que les changements de comportement soient immédiats et complets et permettent une réduction de l'impact carbone lié à la consommation d'électricité d'autant plus que les gains carbone liés à ce levier d'action sont très minimes.

REDUCTION DE LA CONSOMMATION ELECTRIQUE DUE AU CHAUFFAGE-VENTILATION-CLIMATISATION (CVC) DU BATIMENT E

La consommation surfacique liée au Chauffage-Ventilation-Climatisation (CVC) du bâtiment E est **quatre fois plus importante que celle des autres bâtiments** de l'école (voir partie « Consommation d'électricité »).

Cette consommation est possiblement due aux **distributeurs** et des **machines à café**. Cette hypothèse a été faite conjointement avec la Commission Développement Durable : il semblerait que les signaux traités automatiquement par Qualiteo soient identiques pour des réfrigérateurs et pour des systèmes de climatisation. La question de l'**utilité de ces appareils**, distributeurs et machines à café, peut alors se poser, en particulier sur la possibilité d'en **rationaliser le nombre**. Cette réflexion portant également sur des thématiques alimentaires, des leviers d'action dans ce sens ont été détaillés dans la partie 4.1.5.

Une autre raison explique le fait que la consommation surfacique liée au CVC est particulièrement importante dans le bâtiment E. **Ce bâtiment est le seul qui bénéficie d'un système efficace de ventilation**, suivant les réglementations. Cependant plusieurs usager-es remarquent qu'i-els ont froid dans ce bâtiment.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Pour agir sur la CVC, deux axes sont possibles.

Dans un premier temps, il apparaît nécessaire de vérifier effectivement si la consommation électrique importante du bâtiment E pour la CVC est liée aux machines à café et aux distributeurs. Pour cela, **l'énergie consommée peut être mesurée** directement en ajoutant un multimètre sur la prise.

En ce qui concerne la ventilation du bâtiment E, celle-ci est *a priori* paramétrable, le bâtiment ayant été rénové récemment. Il serait donc pertinent de **diminuer la ventilation** pour s'assurer du confort des personnes qui utilisent le bâtiment tout en réduisant la consommation d'électricité de ce bâtiment.

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

Pour estimer la réduction permise par ce levier, il a été considéré que **tout le poste "CVC" du bâtiment E était coupée tous les jours entre 22h et 6h**. En effet, une ventilation sur cette plage horaire n'est pas nécessaire. Il est par contre supposé que les distributeurs sont supprimés ou que les produits qu'ils contiennent ne nécessitent pas d'être refroidis en permanence.

Cela permettrait ainsi d'atteindre une réduction des émissions de GES de **0,8 tCO₂eq, ce qui correspond à 1% du Bilan Carbone lié au poste électricité** (en termes de consommation d'électricité, la réduction s'élève à 14 MWh).

LIMITES

Pour réduire le nombre de machines à cafés et distributeurs, il faudrait probablement **revoir les termes du contrat passé avec l'entreprise Selecta**. De plus, ces appareils sont sous-utilisés durant la majorité de la journée sauf lors des pauses (10h-10h15 et 15h45-16h) où il est possible d'observer des queues d'une dizaine de personnes devant chaque machines à cafés. Ce problème ne concerne pas les distributeurs.

Il peut ne pas être évident de régler la ventilation de manière optimale pour tous les usager-es du bâtiment.

INSTALLATION DE CAPTEURS SOLAIRES PHOTOVOLTAÏQUES SUR LES TOITURES

Le campus de l'ECN dispose d'une importante surface de toiture. Pour réduire le besoin d'électricité ou plutôt pour mettre en place une **production locale** qui permettrait de moins puiser sur le réseau, il pourrait être envisagé d'installer des **panneaux solaires photovoltaïques** sur celles-ci. Une installation de ce type est envisagée sur le bâtiment C, celui-ci doit en effet être détruit et entièrement reconstruit. Le nouveau projet de construction pourrait inclure l'installation de panneaux solaires sur la toiture.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Ce levier consisterait donc dans un premier temps à mener une étude pour **identifier les toitures intéressantes** et les **besoins en électricité compatibles** avec cette solution. En effet, pour évaluer l'intérêt de cette dernière, il faudra confronter la courbe de production potentielle et la courbe de consommation. Cette comparaison permettra de connaître le **type de contrat** à faire avec le fournisseur d'électricité (autoconsommation : consommation sur place de l'électricité ou revente). Si l'étude est concluante, viendra alors la mise en place des équipements et leur raccordement au réseau (de l'ECN ou de la ville).

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

Afin d'estimer la réduction que permettrait l'installation de panneaux solaires sur les toitures du campus de l'ECN, le **potentiel en énergie solaire électrique des bâtiments** a été évalué. Cette estimation est donnée dans le Tableau 54 page 185.

Tableau 54 : Estimation du potentiel en énergie solaire thermique des bâtiments du campus

Bâtiments	Surface de toiture ¹	Ombrage	Hypothèse de couverture	Surface couverte	Productible annuel ²
A	2050 m ²	Quelques arbres au sud	50 %	1025 m ²	153 750 kWh/an
B	1200 m ²	Arbres au sud-est	40 %	480 m ²	72 000 kWh/an
C	860 m ²	(démolition prochaine)	-	-	0 kWh/an
D	1900 m ²	aucun	60 %	1140 m ²	171 000 kWh/an
E	2000 m ²	Nuisances visuelles avec les puits de lumières	30 %	600 m ²	90 000 kWh/an
F	1900 m ²	aucun	60 %	1140 m ²	171 000 kWh/an
G	5800 m ²	Toiture du bassin	20 %	1160 m ²	174 000 kWh/an
H, I et J	4700 m ²	Variation de hauteur	40 %	1880 m ²	282 000 kWh/an
L	1150 m ² (gymnase)	Variation de hauteur / puits de lumière	50 %	575 m ²	86 250 kWh/an
	1700 m ²		-	-	0 kWh/an
N et O	1750 m ²	résidence au nord et bâtiment M à l'ouest	40%	700 m ²	105 000 kWh/an
M	600 m ²	aucun	60%	360 m ²	54 000 kWh/an
P	1400 m ²	Obstacles en toiture	-	-	0 kWh/an
S	1400 m ² (toiture bas)	Variation de hauteur et obstacles en toiture	40 % / 560 m ²		84 000 kWh/an
	1000 m ² (toiture haut)		-		0 kWh/an
T	1750 m ²	Obstacles en toiture	30 % / 525 m ²		78 750 kWh/an
U	950 m ²	Obstacles en toiture	40 % / 380 m ²		57 000 kWh/an

¹ Estimation à partir du vue satellite du campus de l'ECN

² Productible annuel = 150 kWh/m²/an (Source : Région Pays de la Loire)

Au total, si l'ensemble des toitures étaient converties, la production théorique qui pourrait être obtenue est de l'ordre de **1,6 GWh ce qui représente un peu moins de la moitié de la consommation annuelle d'électricité de l'ECN**. Toutefois, si l'ECN décidait d'installer des panneaux solaires photovoltaïques, il faudrait vérifier la **correspondance entre la production et la consommation**. En effet, même une installation qui produirait autant à l'année que la consommation annuelle du campus ne pourrait pas nécessairement répondre à tous ses besoins. En effet, elle produirait parfois plus et parfois moins que le campus consomme (du fait de l'intermittence de l'énergie solaire et des pics de consommation).

Pour estimer le coût financier et environnemental, ou encore l'intérêt des différentes options, une étude par un bureau spécialisé sera nécessaire. Le gain carbone n'a pas été estimé.

LIMITES

Cette action nécessite un **investissement économique** important. Elle représente aussi un **impact écologique à l'installation** non négligeable. Ainsi, il peut y avoir un transfert des émissions dans le critère immobilisation (voir partie 4.2.1), cet effet doit être évalué avant de réaliser des travaux ; à terme, une baisse des émissions de GES devrait tout de même avoir lieu puisque cette démarche revient à investir dans les énergies renouvelables.

Néanmoins, le contrat d'électricité de l'ECN est déjà garanti « 100% énergies renouvelables », l'impact carbone de l'ECN elle-même ne sera donc pas forcément réduit par ce levier d'action.

CONCLUSION

En dehors du dernier levier proposé qui nécessite d'être chiffré précisément et qui représente un changement radical, il apparaît que les autres mesures proposées ne permettent qu'**un gain très anecdotique** d'un point de vue strictement carbone. Il est néanmoins important de tendre vers une sobriété électrique et de rationaliser la consommation électrique afin de faire face à d'autres enjeux socio-environnementaux (ressources, sécurité, déchets, ...).

Leviers pour le réseau de chaleur

Le réseau de chaleur fournissant déjà une énergie peu émettrice, le remplacer par une autre engendrerait un impact trop important au changement pour être compensé à l'utilisation. Ainsi pour réduire l'impact, les leviers à mettre en place sont des leviers visant à **réduire la consommation**. Pour réduire le besoin, il existe deux possibilités.

La première, déjà évoquée dans les leviers d'action de la partie sur le gaz, serait de **réaliser un audit énergétique, d'améliorer les performances des bâtiments** et de mieux **piloter les températures** en fonction des besoins. Deux leviers d'action seront proposés dans ce sens.

La deuxième solution serait de **mettre en place un appoint produisant de la chaleur** moins émissive que celle du réseau de chaleur réduisant ainsi la demande sur le réseau. Deux leviers d'action seront proposés : installation de capteurs solaires thermiques sur les toitures et mise en place d'un système de récupération de chaleur sur la climatisation du supercalculateur.

REALISATION D'UN AUDIT ENERGETIQUE ET AMELIORATION DE L'ISOLATION DES BATIMENTS

L'isolation des bâtiments pourrait visiblement être améliorée que ce soit à travers de petites rénovations ou des travaux plus importants. Par exemple, certaines fenêtres ne peuvent plus être fermées. Comme préconisé pour la consommation de gaz (voir « Leviers pour le chauffage au gaz »), pour réduire les besoins de chaleur, un audit énergétique pourrait être réalisé, par un bureau d'étude spécialisé ou au travers d'un projet étudiant.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Un audit énergétique du campus avait été réalisé en 2010 par Veritas. Cependant, les conclusions de cette étude ne sont plus nécessairement d'actualité (voir l'introduction de la partie 4.1.3). Une étude thermique des bâtiments D, E et I a été effectuée par Akajoule en 2015. Ces bâtiments ont été choisis comme bâtiments témoins. Les bâtiments D et E sont des bâtiments d'enseignement semblables l'un et l'autre. Le bâtiment E a néanmoins été étudié car des travaux y étaient prévus ; l'audit thermique a été mis à jour après les travaux pour vérifier que le gain prévu avait effectivement été perçu.

L'**analyse thermique d'Akajoule** a permis d'identifier les **faiblesses des bâtiments existants**, et d'avancer une vingtaine de solutions chiffrées. L'étude est jointe au présent rapport : « Etude_thermique_AKAJOLE_2015.pdf ».

Il a été montré que les déperditions thermiques des bâtiments D et E sont principalement dues aux **vitrages et ouvrants qui représentent 66 % des pertes de chaleur** (Figure 81). En effet, le vide d'air entre les deux vitres des doubles vitrages est devenu inefficace. Cependant remplacer ces vitres impliquerait de les désamianter.

Une autre source de déperdition réside dans les **planchers**. De fait, les planchers supérieurs ont un dallage sur l'extérieur, qui crée des ponts thermiques.

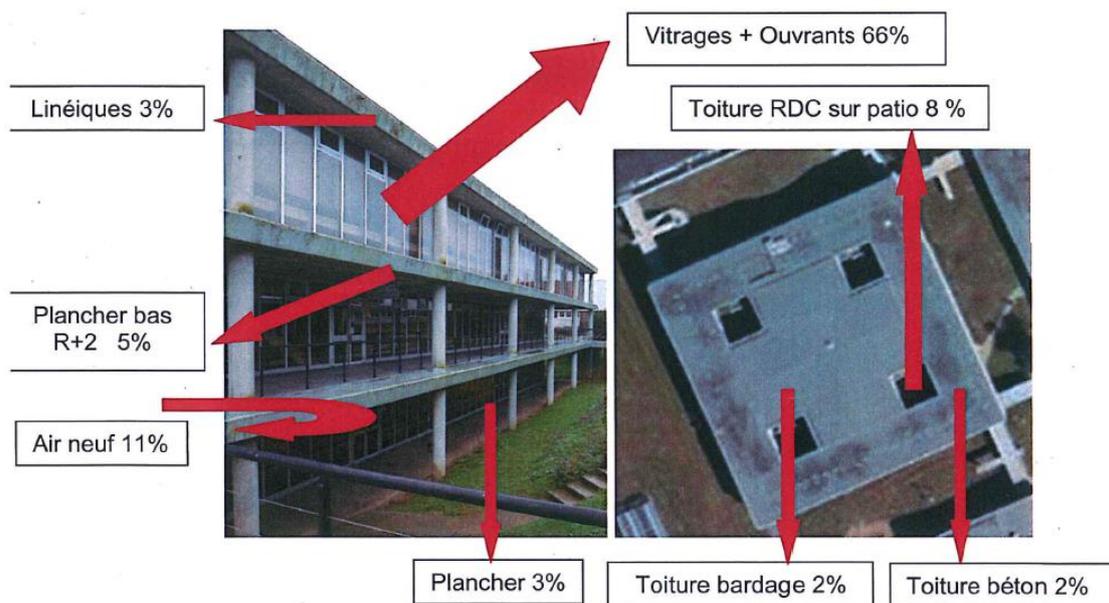


Figure 81 : Déperditions thermiques du bâtiment D

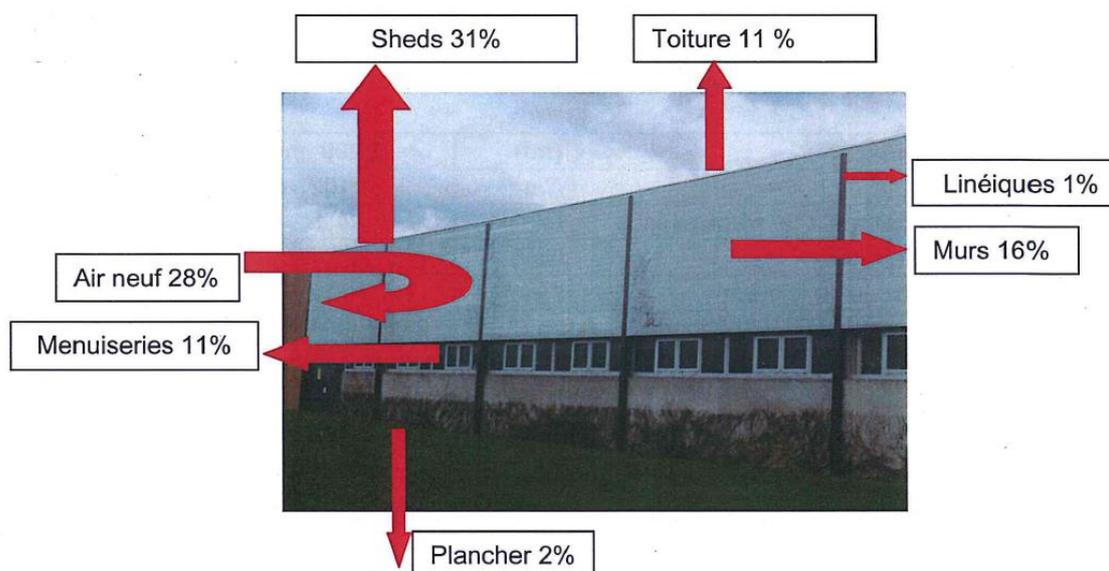


Figure 82 : Déperditions thermiques du bâtiment I

Le bâtiment I, possédant moins de surfaces vitrées que les autres bâtiments étudiés, présente des résultats différents. Les **puits de lumière** (ou sheds) représentent 31 % des déperditions ; la **toiture et les menuiseries** représentent chacune 11 % des déperditions (Figure 82).

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

Suite à ce constat, Akajoule propose un ensemble de **solutions chiffrées**, agencées ensuite sous forme de scénarios [Fettet, 2015].

Pour les bâtiments **D et E**, un exemple de scénario serait de mettre en place un **dôme au-dessus des patios** (Figure 81) pour les isoler et une **coursive qui viendrait renforcer l'enveloppe thermique des bâtiments**, tout en évitant de retirer les vitres existantes et donc en évitant le désamiantage. Ce scénario a été chiffré par Akajoule (Tableau 55).

Tableau 55 : estimation de l'investissement et de l'impact permis par la mise en place de dômes et d'une coursive

Investissement	Economie (année 1)			Temps de retour actualisé	Ratio énergie
740 k€ TTC	54 tCO ₂	227 300 kWh _{PCS}	11 500 €TTC	36 ans	39,6 kWh _{PCS} /m ²

Le temps de retour sur investissement est assez long : 36 ans. (Tableau 55).

Pour le bâtiment **I**, étaient proposés des **travaux d'isolation de la toiture et des murs**, ainsi qu'un **remplacement des puits de lumière et des menuiseries**. Pour ces solutions, les retours sur investissement financiers dépassaient également la trentaine d'années.

Cependant les économies réalisées ne se reflètent pas uniquement dans les factures de chaleur, d'autres **gains financiers et bienfaits** peuvent émerger du confort supplémentaire offert par des travaux d'isolation. Une étude sur les retours sur investissement d'une réhabilitation du bâtiment E a été réalisée par un groupe d'étudiant-es de l'option disciplinaire "Sciences de l'Ingénieur pour l'Habitat et L'Environnement Urbain" de l'ECN : voir le fichier joint « Rehabilitation_BatE_Phycite2015.pdf ».

Les étudiant-es affirment que les retours sur investissement seraient multiples : diminution de l'utilisation de chauffages d'appoint, augmentation du temps de présence dans les laboratoires pour les chercheur-ses et sur le campus pour les étudiant-es qui travaillent dans de grandes salles ressenties peu chauffées, augmentation de la productivité des permanent-es grâce à une amélioration du confort thermique et de la qualité de l'air, remise aux normes. Selon les acteur-ices, le temps d'amortissement serait alors abaissé d'une vingtaine d'années [Cayot, 2015].

Le bâtiment E a fait l'objet d'une rénovation en 2018. Au cours de ces travaux, comme préconisé par le bureau d'étude Akajoule, les patios ont été couverts. A l'issue des travaux, un nouvel audit thermique a été réalisé pour vérifier si les prédictions anticipées étaient exactes.

Le nouvel audit a permis d'estimer que les travaux réalisés permettent une **économie de 50 400 kWh_{PCS} de chaleur par an, de 10,6 tCO₂eq et de 2552 € TTC**. Bien que la précédente étude annonçait des économies plus importantes, en pourcentage, celles-ci sont proches des 27% d'économies réelles par rapport à la consommation de gaz du bâtiment E contre 31% estimées en 2015 [Fettet, 2018].

LIMITES

Les estimations proposées par le bureau d'étude Akajoule ne sont plus à jour. En effet, **les bâtiments ne sont plus chauffés au gaz comme en 2015 mais via un réseau de chaleur**. Pour calculer les retours sur investissements des travaux, il conviendrait de reprendre l'étude et de remplacer le prix du gaz par le prix de la consommation de chaleur d'après le contrat signé avec ERENA.

Cependant même si les chiffres ne sont plus d'actualité, les travaux préconisés peuvent être réalisés car les besoins en énergie (kWh) restent inchangés ; la réhabilitation du bâtiment E a d'ailleurs déjà montré son efficacité.

Pour connaître le gain carbone réel obtenu, **l'impact carbone des travaux devrait également être estimé**, ce qui n'était pas le cas dans l'étude d'Akajoule.

AMELIORATION DU PILOTAGE DE LA TEMPERATURE

De nombreux acteur-ices du campus se plaignent des températures ressenties dans les différentes salles du campus. En effet, il fait parfois "trop chaud" dans certaines salles de classes ce qui oblige les utilisateur-ices à **ouvrir les fenêtres en plein hiver**.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Afin d'optimiser la consommation de chaleur, l'installation d'**un système de Gestion Technique du Bâtiment** (GTB) est en cours d'étude. Cela permettrait de gérer l'apport en chaleur selon les saisons, les différents moments de la journée et entre les différents espaces de l'ECN.

En particulier, il a été suggéré que **les lieux de passages** (couloirs, halls, bâtiments techniques) **cessent d'être chauffés**, au profit des salles de classes. Il a également été demandé que le chauffage des salles soit particularisé, afin de ne pas avoir à ouvrir les fenêtres en hiver.

Enfin, une **diminution générale de la température**, quitte à se couvrir légèrement plus, semble être une piste d'action acceptée par les personnes qui se sont exprimées lors des ateliers participatifs organisés.

LIMITES

Il faudrait estimer le coût carbone lié à l'installation d'un système de GTB qui comporterait de nombreux composants électroniques. L'importance des travaux nécessaires à cette installation reste à déterminer.

INSTALLATION DE CAPTEURS SOLAIRES THERMIQUES SUR LES TOITURES

Le solaire thermique pourrait servir d'**appoint pour la production d'Eau Chaude Sanitaire (ECS)**. Cette solution a un impact moindre par rapport aux panneaux photovoltaïques à l'installation et permettrait de réduire la consommation de chaleur venant de l'extérieur du campus tout en limitant les émissions de GES à la mise en place d'un nouveau système.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Ce levier consisterait donc dans un premier temps à mener une étude pour **identifier les toitures intéressantes** et les **besoins en chaleur compatibles** avec cette solution. En effet, pour évaluer l'intérêt de cette dernière, il faudrait confronter la courbe de production potentielle et la courbe de consommation. Cette comparaison permettrait d'identifier les **périodes de surproduction qui peuvent potentiellement abîmer les capteurs solaires**. Si l'étude est concluante, viendrait alors la mise en place des équipements et leur raccordement au réseau d'eau chaude de l'ECN.

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

La surface de capteurs installables en toiture de ces bâtiments et le potentiel énergétique de cette énergie ont été estimés dans le Tableau 56 page 191.

Tableau 56 : Estimation du potentiel en énergie solaire thermique des bâtiments du campus

Bâtiments	Surface de toiture ¹	Ombrage	Hypothèses de couverture / Surface couverte	Productible annuel ²
A	2050 m ²	Quelques arbres au sud	50 % / 1025 m ²	410 000 kWh/an
B	1200 m ²	Arbres au sud-est	40 % / 480 m ²	192 000 kWh/an
C	860 m ²	Destruction prochaine	0 % / 0 m ²	0 kWh/an
D	1900 m ²	Aucun	60 % / 1140 m ²	456 000 kWh/an
E	2000 m ²	Nuisances visuelles avec les puits de lumières	30 % / 600 m ²	240 000 kWh/an
F	1900 m ²	Aucun	60 % / 1140 m ²	456 000 kWh/an
G	5800 m ²	Toitures du bassin	20 % / 1160 m ²	464 000 kWh/an
H, I et J	4700 m ²	Variation de hauteur	40 % / 1880 m ²	752 000 kWh/an
L	1150 m ² (gymnase)	Variation de hauteur / puits de lumière	50 % / 575 m ²	230 000 kWh/an
	1700 m ²		0 % / 0 m ²	0 kWh/an
N et O	1750 m ²	résidence au nord et bâtiment M à l'ouest	40% / 700 m ²	280 000 kWh/an
M	600 m ²	aucun	60% / 360 m ²	144 000 kWh/an
P	1400 m ²	Obstacles en toiture	0 % / 0 m ²	0 kWh/an
S	1400 m ² (toiture inférieure)	Variation de hauteur / obstacles en toiture	40 % / 560 m ²	224 000 kWh/an
	1000 m ² (toiture supérieure)		0 % / 0 m ²	0 kWh/an
T	1750 m ²	Obstacles en toiture	30 % / 525 m ²	210 000 kWh/an
U	950 m ²	Obstacles en toiture	40 % / 380 m ²	152 000 kWh/an

Le productible solaire totale (4 210 000 kWh/an) est donc **supérieur à l'énergie puisée sur le réseau de chaleur** (2 930 000 kWh/an). L'énergie solaire présente donc un potentiel très intéressant de par la grande surface de toitures disponibles. Ceci souligne l'intérêt d'étudier cette solution et de vérifier

¹ Estimation à partir du vue satellite du campus de l'ECN

² Productible annuel = 400 kWh/m²/an (Source : Région Pays de la Loire)

sa cohérence avec les besoins de l'école. Pour en savoir plus sur ce levier, une étude par un bureau spécialisé serait nécessaire.

LIMITES

La principale problématique identifiée pour cette solution serait l'**occupation intermittente des locaux**. En effet, la non-utilisation des capteurs solaires thermiques peut entraîner leur usure à long terme. Il serait donc intéressant d'identifier la baisse du besoin en été pour valider la pertinence de cette solution.

Une **étude de faisabilité** serait nécessaire pour déterminer si l'ajout d'un tel système sur les bâtiments déjà existants du campus est facile à **mettre en œuvre**. Un **coût d'investissement** pourrait également être estimé.

MISE EN PLACE D'UN SYSTEME DE RECUPERATION DE CHALEUR SUR LA CLIMATISATION DU SUPERCALCULATEUR

Le laboratoire de l'ICI (Institut de Calcul Intensif) utilise un supercalculateur installé dans le bâtiment D. Ce supercalculateur nécessite un **refroidissement permanent**. La climatisation de ce système émet une **quantité importante de chaleur qui est actuellement rejetée vers l'extérieur**. La mise en place d'un système de récupération de chaleur sur la climatisation serait un moyen simple et rapide de **produire de la chaleur** pour et sur le campus **sans émettre de GES**.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

La mise en place d'un tel système nécessite au préalable une étude par un **bureau d'étude spécialisé**. C'est à la lumière de cette étude et des prescriptions de l'entreprise que des travaux pourraient être effectués afin de mettre en place le système de récupération de chaleur.

ESTIMATION DE LA REDUCTION PERMISE POUR LE LEVIER

L'intérêt écologique et énergétique de cette solution est important puisqu'il s'agit de récupérer de la **chaleur fatale**, forcément produite et actuellement rejetée dans l'atmosphère. Cependant, une étude par un bureau spécialisé sera nécessaire pour **estimer le coût et la rentabilité** d'une telle installation. En effet, ce genre d'installation peut perdre en intérêt en cas de **déphasage entre la production et le besoin en chaleur**. Toutefois, la production étant régulière, ce risque semble relativement faible.

Une première **étude d'opportunité** a déjà été réalisée par Auxilia et Akajoule en **2017** et pourrait être un bon point de départ pour une étude plus approfondie. L'étude réalisée en 2017 portait sur l'**installation d'une pompe à chaleur** (PAC) sur la boucle d'eau de refroidissement à 30/35°C (Figure 83), afin de récupérer la chaleur fatale dissipée et de la réinjecter dans le réseau de chaleur de l'ECN.

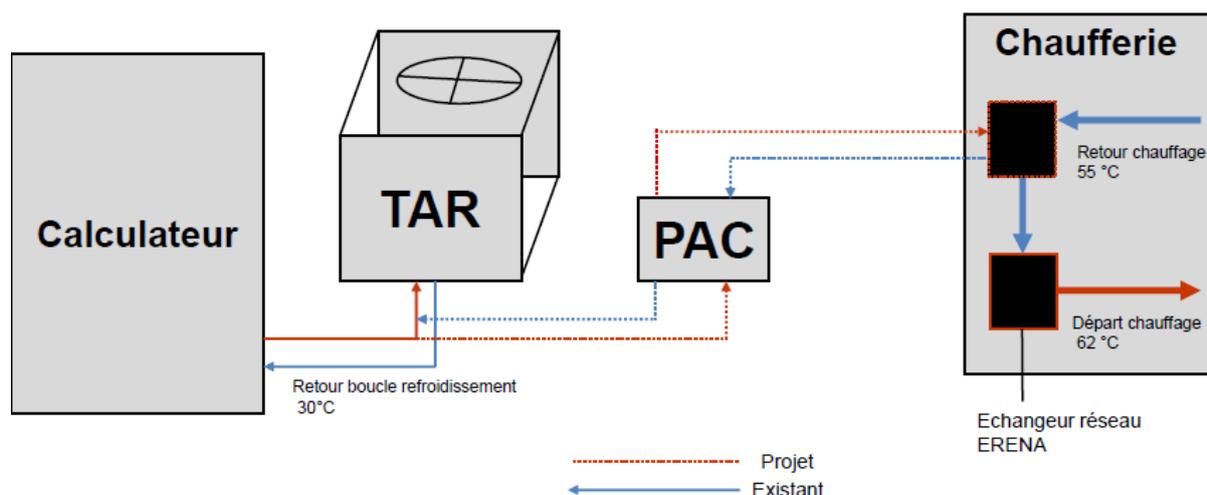


Figure 83 : Schéma de système de récupération de chaleur envisagé dans l'étude d'opportunité d'Akajoule et Auxilia (TAR : tour aéroréfrigérante)

L'estimation des gains financiers et carbone a été réalisée selon **deux scénarios** prenant en compte l'**évolution attendue du fonctionnement du supercalculateur** : une hypothèse basse basée sur le taux d'utilisation en 2016, et une hypothèse haute développée à partir des projections de fonctionnement en 2022, le taux d'utilisation du supercalculateur étant voué à augmenter.

Tableau 57 : Estimation du potentiel de réduction des émissions de GES du système de récupération de la chaleur fatale du supercalculateur

Scénario	Projection basse (2016)	Projection haute (2022)
Énergie thermique dissipée par la tour aéroréfrigérante (MWhth)	399	798
Énergie électrique nécessaire au fonctionnement de la pompe à chaleur (MWh)	111	222
Energie thermique récupérée par la PAC réinjecté dans le réseau de chaleur de l'ECN (MWhth)	288	576
Émissions de CO ₂ évitées (tCO ₂ eq)	16,7	33,4

Un tel système permettrait de réduire les émissions annuelles de GES associées au chauffage des bâtiments de 16,7 à 33,4 tCO₂eq. Cela représente une réduction de 10 à 20 % des émissions liées au chauffage soit une réduction de 0,3 à 0,6% du Bilan Carbone total de l'ECN.

Un tel projet pourrait être éligible à des **subventions publiques** notamment le « Fonds Chaleur » de l'ADEME. Dans l'étude de faisabilité, l'investissement nécessaire et la subvention de l'ADEME sont respectivement estimés à 180 000 € TTC et à 92 000 €.

De plus, dans les deux scénarios proposés, une **réduction du prix de l'abonnement au réseau de chaleur** de Nantes Métropole est envisagée. La tarification du réseau de chaleur se décompose en deux parties : R1 et R2. La partie R1 correspond à la consommation annuelle de chaleur (MWh) et varie d'une année à l'autre. La partie R2 dont le prix est fixé dans l'abonnement correspond à la commande en puissance. L'hypothèse effectuée est une diminution de la part R2 de la facture de l'ECN de 9 500 € par an.

Tableau 58 : Estimations des économies et du temps de retour sur investissement permises par la pompe à chaleur

Scénarios	Projection basse (2016)	Projection haute (2022)
Investissement nécessaire (€)	180 000	180 000
Gain brut sur le chauffage R1 (€)	- 15 800	-31 600
Surcoût en électricité de la PAC (€)	+11 900	+23 800
Gain brut (€)	- 3 900	-7 800
Temps de retour sans aide (années)	46	23
Subvention ADEME (€)	92000	920000
Restant à payer (€)	88000	88000
Temps de retour avec subvention (années)	23	11
Réduction abonnement R2 (€)	-9 500	-9 500
Gain brut (€)	-13 400	-17 400
Temps de retour avec subventions et réduction de l'abonnement (années)	7	5

Ainsi comme le montre le Tableau 58, avec l'aide de l'ADEME et une réduction de l'abonnement au réseau de chaleur, **le temps de retour sur investissement du projet est de moins de 10 ans** (7 ans pour la projection basse et 5 ans pour une projection haute) permettant à terme de réaliser annuellement des **économies financières en plus des économies carbone**.

LIMITES

En réalité, **le supercalculateur n'est pas autant utilisé que ce qu'il avait été prévu** lors de l'étude menée par Akajoule. Les gains réels, financiers et carbonés, seront donc *a priori* plus faibles.

Des changements de fonctionnement du supercalculateur sont à venir au cours des prochaines années, c'est pourquoi une **étude de faisabilité** est en cours de cadrage pour permettre d'estimer les gains réels d'un tel projet.

CONCLUSION

Parmi les leviers identifiés, **les leviers d'action proposés pour réduire la consommation de gaz sont également applicables au réseau de chaleur**. Il serait ainsi intéressant, en cas d'étude pour les bâtiments M, N et O, d'étendre cette étude à l'échelle du campus pour augmenter l'impact des actions mises en place.

Les deux solutions d'appoint que sont le **solaire thermique** et la **récupération de chaleur fatale liée au supercalculateur** présentent des potentiels très intéressants. Leur mise en place devrait nécessairement réduire la consommation de chaleur extérieure sur le campus et ainsi réduire les factures économique et écologique.

4.1.4 Leviers pour les constructions et bâtiments

Le secteur de la construction vise nationalement [Ministère de la Transition Écologique et Solidaire, 2020] une réduction de ses émissions de GES annuelles de 49 % entre 2015 et 2030 ainsi qu'une décarbonation complète en 2050. De nombreuses actions ambitieuses sont à envisager pour atteindre cet objectif : recours accru à la sobriété, rénovation de tout le parc tertiaire à l'horizon 2050 avec optimisation de l'isolation thermique, production d'énergie décarbonée adaptée à la typologie de chaque bâtiment, recours aux produits biosourcés et/ou issus de l'économie circulaire pour la construction et la rénovation (massification du recours au bois), analyse de cycle de vie, formation de micro-milieus favorables à la biodiversité au sein des bâtiments, préservation de la pleine terre et prise en compte des problématiques de qualité de l'air, de biodiversité, de consommation des ressources, de production de déchets et de préservation des paysages naturels et architecturaux.

Certains indicateurs de suivi des évolutions du secteur peuvent être envisagés :

- Investissements pour les énergies renouvelables adaptées au bâti,
- Investissements pour la rénovation,
- Émissions de GES des bâtiments sur l'ensemble de leur cycle de vie,
- Surface disponible par personne.

L'amortissement de la construction des bâtiments de l'ECN compte en 2018 pour environ **500 tCO₂eq¹** dans le BC.

Néanmoins, l'impact de la construction n'est pas le seul impact imputable aux bâtiments. En effet, une mauvaise **performance énergétique des bâtiments** ne se retrouve pas dans le poste "construction" du BC, mais se répercute sur d'autres points : consommation électrique, de chaleur, de gaz, de fluides frigorigènes, etc. Le bâtiment idéal émettrait peu, à la fois à sa construction, à son utilisation et à sa fin de vie.

Deux pistes différentes peuvent être explorées pour réduire l'impact carbone lié aux bâtiments au cours de l'ensemble de son cycle de vie : **faire mieux avec ce qui existe déjà, et prévoir mieux pour ce qui est à construire**.

¹ Le terrain synthétique, faute de données, n'est pas inclus

En ce qui concerne l'existant, l'efficacité énergétique des bâtiments déjà présents sur le campus est une problématique qui doit être considérée. Cette réflexion a déjà été abordée dans la partie « Leviers pour le réseau de chaleur ». Deux pistes d'action seront proposées dans cette partie : comparer la rénovation avec la reconstruction d'un bâtiment et intégrer les enjeux environnementaux dès la conception d'un bâtiment.

COMPARAISON ENTRE RENOVATION ET CONSTRUCTION

L'impact carbone de l'immobilier ne semble pas forcément un point important du BC d'une organisation. Cependant, **la construction d'un bâtiment est une source très importante de GES** (béton, acier, charpente, aménagements intérieurs), et la comptabilisation de cette émission s'étale sur toute sa durée de vie.

Les bâtiments du campus arrivent en fin de vie et vont nécessiter des rénovations voire des démolitions et reconstructions pour certains. Les bâtiments B, D et H de l'ECN sont notamment en cours d'examen ; insister sur la dimension durable d'une rénovation peut être un levier intéressant.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

De manière générale, il est important de **comparer l'impact carbone d'une reconstruction totale et d'une rénovation partielle** ; puis mettre cet impact en face de celui d'une non-rénovation (c'est-à-dire laisser les bâtiments en l'état). A titre d'exemple, si une chaudière doit être remplacée par un modèle plus performant, il faut comparer l'impact de la fin de vie de l'ancienne chaudière, les économies d'une nouvelle, et l'impact de la construction et du remplacement.

Pour éviter l'utilisation (et donc la construction) de nouveaux matériaux, partir de l'existant semble être une solution pertinente. Plusieurs **méthodes de rénovation partielle** de bâtiments, encore peu utilisées, peuvent néanmoins se présenter comme avantageuses. L'une d'entre elles consiste à conserver la structure béton, lorsque celle-ci ne présente pas de danger, et à remplacer les cloisons par de nouvelles méthodes d'isolation. À Paris, cette méthode a été utilisée : 4400 m² de bureaux ont été lourdement rénovés avec des murs en caissons de paille compressée, pour en faire des logements étudiant-es à faible impact carbone et énergétiquement performants [NZI, 2020].

Ainsi, si un bâtiment arrive en fin de vie, il paraît essentiel d'explorer la piste de la rénovation avant celle de la démolition et de la reconstruction. Une **comparaison des coûts financiers et carbonés entre ces deux types de solutions** pourrait être réalisée.

Il est à noter que de plus en plus d'**entreprises se spécialisent dans la rénovation de bâtiments existants**. Wigwam¹, en particulier, travaille sur ces questions dans la région et pourrait être un soutien pour l'ECN.

LIMITES

Il est généralement plus facile de construire un bâtiment neuf que de rénover.

Une rénovation partielle d'un bâtiment demande une **évaluation de l'état des bâtiments existants** et donc un investissement pouvant être conséquent en amont de la rénovation.

¹ Wigwam, bureau d'études en rénovation bas carbone <https://wigwam-ingenierie.com/>

INTEGRATION DES CRITERES ENVIRONNEMENTAUX DES LA CONCEPTION D'UN BATIMENT

Le bâtiment C a d'ores et déjà prévu d'être démolé et reconstruit. De plus, une grande incertitude plane sur l'avenir de la majorité des bâtiments centraliens qui arrivent en fin de vie, dont une réhabilitation devrait être bientôt envisagée.

Dans le cas où une rénovation n'est pas possible, l'intégration de critères environnementaux dans le cahier des charges dès la conception du bâtiment semble être une bonne opportunité pour minimiser l'impact carbone des immobilisations du campus.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Si effectivement une construction se justifie, il faudrait **considérer, dès la phase de conception, l'impact environnemental qu'aura le projet** – en termes d'impact carbone mais aussi d'un point de vue plus global. Par exemple, doit être pris en compte le respect de la **biodiversité** ; pour ce faire, **limiter la surface artificialisée** due à une construction peut être un levier d'action.

Pour juger de la prise en compte de cet impact, **des labels et des réglementations existent**, en particulier en ce qui concerne la performance énergétique. Respecter ces labels, voire même aller au-delà des recommandations qu'ils requièrent de façon à anticiper les évolutions futures¹ garantit une plus grande résilience.

Il faudrait veiller à la **performance prévue des nouveaux bâtiments** à construire, mais également à leur **méthode de construction**. Dans ce cadre, il faut rappeler que les bâtiments sont gérés par le CPER (Contrat de Plan Etat-Région²). Le CPER fait figurer, parmi cinq volets thématiques "correspondant aux grands enjeux d'avenir pour les territoires", la transition écologique et énergétique. [Conseil des Ministres, 2014].

Le bâtiment devra être pensé de **façon pratique et fonctionnelle**. Il est possible de jouer sur la forme du bâtiment et de l'inscrire dans son environnement, de façon à bénéficier de multiples avantages ; par exemple, l'inclusion de puits de lumière peut permettre de ne pas éclairer les couloirs, l'utilisation de baies vitrées équipées de casquettes peut permettre de chauffer en hiver sans surchauffer en été.

Il faudrait également **anticiper les possibles changements d'utilisation du lieu et les rénovations qui s'ensuivront**, de façon à améliorer la résilience du bâtiment et, ainsi, allonger sa durée de vie.

Dans le cas d'une **reconstruction d'un bâtiment**, des solutions de **réutilisation des matériaux des bâtiments précédemment sur place** doivent être étudiées. S'il est nécessaire d'employer de nouveaux matériaux, ceux qui proviennent de **sources locales et renouvelables** (forêts éco-gérées, remblais de réutilisation, ...) peuvent être favorisés. Les matériaux doivent également être choisis de façon à assurer **la meilleure longévité possible au bâtiment** - pour ce faire, leur vieillissement doit être étudié.

¹ Par exemple, il est possible d'anticiper des évolutions futures en comparant la réglementation thermique de 2012 (RT2012) et celle qui prendra effet en 2021 (RT2020) et en extrapolant ces changements

² Le contrat en vigueur actuellement est celui prévu pour 2015-2020

Enfin, **la fin de vie du bâtiment elle-même doit être imaginée dès la phase de conception**. Ainsi, un urbanisme réversible pourrait être prévu : réflexion sur la possibilité de déconstruire le bâtiment, sur le temps nécessaire après démantèlement pour que l'écosystème alentour revienne à son état initial.

Ainsi, si un besoin de construction se fait sentir, au moment de lancer un appel d'offre, l'ECN pourrait **inclure dans ses exigences, une demande de prise en compte de l'ensemble des paramètres détaillés** précédemment. Certaines entreprises se spécialisent dans la prédiction de l'impact environnemental de la construction des nouveaux bâtiments.

LIMITES

La question de l'amélioration du parc immobilier est complexe, et les pistes d'amélioration demandent un **investissement conséquent pour être quantifiées**. Les leviers d'action présentés ici demandent pour la plupart un approfondissement du travail, mais i-els restent des propositions intéressantes.

CONCLUSION

Avant toute nouvelle construction, il serait donc utile de questionner la nécessité d'une nouvelle artificialisation des sols.

Lorsqu'un bâtiment arrive en fin de vie, une **comparaison systématique entre rénovation et démolition puis reconstruction** serait intéressante à mener.

Dans le cas où une construction neuve est nécessaire, **l'intégration des différents enjeux environnementaux** (émissions de GES mais aussi ressources naturelles, biodiversité, déchets, etc.) dès la conception du bâtiment semble être une priorité pour diminuer l'impact carbone de l'immobilier sur tout son cycle de vie.

4.1.5 Leviers pour les repas des usager-es

Le secteur agricole vise nationalement [Ministère de la Transition Écologique et Solidaire, 2020] des réductions des émissions de GES de 18% entre 2015 et 2030, et de 46% sur les créneaux 2015-2050. Pour l'alimentation en particulier, c'est une réduction de gaspillage alimentaire de 15% en 2015 à 5% en 2050 qui est attendue. Pour favoriser une évolution dans le sens de ces objectifs, plusieurs actions pourront être envisagées : une sensibilisation au besoin de réduire la consommation de viande et d'augmenter celle de légumineuses, légumes et fruits, une accentuation de l'équilibre protéique des repas en faveur des protéines végétales, la promotion de produits issus de circuits courts, durables de saison, peu transformés et l'utilisation des leviers de restauration collective afin de promouvoir des choix alimentaires favorables pour la santé, respectueux de l'environnement et du travail des agriculteur-rices.

Plusieurs indicateurs pourraient permettre de s'assurer de cette bonne évolution, en voici quelques exemples :

- Part du gaspillage dans les repas consommés,
- Taux d'approvisionnement en produits à faible impact carbone, ou biologiques, ou de saison, ou issus de circuits courts,

- Quantité de viande consommée de manière hebdomadaire par personne,
- Nombre de repas hebdomadaires dont les légumineuses sont la source protéique,
- Émissions de GES associées à l'alimentation annuellement.

Les habitudes alimentaires des étudiant-es et permanent-es de l'ECN ont été étudiées à travers un **questionnaire**. Celui-ci a mis en évidence deux lieux de restauration principaux : le **restaurant universitaire** (en particulier pour les étudiant-es) et la **restauration sur site**, c'est-à-dire sur le campus. D'autres lieux de restauration peuvent être fréquentés mais l'ECN n'a pas de réel impact sur ceux-ci, en-dehors peut-être d'une sensibilisation auprès des différent.es usager-es. Au contraire, l'ECN détient une grande marge de manœuvre concernant la restauration sur site et elle possède un poids décisionnel auprès du CROUS. Des étudiant-es font également partie du CA du CROUS.

Ainsi les leviers d'action proposés pour réduire l'impact de l'alimentation se concentreront sur les deux lieux précités pour lesquels l'ECN a une influence

Leviers pour la restauration au Restaurant Universitaire (R.U.)

D'après le sondage concernant l'alimentation (voir partie 3.2.5 page 112) posé aux usager-es de l'ECN, **34% des élèves et 21% des permanent-es déclarent manger majoritairement au restaurant universitaire** (R.U.) durant leur semaine de travail.

Ce R.U., situé à quelques minutes de l'ECN, est **géré d'un point de vue régional par le CROUS** (Centre Régional des Œuvres Universitaires et Scolaires). Il est commun à l'ensemble du campus du Tertre, qui regroupe notamment l'ECN, l'école de commerce Audencia et l'Université de Nantes.

Un problème de **gaspillage alimentaire** au R.U. a été identifié, dû à deux principales raisons : un problème de goût ou de qualité et un problème de quantité (la portion servie peut être trop copieuse, même quand il a été demandé une petite quantité). Le sondage montre que **39% de la population Centralienne de Nantes déclare ne pas finir son plateau régulièrement**¹.

Comme précisé dans la partie 3.2.5, **les repas à base de bœuf ou d'agneau pèsent pour la moitié des émissions de GES du RU** (estimées à partir du sondage sur les habitudes alimentaires des usager-es de l'ECN) **malgré une minorité des repas** (moins de 20 % des sources de protéines).

Ainsi, les leviers d'action présentés vont s'attarder sur deux problématiques principales : la réduction du gaspillage alimentaire et la diminution de la quantité de viande consommée. Un levier concernera également les produits locaux et de saison.

MISE EN PLACE D'UNE TARIFICATION DEPENDANT DU NOMBRE D'ÉLÉMENTS CHOISIS AU RU

Au R.U., les étudiant-es qui consomment un repas paient un minimum de **3€30**. Ce prix est fixé pour **trois éléments** (en général entrée, plat, dessert mais parfois deux desserts et un plat ou deux entrées et un plat). Si seuls deux éléments sont pris par les élèves, le prix final n'est pas réduit.

¹ Plus largement, le gaspillage alimentaire serait responsable de près de 6% des émissions de GES du monde [Ritchie, 2020]

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Une solution pour remédier au gaspillage alimentaire, serait donc de fixer un **tarif plus faible pour un repas avec seulement deux éléments** et donc de permettre aux personnes qui mangent au R.U. de ne pas **payer que ce qu'ils prennent**. Ainsi, cela permettrait aux étudiant-es d'ajuster le contenu de leur plateau en fonction de leur appétit, plutôt que de les inciter à choisir trois éléments à chaque repas.

En Allemagne, cette mesure est déjà mise en place : les consommateur-rices paient en fonction de ce qu'i-els consomment ; le prix est variable en fonction des articles choisis.

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

Pour estimer les réductions permises par le levier, il a été supposé que les 39 % des personnes qui mangent au R.U. et qui ne finissent pas leur plateau le font à cause de quantités de nourriture trop importantes. Il a donc été considéré que chacune de ces personnes prendraient seulement deux éléments au lieu de trois.

Une étude, portant sur le gaspillage alimentaire dans la restauration collective universitaire et scolaire à Metz, réalisée en 2014 a permis de supposer que **ce sont essentiellement du pain et des légumes qui sont gaspillés**. Leur estimation du gaspillage alimentaire a été reprise, à savoir **un gaspillage estimé à 54 g par repas** [Optigede, 2019].

Ces hypothèses permettent d'aboutir à une réduction de 33 tCO₂eq soit de **11 % des émissions de GES centraliennes du RU, 4 % du poste alimentation et 0,6 % du Bilan Carbone total**.

LIMITES

Les limites de l'estimation se situent dans les hypothèses.

Il a notamment été supposé que le gaspillage était uniquement dû à de trop grandes quantités servies au RU et non pas sur un **éventuel problème gustatif des aliments proposés** au RU. Il n'a pas non plus été considéré le fait que, pour d'autres personnes, **les quantités proposées sont insuffisantes** et qu'une telle mesure pourrait les inciter à prendre un élément supplémentaire, ce qui compenserait peut-être le gain carbone obtenu en diminuant les quantités des autres usager-es – mais réduirait néanmoins le gaspillage alimentaire.

Proposer un paiement en fonction de la consommation semble compliqué à mettre en œuvre car cela nécessiterait **une remise à plat de l'ensemble de la tarification du CROUS de la région Pays de la Loire**.

Dans le cas où une différenciation généralisée des prix serait trop compliquée et chronophage à mettre en place, une réduction du prix du repas végétarien, telle que suggérée pour l'incitation à la consommation des plats végétariens, pourrait être une mesure d'équité (voir « Incitation à la consommation de repas végétariens au R.U. »).

ADAPTATION DES QUANTITES SERVIES AU RU

Entrée et dessert sont des portions uniques, identiques pour tous. En revanche **les plats sont préparés en grande quantité et servis par le personnel** du CROUS.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Un autre moyen de réduire le gaspillage consisterait à **adapter les quantités servies par le personnel du CROUS en fonction de l'appétit du ou de la consommateur-ric**, plutôt que servir des quantités moyennes moins adaptées.

Afin de mettre en application cette proposition, une discussion avec le directeur actuel du CROUS et une sensibilisation adéquate semble suffire.

LIMITES

Il semble raisonnable de penser qu'une simple sensibilisation du personnel du CROUS suite à un échange avec le directeur du CROUS induirait un changement de comportement de ce dernier. Cependant, gérer des quantités différentes pour chacun-e implique une **gestion moins standardisée** et donc plus compliquée à mettre en place, que ce soit pour la gestion des stocks ou pour la compréhension subjective des termes "un peu" ou "beaucoup".

SENSIBILISATION AU RECOURS AU *DOGGY BAG* POUR REDUIRE LE GASPILLAGE ALIMENTAIRE

Bien que ce ne soit pas toujours le cas, les surplus de nourriture sur un plateau au RU sont souvent jetés par leurs propriétaires.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

D'autres actions peuvent être menées pour réduire le gaspillage alimentaire, en particulier la sensibilisation des consommateur-rices.

Un axe de sensibilisation serait d'offrir la possibilité aux consommateur-rices de **recupérer les restes via des *doggy bags***, pratique peu répandue en France. Chacun-e pourrait ainsi être invité-e à apporter des contenants pour rapporter chez soi le contenu d'un plateau si celui-ci n'est pas fini.

Par exemple, des **affiches de sensibilisation** pourraient être collées à plusieurs endroits stratégiques du R.U., comme au niveau du retour des plateaux. Ces affiches rappelleraient la possibilité d'apporter des récipients pour conserver les restes ou encourageraient chacun-e à donner à autrui ses aliments non consommés, plutôt que de les jeter à la sortie.

LIMITES

Comme toute action de sensibilisation, il est difficile d'évaluer l'impact d'une telle mesure, surtout dans le cas d'une proposition comme celle d'encourager les *doggy bags*, qui implique un **changement culturel** profond.

INCITATION A LA CONSOMMATION DE REPAS VEGETARIENS AU R.U.

D'après les données du CROUS, **12 % des repas servis chaque jour à l'ensemble des usager-es du R.U. sont végétariens**. D'après les déclarations du questionnaire alimentation destiné aux élèves et permanent-es de l'ECN, les menus végétariens pèsent pour **plus d'un tiers des repas servis**. La différence pourrait notamment s'expliquer par le fait que les Centraliens de Nantes ne sont pas les seuls utilisateur-rices du restaurant universitaire - ou par un biais du sondage.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Les déclarations des usager-es au sein du sondage sur les habitudes alimentaires, laissent penser qu'**augmenter la diversité des repas végétariens** au R.U. peut être un levier intéressant à mettre en place.

Un autre moyen incitatif pourrait être d'aménager une **file d'attente spécifique** pour le(s) plat(s) végétarien(s). En effet, la configuration du R.U. le permet : la salle de restauration est découpée en "îlots" thématiques dont l'un d'entre eux est spécifiquement réservé aux plats végétariens. Les personnes qui mangent à l'îlot végétarien pourraient être favorisées, d'autant plus qu'elles ne sont pas majoritaires.

Par ailleurs, manger végétarien pourrait être incité financièrement, par le biais d'**une différenciation des prix** en fonction du repas, à condition que la législation en vigueur le permette. Il n'existe *a priori* pas de base juridique forte empêchant une différenciation des prix au regard des plats et de la quantité des plats choisis [Boutet-Waïss, 2013].

LIMITES

L'incitation financière semble compliquée à mettre en œuvre car cela nécessiterait une **remise à plat de l'ensemble de la tarification du CROUS de la région Pays de la Loire** alors qu'il existe aujourd'hui un prix unique pour un menu (entrée, plat, fromage ou dessert) à 3€30.

LABELLISATION DES REPAS

La labellisation des repas est un procédé qui existe déjà en Allemagne. Les plats sont caractérisés selon certains **critères** : végétarien, végétalien, issu de l'agriculture biologique. La **provenance des produits** est également précisée, de même que l'**empreinte carbone du repas**, de façon à aider le ou la consommateur-ice dans son choix.

Les pictogrammes montrés en Figure 84 sont ceux utilisés en Allemagne¹.

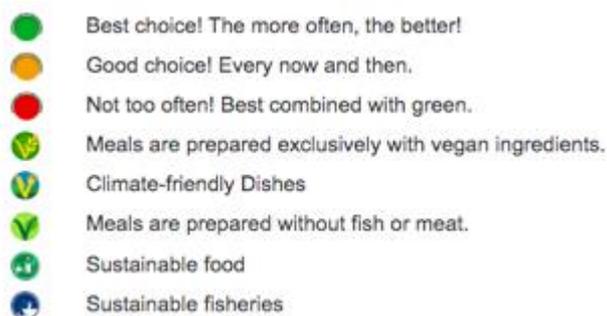


Figure 84 : Labels présents sur les plats en Allemagne

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Labelliser les produits, en s'inspirant par exemple du modèle allemand, permettrait d'**informer les consommateur-rices** de l'empreinte carbone des repas qu'i-els choisissent et les responsabiliserait, tout en les sensibilisant. En effet, presque 60 % des répondant-es au sondage sur les habitudes alimentaires ont souligné qu'une **meilleure visibilité de l'empreinte carbone** les aiderait à réduire leur impact.

¹ <https://www.stw.berlin/en/dining-facilities/mensa-hu-s-%C3%BCd.html>

Ce projet de labellisation pourrait être réalisé par des élèves de l'ECN dans le cadre d'un projet étudiant, tel qu'un P2E (projet étudiant d'entreprise), réalisé en collaboration avec le RU. Faire de ce projet un projet étudiant serait un moyen d'inciter le R.U. à afficher le Bilan Carbone de chaque repas, tout en limitant la charge de travail supplémentaire imposée.

LIMITES

Cette mesure de labellisation relève d'une **incitation** et **sensibilisation**. Elle peut donc permettre des changements de comportement mais ceux-ci peuvent difficilement être quantifiés.

REDUCTION DE LA QUANTITE DE VIANDES ROUGES CONSOMMEES AU RU

D'après le sondage sur les habitudes alimentaires, **19% des repas consommés au RU** par les différents acteur-ices de l'ECN ont pour source de protéines une **viande rouge** (bœuf ou agneau).

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

La part de viande rouge consommée comptant pour beaucoup dans l'impact carbone de l'alimentation au RU, il pourrait être envisagé de réduire cette consommation.

Pour atteindre cet objectif, un scénario a été envisagé, consistant à **diviser par trois la quantité de viande rouge dans l'assiette** à consommation égale. Les repas seraient donc toujours carnés mais avec une dominante végétale. Il pourrait alors être envisagé de remplacer les protéines animales supprimées par des protéines végétales.

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

Le premier scénario présenté dans le Tableau 59 part de l'hypothèse d'une réduction par trois de la quantité de viande rouge dans l'assiette ; le nombre de personnes qui en consomment n'ayant pas évolué. Pour évaluer la consommation relative de chacune des sources de protéines, la proportion de consommation des différentes sources de protéines des personnes qui vont au R.U. a été considérée (voir « Sources de protéines consommées »).

Comme les réponses du questionnaire permettent de le supposer, il a été considéré que 34 % des repas des élèves et 21 % des repas des permanent-es sont pris au R.-U.

Ne possédant pas de donnée de la part du R.U., il a été supposé que la quantité de viande initiale était de **180 g par assiette**. La mesure viserait donc à ne donner que 60 g de viande rouge aux consommateur-ices.

Tableau 59 : Estimation de la réduction d'impact carbone permise par une réduction par trois de la consommation de viande rouge

facteur d'émissions (kgCO ₂ .eq)	Emissions associées (tCO ₂ .eq)	Plat	Proportion
1,35	87,31	poulet, porc, poisson	43 %
2,1 ¹	60,01	repas avec bœuf/agneau, à dominante végétale	19 %
0,51	28,38	végétarien ou végétalien	37 %

Ce scénario laisse intact la consommation de plats carnés au R.U. mais diminue la quantité de viande rouge présente dans l'assiette. Cela aurait pour résultat un impact, au R.U. de 175,7 tCO₂.eq, contre 293,3 tCO₂.eq actuellement.

Autrement dit, une telle mesure permettrait une réduction de 41 % de la part Centralienne de Nantes du Bilan Carbone du R.U., 15 % du poste alimentation et 2 % du Bilan Carbone total.

LIMITES

Ce scénario pourrait être mis en place dans un premier temps car il bouscule peu les habitudes des consommateur-rices mais permet néanmoins une **baisse significative des émissions de GES** en réduisant la portion de bœuf consommée mais pas le nombre de personnes mangeant un plat à base de bœuf.

Cela nécessite néanmoins une acceptation de la part de tous-tes les utilisateur-rices du RU et pas uniquement celle de la population Centralienne de Nantes.

REDUCTION DE LA QUANTITE DE VIANDES CONSOMMEES AU R.U.

Au RU, d'après le sondage sur les habitudes alimentaires des acteur-ices de l'ECN, 37% des repas servis aux Centraliens de Nantes sont végétariens, 9% contiennent du poisson et les 54% restant contiennent de la viande blanche ou rouge (voir « Sources de protéines consommées »).

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

En complément du levier d'action précédent, **la réduction de viande pourrait être généralisée aux viandes blanches et au poisson** et non pas seulement aux viandes rouges.

La réduction globale de la consommation de viande permettrait d'importantes économies financières qui pourraient être réinvesties pour soutenir une alimentation alternative (locale, de saison, raisonnée, biologique).

¹ Source : ADEME - Repas - à dominante végétale (avec bœuf)

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

L'hypothèse utilisée est une réduction par trois de la quantité de viande servie dans l'assiette, quelle que soit la source de protéine considérée.

Par ailleurs, il a été supposé que les plats à base de viande rouge ont été divisés par trois, au profit d'une augmentation du nombre de plats végétariens servis. La proportion de plats à base de viande blanche (porc, volaille) et poisson reste inchangée.

Le Tableau 60 précise les facteurs d'émissions utilisés qui ont servi à faire les calculs de l'estimation.

Tableau 60 : Estimation de la réduction d'impact carbone permise par une réduction par trois de la consommation de viande

facteur d'émissions (kCO ₂ eq)	Emissions associées (tCO ₂ eq)	Plat	Proportion
0,8	48,62	dominante végétale (poulet)	43 %
2,1	14,45	dominante végétale (bœuf)	6 %
0,51	40,18	végétarien/végétalien	50 %

Ce scénario conduirait à une réduction de 185,6 tCO₂eq soit 63 % de la part Centralienne de Nantes du Bilan Carbone du RU, 22 % du poste alimentation et 3,3 % du Bilan Carbone total.

LIMITES

Une telle mesure implique un changement de la part des consommateur-rices et nécessite donc que l'ensemble des partis soient d'accord avec la mesure, pour en garantir l'**acceptabilité**.

D'autres scénarios auraient pu être envisagés et comparés. Il aurait, par exemple, été possible d'imaginer que **l'ensemble de la viande rouge soit remplacé par de la viande blanche**, ce qui impliquerait de plus petits changements d'habitude de la part des consommateur-rices.

ADOPTION D'UN JOUR VEGETARIEN CHAQUE SEMAINE

Imposer une journée pendant laquelle les plats servis sont des plats végétariens est une démarche qui existe déjà dans certaines **cantines scolaires** en France.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

L'impact carbone de l'alimentation étant dû en grande partie aux protéines animales consommées, proposer **une journée pendant laquelle tous les repas sont végétariens** permettrait de diminuer la consommation de viande et poisson chaque semaine. Une exception pour raisons médicales serait de vigueur pour celle-eux nécessitant absolument un repas carné. Cela représenterait néanmoins une infime minorité de cas.

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

Imposer un jour végétarien au R.U. une fois par semaine reviendrait à obliger les 25% de la population Centralienne de Nantes qui mangent rarement ou ne mangent jamais végétarien d'après le sondage sur les habitudes alimentaires, à supprimer leur consommation de viande, une fois par semaine.

Cette mesure permettrait une réduction de l'ordre de 17 % des émissions du R.U. liées à Centrale Nantes, 5 % des émissions du poste alimentation et 0,7 % du Bilan Carbone total.

LIMITES

Dans le sondage sur les habitudes alimentaires, certaines personnes déclarent manger au R.U. *pour* accéder à la viande qui y est cuisinée. Il peut être imaginé qu'une partie de ces personnes pourraient alors se diriger vers d'autres lieux de restauration.

CONSOMMATION DE PRODUITS LOCAUX ET DE SAISON

La méthode employée pour calculer l'impact carbone des repas s'appuie sur l'hypothèse que le type de protéine consommé est la source principale de l'impact carbone des repas. Cependant d'autres paramètres rentrent en compte. Des émissions peuvent être liées au **transport** - en particulier celui dû à l'importation depuis des pays lointains – ou à l'**énergie** notamment des fruits et légumes cultivés sous serre hors saison.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Bien que cela n'ait pas été pris en compte dans la méthode de calcul, inciter le R.U. à proposer exclusivement des **produits locaux et de saison** peut permettre de réduire son Bilan Carbone.

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES POUR LE LEVIER

Au travers du projet "A19 Bilan Carbone Campus de l'UTC", il a été déterminé que les émissions de GES d'un plat végétarien sont majorées de 50% lorsque les aliments sont produits sous serre et ne sont pas de saison [Boufflers, 2019]. Ce chiffre provient de deux études, restituées dans le Tableau 61 et le Tableau 62.

Tableau 61 : Émissions de GES d'un fruit/légume par mode d'acheminement

Source : Boufflers B. et al. Consolidation et Plan d'action. Rapport complet du projet A19 Bilan Carbone Campus de l'UTC. Université Technologique de Compiègne, 2019

Emissions moyennes de GES d'un fruit/ légume en fonction du type de transport							
Type de transport	Local	→	Camion	→	Carg	→	Avion
Emissions (gCO2eq/g)	0,33	x2	0,66	x2	1,32	x17	22

Tableau 62 : Émissions de GES en fonction de la saisonnalité

Source : Boufflers B. et al. Consolidation et Plan d'action. Rapport complet du projet A19 Bilan Carbone Campus de l'UTC. Université Technologique de Compiègne, 2019

Emissions de GES (gCO2eq/g) de fruits/légumes en fonction de la saisonnalité			
	De saison	→	Hors-saison
Tomate	0,4	x 6,5	2,3
Radis	0,6	x 15,3	8,4
Fraise	0,6	x 5,8	3,5
Concombre	1,7	x 1,4	2,4
Aubergine	1,2	x 5,2	6,2

LIMITES

Le R.U. est géré par le CROUS, donc de façon régionale. Cette centralisation permet probablement une optimisation de la logistique et un gain d'argent. Proposer une telle mesure nécessiterait de revoir la politique d'achats du R.U. et de passer par d'autres fournisseur-ses, ce qui risque d'entraîner des complications logistiques et une **augmentation des dépenses** - et donc du coût des repas qui pourrait se répercuter sur les consommateur-rices.

CONCLUSION

Mettre en place les mesures proposées à travers les leviers d'action peut comporter certaines difficultés. En effet, **le R.U. ne dépend pas directement de l'ECN**. Il faudrait donc travailler conjointement avec les autres utilisateur-rices du R.U., c'est-à-dire les étudiant-es des écoles et universités du campus du Tertre, pour vérifier l'**acceptabilité des propositions** et éviter d'imposer une vision unique et non représentative.

Les étudiant-es peuvent partager leurs idées et leurs envies, étant donné que dans chaque CROUS (donc au niveau régional), **sept sièges sur les vingt-quatre que compte le conseil d'administration sont tenus par des étudiant-es**.

Une mesure complémentaire à celles proposées pourrait être de former le personnel du R.U. à l'élaboration de plats alternatifs et moins carnés, comme recommandé dans le rapport "Des menus responsables dans votre restaurant universitaire" [REFEDD, s.d.].

Leviers pour la restauration sur le site de l'École

Le **manque de possibilités pour se restaurer à l'ECN** sans apporter sa propre nourriture a été souligné à travers les résultats du sondage sur les habitudes alimentaires des usager-es de l'ECN. Une réelle alternative sur site permettrait une réduction des déchets, des transports, une plus grande variété de choix et une nourriture plus saine.

Actuellement, la seule offre de restauration sur site réside en la présence de **distributeurs automatiques**, qui servent uniquement des en-cas dans le bâtiment E. Ce foyer est équipé de tables qui permettent de s'installer pour manger le midi et de fours micro-ondes qui permettent de faire réchauffer des plats préparés à l'avance. Un **camion de restauration** (*food-truck*) proposé par le CROUS vend des solutions de restauration rapide à proximité du foyer deux à trois fois par semaine.

Plusieurs initiatives sont possibles : création d'un service de cafétéria, vente de produits locaux en vrac sur site, production sur site.

CREATION D'UN SERVICE DE CAFETERIA

Avant la rentrée scolaire 2017-2018, un service de cafétéria assuré par une employée de l'ECN était en place dans le bâtiment L du campus.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Afin de proposer une solution de restauration sur site, un **service de cafétéria** pourrait être créé dans le foyer. Ce service viendrait **remplacer les distributeurs automatiques** qui consomment par ailleurs de l'électricité en continu (voir « Consommation d'électricité »).

La création d'un tel service requiert des moyens humains supplémentaires. Deux scénarios sont donc possibles.

Première possibilité, ce service pourrait être géré directement par l'ECN, qui **emploierait une ou plusieurs personnes dédiées**, comme ce qui était fait avant 2017.

Autrement, une autre possibilité consisterait à faire appel au **volontariat des étudiant-es**, par exemple à travers une activité associative. Des associations étudiantes pourraient proposer tous les midis au moins un plat à la cafétéria. Les bénéfices dégagés au cours de la vente leur permettraient de gagner un supplément d'argent pour financer leurs projets.

Confier la gestion de la cafétéria simultanément à une personne spécifiquement engagée par l'ECN et à des étudiant-es pourrait être un compromis pour assurer la qualité du service et un coût raisonnable.

Pour s'assurer de la qualité du service de restauration, il faudrait que les repas vendus aient un faible impact carbone. I-els devraient donc être **conçus avec des produits locaux et de saison**. Les **recettes végétariennes** seraient à privilégier - ces recettes pourraient être fournies, afin de faciliter le travail de préparation. *A minima*, un jour végétarien par semaine pourrait être imposé (à l'exception de contre-indications médicales).

Des permanences, en-dehors des horaires du midi, pourraient également être assurées pour vendre des fruits frais locaux, des boissons chaudes équitables, des sucreries faites maison, etc.

LIMITES

Avant de mettre en place un tel service, il est primordial de **s'assurer de l'adhésion de l'ensemble des acteur-ices de l'ECN**, et en particulier des personnes qui devraient en assumer la gestion. Pour ce faire, un questionnaire pourrait par exemple être envoyé, soumettant différentes formules de cafétéria pour connaître l'opinion de la communauté Centralienne de Nantes. Les potentiel-les acteur-ices du projet devraient être contacté-es spécifiquement.

Il faudrait ensuite effectuer un chiffrage financier de cette proposition.

MISE A DISPOSITION D'UNE ESPACE DE VENTE DE PRODUITS LOCAUX ET DE SAISON, EN VRAC

D'après le sondage sur les habitudes alimentaires des usager-es de l'ECN, **le prix d'achat de produits plus neutres en carbone constitue un frein de taille pour les étudiant-es**. A l'échelle de l'ECN, un effort de sensibilisation et la mise en place d'initiatives pour rendre accessibles de tels produits à bas prix (achats de gros, achats directs chez le ou la producteur-ice, ...) seraient à mener pour contourner cet obstacle.

A l'ECN, le BDS (Bureau des Sports) propose la vente de paniers de légumes et de fruits provenant d'un partenariat local, par le biais d'une « **AMAP** » (Association pour le maintien d'une agriculture paysanne)¹.

¹ A l'heure de rédaction de ce rapport, « l'AMAP » de l'Ecole n'en a que le nom : les produits sont achetés auprès de grossistes.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

La vente de panier de l'AMAP une fois par semaine aux Centraliens de Nantes leur garantit l'accès à des produits frais, locaux et de saison.

Il pourrait être imaginé de créer un **espace de vente** qui viendrait compléter ce service. Seraient proposés par exemple des légumineuses, des féculents ou des produits cosmétiques **en vrac** par exemple.

Ce service de vente pourrait être couplé à l'offre de cafétéria ou bien géré à part, avec les mêmes modalités : soit confié à un-e employé-e de l'ECN, soit géré par des associations étudiantes (comme le BDS), ou bien un compromis entre les deux solutions.

Si la création d'un espace de vente se révèle impossible, une **livraison de produits en vrac** pourrait être faite à la résidence de l'ECN où vivent les élèves de première année. Cela les inciterait à acheter des produits locaux en vrac.

Enfin, *a minima*, le **partage de « bonnes adresses »** peut être envisagé, avec par exemple une organisation globale de trajets vers les épiceries et magasins conseillés.

LIMITES

Estimer les besoins des étudiant-es pour effectuer une commande groupée peut, au début, être compliqué. Privilégier des **produits non périssables** permettrait de limiter le risque engendré par une commande trop importante.

La mise en place d'un tel espace de vente et de son organisation est **chronophage** bien qu'une fois lancée, cette démarche serait assez facile à perpétuer.

Autres initiatives

PRODUCTION ALIMENTAIRE SUR SITE

Sur le campus, plusieurs acteur-ices de l'ECN ont manifesté leur envie de voir apparaître des jardins partagés, des arbres fruitiers, des plantes aromatiques et même un poulailler (voir « Etablissement d'un plan de gestion des espaces verts »).

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

L'ensemble de ces installations pourrait être complémentaire des services de cafétéria et de vente de produits en vrac proposés. En effet, les étudiant-es, ou l'ECN, pourraient **vendre en vrac** les produits issus des cultures du campus ou les **valoriser dans des repas servis** à la cafétéria par exemple. La vente permettrait de financer d'autres projets ou de développer ces initiatives.

LIMITES

En plus de sa gestion, la production sur site pose plusieurs questions, notamment sur **l'emplacement des espaces** qui y seraient dédiés. Il faut en effet prendre en compte les désagréments qui pourraient être causés, comme par exemple le bruit des caquètements des poules. Les **réglementations sanitaires** liées aux produits cultivés sont également à prendre en compte.

SENSIBILISATION ET INITIATION A LA CUISINE VEGETARIENNE

Il est apparu qu'un frein au changement d'habitude vient également du **manque de connaissance pratique de la cuisine**.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Des **ateliers d'initiation à la cuisine végétarienne** pourraient être programmés à la pause méridienne et le jeudi après-midi (celui-ci étant banalisé pour les étudiant-es). Les plats préparés lors de ces initiations seraient préparés par des étudiant-es et parfois en invitant des spécialistes de la restauration. L'association *Together For Earth* a déjà proposé un atelier de ce type un samedi après-midi.

A la suite de ces ateliers, ou en complément, des **repas collectifs** pourraient être proposés. Des **disco-soupes** pourraient être organisées (repas préparés à l'aide d'inventus de marchés, pour lutter contre le gaspillage alimentaire). Des **recettes originales**, par exemple avec les produits de l'AMAP, pourraient être partagées.

De tels événements pourraient également être l'occasion de faire de la **sensibilisation**. En effet, montrer pratiquement qu'il est possible de manger végétarien, sain, local à moindre coût tout en gardant une bonne qualité gustative peut être un moyen efficace de convaincre et d'encourager le changement.

LIMITES

Cette mesure dépend de la **mobilisation et de l'intérêt** manifesté par les étudiant-es et le personnel de l'école pour ces activités.

DIMINUTION DE L'IMPACT DES RECEPTIONS SUR SITE

A l'ECN, des événements sont régulièrement organisés sur le campus, en particulier au moment de la pause méridienne. Au cours de ces événements, des buffets peuvent être proposés aux invité-es. Les **alternatives végétariennes**, au cours de ceux-ci, sont actuellement limitées.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Pour organiser l'ensemble de ces réceptions (cocktails, séminaires, ...), un **cahier des charges** serait à joindre au service centralisant les achats (voir partie « Leviers pour l'impact carbone des autres produits et services »). A travers ce cahier des charges, l'objectif serait d'**imposer une réduction, voire une élimination des produits d'origine animale aux traiteur-ses** qui préparent les commandes. *A minima*, une prohibition des viandes rouges pourrait être envisagée.

La thématique des **déchets** pourrait également être abordée dans ce cahier des charges, les buffets proposant souvent des portions individuelles sources de nombreux emballages et déchets.

LIMITES

Une **recherche et une comparaison des différentes offres de traiteur-ses** seraient donc à mener. Le critère **financier** serait également à prendre en compte bien qu'une réception végétarienne n'ait *a priori* pas de raison de coûter plus cher qu'un buffet classique.

AMELIORATION DES PROPOSITIONS DU FOOD-TRUCK

Un camion de restauration rapide géré par le CROUS propose de la vente de nourriture à proximité du foyer de l'ECN deux fois par semaine. Or, environ un tiers des personnes ayant envisagé d'y manger

déclare, dans le sondage sur les habitudes alimentaire, **avoir finalement renoncé à y manger à cause la vaisselle jetable** qui y est utilisée.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Les résultats du sondage laissent entendre que les client-es sont sensibles aux questions environnementales et souhaiteraient avoir des offres de restauration plus responsables. Ainsi, inciter le CROUS à **renoncer à la vaisselle plastique et à proposer une plus grande variété de plats végétariens** permettrait non seulement de **réduire l'impact carbone de l'alimentation**, mais également d'**augmenter la clientèle du food-truck** et représenterait un gain financier pour le CROUS.

LIMITES

Une telle suggestion peut être difficile à imposer car **le food-truck est géré par le CROUS** et l'ECN n'a pas d'impact direct sur la restauration qui y est servie. Cette demande peut néanmoins être faite en même temps que les autres requêtes sur la gestion du R.U (voir « Leviers pour la restauration au Restaurant Universitaire (R.U.) »).

Aucune garantie sur l'augmentation de la clientèle après élimination de la vaisselle jetable ne peut être donnée.

Conclusion

Les propositions telles que la création d'une cafétéria, d'un service de vente ou la production sur site nécessitent une gestion particulière. Cette gestion peut être assurée par du **bénévolat de la part des étudiant-es ou du personnel**. Cependant, pour maintenir ces initiatives, **l'emploi d'un-e salarié-e** peut être bénéfique ; cette personne serait aussi le relais entre les différentes parties prenantes impliquées.

Les initiatives à développer nécessitent également **un réel engagement de la part des usager-es**. Connaître leur intérêt et vérifier leur adhésion aux projets est nécessaire avant de démarrer ceux-ci.

Par ailleurs, ces actions ne peuvent pas rester des projets étudiant-es. En effet, elles nécessitent d'avoir des personnes présentes en continu et consacrées à ces tâches, pour réduire l'impact des fluctuations de présence des élèves (vacances estivales, périodes de stages...).

4.1.6 Leviers pour les déplacements des personnes

Le secteur des transports vise une décarbonation complète en 2050 en passant par une réduction des émissions de GES de 28% entre 2015 et 2030 [Ministère de la Transition Écologique et Solidaire, 2020]. Pour cela, divers outils sont envisageables :

- des outils incitatifs permettant de favoriser les alternatives moins émettrices de GES,
- une internalisation des coûts environnementaux externes via une tarification interne du carbone,
- des changements de comportement vers plus de sobriété (modes de transport, distances parcourues, masse, puissance et consommation des véhicules etc.),
- une évolution de la flotte de véhicules vers plus d'efficacité énergétique,

- une adaptation des infrastructures aux changements de parts modales ou l'exploration des solutions alternatives telles que le télétravail, les visioconférences, les cours à distance, le covoiturage et les autres mobilités douces.

Pour rappel, le scénario de réduction de la SNBC envisage une augmentation de la part modale du vélo de 3 % en 2015 à 12% en 2030 et à 15% en 2050. Les transports en communs devraient voir leur part modale augmenter de sept points entre 2015 et 2050. Pour suivre ces évolutions, diverses mesures pourront être envisagées, dont certaines peuvent être citées :

- Niveau de mobilité (nombre de km parcourus par personne par an),
- Statistiques sur le télétravail et les cours à distance,
- Part des mobilités douces dans les déplacements pendulaires,
- Répartition des différents modes de transports,
- Émissions de GES associées,
- Décomposition de la consommation énergétique par vecteur énergétique,
- Budget alloué au plan mobilités.

Pour tous les leviers d'action qui suivent, un tableau détaillant plus précisément les hypothèses et détails des calculs est joint au présent rapport : « Chiffrages_Déplacements_Scolaires_Pendulaires.xlsx ».

Leviers pour les déplacements liés à la formation des étudiant.es

L'**avion** est la principale source d'émissions des mobilités étudiantes, entrantes comme sortantes. En effet, à l'ECN mais également dans de nombreuses autres écoles et université, la **mobilité à l'internationale est l'un critère pour l'obtention du diplôme**.

Pour diminuer son impact, trois pistes d'action peuvent être soulignées : **réduire le nombre de déplacements** effectués dans le cadre de la formation des étudiant-es, **réduire la distance parcourue** notamment en modifiant la destination de ces déplacements et **favoriser des moyens de transport moins carbonés** pour rejoindre les lieux de formation choisis. Plusieurs leviers d'action, qui suivent au moins l'un de ces 3 axes d'amélioration, seront proposés.

DEMANDE D'UN COMPLEMENT DE DOSSIER POUR LES DOUBLES-DIPLOMES ET SEJOURS D'ETUDE SORTANTS A L'ETRANGER

Une partie des étudiant-es n'a pas forcément **conscience de l'impact de ses déplacements sur le climat**. Rappeler qu'en faisant Paris-Tokyo en avion, i-els dépassent leur budget carbone annuel de 2 tCO₂eq par an compatible avec l'objectif de limiter le réchauffement climatique à 2°C de l'Accord de Paris, peut les amener à réfléchir plus longuement sur leur mobilité.

Pour une autre partie des étudiant-es, la volonté de faire un double-diplôme peut être motivée par l'atout que cela pourrait avoir pour leur carrière.

Certaines formations, pourtant moins lointaines, accessibles par des moyens de transport moins carbonés proposent parfois les **mêmes types de formation** et peuvent ainsi être privilégiées.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

L'ECN pourrait davantage inciter les étudiant-es à remettre en question l'éventuelle plus-value des DD/SE/stages/césures "lointains".

Dans le dossier de DD/SE sortants, il serait souhaitable d'exiger donc :

- un **état de l'art des formations similaires** en France et en Europe,
- une justification au vu de **l'intérêt** de la personne à aller suivre une formation dans le lieu choisi,
- un **Bilan Carbone prévisionnel** sérieux du voyage.

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

Pour estimer les réductions permises par le levier, en première approximation, il est possible de considérer les hypothèses suivantes.

H1 : 5% des étudiant-es qui partent en DD/SE dans des pays lointains (comme le Canada, USA, Japon, Chine, Chili, Australie, Nouvelle-Zélande...) décident de renoncer à ces pays et choisissent désormais des pays "proches" (comme le Royaume-Uni, le Danemark, l'Italie, l'Autriche, l'Espagne, la Belgique, les Pays-Bas, la Suisse, la Pologne et l'Allemagne) et d'y aller en train ou en autocar.

H2 : 15% des étudiant-es qui partent en DD/SE dans des pays "moyennement proches" (comme la Russie, Norvège, Suède, République Tchèque...) décident de renoncer à ces pays et choisissent désormais des pays "proches" et d'y aller en train ou en autocar.

H3 : 30% des étudiant-es qui avaient déjà choisi des pays "proches" décident de renoncer à l'avion et d'y aller en train ou en autocar.

Compte-tenu de ces hypothèses, un évitement de près de 17 tCO₂eq, soit une **réduction de 2,6 % de l'impact des DD/SE sortants et entrants**, serait atteint avec un effort limité.

LIMITES

Les **hypothèses de chiffrages** sur les pourcentages d'élèves s'appuient sur une estimation et non sur une source fiable. Une étude statistique plus poussée est nécessaire pour affiner ces pourcentages.

Un facteur d'émissions moyen, entre celui de l'autocar et du train, a été choisi pour calculer le gain carbone.

CREATION D'UNE BOURSE « MOBILITES RESPONSABLES »

Il est nécessaire de montrer à chacun-e que des moyens de **transport moins émetteurs, plus soutenables et humainement riches** existent et peuvent être utilisés pour se rendre dans les universités étrangères ou dans les lieux de césure.

Cependant, les moyens alternatifs à l'avion ou à la voiture comme le train ou les bateaux-cargo sont souvent plus chers que l'avion, ce qui est un critère dissuasif. Recevoir une **aide financière** pourrait aider à les encourager.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

L'ECN pourrait décerner une bourse "mobilités responsables" sur **critères sociaux** aux étudiant-es qui font la démarche d'envisager une **mobilité bas-carbone** pour leur séjour à l'étranger, dans l'objectif de favoriser ces moyens de transport.

Les étudiant-es de l'ECN partant en DD ou SE ainsi que les césuré-es pourraient postuler à cette bourse en présentant **un dossier complet de leur démarche à un jury** (par exemple composé des

membres de la commission DD et de la DRI). Ce dossier pourrait contenir par exemple **un BC et un budget prévisionnel** de leur voyage.

Plusieurs sources d'argent ont été envisagées pour financer cette bourse. Une partie de l'argent de cette bourse pourrait venir du **Conseil d'Administration** (CA) de l'ECN. En effet, l'application d'une stratégie bas carbone pour les associations étudiantes pourrait aboutir à une réduction globale des demandes de subventions au CA (voir partie « Leviers pour l'impact carbone de la vie associative du campus »). La différence permise par l'application de la stratégie pourrait être réinvestie dans la bourse aux mobilités responsables.

De manière plus réaliste, la procédure inverse peut être imaginée. Un budget de 90 000 € est destiné aux associations. Parmi ce budget, 5 000 € pourraient être mis de côté pour la bourse. En parallèle, le CA se montrerait plus exigeant envers les demandes de subventions des associations, ce qui peut aussi inciter celles-ci à réduire leur empreinte carbone.

Une partie de l'argent de cette bourse pourrait provenir de la **tarification interne du CO₂** que l'ECN pourrait s'astreindre à reverser en cas de non-respect du budget carbone qu'elle se serait fixée notamment pour ses achats (voir partie « Leviers pour l'impact carbone des autres produits et services » page 251).

Une partie de l'argent de cette bourse pourrait provenir directement de l'**ECN**.

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

En première approximation, il est possible de considérer par exemple une bourse d'un montant de 5 000 €. Cette bourse permet de **financer la différence entre le prix d'un billet en avion et le prix d'un billet d'un autre moyen de transport, autocar ou train**.

Le jury devra prendre en compte des critères sociaux. Pour réaliser l'estimation, il a été considéré que 25% des étudiant-es qui font un double diplôme touchent la totalité de la différence entre les deux billets, 25% touchent les trois-quarts, 25% touchent la moitié et 25% touchent le quart.

Par exemple, un-e étudiant-e qui envisage un trajet pour un séjour à l'étranger à Oslo, pourra faire l'aller-retour, soit en avion (950 kgCO₂eq) en payant 140 €, soit en variant deux modes de transport (160 kgCO₂eq) en payant 320 € : 160 € pour l'aller en autocar et 70 € pour le retour en avion.

La différence de prix entre les deux situations est de 180 € ; le gain en termes d'impact carbone est de 790 kgCO₂eq.

En considérant que cet exemple est représentatif de la situation des étudiant-es de l'ECN qui seraient susceptibles de changer leur mode de transport, le Tableau 63 peut être établi.

La différence de prix entre les billets est de 180 €, ce qui correspond à la somme maximale pouvant être reçue par un étudiant. **En moyenne, pour l'ensemble des dossiers validés, une somme de 112,5 € serait reversée aux étudiant-es.**

Tableau 63 : Estimation de la réduction permise par une bourse aux mobilités responsables de 5 000 €

Différence de prix (€)	180
Émissions carbone évitées (kgCO₂)	790
Montant moyen par étudiant-e (€)	112,5
Nombre de dossiers validés	44
Émissions carbone évitées (tCO₂eq)	34,76
Somme dépensée (€)	4950
Emissions carbone évitées par € de bourse donné (kgCO₂eq/€)	7,02

Finalement, en supposant que les étudiant-es concerné-es permettent chacun-e, par leur changement de mobilités, une réduction de 790 kgCO₂eq, les 44 étudiant-es qui ont eu accès à la bourse permettent **un évitement de 35 tCO₂eq**. Cette réduction de **3 % de l'impact des DD/SE/stages/césures** serait ainsi atteinte grâce aux 5 000 € de la bourse « mobilités responsables » et à la bonne volonté des étudiant-es de se lancer dans ces démarches.

LIMITES

La **répartition de la bourse en paliers de 25 %**, en fonction de critères sociaux n'est qu'un exemple et est à adapter selon les dossiers présentés.

Les prix de billets d'avion et train ou autocar ont été considérés selon les prix en vigueur au moment de l'estimation. Etant donné que ces **prix fluctuent généralement beaucoup**, il faut prendre ce chiffrage avec précaution.

De plus, seul le cas d'un-e étudiant-e allant à Oslo a été considéré et généralisé. Une **étude statistique plus poussée** pour savoir combien d'étudiant-es seraient intéressé-es et où se situe leur mobilité internationale est nécessaire pour affiner ce chiffrage.

REALISATION D'UNE FICHE LISTANT LES TRANSPORTS ALTERNATIFS

17 % des émissions totales de l'ECN sont dues aux déplacements (en avion) liés aux césures/stages/DD/SE à la fois sortants et entrants, ce qui est relativement important.

42 % des DD/SE/masters, entrants et sortants confondus, sont européens (2018-2019) ; 77 % des DD/SE sortants sont européens pour l'année scolaire 2018-2019.

Ces pourcentages sont encourageants pour la réduction des émissions, étant donné que :

- le réseau ferroviaire et le réseau autoroutier en Europe sont bien développés
- les DD/SE sortants seront peut-être ceux qui seront plus facilement influençables en termes de changement de mobilité pour leur séjour à l'étranger

Le caractère européen des voyages constitue un vrai levier d'action, étant donné le fait qu'en première approximation, pour une même distance parcourue, l'avion est environ sept fois plus émissif que le bus et neuf fois plus émissif que le train. Ces rapports ne sont pas exacts, étant donné que les trajets par la route ou les rails sont plus longs que ceux dans les airs et que le facteur d'émissions du train dépend en partie du mix électrique du pays traversé mais l'ordre de grandeur reste quand même correct.

Actuellement, une majorité des étudiant-es choisissent l'avion sans forcément **se poser la question de l'existence de moyens de transports alternatifs** : il existe souvent d'autres options avec des temps de trajet raisonnables.

Choisir un moyen de transport qui implique un voyage plus long est envisageable pour des étudiant-es, car ces dernier-es restent pendant des durées assez longues dans leur nouveau pays d'étude. De plus, il n'est pas rare que les étudiant-es en DD/SE aient une période libre entre la fin de la formation à l'ECN et le début de celle des universités étrangères : cela leur donne donc l'occasion de profiter de leur trajet pour découvrir d'autres destinations.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

L'ECN pourrait donner à chaque étudiant-e souhaitant faire un DD/SE/Master entrant ou sortant de l'ECN **une fiche** rassemblant pour chaque université partenaire :

- les différents options d'itinéraires selon le mode de transport,
- leur empreinte carbone respective,
- le temps passé dans les transports,
- leur prix approximatif,
- leur éligibilité (ou non) à la bourse "mobilités responsables" (voir partie « Création d'une bourse « mobilités responsables »),
- les autres bourses écoresponsables existantes en Europe ou dans les régions d'origine,
- etc...

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

Ecrire une fiche rassemblant diverses données dont celles citées ci-dessus pour toutes les destinations (même pour les destinations hors Europe) ne nécessite qu'un **investissement humain** et non directement financier. Cela pourrait d'ailleurs être l'objet d'un travail étudiant. L'investissement global pourrait être faible, comparé aux bénéfices carbonés qui pourraient en être tirés, si cette fiche permet à quelques un-es de choisir une mobilité moins carbonée.

Toutefois, il est probable que cette fiche aura plus d'impact auprès des étudiant-es de l'ECN qui partent en DD ou SE, et en particulier ceux qui réalise **leur mobilité en Europe**. En effet, la différence de prix et de temps passé dans les transports est plus raisonnable pour celles-ci que pour les mobilités extra-européennes.

Parmi les élèves de l'ECN qui partent en DD ou SE, 33% peuvent faire leur trajet en train ou bus en moins de 8 h et 69 % en moins de 14 h.

Pour réaliser l'estimation, plusieurs hypothèses ont été considérées :

- Seuls les élèves partant en DD ou SE en Europe sont concerné-es,

- 80% des élèves concerné-es qui peuvent faire leur trajet en train ou bus en moins de 8h prennent le train et 50% des élèves concernés qui peuvent faire leur trajet en train ou bus en moins de 14h prennent le train.

Avec ces hypothèses, finalement, un évitement de 18 tCO₂eq, soit une **réduction de près de 3% de l'impact des DD/SE**, serait atteint pour un investissement relativement raisonnable et une mise en œuvre facile.

LIMITES

Les **hypothèses de chiffreages** sur les pourcentages d'élèves sont basées sur une estimation et non sur une source fiable. Une étude statistique plus poussée est nécessaire pour affiner ces pourcentages.

Les pourcentages supposés de personnes qui vont décider de changer de comportement sont contestables. Toutefois, cette fiche étant fournie pour tous les dossiers de mobilité internationale, elle peut également **convaincre des étudiant-es venant à l'ECN** dans le cadre d'un double diplôme de changer de mobilité.

Par ailleurs, l'estimation ne concerne qu'**un seul aller-retour**, alors qu'il faut être conscient qu'un-e étudiant-e en DD/SE rentre en France plus d'une fois sur une période d'un semestre ou de deux ans. Dès l'instant qu'un-e étudiant-e décidera de choisir à un moment dans son séjour de rentrer en France en utilisant un moyen de transport alternatif, il sera possible de considérer que ce changement de mentalité est attribuable à l'ECN - bien que cela ne rentre pas dans le calcul du Bilan Carbone.

AUGMENTATION DES ECHANGES NON-PHYSIQUES AVEC LES UNIVERSITES ETRANGERES

Ne plus faire de mobilités dans des universités étrangères ne signifie pas forcément ne plus avoir de **contacts, échanges et relations** avec elles. Des projets en commun peuvent continuer à exister, des échanges de connaissances, de cours, etc. peuvent perdurer **à distance**. La continuité des cours et projets pendant la période de confinement atteste par exemple de la faisabilité de la formation à distance.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

L'ECN pourrait développer de manière plus systématique des **échanges non physiques avec des universités étrangères**.

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

Étant donné l'absence d'informations précises à propos des compositions des masters (nombre et origine des étudiant-es), un chiffreage en ordre de grandeur peut être obtenu en divisant par six l'impact carbone des masters. Cette hypothèse est correcte en considérant un master avec un nombre moyen d'étudiant-es et une répartition semblable à celle de l'ensemble des masters en 2018.

Au final, un évitement de l'ordre de 30 tCO₂eq, soit une **réduction de près de 5 % de l'impact des DD/SE**, peut être ainsi atteint.

LIMITES

L'**investissement humain** serait probablement raisonnable. Outre la construction d'autres **salles de visioconférences**, il faudrait également prendre en compte le fait que les **frais d'inscription** des

étudiant-es qui choisissent des programmes en visioconférences seraient probablement amenés à diminuer (paramètres difficilement chiffrables...).

Pour finir, aucun chiffrage de cette préconisation à propos de l'impact du numérique induit par la visioconférence n'a été fait. Toutefois, compte-tenu des analyses sur l'impact des déplacements et du numérique, il est légitime de penser que **l'impact des visioconférences sera négligeable par rapport aux déplacements en avion.**

REDUCTION DU NOMBRE DE DD/SE/MASTERS SELON LEUR ELOIGNEMENT

11 % des émissions totales de l'ECN sont dues aux déplacements (en avion) liés aux DD et SE, à la fois sortants et entrants, ce qui est considérable. Parmi ces 11 %, 51 % proviennent des élèves venant à l'ECN dans le cadre d'un DD. Ce chiffre est très élevé car certains pays très éloignés envoient de **gros contingents** à l'ECN : par exemple, près d'un tiers des émissions DD/SE entrants proviennent des élèves brésiliens qui sont au nombre de 23 sur l'année scolaire 2018-2019.

Dans la méthodologie du calcul (voir « Déplacements liés à la formation des étudiant-es »), **un seul aller-retour par étudiant-e** faisant un DD/SE est compté. Etant donné que la quasi-totalité des étudiant-es en DD prennent l'avion pour venir (d'après le sondage mobilités), il y a une **relation presque linéaire entre la distance parcourue et les émissions de GES.**

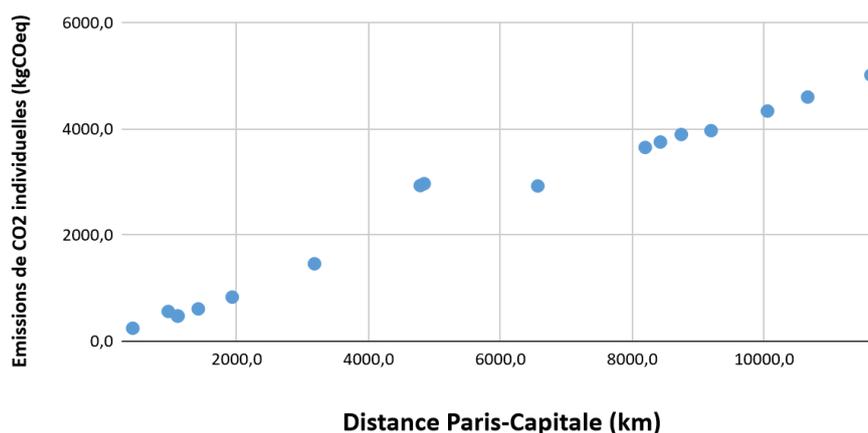


Figure 85 : Evolution des émissions de GES individuelles en fonction de la distance à parcourir

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

L'ECN pourrait réduire le nombre de DD/SE/masters en appliquant **un pourcentage de réduction au nombre d'admis-es de chaque pays proportionnellement à la distance à parcourir** pour venir à Paris. Ainsi, plus un pays sera loin de la France, plus il verra son nombre d'admis-es diminuer par rapport à l'année 2018.

L'idée est d'engager une **démarche de transition** où chacun des pays participe à la réduction des déplacements et donc des émissions de GES. Il est à noter que cette préconisation touche l'ensemble des masters et des DD/SE entrants et sortants. Des sélections plus strictes pourraient avoir lieu, en se basant plus particulièrement sur la **motivation des étudiant-es** à aller dans des pays étrangers, à l'aide d'un dossier à rédiger.

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

Afin de réaliser une estimation chiffrée des réductions permises par le levier, un exemple de règle de réduction du nombre d'admis en fonction de la distance à parcourir a été proposé ; cet exemple est représenté en Figure 86.

Pour déterminer cette loi, deux cas particuliers ont été choisis : il a été décidé de diminuer de 60% le nombre d'admis-es brésilien (dont la distance de la capitale par rapport à Paris est de 8742 km) et de diminuer de 20% le nombre d'admis-es italien-nes (dont la distance de la capitale par rapport à Paris est de 1100 km).

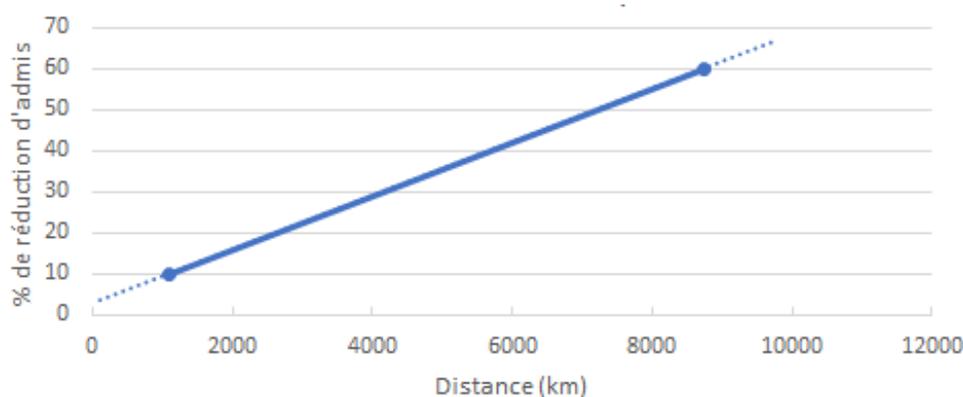


Figure 86 : Exemple de courbe de réduction du nombre d'admis en fonction de la distance à parcourir

En respectant cette règle de réduction, la préconisation aboutirait à une économie d'environ 330 tCO₂eq, ce qui correspond à une réduction très importante des émissions de GES. Cela représente **plus de 50% de l'impact carbone des mobilités étudiantes (DD/SE/masters/S8), 16% des émissions des déplacements et près de 6% du Bilan Carbone total de l'ECN.**

LIMITES

En ce qui concerne l'estimation, les deux points déterminant la droite ((1100;20) et (8742;60)) sont subjectifs et peuvent être adaptés.

En ce qui concerne la préconisation, la principale limite est la non-prise en compte de l'**effet rebond** qui n'est pourtant pas négligeable (voir la partie « Prise de recul »). En effet, la méthode utilisée ne compte qu'un **un seul aller-retour** pour un étudiant en DD/SE. Il est cependant bien connu qu'une majorité d'entre elle-eux rentrent chez eux pour les **vacances** notamment. Ceci est d'autant plus vrai lorsque les étudiant-es habitent près. Quant aux étudiant-es venant de loin, il n'est pas rare qu'i-els profitent d'être en France pour **visiter d'autres pays européens**. Une étude statistique est donc nécessaire pour affiner ce simple modèle linéaire.

Finalement, pour être totalement cohérent, il faudrait prendre en considération l'ensemble des déplacements des étudiant-es. Mais cette prise en compte entraîne des problèmes éthiques car cela impliquerait de s'immiscer dans la **vie privée des étudiant-es**.

Par ailleurs ce **modèle peut être contesté**. Le fait de réduire plus drastiquement les mobilités des pays les plus lointains que les autres peut être questionné. De même, réduire les mobilités des pays pour

lesquel-les venir avec des moyens de transports moins carbonés est possible pourrait être évité, par exemple. Les questions que pose un tel modèle doivent être tranchées de manière subjective.

Un modèle plus complet et plus équitable doit être établi avant de mettre en place cette préconisation.

FORMATION DES PERMANENT-ES DE LA DRI AUX ENJEUX CLIMATIQUES ET AU BILAN CARBONE ; INTEGRATION DE L'IMPACT CARBONE DES DESTINATIONS DE DD/SE AUX PRESENTATIONS DE LA DRI

Il est nécessaire que chacun-e s'approprie les enjeux climatiques actuels. La **DRI** a un grand rôle à jouer, étant donné qu'elle est **l'intermédiaire entre les étudiant-es et les universités étrangères**. Elle peut également accompagner les étudiant-es vers des destinations plus locales, les sensibiliser sur des moyens de transports moins carbonés.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Des **formations** ainsi que des **ateliers participatifs** (comme la Fresque du Climat) peuvent être organisés de manière à amorcer une réflexion sur le sujet des enjeux climatiques avec la DRI. Une formation spécifique sur le Bilan Carbone pourrait également être dispensée.

Ainsi formés, le personnel travaillant à la DRI serait plus apte à guider les étudiant-es.

Par ailleurs, lors de la présentation des possibilités de doubles-diplômes aux étudiant-es, **l'impact carbone** occasionné par le déplacement pourrait être abordé.

LIMITES

Le chiffrage de ce levier d'action n'a pas été réalisé car le résultat de ce levier d'action dépend grandement de l'intégration des enjeux climatiques dans le travail des permanent-es de la DRI ; celle-ci conditionnera notamment la place que prendront les **enjeux climatiques dans les présentations des DD/SE aux étudiant-es**.

REORGANISATION DES COURS DES MASTERS

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Selon certain-es étudiant-es en master, les cours ne remplissent pas toujours des journées entières et peuvent être plus concentrés de manière à **ne faire durer le master que sur un an**. Même si cela n'est pas pris en compte dans la méthode de calcul de l'impact des déplacements, cela éviterait en plus que les étudiant-es ne rentrent chez elle-eux entre les 2 années de master.

Par ailleurs, mieux organiser les cours avec les établissements autres que l'ECN pourrait diminuer les déplacements.

LIMITES

Ce levier d'action demande de surmonter des **contraintes techniques** telles que le nombre de salles de cours disponibles, ainsi que des **contraintes financières** ; en effet, si le master ne durait qu'une seule année, les étudiant-es ne seraient peut-être pas prêts à payer le même prix, ce qui diminuerait les recettes de l'ECN.

REORIENTATION DE LA STRATEGIE DE L'ECN A UNE ECHELLE PLUS LOCALE ET CREATION D'UNE DIRECTION DES RELATIONS NATIONALES ET LOCALES

Les doubles-diplômes à l'étranger occasionnant de nombreux déplacements, peut se poser la question de la pertinence de partir loin pour accéder à des **formations spécifiques**. Il est possible qu'à une échelle plus locale des formations de qualité soient également accessibles.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Il pourrait être imaginé de **réorienter les partenariats de l'ECN plus localement** : dans la région nantaise, en France, en Europe ou dans des pays accessibles en moyens en transports faiblement carbonés.

En suivant l'exemple des mobilités inter-Centrales, il peut être pertinent de favoriser des **échanges avec d'autres écoles d'ingénieur.es ou universités en France**.

Pour gérer ces partenariats, de même qu'il existe une direction des relations internationales, une **direction des relations nationales et locales** pourrait être créée.

LIMITES

Une limite dans l'application de ce levier d'action réside dans le fait que les DD/SE n'ont pas uniquement pour objectif l'enseignement dispensé, mais servent également de moyen pour **valider la mobilité à l'étranger** qui est obligatoire.

Il serait donc nécessaire d'anticiper les **effets rebonds** qui suivraient la mise en place de ce levier d'action. Par exemple, si les étudiant.es ne valident plus la mobilité à l'étranger via leur DD/SE, i-els pourraient partir en césure ou en stage à l'étranger, ce qui décalerait simplement les émissions de GES d'un poste à un autre. Cependant, d'un point de vue global, au cours de six mois de stage, les étudiant.es seraient moins incité-es à faire des allers-retours vers la France - même si ces trajets ne sont pas comptés dans le BC de l'ECN.

CONCLUSION

Les leviers d'action liés à la formation des étudiant.es sont diversifiés ; certains peuvent **remettre en cause la politique d'ouverture à l'étranger de l'ECN**, d'autres moins.

Il est d'ailleurs intéressant de constater que, d'après les estimations, les leviers d'action qui ont le plus d'impact sur la réduction sont aussi ceux qui challengent le plus la politique actuelle de l'ECN.

Leviers pour les déplacements pendulaires des permanent.es et étudiant.es

L'analyse des « Déplacements pendulaires des permanent.es et étudiant.es » s'appuie sur le sondage diffusé aux usager.es de l'ECN pour questionner leurs habitudes en termes de mobilité. Ce questionnaire a mis en lumière plusieurs éléments.

Premièrement, les déplacements pendulaires représentent une part importante dans le BC total de l'ECN avec près d'un tiers du poste "déplacements" et 10% du BC total de l'ECN.

Deuxièmement, l'usage de la voiture en est le principal responsable de cet impact car il représente à lui seul 72,8% des émissions de GES liées aux déplacements domicile-travail.

Une stratégie bas-carbone pour l'ECN passera forcément par la réduction de l'usage de la voiture dans les déplacements pendulaires. De manière générale, il est nécessaire de faire évoluer les mobilités domicile-travail, lorsque c'est possible, du moins émissif au plus émissif :

- vers plus de télétravail ou la marche à pied,
- vers l'usage du vélo,
- vers plus d'utilisation des transports en commun (bus, tram...),
- puis vers du covoiturage.

Quelques **éléments de contexte** sur chacune de ses thématiques seront d'abord rappelés. De plus, un point général sur la **méthode de calcul** des estimations des réductions des émissions de GES possibles grâce aux leviers d'action proposés et sur ses limites sera exposé. C'est ensuite, dans cet ordre de priorité, que seront été traités les différents **leviers d'action**. Certains sont inspirés du plan mobilités des entreprises de l'ADEME [Eychenne, 2019] ainsi que du rapport complet de l'UTC [Collin, 2019 ; Boufflers, 2019].

CONTEXTE SUR LES LEVIERS PRESENTES

INCITATION A LA PRATIQUE DU TELETRAVAIL

La Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC) [Ministère de la Transition Écologique et Solidaire, 2020] encourage vivement les « nouvelles formes de travail » en visant notamment des **objectifs ambitieux en termes de télétravail** : 50 % de télétravailleur-ses français-es télétravaillant en moyenne 20 % du temps, soit 10 % des heures télétravaillées à l'échelle du territoire”.

L'ECN doit se conformer à cette stratégie nationale et promouvoir à son tour le télétravail, qui est d'ailleurs un **levier essentiel** pour diminuer l'impact carbone des déplacements pendulaires. Il est utile de préciser que c'est le seul levier d'action qui pourra vraiment convenir à une partie des personnels. Plus d'**un tiers des personnels (36 %) habitent en effet à plus de 10 km de l'ECN** (voir partie Distance et durée des trajets page 132), c'est-à-dire à des distances à partir desquelles **la pratique du vélo peut s'avérer trop éprouvante¹; les réseaux de transports en commun sont moins denses** donc les trajets moins directs et pratiques.

Limiter ses trajets en travaillant à domicile peut alors être considéré comme une des solutions les plus efficaces pour limiter l'empreinte carbone de ses déplacements domicile-travail, quand la **réglementation** le permet.

INCITATION A LA PRATIQUE DU VELO

Pour se déplacer, le vélo est un moyen de transport à privilégier car il présente de nombreux avantages : empreinte environnementale très faible, réparabilité, accessibilité à tous-tes, bonne vitesse de déplacement en particulier dans les espaces urbains... **Les bienfaits sociaux, environnementaux et sanitaires du vélo ne sont plus à prouver** [Tronchet, 2018].

L'analyse des déplacements pendulaires précise que **97 % des étudiant-es et 66 % du personnel vivent à moins de 10 km de l'ECN**. Le campus est situé en zone urbaine plutôt bien desservie par les pistes et voies cyclables ce qui est aussi propice à sa pratique.

¹ A noter que le vélo électrique permet de répondre à cette problématique en permettant à chacun-e de parcourir des distances plus longues et en limitant les efforts à fournir

INCITATION A L'UTILISATION DES TRANSPORTS EN COMMUN

Si l'utilisation du vélo n'est pas envisagée – pour diverses raisons personnelles - l'utilisation des transports en commun est souhaitable.

Selon les facteurs d'émissions fournis par l'ADEME, la European Cyclists' Federation (2016), et la TAN (2014), **les transports en commun nantais** sont, par personne et par kilomètre parcouru, 8 fois plus émetteurs que le vélo, 2,5 fois plus émetteurs que le vélo à assistance électrique et **6 fois moins émetteurs que le covoiturage à 2 personnes**.

Offrant la possibilité de faire **diverses activités pendant les trajets** (lire un livre ou le journal, écouter de la musique, travailler, discuter...), les transports en commun permettent d'envisager différemment les trajets. Il est désormais possible de les considérer, non plus comme une perte de temps ou une contrainte quotidienne, mais comme un moment de détente ou le début de la journée de travail.

INCITATION A LA PRATIQUE DU COVOITURAGE

En dernier lieu, le covoiturage peut être choisi.

En ce qui concerne le covoiturage, la Stratégie National Bas-Carbone (SNBC) stipule que les politiques publiques doivent accompagner son essor ainsi que le développement des "autres services de mobilité partagée (autopartage...) sur les **courtes distances** et **dans les zones non desservies par les transports collectifs** et développer des outils et infrastructures facilitant ces mobilités partagées".

Il peut être utile de rappeler que **20 % des personnels habitent en effet à plus de 20 km de l'ECN** (voir « Distance et durée des trajets »). De manière complémentaire au télétravail, le covoiturage s'avère souvent la seule solution pour diminuer l'empreinte carbone des déplacements pendulaires des personnes concernées.

METHODE DE CALCUL DES ESTIMATIONS DE REDUCTION

Pour l'ensemble des leviers d'action qui seront détaillés par la suite, des estimations, en ordre de grandeur, des réductions des émissions de GES permises par ces leviers ont été effectuées. Celles-ci s'appuient sur les **résultats du sondage "Mobilités"** (voir partie 3.2.6) et notamment sur les réponses aux questions suivantes :

- Les déplacements quotidiens :
 - Les leviers d'action possibles pour encourager à prendre davantage le vélo pour les personnels et doctorant-es et pour les étudiant-es (hors doctorants),
 - Les leviers d'action possibles pour encourager à prendre davantage les transports en commun,
- Le covoiturage :
 - Les leviers d'action possibles pour encourager à faire davantage de covoiturage,
 - Des questions complémentaires pour savoir si la personne peut faire du covoiturage et avec quelle autre personne.

Les estimations de réduction utilisent l'ensemble des données et hypothèses précisées dans la méthodologie des « Déplacements pendulaires des permanent-es et étudiant-es » page 68, à savoir les effectifs des différents types de personnes présentes sur le campus (élèves-ingénieurs généralistes en 1^{ère} année à l'ECN, élèves-ingénieurs en 2^{ème} et 3^{ème} année à l'ECN, élèves en master, doctorant-es, permanents...), leur nombre de semaines travaillées, les FE utilisés, les hypothèses de calcul, etc.

Pour chaque levier d'action chiffré a été calculé spécifiquement à partir des données du sondage **le nombre de personnes qui avaient déclaré vouloir changer de mobilité** vers une moins carbonée, **leur impact carbone moyen** et **la distance moyenne entre le domicile de ces personnes et l'ECN** (pour les leviers d'action qui concernent le vélo et les transports en commun).

Ainsi, pour chaque levier d'action, le gain carbone a été calculé en utilisant la formule suivante :

$$Gain_{CO_2} = n \cdot t \cdot X_{\%} \cdot (impact_{moyen} - 2d \cdot FE)$$

Avec :

Gain_{CO2} la réduction obtenue,

n : le nombre total de personnes considérées intéressées par tel levier d'action (c'est-à-dire en généralisant le nombre de réponses positives de chaque catégorie de personne),

t : le nombre de semaines travaillées par an,

X_% : la proportion des jours où les personnes intéressées vont effectivement changer de mobilité,

impact_{moyen} : l'impact moyen par semaine travaillée des personnes intéressées par le levier d'action,

d : la distance moyenne des répondant-es intéressés par le levier d'action entre leur domicile et l'ECN (cette distance est multipliée par deux car un aller-retour est nécessaire tous les jours),

FE : le facteur d'émissions de la nouvelle mobilité, suite au changement.

Il a également été globalement supposé que les personnels et étudiant-es venaient à l'ECN **en moyenne 5 jours par semaine** (en réalité ce sont 4,91 jours par semaine pour les élèves et 4,88 jours par semaine pour les permanent-es d'après les résultats recodés selon la méthodologie utilisée pour traiter les données du sondage « Mobilités », (voir « Impact carbone des déplacements des personnes »).

Il a été supposé que X_% valait trois cinquième pour les leviers d'action qui concernent le vélo, le covoiturage et les transports en commun.

Pour tous les leviers d'action qui suivent, un tableur détaillant plus précisément les hypothèses et détails des calculs est joint au présent rapport : « Chiffrages_Déplacements_Scolaires_Pendulaires.xlsx ».

LIMITES SUR LA METHODE DE CHIFFRAGE DES LEVIERS D'ACTION

En ce qui concerne les estimations qui ont été présentées dans ce document, pour obtenir un ordre de grandeur des gains d'émission de GES, celles-ci pourraient être plus optimistes que la réalité.

Tout d'abord, il peut être légitime d'**interroger la représentativité des répondant-es** vis-à-vis de l'ensemble de la population de l'ECN et la généralisation des résultats associés. Le nombre important de personnes ayant participé aux sondages devrait limiter ce biais mais ne permet pas de le réduire totalement.

Une autre réserve peut être faite quant à la **sincérité des répondant-es**. Bien que plusieurs aient affirmé que certaines mesures pourraient les inciter à changer leurs habitudes, il est possible que leur engagement et leur volonté soient surestimés, puisqu'il s'agit uniquement de propositions fictives, non éprouvées par la réalité. Ce biais peut tout de même être considéré comme limité étant donné que les

répondant-es avaient la possibilité d'affirmer que les leviers ne les inciteraient pas à changer (et c'est d'ailleurs ce qu'ont répondu une majorité d'entre elle-eux).

Ces questions d'intention ne sont pas toujours représentatives de la réalité mais permettent tout de même d'en déduire un chiffrage approximatif.

Il est nécessaire de rappeler que **les chiffrages ne sont pas cumulables** et qu'une même personne peut être comptabilisée dans différents leviers d'action alors qu'ils sont incompatibles.

INCITATION A LA PRATIQUE DU TELETRAVAIL

La **loi** précise que **3 jours de télétravail par semaine** sont envisageables par personne [Service-Public, 2019]. A l'**ECN**, seul **un jour de télétravail maximum** par personne, par semaine et uniquement pour les personnels **est autorisé**.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

L'ECN pourrait autoriser et inciter les personnels et doctorant-es à faire davantage de jours de télétravail, jusqu'à trois par semaine (pour les personnels dont l'activité est compatible avec un télétravail) et regrouper les activités liées à la formation sur un nombre réduit de jours.

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

H1 : Pour estimer le gain en termes d'impact carbone dû à l'application de cette mesure, il a été supposé que **l'impact carbone des télétravailleur-ses est nul** (l'impact lié au numérique n'est pas pris en compte).

H2 : La proportion du personnel intéressée par un jour de télétravail par semaine a été estimée à 5,2%¹.

H3 : Il a été imaginé que seul-es les personnels qui habitent à **plus de 10 km de l'ECN** s'intéressent au télétravail. Les doctorant-es n'ont pas été pris en compte dans le chiffrage étant donné que seuls trois doctorant-es sur les 50 qui ont répondu ont dit habiter à plus de 10 km de l'ECN ; les doctorant-es étaient par ailleurs peu nombreux à répondre au sondage "Mobilités".

H4 : Enfin, il a été supposé, qu'**en moyenne**, les personnels concerné-es feraient **deux jours de télétravail par semaine**.

Moyennant les précédentes hypothèses, ce levier d'action permettrait d'éviter près de 8 tCO₂eq, ce qui se traduit par **une réduction de 1,3% des émissions liées aux déplacements pendulaires** (Tableau 64).

¹ Cette proportion est celle des cadres qui pratiquaient le télétravail un jour par semaine en 2017 d'après l'étude "Le télétravail permet-il d'améliorer les conditions de travail des cadres ?" de l'INSEE [Hallépée, 2019]

Tableau 64 : Estimation des réductions des émissions de GES permises par le télétravail

TELETRAVAIL				
Levier d'action	% de permanent·es concerné·es	Gain carbone (tCO ₂ eq)	% de réduction dplts pendulaires	Autres chiffrages (humain, financier...)
Télétravail jusqu'à 3 jours par semaine	2	7,6	1,3	-

En modifiant le nombre de personnes supposément intéressées par le télétravail et en considérant que **la moitié des personnels qui habitent à plus de dix kilomètres de l'ECN font un jour de télétravail par semaine**, 37 tCO₂eq peuvent être évités, soit **une réduction de 6 % des émissions liées aux déplacements pendulaires**.

Inciter les personnes qui le peuvent à faire du télétravail peut donc être un vrai levier pour réduire les émissions de GES.

LIMITES

Les principales limites de l'estimation des réductions permises par le télétravail se concentrent autour de tous les **effets rebonds** (cf. partie XX) qui ont été négligés car i-els sont difficilement quantifiables ou considérés comme secondaires, comme pour la consommation additionnel d'électricité, relativement décarbonée en France. Ainsi, **l'impact additionnel du numérique a été négligé**, alors que les télétravailleuse·s vont probablement utiliser les données mobiles ou le Wi-Fi de leur domicile alors qu'i-els auraient probablement utilisé le Wi-Fi de l'ECN (voir « Impact du numérique et bonnes pratiques pour le réduire ») et passer des appels téléphoniques ou des visioconférences qui seront nécessaires au télétravail.

Par ailleurs, dans "l'enquête nationale mobilité et modes de vies 2020" de Forum vie Mobiles, il était noté que le télétravail (avant COVID-19) avait tendance à multiplier les déplacements, et donc la congestion, contrairement à la première idée reçue. Il s'agit d'un phénomène de « convergence identique » : **le déplacement n'étant plus quotidien, il devient acceptable de faire des déplacements plus longs...** [Pearce, 2020] Ainsi, certaines personnes seraient davantage prêtes à parcourir plus de distance pour aller travailler si le télétravail est proposé dans l'entreprise qu'elles visent, plutôt que de déménager plus près de cette entreprise.

VENTE A BAS COUT D'EQUIPEMENT CONTRE LES INTEMPERIES

Avec une pluviométrie de 820 mm/an¹, **Nantes est l'une des villes les plus pluvieuses de France** avec 119 jours de pluie par an, soit environ un jour sur trois.

Arriver mouillé.e après un trajet sous la pluie constitue sans conteste un frein à l'utilisation du vélo. Toutefois, de bons équipements contre la pluie existent et pourraient répondre à ce problème.

¹ Moyenne annuelle 1981-2010. Source : Météo France, 2020

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

L'ECN pourrait proposer aux étudiant-es et permanent-es qui le souhaitent d'**acheter des équipements contre la pluie à bas prix** comme par exemple un poncho, une housse de pluie pour le casque, des guêtres étanches ou encore un pantalon imperméable...

En vendant à bas prix ces équipements, l'ECN pourrait ainsi inciter les permanent-es et étudiant-es à faire plus de vélo.

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

Une dépense de 3 600 € pourrait être nécessaire à l'achat d'équipements contre les intempéries, en négligeant l'éventuel prix de groupe dont pourrait bénéficier l'ECN.

Il a été considéré que l'ECN **paye respectivement 10% et 20% du prix des équipements des personnels et des étudiant-es** et que toutes les personnes concernées par le chiffre achètent en moyenne **40 Euros d'équipements**, prix qui leur permettrait, par exemple, d'acquérir un poncho et un pantalon imperméable.

En plus de l'investissement financier, un investissement humain serait nécessaire pour coordonner l'achat de groupe.

L'estimation réalisée pour calculer les réductions permises par le levier est détaillée dans le Tableau 65.

Tableau 65 : Estimation des réductions des émissions de GES permises par la vente d'équipements contre les intempéries

Pourcentage d'étudiant-es concerné-es	21
Gain carbone pour les étudiant-es (tCO₂eq)	11
Pourcentage de permanent-es concerné-es	20
Gain carbone pour les permanent-es (tCO₂eq)	19
Gain carbone total (tCO₂eq)	30
Gain carbone par rapport aux déplacements pendulaires (%)	5
Prix de revient carbone (€/tCO₂eq)	120 (total) 290 (étudiant-es) 20 (permanent.es)

Ainsi, l'achat d'équipements contre les intempéries **réduirait de 5 % les émissions liées aux déplacements pendulaires**. Il est intéressant de noter que ce levier d'action est beaucoup plus intéressant en termes de prix carbone pour les personnels (seulement 20 €/tCO₂eq) que pour les étudiant-es (290 €/tCO₂eq)¹.

¹ A noter que, dans le chiffre, n'ont pas été amortis les achats des équipements sur leur durée d'utilisation. Cela ne pourrait qu'améliorer le prix carbone de ce levier d'action

LIMITES

Les émissions de GES liées à l'achat de ces équipements n'ont pas été prises en compte dans le calcul du gain carbone de ce levier d'action. Ce dernier est donc à considérer avec précaution.

MISE A DISPOSITION D'ÉQUIPEMENTS D'ENTRETIEN DE VELOS SUR LE CAMPUS

Regonfler les pneus de son vélo, réparer sa chambre à air crevée, régler ses freins, etc. sont autant de **manipulations qui peuvent devenir des contraintes** si le matériel nécessaire pour les réaliser n'est pas à portée de main. Les étudiant-es se disent plus intéressé-es par le fait qu'on leur mette à disposition des équipements d'entretien de vélo que les personnels (voir partie « Freins à l'utilisation du vélo »). En effet, beaucoup n'achètent pas ces outils car i-els ne restent que momentanément dans la région.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

L'ECN pourrait installer sur le campus un **kit de réparation de vélo** (avec des outils, pompes à vélo...) en **libre-service** pour les étudiant-es et les personnels. Des **sessions de réparations de vélo** (avec le club DIY et/ou l'association Vélocampus par exemple) pourraient être organisées.

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

Ces nouveaux équipements pourraient coûter de l'ordre de 100 € à l'ECN.

L'estimation réalisée pour calculer les réductions permises par le levier est détaillée dans le Tableau 66.

Tableau 66 : Estimation des réductions des émissions de GES permises par la mise à disposition d'équipements d'entretien

Pourcentage d'étudiant-es concerné-es	Gain carbone pour les étudiant-es (tCO ₂ eq)	Pourcentage de permanent-es concerné-es	Gain carbone pour les permanent-es (tCO ₂ eq)	Gain carbone total (tCO ₂ eq)	Gain carbone par rapport aux déplacements pendulaires (%)	Prix carbone (€/tCO ₂ eq)
14	12	16	9	21	3	5

Ce levier d'action permettrait ainsi d'éviter l'émission de 21 tCO₂eq, soit **une réduction de 3 % de l'impact des déplacements pendulaires**.

LIMITES

Comme pour le chiffrage du précédent levier d'action, **l'impact carbone des installations n'a pas été pris en compte**. De plus, le prix des équipements fixé à 100 € est un ordre de grandeur qui mérite d'être affiné.

AMELIORATION DES INSTALLATIONS DU CAMPUS

Il est important de préciser que, pour fidéliser les adeptes du vélo et pour motiver celle-eux qui ne le sont pas encore à le devenir, il est nécessaire d'**entretenir régulièrement les infrastructures déjà existantes** et de **les adapter au nombre croissant d'étudiant-es et de personnels** présent-es sur le campus.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Plusieurs installations déjà présentes sur le campus peuvent être entretenues.

Les **garages à vélo** pourraient être améliorés et agrandis. Les **douches disponibles** pourraient être plus nombreuses (voir « Freins à l'utilisation du vélo » page 139).

Par ailleurs, la **signalétique des équipements prévus pour le vélo** sur le campus (douches, abris à vélo, équipements d'entretien) pourrait également être améliorée, afin d'aider les usager-es à repérer les lieux et équipements mis à leur disposition et dont i-els pourraient avoir besoin.

LIMITES

Une telle mesure a un **coût financier**. Le gain qui pourrait être obtenu n'a pas pu être évalué car ce levier d'action ne faisait pas l'objet d'une question du sondage "Mobilités" (cf. partie ...). Par ailleurs, fidéliser les utilisateur-rices du vélo peut ne pas avoir d'impact direct, même si leur **confort est augmenté**.

SECURISATION DU RESEAU CYCLABLE AUTOUR DE L'ECN PAR NANTES METROPOLE

Certains itinéraires pour atteindre l'ECN nécessitent d'emprunter des voies cyclables ou de rouler directement sur les routes ; or parfois sur ces portions, les voitures peuvent frôler les cyclistes (comme par exemple pour se rendre au restaurant universitaire depuis l'ECN). Certain-es déplorent ce **manque de sécurité** lorsqu'i-els se déplacent en vélo.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

L'ECN pourrait échanger avec Nantes Métropole pour sécuriser davantage les itinéraires qui mènent à l'ECN.

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

Mettre en place une telle mesure implique un investissement humain sur le moyen et long terme.

L'estimation réalisée pour calculer les réductions permises par le levier est détaillée ci-dessous.

Tableau 67 : Estimation des réductions des émissions de GES permises par la sécurisation du réseau cyclable

Pourcentage d'étudiant-es concerné-es	Gain carbone pour les étudiant-es (tCO ₂ eq)	Pourcentage de permanent-es concerné-es	Gain carbone pour les permanent-es (tCO ₂ eq)	Gain carbone total (tCO ₂ eq)	Gain carbone par rapport aux déplacements pendulaires (%)	Prix carbone
18	14	25	37	51	8	-

Ce levier d'action permettrait ainsi d'éviter l'émission de 51 tCO₂eq, soit **une réduction de 8 % de l'impact des déplacements pendulaires**.

LIMITES

La mise en place de ce levier d'action est plus **du ressort de Nantes Métropole** que de l'ECN. De plus, elle doit s'inscrire dans une politique moyen terme et globale de la collectivité.

Il faut également prendre en compte le fait que créer ou aménager des pistes cyclables impliquerait beaucoup **travaux** et donc des émissions de GES à chiffrer et à comparer aux gains carbone espérés grâce à l'application de ce levier.

OFFRE D'UNE AIDE FINANCIERE A L'ACHAT D'UN VELO

Parfois, une aide financière peut convaincre certain-es réticent-es à acheter un vélo classique ou à assistance électrique (VAE). Cette réticence à l'achat s'explique d'autant plus que les VAE peuvent coûter relativement cher (avec un prix de l'ordre de 600 €).

Il est à noter que seul-es les doctorant-es et les permanent-es peuvent avoir accès à cette aide financière de l'ECN, de la région et de l'Etat ; les étudiant-es ne sont en effet pas employé-es par l'ECN.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

L'ECN pourrait proposer aux doctorant-es et permanent-es une **aide financière** à l'achat d'un vélo.

Par exemple, il pourrait être imaginé que l'ECN paye 30% du prix des vélos classiques et 10% du prix des vélos à assistance électrique.

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

Pour le chiffrage plusieurs hypothèses ont été utilisées.

Il a été considéré que les vélos classiques coûtent en moyenne 60 € et que les vélos à assistance électrique coûtent 600 €.

Il a été imaginé que 80% des doctorant-es et permanent-es concerné-es font une demande de subvention pour un vélo classique et 20% d'entre elle-eux pour un vélo à assistance électrique.

La proposition d'une aide à l'achat de vélos ou VAE impliquerait, avec ces hypothèses, une dépense totale de 4 900 € de la part de l'ECN.

L'estimation réalisée pour calculer les réductions permises par le levier est détaillée ci-dessous.

Tableau 68 : Estimation des réductions des émissions de GES permises par la proposition d'une aide financière à l'achat d'un vélo auprès des permanent.es

Pourcentage de doctorant-es concerné-es	Gain carbone pour les doctorant-es (tCO ₂ eq)	Pourcentage de permanent-es concerné-es	Gain carbone pour les permanent-es (tCO ₂ eq)	Gain carbone total (tCO ₂ eq)	Gain carbone par rapport aux déplacements pendulaires (%)	Prix carbone (€/tCO ₂ eq)
16	14	18	22	24	4	200

Ce levier d'action permettrait ainsi d'éviter l'émission de 24 tCO₂eq, soit une **réduction de 4 % de l'impact des déplacements pendulaires**.

LIMITES

De même que précédemment, le chiffrage du précédent levier d'action, **l'impact carbone des vélos achetés n'a pas été pris en compte**.

Par ailleurs, les **prix des vélos** choisis pour le chiffrage ne sont que des estimations et peuvent être affinés pour que le chiffrage du prix carbone soit plus précis.

CREATION D'UN ACCES A L'ECN DU COTE DE L'ERDRE POUR LES CYCLISTES

Les personnes qui arrivent depuis le nord ou depuis le nord-est (via le pont de la Jonelière) de Nantes sont contraintes de faire le tour de l'ECN pour pouvoir rentrer dans le campus.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

L'ECN pourrait rendre possible l'accès au campus côté Erdre.

La création d'un nouveau passage pourrait entraîner la nécessité d'employer **un-e agent-e** supplémentaire pour contrôler les entrées sur le campus. Cependant, une autre solution peut lui être préférée. En effet, les personnes ayant besoin d'emprunter ce passage pourrait en faire la demande à l'ECN. Il leur serait alors fourni **un badge** qui permettrait d'ouvrir **un portail fermé** par ailleurs ; un tel système existe déjà pour permettre l'accès à la résidence étudiante.

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

Dans le cas où l'emploi d'un-e agent-e supplémentaire n'est pas nécessaire, l'investissement ne semble pas très important ; des **travaux** seraient néanmoins nécessaires.

L'estimation réalisée pour calculer les réductions permises par le levier est détaillée ci-dessous.

Tableau 69 : Estimation des réductions des émissions de GES permises par la création d'un accès à l'ECN via l'Erdre

Pourcentage d'étudiant-es concerné-es	Gain carbone pour les étudiant-es (tCO ₂ eq)	Pourcentage de permanent-es concerné-es	Gain carbone pour les permanent-es (tCO ₂ eq)	Gain carbone total (tCO ₂ eq)	Gain carbone par rapport aux déplacements pendulaires (%)	Prix carbone
18	14	17	18	32	5	-

Ce levier d'action permettrait ainsi d'éviter l'émission de 32 tCO₂eq, soit **une réduction de 5 % de l'impact des déplacements pendulaires.**

LIMITES

Le chiffrage hors carbone aurait pu être affiné ici, notamment pour la création d'**un chemin entre le portail côté Erdre et le bâtiment L.**

Si l'emploi d'un-e agent-e de sécurité supplémentaire est nécessaire pour assurer la création de cette nouvelle entrée dans le campus, cette solution serait potentiellement non financièrement viable.

GESTION D'UNE FLOTTE DE VELOS APPARTENANT A L'ECN

Certaines personnes trouveraient utile que l'ECN propose une **flotte de vélos accessibles à tous-tes les étudiant-es et permanent-es** de l'ECN (voir « Impact carbone des déplacements des personnes »). Cela pourrait également concerner certains déplacements professionnels dans la métropole.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

L'ECN pourrait acheter des **vélos classiques** et des **vélos à assistance électrique** disponibles pour tous-tes ses usager-es.

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

Pour réaliser l'estimation du coût financier dû à l'achat d'une flotte de vélos possédée par l'ECN, plusieurs considérations ont été faites.

Il a été supposé que l'ECN prévoie un vélo par personne concernée par le chiffrage carbone ; 20% des vélos achetés sont à assistance électrique et 80% des vélos sont classiques, ce qui correspond aux attentes des usager-es.

Une **durée de vie de dix ans** a été utilisée pour amortir le prix des vélos (à assistance électrique ou pas).

Le prix des vélos classiques a été estimé à 60 € ; celui des vélos à assistance électrique a été estimé à 600 €.

L'estimation réalisée pour calculer les réductions permises par le levier est détaillée ci-dessous.

Tableau 70 : Estimation des réductions des émissions de GES permises par la gestion d'une flotte de vélo par l'ECN

Pourcentage d'étudiant-es concerné-es	Gain carbone pour les étudiant-es (tCO ₂ eq)	Pourcentage de permanent-es concerné-es	Gain carbone pour les permanent-es (tCO ₂ eq)	Gain carbone total (tCO ₂ eq)	Gain carbone par rapport aux déplacements pendulaires (%)	Prix carbone (€/tCO ₂ eq)
16	9	5	8	17	3	330

Ce levier d'action permettrait ainsi d'éviter l'émission de 17 tCO₂eq, soit **une réduction de 3 % de l'impact des déplacements pendulaires**.

LIMITES

Le fait que l'ECN gère sa propre flotte de vélos pourrait faire concurrence à Vélocampus, une association du campus Terre qui propose le même type de services aux étudiant-es, à savoir : une location annuel de vélo, la possibilité d'utiliser le matériel de réparation de l'association et l'accès aux événements qu'ils proposent. Plutôt que acheter flotte de vélos propres à l'ECN, **un partenariat avec Vélocampus pourrait être envisagé**, avec une aide financière à l'association permettant aux centralien-nes d'avoir des **tarifs préférentiels** ou la création d'**une branche de l'association sur le campus**.

FINANCEMENT D'UNE INDEMNITE KILOMETRIQUE VELO (IKV)

Les entreprises doivent financer la moitié des abonnements de transports en commun de leurs employé-es. En revanche, aucune mesure similaire ne s'applique aux cyclistes. L'objectif de l'indemnité kilométrique vélo (IKV) est de compenser ce manque en **finançant chaque kilomètre que parcourent les employé-es à vélo pour venir travailler**.

Tout comme pour l'aide financière à l'achat des vélos, seul-es les doctorant-es et les permanent-es peuvent prétendre à cette aide financière.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

L'ECN pourrait désormais proposer une IKV aux personnels et doctorant-es.

Une mesure complémentaire à l'IKV pourrait être la prise en charge des **abonnements aux services de parkings pour vélos** près de la gare pour les salarié-es qui prennent le train. Cette mesure n'a pas fait l'objet d'une estimation, seule l'IKV a été considérée pour la suite.

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

L'indemnité proposée aux cyclistes pourrait s'élever à hauteur à 0,25 €/km, avec un plafond de 200 €/mois [Service-Public, 2020].

L'estimation réalisée pour calculer les réductions permises par le levier est détaillée ci-dessous.

Tableau 71 : Estimation des réductions des émissions de GES permises par l'offre d'une IKV aux permanents

Pourcentage d'étudiant-es concerné-es	Gain carbone pour les étudiant-es (tCO ₂ eq)	Pourcentage de permanent-es concerné-es	Gain carbone pour les permanent-es (tCO ₂ eq)	Gain carbone total (tCO ₂ eq)	Gain carbone par rapport aux déplacements pendulaires (%)	Prix carbone (€/tCO ₂ eq)
14	10	15	24	34	6	5 800

Ce levier d'action permettrait ainsi d'éviter l'émission de 34 tCO₂eq, soit **une réduction de 6 % de l'impact des déplacements pendulaires**.

LIMITES

Une des limites actuelles est que ces indemnités ne seraient pas exemptes de **charges**, même si elles sont appelées à le devenir.

CONCLUSION INTERMEDIAIRE SUR L'INCITATION A L'UTILISATION DU VELO

Le Tableau 72 récapitule les chiffrages des réductions en termes d'impact carbone et parfois les estimations des **coûts humains et financiers** des différentes préconisations.

Tableau 72 : Récapitulatif des estimations de réduction en termes d'impact carbone et du coût associé pour les différents leviers d'action incitant à la pratique du vélo

VELO									
N° de levier d'action	Levier d'action	% d'étudiant-es concerné-es	Gain carbone étudiant-es (tCO ₂ eq)	% de permanent-es concerné-es	Gain carbone permanent-es (tCO ₂ eq)	Gain carbone TOTAL (tCO ₂ eq)	% de réduction dpts pendulaires	Autres chiffreages (humain, financier...)	Prix carbone (lorsque c'est calculable)
1	Equipements - intempéries	21	11	20	19	30	5	Dépense de 3 600 euros ainsi que l'investissement humain pour coordonner l'achat de groupe	120euros/tCO ₂ au total. 290euros/tCO ₂ pour les étudiant-es contre 20euros/tCO ₂ eq pour les permanent-es
2	Equipements - entretien vélos	14	12	16	9	21	3	Dépense de 100euros pour l'achat de ces équipements	5euros/tCO ₂ eq
3	Pistes cyclables sécurisées	18	14	25	37	51	8	Investissement humain sur le moyen et long terme	-
4	Aide financière achat	16	2	18	22	24	4	Dépense totale de 4 900 euros	200euros/tCO ₂ eq
5	Accès Erdre	18	14	17	18	32	5	Investissement très faible de la part de l'ECN (sauf si un agent supplémentaire contrôlant les entrées sur le campus est nécessaire)	-
6	Flotte vélos	16	9	5	8	17	3	Dépense totale de 5 600 euros	330euros/tCO ₂ eq
7	IKV	14	10	15	24	34	6	Dépense totale de 200 000euros	5 800euros/tCO ₂ eq

La **sécurisation des pistes cyclables est le levier d'action qui permet d'éviter le plus d'émissions de GES** (51 tCO₂eq évitées) parmi l'ensemble des leviers considérés. Cela correspond à une réduction de l'impact carbone des déplacements pendulaires de 8 %. Cette mesure est néanmoins celle qui est **la plus difficile à mettre en place** car elle ne dépend pas directement de l'ECN mais de Nantes Métropoles ; pour la ville, favoriser l'utilisation est cependant également un enjeu mais le travail induit relève du moyen, voire long terme.

L'**ouverture d'un accès côté Erdre** permettrait d'éviter 32 tCO₂eq, ce qui est relativement important. Un peu moins de 20% des étudiant-es et permanent-es seraient intéressés par cette démarche. Cependant il s'agit de personnes qui ont un impact conséquent, d'après leur impact moyen révélé par le sondage "Mobilités".

Si ouvrir un accès au bord de l'Erdre **sans agent-e de sécurité** ne pose pas de problème à l'ECN, ce levier d'action semble, d'après l'estimation réalisée, être un **moyen efficace de réduire les émissions de GES**. Il permettrait de réduire de 5% ce poste d'émissions sans réaliser d'investissement humain ou financier important.

Si l'emploi d'un-e agent-e supplémentaire est nécessaire, le prix carbone de cette mesure (c'est-à-dire le ratio entre la somme à investir et le gain carbone possible) peut fortement augmenter et l'avantage présenté serait moindre.

Il est intéressant de **comparer les différents leviers d'action proposés à l'aide de leur prix carbone**. Le prix carbone fixé à **50 €/tCO₂eq par William Nordhaus** (prix Nobel de l'économie 2018) et son modèle DICE [GOLLIER, 2019], peuvent servir de base pour cette comparaison.

Si au premier abord, le financement d'une **Indemnité Kilométrique Vélo (IKV)** semble être efficace pour la réduction des émissions de GES avec 34 tCO₂eq évitées, sa mise en sa mise en place coûterait

annuellement 200 000 € à l'ECN. Ce **coût carbone est 120 fois plus grand que celui que propose William Nordhaus**. Il est à noter que le montant de l'Indemnité Kilométrique Vélo qui a été fixée à 0,25 euros/km/personne à titre d'exemple peut être diminué.

La **flotte de vélos** appartenant à l'ECN et **l'aide financière à l'achat de vélos** aboutiraient, quant à elles, respectivement à des réductions du poste "déplacements pendulaires" de 3 et 4%. Leurs **prix carbone** sont plus raisonnables que celui d' l'IKV, même s'ils restent respectivement **quatre et six fois supérieurs à celui proposé par William Nordhaus**¹.

En ce qui concerne la **flotte de vélos**, l'ECN pourrait tout d'abord faire **une expérimentation** avec l'achat de quelques vélos d'occasion uniquement et observer les réactions des étudiant-es et permanents. **L'achat de vélos d'occasion** est intéressant pour deux motifs principaux : leur empreinte carbone est moindre (du fait d'une prolongation de la durée de vie) que celle d'un vélo neuf et i-els sont moins chers. Une autre solution consisterait à établir un partenariat avec Vélocampus, en finançant une partie de leurs charges.

L'aide financière à l'achat pourrait, quant à elle, être diminuée, ce qui réduirait son prix carbone.

L'achat d'équipements pour l'entretien des vélos constitue le levier d'action qui possède le **prix carbone le plus bas**, avec seulement 5 €/tCO₂eq (soit dix fois moins que le comparatif utilisé). Il ne permettrait toutefois de ne réduire que de 3% les émissions de ce poste.

Si le recours au vélo n'est pas possible, les transports en commun doivent en priorité être encouragés. Il peut donc être intéressant de s'intéresser aux leviers d'action qui concernent les transports en commun.

INSTAURATION D'UNE POLITIQUE D'HORAIRES DIFFERES

Les transports en commun qui conduisent à l'ECN sont souvent **surchargés, en particulier entre 7h30 et 8h30 le matin**. Cela s'explique par le fait que tous les établissements d'enseignement supérieur et facultés qui font partie du campus du Tertre, ainsi que les lycées à proximité, demandent à la majorité de leurs élèves de rentrer en cours à 8h.

Pour répondre à ce problème, deux pistes pourraient être envisagées : augmenter la circulation des transports en commun et engager une politique d'horaires différés. En ce qui concerne la première solution, il faut néanmoins prendre en compte le fait que le nombre de tramways circulant aux heures de pointe est indépendant de l'ECN et est déjà conséquent. Agir sur ce levier semble difficile. Il en est autrement pour **l'instauration d'une politique d'horaires différés : ce levier d'action intéresse d'ailleurs près d'un tiers des étudiant-es et 13% du personnel** (voir partie 3.2.6).

¹ Il est à noter que le prix carbone pourrait augmenter si on considère des prix de vélos (électriques ou non) plus élevés que ceux supposés pour réaliser l'estimation.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

L'ECN pourrait instaurer une politique d'horaires différés, en accord avec toutes les parties prenantes.

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

L'investissement que requiert la mise en place de ce levier est principalement humain.

L'estimation réalisée pour calculer les réductions permises par le levier est détaillée ci-dessous.

Tableau 73 : Estimation des réductions des émissions de GES permises par une politique d'horaires différenciés

Pourcentage d'étudiant-es concerné-es	Pourcentage de permanent-es concerné-es	Gain carbone total (tCO ₂ eq)	Gain carbone par rapport aux déplacements pendulaires (%)
18	10	60	10

Une politique d'horaires différés pourrait ainsi **réduire de 10 % les émissions de GES liées aux déplacements domiciles-travail** (60 tCO₂eq). Ce levier d'action intéresse tout particulièrement les étudiant-es qui sont les plus confronté-es au problème de saturation des tramways aux heures de pointe. Outre le gain carbone, la mise en place de ce levier d'action permettrait de considérablement **améliorer le confort** des étudiant-es et permanent-es qui commencent à travailler à 8h et prennent les transports en commun.

LIMITES

Il peut toutefois être bon de noter que ce levier d'action est confronté à une autre contrainte : **le manque de salles de cours disponibles**. Par exemple, ne plus utiliser le créneau 8h-10h pourrait techniquement ne pas être possible en l'état si le même nombre d'heures de cours restait inchangé. Par contre, **décaler le début des cours de 20 à 30 minutes** pourrait être plus facile à mettre en œuvre compte tenu de cette contrainte.

Etant donné les gains carbone estimés, il peut être pertinent de lancer une **concertation** entre les étudiant-es et personnels pour essayer de satisfaire l'ensemble des parties prenantes, tout en respectant les contraintes d'espaces disponibles.

AMELIORATION DES DESERTES DES LIGNES DE TRANSPORTS EN COMMUN EN ACCORD AVEC LA SEMITAN ET NANTES METROPOLE

En ce qui concerne les personnels, il semblerait que la principale limite à l'utilisation des transports en commun soit le fait qu'il n'existe pas de **ligne directe entre le domicile des permanent-es et l'ECN** (32 %). Ce pourcentage est deux fois moins élevé chez les étudiant-es qui habitent majoritairement autour de l'ECN et en centre-ville, où le réseau de transports en commun est plus dense que dans la périphérie (voir partie 3.2.6).

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

L'ECN pourrait discuter avec la SEMITAN et Nantes Métropole pour que les **lignes de bus** soient plus directes pour ses étudiant-es et personnels.

ESTIMATION DES RÉDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

L'investissement humain peut être relativement important et il ne doit pas être sous-estimé

L'estimation réalisée pour calculer les réductions permises par le levier est détaillée ci-dessous.

Tableau 74 : Estimation des réductions des émissions de GES permises par une amélioration des dessertes des lignes de transports en commun

Pourcentage d'étudiant-es concerné-es	Pourcentage de permanent-es concerné-es	Gain carbone total (tCO ₂ eq)	Gain carbone par rapport aux déplacements pendulaires (%)
10	25	142	24

Le gain de 142 tCO₂eq, correspondant à une **réduction de 24% des émissions de GES des déplacements domicile-travail**, serait permis par la mise en place de lignes de transports en commun plus directes. Ce gain est attribuable, pour 85 %, aux permanent-es, ces dernier-es habitant en moyenne à 16,5 km de l'ECN.

LIMITES

La distance, par rapport à l'ECN, à laquelle les permanent-es habitent peut, en tout cas sur le court terme, remettre en question la faisabilité de ce levier d'action. Il s'agit d'un levier d'action qui peut s'avérer **long et complexe à mettre en place**.

De plus, pour qu'un gain carbone existe effectivement à l'échelle de la métropole, il est nécessaire qu'une **concertation entre l'ensemble des personnes interagissant avec le campus Tertre** et pas uniquement les permanent-es de l'ECN intéressé-es par un changement ou un ajout de lignes de transports en commun. Etant donné le gain carbone estimé (142 tCO₂eq), il peut néanmoins être pertinent d'étudier plus en détails la question en sondant plus précisément les besoins des étudiant-es et permanent-es.

CONCLUSION INTERMEDIAIRE SUR L'INCITATION A L'UTILISATION DES TRANSPORTS EN COMMUN

Le tableau ci-dessous récapitule les chiffrages des réductions en termes d'impact carbone et parfois les estimations des coûts humains et financiers des différentes préconisations.

Tableau 75 : récapitulatif des estimations de réduction en termes d'impact carbone et du coût associé pour les différents leviers d'action incitant à l'utilisation des transports en commun

TRANSPORTS EN COMMUN						
N°de levier d'action	Levier d'action	% d'étudiant-es concerné-es	% de permanent-es concerné-es	Gain carbone (tCO ₂ eq)	% de réduction dplts pendulaires	Autres chiffrages (humain, financier...)
1	Politique d'horaires différés	18	10	60	10	Investissement humain sur le court terme
2	Lignes plus directes	10	25	142	24	Investissement humain sur le moyen et long terme

Ces deux leviers d'action présentent des gains carbone très intéressants. Toutefois, leur mise en place peut s'avérer compliquée pour les deux leviers d'action : le premier du fait de l'**acceptabilité de la mesure** de la part des permanent-es ainsi que de la **faisabilité technique** ; le deuxième du fait de sa **complexité**.

D'autres leviers d'action pourraient être envisagés pour inciter les usager-es à emprunter les transports en commun. Ces leviers ne seront pas détaillés davantage mais certains peuvent être cités.

L'incitation financière à l'utilisation des **transports en commun** et services publics de **location de vélo** pourrait être plus forte et **prise en charge au-delà des 50% obligatoires** prévus par la loi.

Afin de sensibiliser les usager-es, un **point d'information** sur le réseau et les tarifs pourrait être installé **sur le campus**, par exemple au niveau de l'accueil de l'ECN.

Des "**navettes d'entreprise**" propres à l'ECN ou au campus du Tertre dans son ensemble pourraient être créées et mises en place.

A défaut, si le manque de transports en commun est trop marqué dans certaines zones, favoriser le covoiturage semble être un compromis acceptable.

ORGANISATION DE RENCONTRES ENTRE LES PERMANENT-ES TRAVAILLANT AU TERTRE POUR FAVORISER LE COVOITURAGE

Près de la moitié des permanent-es considèrent que les **contraintes extérieures** (horaires de travail, vie de famille ...) sont la principale limite à la pratique du covoiturage. Un quart des répondant-es seraient intéressé-es de faire davantage de covoiturage s'i-els trouvaient des covoitureur-euses (voir partie 3.2.6). *A priori*, seule la rencontre entre différentes personnes qui pourraient covoiturer ensemble amènerait à ce qu'ils synchronisent leurs emplois du temps. Autrement, l'ECN a peu de leviers d'action pour résoudre cette problématique.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

L'ECN pourrait **organiser des rencontres** sous diverses formes entre les personnels travaillant au Tertre ; élargir à **l'ensemble du campus Tertre** permettrait en effet d'augmenter la probabilité, pour une personne de l'ECN, de rencontrer quelqu'un avec qui covoiturer.

L'ECN pourrait promouvoir une **plateforme de covoiturage en ligne** comme OUESTGO. Une telle plateforme permet de créer des communautés de personnes travaillant proches les uns des autres. D'autres plateformes existent comme par exemple Blablalines mais aussi ID Vroom, Wayz'up, Karoos, Mobicoop, Koolicar, OuiHop, Less, Ridygo, COVIVO, Roulez Malin, Instant System, RezoPouce... Il pourrait même être envisagé d'en créer une nouvelle, spécifique au campus du Tertre.

L'ECN pourrait organiser des **rencontres physiques**, à travers des **ateliers participatifs**. Il pourrait par exemple être imaginé un atelier au cours duquel chaque personne présente serait invitée à inscrire sur une carte en papier l'endroit où elle habite et son moyen de locomotion. Ainsi, chacun pourrait directement rencontrer et discuter avec les personnes qui habitent dans la même zone géographique. La probabilité pour que, après cet atelier, les personnes se mettent effectivement à covoiturer est plus importante que si un système de carte interactive complétée par géolocalisation était employé (bien

que les deux systèmes ne soient pas incompatibles). En effet, la rencontre directe permet d'établir beaucoup plus rapidement une **relation de confiance entre les personnes**.

Il est à noter que des entreprises du réseau des "Dirigeants Responsables de l'Ouest" (DRO) utilisent ce système. Les entreprises membres du réseau se sont ainsi concertées pour **modifier leurs horaires de travail, de façon à faciliter le covoiturage**¹.

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

L'organisation d'un atelier participatif sur le covoiturage pourrait être, par exemple, l'objet d'un **travail étudiant** en cours de "sciences de l'entreprise" concernant par exemple la gestion des parties prenantes.

Si cela est effectivement le cas, un **soutien de la part de l'ECN** serait nécessaire pour que ce groupe d'étudiant-es puissent facilement et légitimement contacter les autres écoles et universités du Tertre. Le coût financier de l'organisation d'un tel atelier serait alors faible pour l'ECN.

L'estimation réalisée pour calculer les réductions permises par le levier est détaillée ci-dessous.

Tableau 76 : Estimation des réductions des émissions de GES permises par l'organisation de rencontres entre les permanents

COVOITURAGE				
Levier d'action	% de permanent·es concerné·es	Gain carbone (tCO₂eq)	% de réduction d'pts pendulaires	Autres chiffrages (humain, financier...)
Rencontres entre les personnels du Tertre	6	29	5	Nul s'il s'agit d'un projet étudiant

D'après le sondage, 29 tCO₂eq seraient ainsi évitées, ce qui correspond à une **réduction de 5 % du poste "déplacement pendulaires"** (Tableau 76).

Le gain est relativement important et le prix carbone peut également l'être s'il s'agit d'un projet étudiant. Ce levier d'action est également intéressant car il permettrait de **créer du lien entre les différents permanent·es** travaillant sur le campus Tertre. De nouvelles synergies et de nouveaux partages pourraient naître d'un tel échange.

LIMITES

Quand bien même l'action aurait des impacts positifs sur le court et moyen termes, il est possible que la dynamique établie s'essouffle et perde progressivement en intensité.

De plus, ce genre d'événements devrait avoir lieu, *a minima*, tous les ans en début d'année scolaire, de manière à **inclure les nouvelles personnes** qui travailleraient au campus Tertre et à **conserver une dynamique**.

¹ Le réseau des Dirigeants Responsables de l'Ouest a identifié "11 chantiers d'avenir". Le chantier n°4 nommé "Horaires et mobilité des personnes et des biens" est piloté par l'entreprise Saunier Duval

REORGANISATION DU PARKING AUTOMOBILE

D'après le Schéma Pluriannuel de Stratégie Immobilière 2019, les parkings de l'ECN comptent *a priori* 528 places pour environ 2500 personnes présentes sur le campus.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Il serait possible de favoriser l'utilisation de transports alternatifs à l'automobile par différents biais et notamment une réorganisation du parking automobile. Il pourrait par exemple être envisagé de **diminuer le nombre de places de parkings** (voir « Transformation des surfaces de parkings en espaces verts »).

Une autre mesure incitative serait de **réserver les places de stationnement les plus proches des bâtiments aux covoitureur·ses**. Le respect de cette mesure ne serait pas contrôlé, autrement dit il ne serait pas vérifié que les personnes qui se garent à ces places ont effectivement fait du covoiturage, mais reposerait sur une notion de **confiance**.

LIMITES

Le fait de réserver certaines places aux covoitureur·ses ne demande pas beaucoup de travail mais ses bénéfices en termes d'émissions de GES évitées seront également faibles. Toutefois, ce **levier d'action symbolique** montrera que l'ECN soutient les initiatives liées à la pratique du covoiturage.

Basée sur la confiance et non sur un contrôle régulier, il n'est pas certain que cette mesure soit respectée.

SENSIBILISATION ET RENSEIGNEMENT DES USAGER·ES

Un autre moyen de favoriser le changement d'habitude est de sensibiliser et renseigner les usager·es de ce qui existe.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Ce renseignement peut se faire par plusieurs biais.

Le premier serait de proposer des **séances de conseils en mobilité** pour une réorganisation sur mesure des trajets de chacun·e, bien que cela demande un investissement temporel important.

Au sein du **site intranet** de l'ECN, une rubrique pourrait être réservée au « développement durable » à l'ECN et afficher tous les renseignements sur les transports en commun (informations sur le réseau, les tarifs...), les possibilités de location de vélo (Bicloo, Vélocampus), les équipements dédiés au vélo existants à l'ECN (douches, garages...), une carte interactive pour le covoiturage, etc.

LIMITES

Le gain carbone de ces propositions est difficilement chiffrable. Celles-ci pourraient néanmoins être complémentaires d'autres mesures prises par ailleurs.

CONCLUSION

Les leviers d'action qui traitent des déplacements pendulaires sont variés et pourraient *a priori* convenir à une majorité d'étudiant·e et de personnels de l'ECN.

Une **étude plus complète** sera toutefois parfois nécessaire avant la mise en place de certains leviers d'action – notamment pour ceux qui requièrent un investissement humain et financier important.

Leviers pour les déplacements des permanent-es et des personnes extérieures

L'analyse des déplacements des permanent-es et des personnes extérieures à l'ECN a mis en évidence de **grandes différences en termes d'émissions de GES par personne** : 18 personnes sur 203 sont responsables de 50% de l'impact carbone de ce poste d'émissions (comme expliqué dans la partie résultats, pour cette catégorie les données concernaient 203 personnes). Elle a également mis en lumière de **grandes disparités entre les modes de transport** avec une émission moyenne de GES par kilomètre parcouru 37 fois plus élevée pour l'avion que pour le train, et avec 92 % du kilométrage total effectué en avion.

Les déplacements professionnels sont très importants pour l'ECN. I-els permettent aux permanent-es d'avoir des relations dans le monde entier. Le monde de la recherche est un milieu dans lequel **la collaboration entre pairs occupe une place très importante dans le travail des scientifiques**. L'axiome selon lequel la collaboration a un impact positif sur la recherche n'est jamais questionné [Lee, 2005]. L'étude "The impact of Research Collaboration on Scientific Productivity" de S. Lee montre un lien fort et significatif entre le nombre de collaborateur-rices et le nombre d'articles de journaux évalués par des pairs. Malgré cela, elle stipule que démontrer que cette collaboration a un impact positif n'est pas évident.

En supposant cet axiome vrai, certaines personnes estiment qu'il est indispensable de **voyager souvent afin d'entretenir ces collaborations**. Cependant, au vu de l'impact fort et croissant du voyage, surtout celui en avion, **certain-es chercheur-ses remettent en question ces pratiques**, à l'image de Labos 1point5¹. De plus, **il semblerait que les voyages en avion aient une influence limitée sur la réussite professionnelle** [Wynes, 2019]. Les chercheur-ses peuvent alors soit considérer qu'au regard de l'impact positif de leur recherche (voir « Impact de la recherche ») i-els peuvent (ou doivent) continuer à voyager autant, soit considérer qu'en tant que scientifiques, i-els ont assimilé la menace du changement climatique et doivent montrer la voie en restant cohérent-es entre leur discours et leurs agissements.

Il en est de même pour les membres de la direction. La Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC) propose d' "enrichir et partager une culture du « bas-carbone »" [Ministère de la Transition Écologique et Solidaire, 2020]. Une façon cohérente d'appliquer cette orientation serait de **montrer l'exemple**. Il convient à chacun-e de réfléchir à l'impact de ses choix.

ÉTABLISSEMENT UN BUDGET CARBONE LIÉ AU DÉPLACEMENTS AU NIVEAU DE L'ÉCOLE

PLAN D'ACTION POUR LA RÉDUCTION

Pour répondre à la nécessité de réduire les émissions de GES liées aux déplacements des permanent-es et doctorant-es, l'ECN peut décider d'instaurer un budget carbone à l'échelle de l'école, à respecter chaque année. Ce budget pourrait par exemple être aligné avec les objectifs de réduction des émissions de GES de la SNBC, qui fixent une réduction de **-30 % à l'horizon 2030 (par rapport à 2015)**

¹ Labos 1point5 est un collectif de membres du monde académique, de toutes disciplines et sur tout le territoire, partageant un objectif commun : mieux comprendre et réduire l'impact des activités de recherche scientifique sur l'environnement, en particulier sur le climat.

dans le secteur des transports [Ministère de la Transition Écologique et Solidaire, 2020]. Pour inciter l'ECN à respecter ce budget, elle pourrait instaurer un **“tarif de dépassement” en €/tCO₂eq**. Un tarif fixé, par exemple, à 40 €/tCO₂eq, serait alors fixé. Ce tarif est le tarif courant dans les entreprises qui appliquent cette méthode [Ministère de la transition Écologique et Solidaire, 2018] (voir « Instauration d'un budget carbone » page 255). La somme récupérée via le tarif de dépassement pourra être **investie dans des projets liés à la transition écologique**.

Ce budget carbone pourra être respecté en suivant un plan d'action, qui préconise de réduire le nombre de trajets en avion.

L'impact du train est négligeable devant celui de l'avion, notamment car le facteur d'émissions du train est bien plus faible : $5,6 \cdot 10^{-3}$ kgCO₂eq/passager.km¹ contre plus de $2 \cdot 10^{-1}$ kgCO₂eq/passager.km pour l'avion.

Les émissions importantes de l'avion ne sont pas uniquement dues au facteur d'émissions élevé, mais aussi au **kilométrage total très élevé**. En effet, 92 % du kilométrage total est effectué en avion, notamment parce que l'avion permet de réaliser de grandes distances en peu de temps. Il apparaît donc nécessaire de combiner deux mesures afin de respecter le budget carbone : **la réduction de la proportion relative des trajets en avion** (i.e. l'augmentation de la part modale des trajets en train) et **la réduction du nombre de trajets total**.

Le plan d'action se divise en trois étapes successives, chaque étape allant plus loin dans la réduction des trajets en avion, et donc dans la difficulté de mise en place, notamment au niveau de l'**acceptabilité sociale**. Ces étapes pourraient être mise en place progressivement, à mesure que le budget carbone diminuerait.

Ces trois étapes sont les suivantes :

- Etape 1 : l'ensemble des trajets de moins de 500 km sont effectués en train.
- Etape 2 : l'ensemble des trajets de moins de 1 000 km sont effectués en train.
- Etape 3 : l'ensemble des trajets de moins de 1 000 km sont effectués en train, une partie des trajets compris entre 1 000 et 2 000 km est effectuée en train et une partie des trajets de plus de 1 000 km est supprimée.

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

Seul l'impact de la troisième étape du plan d'action sera détaillé ; les réductions permises par chaque étape seront néanmoins inscrites dans le Tableau 77.

La troisième étape du plan d'action répond à la nécessité de réduire le nombre de trajets en avion, car 80 % des trajets en avion font plus de 1 000 km.

Pour l'estimation de ce levier, plusieurs hypothèses ont été considérées. Il a été supposé que l'ensemble des trajets de moins de 1 000 km sont effectués en train. Le nombre de trajets de 1 000 à 2 000 km et de plus de 2 000 km a été réduit de 25 % ; de plus, 25 % des trajets en avion compris entre 1 000 et 2 000 km sont remplacés par des trajets en train.

¹ FE Train grandes lignes de l'ADEME

L'impact d'une telle mesure sur le nombre de trajets et le nombre de kilomètres parcourus est présenté ci-dessous.

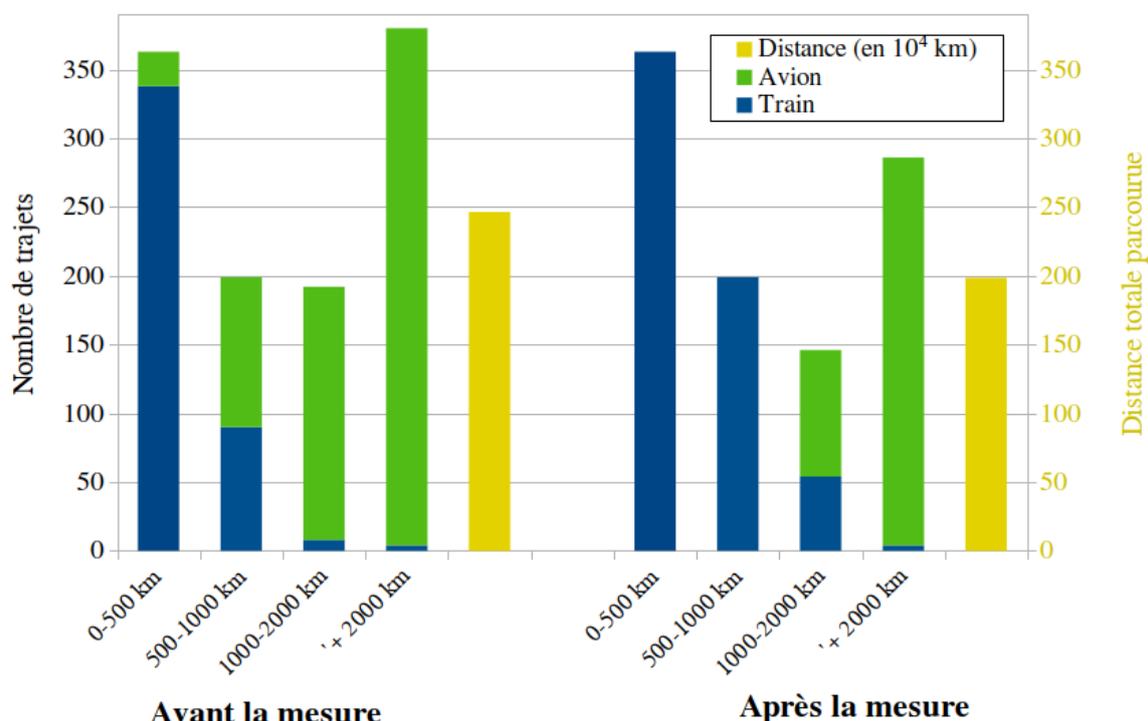


Figure 87 : Impact de la mesure sur le nombre de trajets et sur le nombre de kilomètres parcourus

La figure ci-dessus montre que le nombre de trajets total a diminué de 12 % et la distance totale parcourue est réduite de 20 %. L'impact sur la mobilité des permanent-es reste donc faible.

En revanche, l'impact sur le BC est important : cette mesure permet **un gain carbone de 214 tCO₂eq, soit 46 % de ce poste** (Tableau 77) **et 4 % du Bilan Carbone total**. Le rapport entre la réduction d'impact carbone et la difficulté de mise en place est donc avantageux.

Tableau 77 : Impact des différentes étapes sur le BC

	Etape 1	Etape 2	Etape 3
Gain (tCO₂eq)	13	80	214
Pourcentage de réduction de l'impact lié aux déplacements des permanent-es	3 %	17 %	46 %

Le tableau ci-dessus confirme la nécessité de réduire les trajets en avion afin d'avoir un impact significatif sur le BC et pour respecter un budget carbone restrictif.

Pour aller plus loin, une réduction des trajets de plus de 2 000 km en avion de 50 % (au lieu des 25 % supposés pour l'estimation détaillée) permettrait de réduire les émissions de GES de 73 %, tout en conservant 80 % des trajets.

LIMITES

L'analyse s'est limitée à une comparaison entre le train et à l'avion, en fonction des données fournies ; le levier d'action s'est donc cantonné à ces **deux moyens de transport**.

Une analyse approfondie sur les villes de départ et d'arrivée des déplacements professionnels permettrait de chercher l'ensemble des modes de transport disponibles sur le trajet.

L'**autocar** représente une alternative à l'avion encore peu envisagée, complémentaire au train. Il présente un **tarif réduit et de nombreuses destinations sont accessibles**. Il peut par exemple être intéressant pour les distances comprises entre 1 000 et 2 000 km. L'inconvénient de l'autocar est **la durée souvent importante du trajet, et un confort réduit par rapport au train**.

L'application de ce levier engendre une variation de coût du déplacement des permanent-es pour l'ECN qu'il conviendrait d'estimer plus précisément. L'**augmentation du nombre de trajets en train** peut engendrer un **surcoût**, tandis que la **diminution du nombre de trajets en avion**, notamment sur les trajets de plus de 2 000 km conduirait à une **diminution des coûts**.

Il peut cependant être supposé que l'ECN gagnerait plus d'argent en s'astreignant à respecter un budget carbone, et donc en diminuant le nombre de trajets en avion, plutôt qu'en ne le respectant pas.

ÉTABLISSEMENT UN BUDGET CARBONE

LIE AUX DEPLACEMENTS PAR LABORATOIRE ET PAR SERVICE

Le levier d'action présenté dans cette partie s'appuie sur l'analyse des données de déplacements professionnels par permanent-e ou doctorant-e (voir « Déplacements des permanent.es et des personnes extérieures » page 125). Parmi les permanent-es, figurent les membres internes des laboratoires et les membres des différents services administratifs.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Partant du constat qu'il existe de grandes disparités entre les personnes au sein de chaque entité et à toutes les échelles (voir partie « Déplacements des permanent.es et des personnes extérieures »), **un budget carbone pourrait être attribué à chaque entité** (service, laboratoire) : il sera égal au produit du nombre de personnes qui la compose avec le budget attribué par personne et par an. Le budget carbone ainsi attribué serait à répartir entre les personnes de manière démocratique au sein de chaque entité, en la laissant **arbitrer elle-même cette répartition**. Cette dernière pourra choisir de favoriser les moyens de transports moins émissifs et donc parcourir davantage de kilomètres, ou parcourir une distance moins grande pour respecter le budget attribué.

L'objectif est de réduire les disparités entre les membres de chaque service. De fait, la Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC) propose dans ses orientations de gouvernance l'assurance une **transition juste pour tous-tes**. Or, il ne semble pas juste de diminuer de la même manière les voyages des personnes émettant 1 tCO₂eq de celles émettant 10 tCO₂eq par an.

Ce levier d'action propose donc une piste aux entités (laboratoires, services) afin de réduire leurs émissions.

CHIFFRAGE

Afin de permettre au plus grand nombre de conserver leur liberté, il a été choisi de calculer **l'impact carbone moyen des 90 % de permanent-es qui émettent le moins**. Cet impact carbone moyen est ensuite multiplié par le nombre de personnes par entité pour donner son budget carbone. Le tableau ci-dessous détaille ainsi les résultats obtenus.

Tableau 78 : Détail des chiffres utilisés pour les calculs, et budget carbone associé à chaque entité

Entité	Moyenne 2019 (en tCO ₂ eq/personne)	Nombre de personnes concernées	Emissions 2019 de l'entité (en tCO ₂ eq)	Budget carbone de l'entité après application du levier d'action (en tCO ₂ eq)
Services administratifs	2,49	21	52	20
LS2N	2,41	31	75	30
GeM	1,34	77	103	73
Jean Leray	1,22	14	17	13
LHEEA	1,07	53	57	51
ICI	0,49	7	3	7

Le respect du budget carbone par entité proposé ci-dessus permettrait de faire en sorte que l'impact moyen lié aux déplacements professionnels passe à **0,95 tCO₂eq/personne/an**. Cet impact moyen est, pour 2019, de **1,89 tCO₂eq/personne/an**.

L'impact total des déplacements professionnels serait donc de 194 tCO₂eq avec le budget carbone suggéré, contre 381 tCO₂eq pour 2019. Cela représente donc **un gain carbone de 188 tCO₂eq**, ce qui correspond à **une réduction de 49 % de l'impact lié aux déplacements professionnels**, soit une réduction de **3,2 % du BC total de l'ECN**.

La Figure 88 permet d'observer l'impact qu'aurait le respect du budget carbone proposé vis-à-vis de la moyenne des émissions de GES par personne actuelle.

La moyenne par laboratoire présentée ne tient pas compte des **personnes extérieures**, contrairement à la moyenne présentée dans la Figure 50.

Il est à noter que le budget carbone de l'ICI est supérieur à ses émissions actuelles, car c'est le seul laboratoire pour lequel la moyenne des émissions est inférieure à 0,95 tCO₂eq/personne/an.

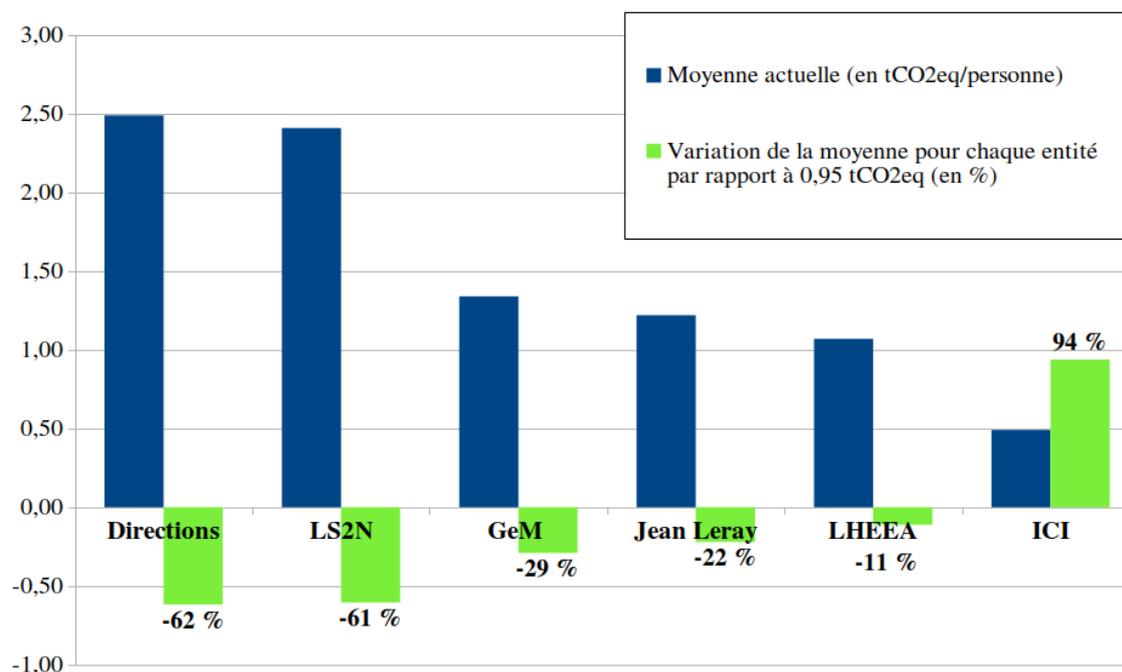


Figure 88 : Moyenne 2019 des émissions de GES par personne au sein de chaque entité et variation relative de cette moyenne par rapport à celle fixée par le budget carbone

LIMITES

Ce levier d'action peut être **une déclinaison du levier précédent** avec l'établissement d'un budget carbone pour l'ECN ; il s'appuie néanmoins sur l'analyse par mode de transport pour limiter l'impact sur le nombre de kilomètres parcourus.

Il pourrait être imaginé une répartition différente du budget total de l'ECN que ce qui est proposé pour l'estimation. Plutôt que répartir uniformément en fonction du nombre de personnes dans chaque entité (laboratoire ou service administratif), il pourrait être envisagé de **répartir le budget carbone en fonction des besoins de chacune des entités**, puisque les missions qui y sont réalisées ne sont pas les mêmes pour toutes.

L'estimation comporte par ailleurs certaines limites.

Les moyennes proposées sont des moyennes par voyageur-se. D'après les données disponibles, **seules 203 personnes sur les plus de 700 permanent-es** (dont doctorant-es) que compte l'ECN sont concernées.

Il est possible que les données soient incomplètes (voir la méthodologie des « Déplacements des permanent-es et des personnes extérieures ») mais il est également probable que la majorité des permanent-es ne voyage pas. Dans les deux cas, l'impact moyen par personne devrait être ajusté.

Si la deuxième hypothèse se vérifie, cela implique que les inégalités sont bien plus importantes que celles soulignées dans l'analyse.

Il est cependant probable que les deux hypothèses soient vraies.

REFLEXION SUR L'UTILITE DES DEPLACEMENTS PROFESSIONNELS¹

Dans le contexte actuel « d'hypermobilité » et d'impact fort du secteur des transports, la première réaction consiste à **questionner l'utilité des déplacements**.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Avant d'accepter un déplacement, plusieurs questions doivent se poser afin de **faire un choix en connaissance de cause** :

- Est-ce que ma présence est requise ? Suis-je indispensable ?
- Est-ce que je peux répondre par la négative à l'invitation ?
- Est-ce que les bénéfices que je retire en assistant à cette conférence, ce séminaire ou cette réunion sont plus grands que les coûts en termes d'impact écologique ? en termes de temps passé à voyager ? en termes de fatigue et stress liés au voyage ?
- Puis-je me rendre à destination en train ou en car ?

LIMITES

Ces questions relèvent d'**une démarche et d'une réflexion individuelle** pour lesquelles les réponses sont subjectives et auxquelles l'ECN peut seulement inciter.

AMELIORATION DE LA PLANIFICATION ET DE LA COMPTABILISATION DES VOYAGES

Dans certains organismes, il existe des outils permettant aux voyageur-ses de prendre en compte l'impact de leur déplacements plus facilement.

Le Laboratoire d'Etudes Spatiales et d'Instrumentation en Astrophysique (LESIA) a par exemple développé un **système de demande de mission sur son système intranet**. Chaque demandeur-se précise le trajet exact et le(s) moyen(s) de transport utilisé(s). **Le Bilan Carbone de la mission est calculé** en direct et les résultats sont stockés pour en faire les analyses statistiques. Les premières analyses portant sur le 2^{ème} semestre de 2019 ont été publiées en interne en janvier 2020. L'outil est utilisé systématiquement pour toute demande de mission, ce qui permet désormais de **suivre l'évolution du Bilan Carbone des missions du laboratoire**.

L'École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) propose à ses permanent-es **un outil** leur permettant de réserver leurs voyages **qui propose différents modes de transport par trajet** (en comparant temps de trajet, émissions de GES et prix du billet)².

Suite à la réalisation de son Bilan Carbone, l'UTC (Université Technologique de Compiègne) est en train de mettre en place **une application web permettant aux usager-es de comparer différents scénarios de réunion**. Ainsi, les utilisateur-rices peuvent choisir un moyen de transport, l'option de la visioconférence ou une option intermédiaire, hybride [Boufflers, 2019]. En tâchant de prendre en compte l'impact du numérique, cette application vise à améliorer la prise de conscience en offrant une vision d'ensemble.

¹ Ce levier d'action s'inspire du guide « *Travel Less Without Loss* » édité par l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne.

² « Un nouvel outil de planification de voyage, à disposition de toute la communauté EPFL, permet de trouver la façon la plus écologique de se déplacer et de compenser les émissions de CO2. » <https://actu.epfl.ch/news/voyagez-plus-vert-4/>

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Dans un premier temps, il serait utile de développer un outil semblable à celui du LESIA. Un tel outil **simplifierait la réalisation du BC**, qui pourra être automatisé, et chaque voyageur-se pourra alors se rendre compte de son impact plus simplement.

Ensuite, une **amélioration de la planification des voyages** pourrait être mise en place, notamment grâce aux analyses détaillées fournies par ledit outil. Cette amélioration permettra d'éviter des allers-retours non nécessaires, de mutualiser des trajets en voiture, et le choix d'un mode de transport pourra prendre en compte plusieurs paramètres dont notamment l'impact écologique.

Cette planification efficace pourrait, par exemple, être réalisée grâce à **un service d'achats centralisé** (voir partie 4.1.7), et ainsi favoriser la création d'un emploi (tout en diminuant les coûts liés à l'externalisation d'un prestataire de voyage). Une deuxième solution pour atteindre ce but consiste en **la création et l'utilisation d'un outil** semblable à celui de l'EPFL ou celui que prévoit de créer l'UTC, équivalent du premier outil cité mais en plus abouti.

LIMITES

La création d'outils demandera beaucoup de **moyens humains et temporels**. Cependant, ce travail pourrait être effectué par des projets étudiant-es ou des contrats étudiant-es. Il pourrait également envisagé de créer un partenariat avec d'autres universités, comme l'UTC pour mutualiser les savoir-faire.

AMENAGEMENT DES SALLES DE VISIOCONFERENCE ET INCITATION A LEUR UTILISATION¹

L'ECN possède déjà des **salles de visioconférences**, mais elles semblent **sous-exploitées**, et compliquées à utiliser. Favoriser la visioconférence permettrait cependant de réduire l'impact des déplacements, notamment ceux de plus de 2 000 km.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Afin de diminuer le nombre de déplacements, l'objectif consisterait donc à rendre les salles de visioconférences **plus accessibles et à encourager leur usage**. Cette incitation pourrait notamment passer par **l'élaboration d'un guide**. Ce guide viserait à se poser deux questions avant de prévoir un déplacement pour vérifier si le recours à la visioconférence est possible :

- Est-ce que l'échange requiert une communication en face à face ?
- Est-ce qu'il est possible de mener ou d'assister à cette réunion à distance ?

Si les réponses à ces questions sont positives et que les personnes concernées savent qu'elles peuvent avoir accès à une salle de visioconférence de manière simple à travers le guide, cela pourrait les inciter à les utiliser davantage.

LIMITES

Si les salles venaient à être trop utilisées, il faudrait alors investir pour **acheter de nouveaux équipements**.

¹ Ce levier d'action s'inspire du guide « *Travel Less Without Loss* » édité par l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne.

Cependant, il est possible que les voyages évités compensent les investissements carbone et financier réalisés. Il conviendrait de chiffrer cette affirmation grâce à une étude approfondie avant d'investir dans de nouvelles salles équipées.

CONCLUSION

Comme pour les autres types de déplacements, la priorité reste de diminuer le nombre de trajets et la distance parcourue en avion par les permanent-es de l'ECN. Pour cela, des **changements individuels** peuvent être opérés mais ils resteront probablement peu efficaces pour réduire l'impact carbone de ce poste d'émissions s'ils ne sont pas accompagnés par un **engagement et un accompagnement fort de la part de l'ECN** tel que l'instauration d'un budget carbone par laboratoire et par service.

Leviers pour les déplacements liés aux forums prépas

Ainsi que précisé dans l'analyse (voir « Déplacements liés aux forums prépas »), un quart des étudiant-es qui ont participé à leur forum prépa en 2018 y sont allés en avion : cela correspond à plus de 80% des émissions carbone liées au transport des forums prépa.

Le train, en revanche, a été le mode de transport privilégié par la moitié des étudiant-es et représente uniquement 2% des émissions ; l'utilisation de la voiture, en covoiturage, concerne le quart restant des étudiant-es et 16% des émissions.

EVOLUTION DES REMBOURSEMENTS LIES AU FORUM PREPA

L'ECN rembourse actuellement les trajets des étudiant-es selon des prix établis par ville de destination et par moyen de transport dans une **grille tarifaire**¹.

Pour les trajets en **voiture**, l'ECN ne rembourse que **la moitié du prix du trajet** défini dans la grille, incitant ainsi les étudiant-es à faire du covoiturage à au moins trois personnes. L'ECN considère que chacun-e des deux passager-es paient un quart du prix du trajet.

Les trajets en **avion** et en **train** sont **payés intégralement** sur la base des prix définis dans la grille tarifaire et qui correspondent à des billets pris 3 semaines en avance.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Il paraît nécessaire de faire évoluer le remboursement du forum prépa, de manière à inciter les étudiant-es à choisir des moyens de locomotions moins carbonés. L'ECN pourrait par exemple **rembourser les trajets en train et en bus sans condition**.

Pour inciter la pratique du covoiturage à trois personnes plutôt que deux, le prix des trajets en voiture pourrait être divisé par trois et non par deux.

Les trajets en avion pourraient n'être remboursés que si le trajet en train ou en voiture dépasse les sept heures. Cela inciterait les étudiant-es qui ont fait par exemple leur classe préparatoire à Strasbourg, Marseille, Lyon ou Montpellier à choisir des moyens de transport moins carbonés.

¹ Grille accessible via le lien suivant : <https://etudiant.ec-nantes.fr/paliers-de-remboursement-2019-2020-260445.kjsp?RH=1518440289565>

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

Pour cette estimation, il a été supposé que tous-tes les étudiant-es pour lequel-les le forum prépa se situe à Lyon, Marseille, Montpellier et Strasbourg choisissent désormais le train comme moyen de transport ; les élèves qui ont étudiés à Toulouse choisissent la voiture (et font du covoiturage à trois). Les autres ne changent pas leur moyen de transport.

Il a également été supposé que les effectifs dans chacune des villes ne variaient pas d'une année sur l'autre.

L'estimation des réductions permises par le levier est détaillée ci-dessous, en fonction de la ville où est organisé le forum prépa.

Tableau 79 : Estimation de l'impact du changement d'utilisation des modes de transport pour se rendre aux forums prépa

Villes de destination	Émissions carbone par personne avant préconisation (kgCO ₂ eq)	Émissions carbone par personne après préconisation (kgCO ₂ eq)	Réduction de l'impact carbone permis par le levier à effectif égal (kgCO ₂ eq)
Toulouse	288,38	50,7	1426
Lyon	319,41	6,21	1879
Marseille	431,17	4,14387	2135
Montpellier	366,45	4,77117	1085
Nice	489,36	489,36	0
Strasbourg	440,08	6,34	867

Avec cette estimation, un évitement de 7 tCO₂eq serait atteint. Cela correspond à **une réduction de 49% des émissions carbone des transports liés aux forums prépa.**

En utilisant la moyenne des prix des transports payés par l'ECN en 2018, cette préconisation pourrait **coûter de l'ordre de 400 € à l'ECN.**

LIMITES

Pour réaliser l'estimation, il a été supposé qu'une limite de sept heures de trajet hors avion pouvait être fixée avant de justifier le remboursement de l'avion. Cette limite est à discuter. Des **dérogations** pour les personnes qui habitent à moins de sept heures en train, bus ou voiture mais pour lequel-les les horaires sont difficilement adaptables avec le forum prépa pourraient être envisagées.

Etant donné que **les prix des trajets en avion, bus et train fluctuent beaucoup**, le chiffrage financier est à prendre avec précaution. Des exemples de prix de billets ont été utilisés pour l'estimation mais sont amenés à évoluer.

4.1.7 Leviers pour l'impact carbone des autres produits et services

D'après l'article L228-4 du code de l'environnement [LégiFrance, 2018], « la commande publique tient compte notamment de la performance environnementale des produits, en particulier de leur caractère biosourcé ». Ainsi, la prise en compte des enjeux environnementaux et sociaux devient primordiale dans le cadre des achats et de l'utilisation des produits et services. D'après le plan national d'actions pour les achats publics durables, il était attendu dès 2020 que 30 % des marchés publics comportent une disposition environnementale et 25 % une disposition sociale, sachant que 100 % des marchés devraient réaliser une analyse approfondie permettant de prendre en compte les objectifs du développement durable. La prise en compte des produits et services sur l'intégralité de leur cycle de vie (ressources, écoconception, fin de vie, etc.) devrait augmenter.

Concernant les déchets, il est attendu nationalement [Ministère de la Transition Écologique et Solidaire, 2020] une réduction des émissions de GES associées de 35 % entre 2015 et 2030, et de 66 % en 2050 par rapport à 2015. Pour cela, diverses actions devront être mises en place : incitation à la réduction, amélioration de la collecte et de la gestion, changement dans les modes de consommation (achat de produits éco-conçus, biosourcés, de seconde main, réparables, recyclables, etc.), favorisation de la réparation, exemplarité des services publics, limitation des emballages... Pour suivre la mise en place de ces actions, divers indicateurs pourront être proposés :

- Volume annuel de déchets par personne,
- Bilan des ressources consommées (empreinte de matière),
- Émissions de GES associées,
- Répartition des déchets (réutilisation, recyclage, valorisation ou enfouissement).

Leviers pour les achats de produits et services

Il est important d'avoir une **approche critique du BC calculé dans cette catégorie**. La méthode de calcul (voir « Calcul de l'impact carbone des autres produits et services ») fait appel, en grande partie, à des **ratios monétaires** issus de la Base Carbone ADEME. Les **limites** liées à l'utilisation de ces ratios sont exposées dans la partie « Limites des ratios monétaires ».

Le recours au ratio monétaire a été adopté par **manque d'information sur la nature des produits achetés et des prestations faites**. Cela pourrait faire l'objet d'une amélioration future, compliquée par la gestion actuelle : **la majorité des achats se font de manière très dispersée au sein des services et laboratoires de l'ECN**.

De l'analyse et de la critique des résultats et notamment de celle de l'utilisation de ratios monétaires, deux choses importantes peuvent être tirées.

La **comptabilité carbone doit être améliorée**, et chaque achat doit avoir un impact lié à ses émissions réelles, et non basé sur des moyennes du type d'achat correspondant.

Une préférence envers les biens de meilleure qualité par rapport à une diminution de la quantité est souvent préférable. De manière générale, il faut **insister sur une meilleure intégration des impacts environnementaux dans les décisions d'achats**.

Deux leviers d'action relatifs à une **centralisation des achats à travers la création d'un service spécialisé** seront proposés pour agir aisément sur les deux points soulevés. La réduction de l'impact carbone des achats au sein de ce service sera réalisée grâce à un plan d'action. Ce dernier pourra être imaginé avec **deux degrés d'implication** différents : une implication modérée ou une implication forte ; d'où la proposition de deux leviers d'action.

CREATION D'UN SERVICE D'ACHATS CENTRAL, A IMPLICATION MODEREE

Ce service, comprenant trois ou quatre personnes, s'occuperait de **réaliser tous les achats de biens et services** : matériel, informatique, billets de transport pour les déplacements des permanents, choix de prestataires, etc.

Regrouper les achats au sein de ce service permettrait de **former les personnes qui passent les commandes aux enjeux environnementaux, et aux impacts de leurs choix**. Il est en effet plus aisé de former peu de personnes, regroupées dans un service que de former toutes les personnes susceptibles de passer commandes dans l'établissement.

Cela permettrait également de **prendre davantage le temps pour comparer plusieurs solutions**. Si actuellement, les agent-es des services et des laboratoires prennent sur leur temps de travail pour faire les commandes, leur demander de mesurer l'impact de leur commande leur demandera un temps supplémentaire. Les délester de cette tâche leur libérera ainsi du temps pour le reste de leurs missions.

Enfin, avoir un service d'achat centralisé permettrait de **calculer correctement le BC de l'ECN**. Si le personnel de ce service est formé à estimer le coût carbone d'une commande, le calcul de ce poste, qui est, en réalité, probablement le plus émetteur de l'ECN, en serait facilité. La prise en compte de l'impact intégrerait de plus le découplage entre coût et impact énoncé précédemment, qui est masqué par l'utilisation de ratios monétaires.

Il est à noter qu'une prise de conscience de tous-tes les acteur-ices de l'ECN sur l'impact des produits et services n'est pas équivalente à la prise de conscience d'un service central. Un **travail pédagogique** est tout de même à effectuer pour expliquer à chacun-e pourquoi cette modification a lieu, et une **transparence** est nécessaire pour que chacun-e puisse prendre conscience de l'importance de réduire ce poste d'émissions.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

La mise en place d'un service dédié aux achats et la comptabilisation précise du BC ne **réduirait que marginalement le BC** du poste, mais serait déjà un pas en avant considérable pour permettre son amélioration.

Ce service pourrait avoir **différentes missions**, qui auraient toutes un impact : achat des titres de transport pour les déplacements professionnels des permanent-es et amélioration des prestations de service.

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

Une estimation des réductions permises par le levier a été effectuée pour chacune des missions imaginées d'un potentiel service achat.

GESTION DES ACHATS DE TITRES DE TRANSPORT

Les enseignant-es-chercheur-ses et permanent-es sont souvent amené-es à voyager dans le cadre de leurs missions, et l'impact de ces trajets représente un potentiel d'amélioration certain, ainsi que détaillé dans la partie « Leviers pour les déplacements des permanent.es et des personnes extérieures ». Deux leviers principaux peuvent être rappelés.

Les voyages en avion pourraient être remplacés par des voyages en train lorsque c'est possible (c'est-à-dire pour l'Europe proche). Si 10 % des vols (380 tCO₂eq) sont remplacés par du ferroviaire, près de 38 tCO₂eq peuvent être évitées.

Les trajets en avion pourraient être optimisés. Il arrive en effet que certaines personnes aient à faire des trajets plusieurs fois dans la semaine, de Nantes à une même région. Par exemple, pour un trajet jusqu'à Montpellier suivi d'un trajet jusqu'à Toulouse, actuellement, entre les deux voyages, la personne qui se déplace retourne à Nantes. Prendre une ou deux nuitées d'hôtel entre les destinations simplifierait les voyages, coûterait parfois moins cher, et aurait un impact moindre. De plus, diminuer le taux de voyages serait probablement bénéfique sur la fatigue des agent-es, et représenterait un gain de temps sur leurs autres missions. En considérant que 5 % des trajets d'avion peuvent ainsi être évités, le BC est réduit de 19tCO₂eq supplémentaires.

Ces améliorations ne se répercuteraient pas sur le critère du BC "Achat de Produits et Services" mais sur celui des déplacements professionnels.

AMELIORATION LEGERE DES PRESTATIONS DE SERVICE

Inviter les prestataires de l'ECN à prendre en compte les impacts environnementaux dans les services qu'ils offrent peut agir sur beaucoup d'aspects du BC. Des prestataires sont appelés pour la gestion des déchets, des espaces verts, les buffets des réceptions, les aménagements immobiliers.

Une action, via une sollicitation des prestataires, modérée pourrait permettre de viser une réduction de 10 % de l'impact lié aux prestations fournies, ce qui représenterait une diminution d'environ 8tCO₂eq.

CONCLUSION

Au total, ces mesures permettraient de diminuer les émissions d'environ **60 tCO₂eq**. Cela représente **1% du BC total 2018** (5 683 tCO₂eq), ou **5% du BC du poste Achats de produits et de services** (1 200 tCO₂eq).

LIMITES

Les **hypothèses de chiffrages** proviennent d'une estimation et non d'une source fiable. Une étude statistique plus poussée est nécessaire pour affiner les chiffres avancés.

Des **moyens humains** seront à apporter pour réaliser ce levier d'action.

Comme rappelé précédemment, une implication modérée permet principalement de **mieux comprendre les émissions de GES dues aux achats** de produits et services mais ne conduit pas à une réduction forte du BC de l'ECN.

CREATION D'UN SERVICE D'ACHAT CENTRAL, A IMPLICATION FORTE

Ce levier d'action se place dans le même cadre que le précédent ci-dessus (voir « Création d'un service d'achats central, à implication modérée »).

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Une implication plus importante, à travers le service achat, de la part de l'ECN pour diminuer son impact mènerait à des **changements plus significatifs**.

Les deux missions du service achat proposées pour l'estimation précédente restent inchangées : gestion de l'achat des titres de transport pour les déplacements professionnels des permanents, amélioration des prestations de service auxquelles a recours l'ECN. Une autre mission a été ajoutée, pour mener une **politique d'achats durcie** : la gestion de l'achat de matériel informatique pour favoriser la durabilité.

Le durcissement de la politique pourrait être effectué à travers l'**instauration d'un budget carbone total lié aux achats** de produits et services pour l'ECN, à respecter.

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

De même que précédemment, l'estimation a été découpée en plusieurs parties, en fonction de chacune des missions supposées du service achat.

GESTION DES ACHATS DE TITRES DE TRANSPORTS

Le service achat pourrait réduire davantage l'impact carbone lié aux déplacements des permanent-es.

Pour l'estimation, il a été considéré que le service achat impose **un remplacement de 40% des voyages en avion en Europe par des voyages en train**, ce qui conduit à une réduction de 152 tCO₂eq.

L'évitement plus systématique des trajets peu optimisés permettrait de supprimer 15 % des trajets, ce qui permet de réduire le BC de 57 tCO₂eq supplémentaires

AMELIORATION DES PRESTATIONS DE SERVICE

Si la réduction du Bilan Carbone est placée en point essentiel du cahier des charges du prestataire, une plus grande réduction peut être attendue. Cela peut passer par la **suppression des produits carnés aux buffets de réception**, ou par une **gestion plus durable des espaces verts** (avec des espaces de friche ou des haies par exemple) par exemple.

Il a été imaginé qu'un investissement fort auprès des prestataires permettrait de réduire de 20 % l'impact des prestations, ce qui permet d'obtenir une diminution de 17 tCO₂eq.

ACHAT DE MATERIEL INFORMATIQUE DURABLE

Comme exposé précédemment, un gain peut être réalisé en accordant plus d'importance à **la qualité du matériel** choisi. En informatique notamment, favoriser des achats de matériel réparable, où chaque composant peut être remplacé, prolongera leur durée de vie. De plus, si les ordinateurs sont réparables, i-els sont également davantage configurables, et donc plus adaptés à l'utilisation qui en sera faite. Un choix de fournisseur de composants plus responsable, dans une industrie hautement polluante, peut permettre de mieux contrôler l'impact du matériel. Si, avec tout cela, **la durée de vie moyenne d'un équipement à l'ECN est doublée**, une réduction, à termes de 6 tCO₂eq peut être atteinte. Cette

diminution est considérée à long terme (avec prise en compte d'un facteur d'amortissement), et à besoin constant.

Cette réduction ne prend pas en compte l'impact du numérique ; la réduction de celui-ci est davantage détaillée dans la partie « Impact du numérique et bonnes pratiques pour le réduire ».

INSTAURATION D'UN BUDGET CARBONE

Avoir un service achats en mesure d'établir une comptabilité précise permettrait de fixer des objectifs.

Il pourrait être imaginé que **l'ECN se fixe un budget carbone lié aux achats, qui diminuerait chaque année**, pour s'aligner avec ses objectifs. Par exemple, si en 2020 le Bilan Carbone dû aux achats de produits et services est de 1200 tCO₂eq comme en 2018, une réduction chaque année de 7,5 % de ce BC pourrait être visée : 1 110 tCO₂eq en 2021, 1 027 tCO₂eq en 2022, 950 tCO₂eq en 2023, etc.

Pour s'encourager à ne pas dépasser ce budget, un **“tarif de dépassement” en €/tCO₂eq pourrait être instauré**. Si le tarif était fixé à 40€/tCO₂eq, ce qui est le tarif courant dans les entreprises qui appliquent cette méthode [Ministère de la transition Écologique et Solidaire, 2018] et que le budget carbone était dépassé de 100 tCO₂eq, l'ECN pourrait s'obliger à investir 4000 € supplémentaires dans des initiatives écologiques et solidaires.

La diminution du Bilan Carbone associée à cette mesure est difficile à chiffrer, puisqu'elle dépend de la façon dont est investie la somme et du montant atteint.

CONCLUSION

Finalement, un service dédiés achats permettant des efforts accrus sur la vigilance accordée aux achats dans l'école pourrait **réduire de plus de 230 tCO₂eq le BC de l'ECN et de près de 20 % du critère du BC “Achats de produits et de services”**.

Pour rappel, le BC total de l'ECN s'élevait à 5 683 tCO₂eq en 2018 ; la diminution permise représente donc une diminution de l'ordre de 4 % de ce total.

LIMITES

Les **hypothèses de chiffrages** proviennent d'une estimation et non d'une source fiable. Une étude statistique plus poussée est nécessaire pour affiner les chiffres avancés.

Des **moyens humains** importants seront à apporter pour réaliser ce levier d'action.

CONCLUSION : CREATION D'UN SERVICE ACHATS

Un service central d'achats au sein de l'ECN est une bonne opportunité pour **amorcer une stratégie bas-carbone globale concernant les achats** de produits et de service. De plus, instaurer un plan d'action concret, avec un engagement – idéalement fort – de la part l'ECN, pourrait permettre une réduction importante de ce poste d'émissions ainsi que du BC total de l'ECN.

Leviers pour les colis et palettes reçus au service technique

Le **service central d'achats** proposé pourrait également permettre de réaliser davantage de **commandes groupées** et donc probablement de minimiser les émissions de GES liées au transport de marchandises amont. Cependant, cette réduction est difficilement quantifiable ; il n'a donc pas été jugé

pertinent de proposer de leviers d'action pour ce poste d'émissions qui est une conséquence de la politique d'achats de l'ECN.

Impression et envoi des plaquettes taupin et alpha

L'impression et l'envoi des plaquettes taupin et alpha est un poste d'émissions minime dans le Bilan Carbone de l'ECN.

ENVOI DES PLAQUETTES PAR VOIE NUMERIQUE

Les plaquettes taupin et alpha sont actuellement envoyées par courrier aux admissibles à l'ECN après le passage des épreuves écrites.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Un levier d'action simple serait d'envoyer cette documentation par voie numérique et non plus par courrier.

LIMITES

Avant de mettre en place ce levier d'action, il faudrait pouvoir comparer l'impact lié à l'usage du numérique avec celui de l'impression et de l'envoi papier de ces documents.

Il est probable que ce dernier soit plus élevé que le premier, en particulier si les plaquettes ne sont pas envoyées en pièce jointe d'un mail mais via un lien de téléchargement.

Déchets et recyclage

L'impact des déchets dans le BC de l'ECN est amené à changer au cours de l'année 2020 car des démarches en ce sens sont en cours de réflexion au sein des services généraux. En effet, une estimation des pistes d'amélioration pour la **gestion des déchets** est en cours par le bureau d'études Inddigo.

S'agissant d'un poste d'émission relativement réduit par rapport au reste des Produits et Services et étant donné les circonstances (étude en cours), aucun levier d'action n'est proposé.

4.1.8 Leviers pour l'impact carbone de la vie associative du campus

Le BC associatif regroupant de nombreuses entités, il conviendrait de réfléchir avec chacune d'entre elles, à des **leviers d'action spécifiques** à leurs activités. Cependant, certains **leviers d'action** sont assez **universels** et peuvent concerner un nombre non négligeable de clubs et d'associations. Ces leviers peuvent être regroupés par catégories : leviers d'action transversaux, leviers d'action sur les déplacements, leviers d'action sur l'alimentation et les déchets, leviers d'action sur les textiles, leviers d'action sur les achats et leviers d'action sur les *goodies*.

Leviers d'action transversaux

Les leviers d'action dits "transversaux" ne concernent pas un poste d'émissions spécifique. I-els visent à **faire réfléchir les clubs et associations sur l'impact de leurs activités**. Ces derniers seront donc amenés à questionner et à exercer un regard critique sur leurs actions. Les gains carbonés possibles grâce à ces leviers d'action sont, de ce fait, difficilement quantifiables.

INCLUSION DU BILAN CARBONE DANS LES PIÈCES A FOURNIR POUR FAIRE UNE DEMANDE DE SUBVENTION

Chaque semestre, les clubs peuvent réaliser des dossiers de demandes de subventions aux BDX dont i-els dépendent. Les demandes sont étudiées et votées lors des Conseils d'Administration (CA) des clubs.

Sur le même principe, les associations peuvent demander des subventions au CA de l'ECN. Par semestre, le BDE dispose d'un montant de l'ordre de 20 000 € à distribuer entre ses clubs ; chaque semestre, le BDA dispose d'environ 2 000 € ; le CA de l'ECN possède une enveloppe de 45 000 € réservée aux associations et projets étudiant-es.

Quasiment tous les clubs BDE et BDA et de nombreuses associations déposent, au moins une fois par an, un dossier de demande de subventions incluant des informations comme leur bilan d'activités et une justification des futures dépenses.

Le BDS fonctionne de manière différente, il n'y a **pas de budget spécifiquement alloué à chaque club BDS**. Lorsque ceux-ci ont besoin d'effectuer une dépense, i-els réalisent une demande auprès du BDS : les frais liés aux textiles sont avancés par le BDS et le matériel sportif est financé par l'Association Sportive (AS).

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Le BDE, le BDA ainsi que le CA de l'ECN pourraient **demander à ce qu'un BC du club ou de l'association soit joint au bilan d'activité dans le dossier de demande de subventions**. Cette démarche a un double intérêt : pousser les clubs et associations à calculer leur impact carbone et ainsi à **prendre du recul vis-à-vis de leurs activités** et intégrer un critère environnemental dans l'attribution des subventions. L'absence de Bilan Carbone dans le dossier pourrait alors être un critère d'élimination du dossier.

De plus, il serait intéressant qu'un **Bilan Carbone des activités prévues avec l'argent demandé** soit calculé et fourni par le club ou l'association. Ainsi, les instances de décision pourront prendre en compte le **critère environnemental dans l'attribution des fonds disponibles**.

En ramenant le Bilan Carbone en **kgCO₂eq/personne**, c'est-à-dire en divisant l'impact carbone total par le nombre de personnes concernées par les activités du club, il pourrait donc être décidé de ne pas accorder de subventions si les émissions de GES induites par les activités décrites sont jugées trop importantes. Utiliser un indicateur en kgCO₂eq/personne permettrait de **ne pas discriminer les clubs et associations qui organisent de gros événements** : l'impact carbone du Week-End d'Intégration (WEI) serait divisé par ses 500 participant-es alors que celui du club Croisière serait divisé par la quarantaine de voyageur-ses concerné-es. Au contraire, si les dépenses prévues par un club ou une association

permettent de réduire durablement leur impact environnemental (achat de matériel réutilisable, alimentation locale, voyages en train, ...), il serait alors possible de choisir de leur accorder davantage de subventions que les années précédentes.

Pour les clubs **BDS**, il est facile d'imaginer un **fonctionnement similaire**, bien que les demandes soient temporellement éparpillées dans l'année. Un Bilan Carbone du club et des activités faisant l'objet de la demande de financement pourrait être demandé, afin de valider la dépense demandée.

L'intérêt d'avoir à la fois le Bilan Carbone du club ou de l'association sur le semestre précédent et celui des activités futures est de pouvoir **mesurer l'effort effectué pour établir une stratégie de réduction des émissions**.

Une diminution des sommes accordées pourra pousser les étudiant-es à inventer des **solutions plus « low-tech »** pour organiser leurs événements grâce à leur créativité et leur ingéniosité.

Pour les aider dans leur démarche, les clubs et associations auront accès à un **guide méthodologique** expliquant le principe du Bilan Carbone et son application concrète à la vie associative, à un **outil de calcul** et à leur **Bilan Carbone calculé sur l'année 2018 ou 2019** par les étudiant-es de l'option Neutralité Carbone. Des **formations** pourraient être proposées, par exemple par les élèves de l'Option Neutralité Carbone ou par le pôle écologie du BDE.

Il est à noter que **réaliser un Bilan Carbone est une compétence intéressante à acquérir pour un-e ingénieur-e en formation** : la loi oblige actuellement les entreprises de plus de 500 employé-es à réaliser leur Bilan Carbone de scope 1 et 2 tous les quatre ans.

LIMITES

Les clubs et associations devront alors **anticiper la collecte des données nécessaires au calcul de leur BC**. Par exemple, pour connaître l'impact carbone des déplacements liés à la participation à un événement, il sera utile d'inclure une question sur la provenance et le moyen de transport utilisé par une personne pour s'y rendre dans le questionnaire d'inscription.

Il faudra veiller à être **équitable** et à définir en avance les critères d'attribution des subventions relatifs au Bilan Carbone. Une **transparence** stricte par rapport aux décisions prises sera nécessaire.

REALISATION D'UN SUIVI DU BILAN CARBONE ASSOCIATIF

Depuis décembre 2019, un **pôle écologie** a été créé au sein du BDE. En particulier, un **rôle de Secrétaire à la Transition Écologique** a été ajouté au CA du BDE afin de prendre en compte les enjeux environnementaux lors des prises de décisions.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

L'une des missions de ce pôle écologie pourrait être d'**accompagner les clubs et associations de l'ECN dans leur démarche de transition écologique**. La gestion des outils créés par l'Option Neutralité Carbone (tableur partagé, guide méthodologique) pourrait donc être assurée par cette entité. Son rôle

serait alors de pousser les structures associatives à réaliser leur Bilan Carbone, de leur fournir les outils appropriés et de centraliser les données.

Des **formations** à la méthodologie du Bilan Carbone pourraient être proposées. Des **ateliers d'intelligence collective** conviant un ou plusieurs membres de chaque club et ayant pour but de faire émerger des leviers d'action permettant de réduire les émissions de GES de la vie associative pourraient être organisés. Les différents clubs pourraient également reprendre ces ateliers et les réaliser en interne, lors de réunions avec tous leurs membres. Le Bilan Carbone d'un club pourrait être présenté à ses membres lors des réunions de présentation du début d'année et consulté à tout moment de l'année.

Le **BDE** aura également pour devoir de **se montrer aussi exemplaire que possible** afin d'entraîner ses clubs dans cette démarche. Il pourra donc réaliser son propre Bilan Carbone et réfléchir à des évolutions permettant de réduire son impact environnemental.

Même si certaines associations sont totalement indépendantes du fonctionnement des BDX, elles pourront également accéder aux outils proposés et participer aux ateliers organisés par le BDE.

LIMITES

La légitimité du BDE auprès des associations et clubs BDA et BDS a ses limites. Idéalement, il faudrait donc envisager un rôle similaire au sein de chacune de ses structures.

CREATION D'UN RESPONSABLE DE LA TRANSITION ECOLOGIQUE AU SEIN DU BDA ET DU BDS

Ainsi qu'expliqué précédemment, depuis décembre 2019, un pôle écologie et en particulier un rôle de Secrétaire à la Transition Écologique a été créé au sein du BDE.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Des postes similaires au sein du BDA et du BDS pourraient être créés afin de faciliter le contact avec les clubs BDA et BDS. Une **collaboration entre les trois BDX** pourrait alors être possible. Des prises de **décisions communes**, montrant une **unité des structures** dans cette démarche de transition, ne seraient que bénéfiques.

Il est important que ce nouveau poste fasse partie du **CA du BDX** concerné afin qu'il puisse à la fois **apporter un éclairage environnemental** lors des prises de décision et **avoir une voix lors des votes** décisionnels.

LIMITES

La création de ce rôle permettra de débattre des enjeux environnementaux lors des CA des BDX mais **ne garantit pas un changement de politique au sein de ces structures** : en effet, le responsable de la transition ne possédera qu'une voix lors des prises de décision (CA). Il reste néanmoins important que les décisions prises démocratiquement et se fassent en pleine connaissance de causes.

ETABLISSEMENT ET SIGNATURE D'UNE CHARTE D'ECO-RESPONSABILITE

Stimuler collectivement les individus et les entités est nécessaire pour engager une **évolution globale**. Ce principe avait plutôt bien fonctionné lors du projet « Pour des campagnes plus responsables » (voir document joint) à travers les défis proposés aux différentes listes. Bien que le

contexte soit différent, donner la possibilité aux clubs et associations de **s'engager volontairement et de façon valorisante** peut donc sembler pertinent.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

L'idée serait alors de faire signer une **charte d'éco-responsabilité** aux clubs et associations qui le souhaitent. Elle les engagerait collectivement à adopter des comportements ayant des impacts socio-environnementaux plus faibles : aucun *goodie* distribué, repas uniquement végétariens lors de leurs événements, aucune vaisselle jetable utilisée, etc.

Il pourrait être envisagé de faire **différents profils-types** d'associations et de clubs de manière à adapter les engagements proposés à chaque type d'activités (humanitaire, voyage, club artistique, ...). **Plusieurs niveaux d'engagement** pour les différents types de profils d'associations et de clubs pourraient être proposés.

Cette charte pourrait être proposée par le pôle écologie du BDE à tous les clubs et associations. Pour récompenser l'effort fourni, **un label** pourrait être attribué aux associations et clubs qui ont tenu leurs engagements.

Enfin, la signature de cette charte pourrait également devenir une condition nécessaire à toute demande de subventions auprès des BDx et du CA de l'ECN.

Sur le même principe mais de manière moins contraignante, une labellisation des événements plutôt que des entités associatives pourrait être imaginée.

LIMITES

Il peut être compliqué de vérifier, pour chaque entité associative, si celle-ci respecte effectivement ses engagements. Le respect de cette charte devra donc se baser sur une **confiance mutuelle entre les entités et le pôle écologie du BDE**, si c'est effectivement lui qui s'occupe de la mettre en place.

ESTIMATION DU BUDGET PREVISIONNEL DE LA DEMARCHE DE TRANSITION PAR CHAQUE CLUB ET ASSOCIATION

Un club ou une association a souvent un budget fixé, qui dépend des subventions obtenues auprès du CA ou du BDx dont il dépend.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

L'ensemble des leviers d'action d'une stratégie bas-carbone fait partie d'une **démarche globale et transversale** : certaines évolutions vont permettre des économies financières pour les clubs et associations (suppression ou diminution des *goodies* ou textiles achetés, nourriture végétarienne) qui vont permettre d'en financer d'autres (déplacements en train par exemple).

L'idée serait donc que chaque club et association **estime les coûts et les gains financiers** des leviers d'action qui peuvent le concerner afin d'aboutir à une **démarche de transition équilibrée financièrement**.

Si les étudiant-es savent qu'i-els vont faire des économies grâce à certains de leurs changements d'habitude, i-els seront plus enclins à dépenser davantage afin d'investir dans du matériel de meilleure qualité ou pour acheter des aliments issus de l'agriculture biologique et/ou locaux, d'autant plus que cela pourrait être un argument favorable à l'attribution ou à l'augmentation de leurs subventions.

LIMITES

Bien que la plupart des clubs et associations aient des activités relativement similaires d'un semestre à l'autre, il peut parfois être **difficile d'anticiper les dépenses** qui seront nécessaires lors du semestre à venir. En effet, certains prix fluctuent énormément dans le temps (billet de train, entre autres), il est parfois impossible d'anticiper le nombre de participant-es à des événements, certaines différences de prix peuvent être difficiles à quantifier (différences entre nourriture végétarienne et carnée, par exemple).

CONCLUSION

Les leviers d'action proposés relèvent principalement du champ de la **sensibilisation** des étudiant-es, les économies carbone engendrées ne sont donc pas directement quantifiables. Néanmoins, ces leviers visent à **faire réfléchir les clubs et associations sur l'impact de leurs activités** et i-els permettent ainsi de **faire changer les mentalités**. Il est donc possible d'espérer des **gains carbone individuels comme collectifs sur le long-terme**.

Leviers d'action sur les déplacements

Les **déplacements** (en avion, bus, voiture, train et bateau) représentent le plus grand poste d'émissions de GES du BC associatif. En effet, presque **70% des émissions de GES** des associations/clubs sont liées à des déplacements de personnes. Le **transport en avion** est responsable, à lui seul, de **plus de la moitié des émissions de GES (55 %)** des associations/clubs. Il s'agit donc d'un levier d'action important pour réduire le BC associatif puisqu'une réelle marge de progression existe.

PRISE DE REcul SUR LES VOYAGES HUMANITAIRES

En moyenne, 95% de l'impact carbone d'une association humanitaire centralienne est dû à ses déplacements en avion. De plus, ces trajets représentent 37% du BC de la vie associative en 2018 alors qu'ils ne concernent que quatre associations sur les 72 entités comptabilisées pour la réalisation du BC de la vie associative¹ : Récup'Eau Vietnam, Kids Népal, Take My Andes et Culture Au Burkina (voir « Impact carbone de la vie associative du campus »).

En ramenant les émissions de GES liées à ces trajets en avion au nombre de personnes parties en voyage, une moyenne de **5,2 tCO₂eq par personne** est atteinte. Ce chiffre, d'autant plus important qu'il se rapporte à seulement deux semaines ou un mois.

Les associations humanitaires sont des associations historiques de la vie étudiante sur le campus, elles perpétuent leur projet d'années en années sans forcément prendre le temps nécessaire pour prendre du recul sur la nécessité de voyager.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Il est souhaitable que les membres des associations humanitaires prennent le temps de **questionner, individuellement et collectivement, leur voyage** afin de déterminer si une présence

¹ Le Bilan Carbone du BDS et de ses clubs a été réalisé globalement et non club par club, ils sont donc comptabilisés comme une seule entité.

physique dans le pays est nécessaire. En effet, il est important d'avoir une **vision globale et systémique du projet** en pesant ses avantages et ses inconvénients.

Tout d'abord, il s'agit de déterminer quelle est la réelle **plus-value de l'association** : est-ce la récolte de fonds permettant l'amélioration des conditions de vie locales ou est-ce les activités réalisées sur place ? N'existe-t-il pas une main d'œuvre locale compétente pour réaliser le travail effectué ? Si non, les élèves de l'ECN sont-ils les plus formés et qualifiés pour effectuer ces tâches ?

Ensuite, **l'intérêt du séjour** réside-t-il dans les actions de solidarité internationale menées ou dans l'enrichissement personnel permis ? En effet, ces voyages peuvent permettre une prise de recul et une remise en question du mode de vie occidental mais cela suffit-il à justifier de tels déplacements et leurs impacts environnementaux ? N'y-a-t-il pas d'autres moyens de déclencher cette prise de conscience ? Ces questionnements reviennent à se poser la question de la raison d'être de l'association : son but est-il d'aider des populations qui en ont besoin ou de permettre un enrichissement personnel des étudiant-es de l'ECN ?

Enfin il convient de rappeler que le **réchauffement climatique** aura d'abord des conséquences néfastes sur les populations défavorisées. N'est-il donc pas contre-productif d'émettre des émissions de GES en souhaitant aider ces populations ?

Toutes ces interrogations ont pour but de transformer une réelle intention de bien faire en un réel « bien-faire ».

Si le voyage ne semble plus pertinent, il n'est pour autant pas question de renoncer à toutes les activités effectuées par ces associations. En effet, **la solidarité peut prendre une autre forme**. La collecte de fonds en est une mais il serait intéressant d'en inventer d'autres : correspondance avec les populations locales, sensibilisation des étudiant-es au sein de l'ECN lors des ventes de nourriture, etc. Le temps qui était consacré à l'organisation pratique du voyage pourra alors être utilisé dans ce sens.

Si le voyage reste pertinent malgré tout, alors il convient de se poser la question du **nombre de personnes** à envoyer sur place.

Pour une association humanitaire, décider de ne plus partir est un **engagement fort qui permettra de montrer l'exemple** à d'autres clubs ou associations.

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

En supposant qu'après de telles considérations, **la moitié des personnes renoncent à leur voyage**, l'impact carbone total de ces associations sera quasiment réduit de moitié (47 %). **Le BC associatif se verra donc allégé de 18 % de ces émissions de GES.**

LIMITES

Un potentiel **effet rebond** est à prendre en compte (voir « Limites des estimations de réduction et prise en compte de l'effet rebond »). Si la décision de ne pas partir vient de l'association et non des individus, il est possible que certain-es étudiant-es **remplacent leur voyage humanitaire par un voyage touristique** durant les vacances d'été. Ce voyage ne sera pas compté dans le Bilan Carbone associatif

mais l'impact environnemental n'en sera pas, pour autant, réduit. Il faudra donc veiller à l'**adhésion des membres** de l'association ainsi qu'à la **compréhension des enjeux** liés à cette décision.

REDUCTION DES TRAJETS EN AVION DANS LES CLUBS ET ASSOCIATIONS HORS HUMANITAIRES

Les **trajets en avion** ne concernent pas uniquement les associations humanitaires. D'autres associations et certains clubs BDE utilisent également ce moyen de transport. Les émissions liées aux trajets en avion restant sont responsables de **6 % des émissions de GES liées aux transports et à 2 % des émissions de la vie associative**. Les clubs et associations qui participent à ces émissions sont le Week-End Nantralien (WEN), le Forum Atlantique (FA), le club Croisière, *Skydive* et les Ailes Centraliennes.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Les déplacements en avion de *Skydive* et du club Croisière sont effectués par les membres de l'association ; i-els ne dépendent donc pas du bon vouloir de personnes extérieures. Les vols en avion de l'association Les Ailes Centraliennes sont à destination d'enfants handicapés.

Les trajets en avion du WEN et du FA sont dus aux déplacements individuels des personnes participant à ces événements, i-els seront donc traités dans le levier d'action suivant : « Incitation, pour les personnes extérieures, à se rendre aux événements organisés à l'aide de moyens de transport faiblement carbonés ».

Comme pour les voyages humanitaires, un questionnement individuel et collectif sur l'utilité des trajets effectués et sur les alternatives possibles est à mener.

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

Si le club *Skydive* réduisait de moitié le nombre de personnes qui sautent en parachute, son empreinte carbone serait globalement divisée par 2, ce qui correspond donc à une économie de 1,2 tCO₂eq.

Si le club Croisière décidait de partir par exemple en été plutôt qu'à la Toussaint, en voilier depuis la côte Atlantique (par exemple depuis Pornichet) et de rejoindre l'océan en voiture, cela permettrait d'économiser 17 tCO₂eq, ce qui **réduirait de 90 % sa propre empreinte carbone et de plus de 3 % le BC associatif total**.

LIMITES

Pour Les Ailes Centraliennes et *Skydive*, la transition peut être délicate puisqu'elle remet directement en question leur identité.

Pour les Ailes Centraliennes, il serait toutefois envisageable de réfléchir à d'**autres manières de soutenir les enfants handicapés**. Pour *Skydive*, remplacer le saut en parachute par du **saut en parapente** pourrait par exemple être une solution.

INCITATION, POUR LES PERSONNES EXTERIEURES, A SE RENDRE AUX EVENEMENTS ORGANISES A L'AIDE DE MOYENS DE TRANSPORT FAIBLEMENT CARBONES

Certaines associations comme le Week-End Nantralien (WEN) ou le Forum Atlantique (FA) organisent des événements ouverts aux **personnes extérieures** à l'ECN. Tous-tes les participant-es ne

sont pas toujours nantais-es et i-els utilisent donc la voiture, le train ou l'avion pour se rendre à ces événements. Les émissions liées à ces trajets représentent **28% des émissions liées aux transports et 16% des émissions de la vie associative.**

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Les trajets en avion du WEN et du FA sont dus aux déplacements individuels des personnes participant à ces événements, il est donc relativement difficile de réussir à les réduire de façon certaine.

A minima, afin de **quantifier précisément la part de personnes venant en avion**, il serait intéressant de demander la provenance et le moyen de transport utilisé dans le formulaire d'inscription ou le questionnaire de satisfaction que proposent ces événements.

Ensuite, ces associations pourraient fournir, lors de l'inscription à l'événement, un **livret présentant les différentes manières de se rendre sur place** en utilisant des transports peu carbonés.

Cette incitation pouvant ne pas être suffisante pour induire une réelle réduction des émissions, une **incitation financière** pourrait alors être envisagée. Une partie du prix de la place pour la soirée de gala du WEN pourrait être remboursée aux personnes s'étant déplacées avec des moyens de transports peu émissifs (train, covoiturage à au moins trois personnes, bus...). Les intervenant-es présentant leur entreprise au FA pourraient également être remboursé-es, au moins en partie, de leur billet de transport selon les critères précédents. Les critères de remboursement seraient à définir plus précisément afin d'obtenir une mesure aussi équitable que possible.

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

En supposant que la réalisation d'un livret présentant les différentes solutions de transport alternatives réussisse à convaincre 5 % des personnes qui avaient prévu de se rendre au WEN en avion d'y renoncer pour le train (trajet Nantes-Toulouse), **une réduction de l'impact carbone des déplacements liés au WEN de l'ordre de 4,5 % est envisageable.**

En supposant qu'une incitation financière telle que décrite précédemment est mise en place et que 15% des personnes qui avaient prévu de voyager en avion y renoncent pour le train, il est possible de **réduire l'impact de ces trajets de l'ordre de 13 %.**

LIMITES

Les **hypothèses de chiffreages** sur les pourcentages de personnes renonçant à l'avion proviennent d'une estimation et non d'une source fiable. Une étude statistique plus poussée est nécessaire pour affiner les chiffres avancés. Par ailleurs, ce levier d'action peut impliquer une **augmentation des coûts** pour les associations organisatrices de ces événements.

AJUSTEMENT DU CHOIX DES LIEUX D'ÉVÉNEMENTS

De nombreux clubs et associations sont responsables de l'organisation d'événements en dehors du campus de l'ECN. Dans certains cas, **le choix du lieu d'événement** se fait à la discrétion du club ou de l'association.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Les lieux où se déroulent les événements relatifs à la vie étudiante centralienne pourraient être choisis en fonction de leur **accessibilité.**

Un premier levier d'action est **la distance du lieu par rapport à Nantes**. S'ajoute à cela, l'**offre de transport en commun** pour rejoindre le lieu dont il est question. Un lieu situé à 40 km de Nantes mais inaccessible autrement qu'en voiture est un choix moins judicieux qu'un lieu plus éloigné mais facilement accessible en train.

Ces considérations peuvent s'appliquer à des **événements locaux** comme le Week-End Nantralien ou certains spectacles artistiques mais aussi pour des **événements plus lointains** comme le Week-End d'Intégration (WEI) de l'ECN, le week-end de cohésion de Centrale Nantes Études ou le week-end culturel du BDA.

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

A titre d'exemple, avoir décidé d'organiser le WEI près de Quimperlé en 2019 plutôt qu'à Marmande, comme cela avait été fait en 2018, a permis d'éviter près de 5 tCO₂eq, ce qui correspond à une réduction de 23 % des émissions de GES du WEI.

Si le WEI 2020 se fait par exemple aux **Sables d'Olonne**, cela permettrait d'éviter 1,5 tCO₂eq supplémentaires par rapport à 2019 et de donc de **réduire de 9 % le BC du WEI**.

LIMITES

Ce levier d'action ne peut concerner que les **événements organisés par les clubs et associations eux-mêmes**. Les lieux des week-ends de rencontre nationaux qui existent dans certaines associations (Enactus, Ingénieurs sans Frontières, Centrale Nantes Études, ...) ne peuvent pas être déterminés uniquement en fonction des participant-es nantais-es. Une ville centrale et bien desservie par le train pourrait alors être privilégiée.

LIMITATION DE L'USAGE DE LA VOITURE

Les trajets en voiture ont été sous-estimés dans le BC associatif 2018. En effet, de nombreux **déplacements en voiture réguliers dans Nantes** et ses environs n'ont pas été comptabilisés. Il s'agit, par exemple, de trajets pour participer aux différents matchs sportifs contre les autres établissements de l'enseignement supérieur de Nantes. A l'inverse, certains élèves extérieurs viennent en voiture à l'ECN pour participer aux activités proposées (orchestre, chorale, ...). A plus grande échelle, certains **trajets interurbains** liés à l'associatif sont réalisés en voiture par les étudiant-es.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Certains trajets nécessitent une voiture notamment quand il s'agit de transporter du matériel lourd et encombrant mais ce n'est pas le cas pour la plupart d'entre eux. L'idée serait de réserver la voiture à ces trajets très spécifiques et d'**utiliser le vélo ou les transports en commun** (tram, bus) pour les autres trajets urbains.

En ce qui concerne les déplacements plus longs, le train est à privilégier par rapport à la voiture, lorsque cela est possible, même en cas de covoiturage.

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

Les réductions que ce levier pourrait occasionner n'ont pas été estimées, puisque de nombreux trajets en voiture avaient été négligés dans le BC associatif. Cependant plusieurs ordres de grandeur doivent être gardés en tête pour comprendre l'importance de sa mise en œuvre.

Aller faire les courses depuis la résidence étudiante jusqu'à Orvault émettra 2 kgCO₂eq en voiture contre 2 gCO₂eq (soit 100 fois moins) en tramway ; aller en voiture à la Chantrerie émettra 4 kgCO₂eq contre 0,6 kg CO₂eq (soit plus de 6 fois moins) en bus. Par kilomètre parcouru, faire du covoiturage à quatre sera 17 fois plus émetteur que d'effectuer le trajet à quatre en TGV.

LIMITES

Les déplacements peuvent coûter beaucoup **plus cher en train qu'en voiture**, et la différence de prix sera d'autant plus importante que le nombre de personnes dans la voiture sera grand. Néanmoins, des économies financières pourront être réalisées grâce à d'autres leviers d'action (voir le levier « Estimation du budget prévisionnel de la démarche de transition par chaque club et association »).

CONCLUSION

Limiter les trajets en avion, que ce soit en décidant de ne plus voyager ou en utilisant des modes de transport alternatifs, semble être la **première priorité pour réduire efficacement les émissions** liées aux déplacements mais également celles du BC associatif complet.

Leviers d'action sur l'alimentation et les déchets

Le poste **alimentation** (qui comprend à la fois nourriture et boissons) est le deuxième poste d'émissions de la vie associative de l'ECN. Il représente presque **20 % des émissions de GES**. La thématique des **déchets** sera également abordée dans cette partie bien qu'ils ont été négligés dans le calcul du BC associatif.

PREPARATION DE REPAS EXCLUSIVEMENT VEGETARIENS

La nourriture représente 14 % des émissions de GES liées à la vie associative. En 2018, seuls **8 % des repas équivalents sont végétariens**. Cependant, ces derniers ne représentent que **2 % des émissions de GES** de ce poste d'émissions. Selon l'ADEME, un repas moyen est quatre fois plus carboné qu'un repas végétarien moyen. De même, un "repas à dominante animale de bœuf" est 14 fois plus carboné qu'un repas végétarien.

A travers le projet "Pour des campagnes plus responsables", les listes candidates aux trois bureaux associatifs ont été incitées à proposer des repas entièrement végétariens. Le défi proposé a été réalisé par toutes les listes candidates ce qui montre qu'il s'agit d'**un levier d'action facile à mettre en œuvre**. Les **économies d'argent réalisés** grâce à des plats entièrement végétariens ont permis d'acheter des ingrédients issus de l'agriculture biologique, en circuits courts.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Que ce soit pour les repas servis lors d'événements associatifs ou pour les ventes de nourriture au sein du campus, un levier d'action simple et efficace est de proposer aux élèves de l'**alimentation uniquement végétarienne**.

En particulier, **les trois BDX pourraient initier la démarche** en faisant preuve d'exemplarité dans ce domaine. Pour les y aider, l'association *Together For Earth* a publié un **kit de recettes végétariennes** à l'intention des étudiant-es de l'ECN afin de faciliter la transition vers un régime végétarien.

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

Si toute l'alimentation proposée par les clubs et associations de l'ECN était végétarienne, il serait possible de **diviser par cinq les émissions de ce poste d'émissions**. Cette démarche permettrait de **réduire de 11 % le BC associatif total**.

En plus de la réduction effective de l'impact carbone associatif, cette démarche, si elle est accompagnée par une campagne de sensibilisation, peut déclencher des **prises de conscience individuelles** chez certain-es étudiant-es.

LIMITES

Il faudrait prendre en compte un potentiel **effet rebond** lié à ce levier d'action (voir partie « Limites des estimations de réduction et prise en compte de l'effet rebond »). En effet, si les étudiant-es ne mangent plus de produits d'origine animale dans le cadre de la vie associative, cela pourrait les inciter à en manger davantage dans un autre cadre (RU, domicile, ...). Un simple transfert des émissions serait donc observé. Il sera donc important de bien **communiquer l'objectif de la démarche afin de faire adhérer les étudiant-es**.

ACHAT D'INGREDIENTS LOCAUX ET DE SAISON

La **nourriture** et les **boissons** représentent respectivement 14 % et 5 % des émissions de GES liées à la vie associative. Passer d'une alimentation carnée à une alimentation végétarienne est un levier efficace pour réduire les émissions mais cela ne permet pas de diminuer l'impact des boissons. Par contre, **acheter des produits locaux et de saison peut s'appliquer aux 2 catégories**.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Favoriser des produits locaux et de saison permet de **diminuer les transports de marchandises** et ainsi de réduire l'impact carbone de son alimentation. Par exemple, pendant les campagnes associatives 2019, un défi du "Projet pour des campagnes plus responsables" était de servir aux étudiant-es de la bière locale en fûts. Cette démarche pourrait se généraliser à l'ensemble de la vie associative.

LIMITES

Les **gains socio-environnementaux sont difficilement évaluables** bien qu'ils existent. Une étude plus approfondie serait nécessaire. La démarche de ne pas s'approvisionner dans les supermarchés classiques n'est pas une solution facile et peut être chronophage.

SUPPRESSION DE LA VIANDE ROUGE DANS LES PLATS SERVIS

La nourriture représente 14 % des émissions de GES liées à la vie associative. La plupart des repas moyens ont été comptabilisés avec un facteur d'émissions "repas moyen" lorsqu'ils n'étaient pas végétariens. Cependant, **l'impact d'un repas varie beaucoup selon le type de protéine animale présente** ; cet impact est par exemple particulièrement important lorsque de la viande rouge est servie.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Si l'ensemble des plats proposés ne sont pas végétariens, à défaut, il pourrait être imaginé de **proscrire les viandes rouges** telles que le bœuf et l'agneau dans les repas associatifs.

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

La plupart des repas associatif ayant été comptabilisés comme des repas "moyens", il n'est pas possible de chiffrer directement les réductions permises par un tel levier. En revanche plusieurs ordres de grandeurs peuvent être gardés en tête.

Selon l'ADEME, un "**repas à dominante animale de bœuf**" a un impact carbone de 7,26 kgCO₂eq. Un tel repas est cinq fois plus carboné qu'un "repas à dominante animale de poulet" (1,58 kgCO₂eq) ; neuf fois plus carboné qu'un "repas à dominante végétale avec poulet (0,8 kgCO₂eq) ; **14 fois plus carboné qu'un repas végétarien** (0,51 kgCO₂eq).

LIMITES

La limite des chiffres avancés repose sur leur provenance, à savoir les facteurs d'émissions : ce sont des **valeurs moyennées**, qui peuvent différer selon les plats.

ACHAT COMMUN DE COUVERTS ET ASSIETTES REUTILISABLES POUR TOUS LES CLUBS ET ASSOCIATIONS

La vaisselle jetable a été interdite lors des deux semaines des campagnes associatives en décembre 2019. Les étudiant-es apportaient donc leurs propres récipients et couverts pour être servis lors des repas proposés. Dans certaines écoles d'ingénieurs telles que l'Ecole Centrale de Lille ou l'Ecole Centrale de Lyon, des assiettes et couverts en plastique réutilisables sont mis à la disposition des clubs et associations, pour que ceux-ci les utilisent au cours de leurs événements.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Le BDE pourrait investir dans **un stock de 100 à 200 assiettes et couverts réutilisables**, idéalement achetés d'occasion (en ressourcerie par exemple), ainsi que dans des **bassines permettant de les laver** facilement. Chaque personne utilisant une assiette lors d'un événement ferait sa propre vaisselle dans les bassines mises à disposition pour l'occasion.

Ce matériel serait, par exemple, stocké dans la Maison des Élèves ou dans le local du BDE. Un système de **caution** ou de **décharge** à signer pourrait être mis en place afin d'assurer la pérennité du matériel acheté. Tous les clubs et associations auraient alors la possibilité d'utiliser ce matériel.

Il serait alors possible d'interdire complètement la vaisselle jetable lors des événements associatifs.

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

Chiffrer le gain carbone de ce levier d'action peut s'avérer imprécis et d'un intérêt limité. En effet, il est compliqué d'évaluer la quantité de déchets que ce levier d'action pourrait permettre d'éviter. Par ailleurs, **le gain environnemental principal est lié à une préservation des ressources naturelles** et non à un réel gain carbone.

LIMITES

Cet achat groupé peut s'avérer inutile si l'alternative consistant à **demander à chacun-e de ramener sa propre vaisselle**, comme c'était le cas pendant les campagnes 2019, est perpétuée lors de chaque événement. Par ailleurs, il peut être compliqué pour les étudiant-es qui gèrent la Maison des Élèves de s'assurer que le stock de vaisselle soit bien restitué et en bon état après son prêt.

CREATION D'UNE POLITIQUE DE GESTION DES DECHETS LIES A LA VIE ASSOCIATIVE

Pour les déchets alimentaires, un compost est actuellement présent à la résidence étudiante, juxtaposée au campus.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Ce **compost** pourrait systématiquement être utilisé lors des événements associatifs. Il suffirait alors de prévoir un seau ou un sac étanche pour transporter les déchets alimentaires de l'ECN à la résidence. Des **sacs de tri**, jaunes et bleus, pourraient être stockés au local BDE ou à la MDE pour faciliter le tri en cas d'oubli de la part des associations étudiantes.

De plus, pour limiter la quantité de déchets, les étudiant-es pourraient choisir de préparer **des repas qui ne nécessitent pas de couverts ni d'emballages** pour être mangés : wraps ou croque-monsieur par exemple.

LIMITES

Un **changement d'habitude individuel** du plus grand nombre d'étudiant-es est nécessaire pour que ce levier d'action soit efficace.

CONCLUSION

Afin de diminuer efficacement les émissions de GES du poste alimentation, la priorité est de **réduire drastiquement voire de supprimer les viandes et poissons des repas** proposés aux étudiant-es.

Leviers d'action sur les textiles

Le troisième plus grand poste d'émissions concerne les textiles avec **plus de 7% des émissions de GES** du BC de la vie associative.

REDUCTION DE L'IMPACT DU TEXTILE LIE A L'ACHAT DE SWEATS

Les **sweats et teddys** sont les textiles les plus achetés dans le cadre de la vie associative (sweats de promotions, sweats des campagnes, sweats de clubs ou d'associations, ...), i-els représentent **48 % des textiles achetés et 81 % des émissions de GES** de l'ensemble des textiles (voir « Impact carbone de la vie associative du campus »).

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Ces textiles sont généralement **achetés pour des raisons affectives** (posséder des souvenirs physiques des années à l'ECN, montrer son appartenance à une communauté, ...) ou de **communication externe** et ne correspondent pas à des achats de nécessité. Dans de nombreux cas, i-els s'ajoutent à la garde-robe des étudiant-es et ne remplacent pas des vêtements usés. Dans un premier temps, il est donc nécessaire de **questionner l'utilité de ces textiles afin de diminuer leur nombre**. Est-il nécessaire de posséder un pull pour chacune des deux ou trois années passées à l'ECN ainsi qu'un pull pour chacune des entités associatives dont les étudiant-es ont fait partie ?

Dans un second temps, il peut être intéressant de **réduire l'impact carbone des sweats qui seront tout de même produits**. En première approximation, leur impact est proportionnel à leur masse : proposer des **sweats plus fins et sans capuches** serait donc une solution. De plus, les choisir en **matière recyclée** permettrait également de réduire leur impact.

Enfin, il pourrait même être proposé un **système de rachat** des pulls de promotion ou des sweats associatifs d'année en année entre étudiant-es sur le principe qu'une consigne. Les sweats ne seraient alors pas datés.

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

Une réduction de 20 % du nombre de sweats et teddys achetés a pour conséquence une réduction de plus de 16 % de l'impact carbone lié aux textiles associatifs.

En gardant le même nombre de sweats que durant l'année 2018 et en supposant que **la masse de tous les sweats est divisée par deux** (pas de capuches, pulls moins épais, etc.), leur impact serait donc divisé par deux ce qui revient à **réduire l'impact carbone de l'ensemble des textiles associatifs de 40 %** et ce, en gardant le nombre de sweats identiques.

De plus, selon l'ADEME, un "pull en coton recyclé" est plus de trois fois moins émetteur qu'un « sweat en coton ». Il est supposé qu'une réduction de masse est déjà comprise dans la différence de terminologie entre "sweat" et "pull". Faire des pulls en **matière recyclée** permettrait de **réduire leur impact carbone de 69 %** ce qui impliquerait une diminution du Bilan Carbone de l'ensemble des textiles associatifs de 56 % et de l'ensemble des émissions de la vie associative de 4 %.

Il est évidemment possible de cumuler réduction du nombre de vêtements et réduction de l'impact carbone à l'unité.

LIMITES

Il pourrait être compliqué de trouver des textiles personnalisables, en matière recyclée et plutôt légers sans augmenter le prix d'achat du pull à l'unité. Toutefois, les réductions des émissions attendues sont importantes, il serait donc intéressant de **passer du temps à se renseigner sur les offres disponibles**.

VENTE D'UN SEUL TYPE DE TEXTILE DE PROMOTION PENDANT L'ANNEE

Les vêtements de promotion (sweats mais aussi casquettes, polos, ...) proposés à l'achat à tous-tes les élèves du campus représentent **57 % des émissions de GES liés aux textiles et 4 % des émissions du BC associatif complet**.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Un levier d'action consisterait donc à **ne proposer à l'achat qu'un seul type de textiles** ; cet unique textile pourrait être le sweat de promotion. Il s'agit d'ailleurs de la majorité des commandes effectuées par les étudiant-es, ce qui montre que les autres types de textiles ne répondent pas à une réelle demande des élèves ni à un réel besoin. Les polos, sacs de sport, teddys, casquettes, tee-shirts et joggings de promotion ne seraient donc plus proposés à la vente.

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

Les textiles hors sweat de promotion représentant 3 % des émissions de GES des textiles associatifs ; ce levier d'action permettrait donc de **réduire de 3% l'impact des textiles**.

LIMITES

Il est supposé que la majorité des élèves qui achètent ces textiles achètent en plus des sweats de promotion classiques. Si ce n'est pas le cas en pratique, il faudrait faire attention à un potentiel **effet**

rebond (voir « Limites des estimations de réduction et prise en compte de l'effet rebond ») : les étudiant-es pourraient simplement remplacer l'achat d'un textile de promotion par l'achat d'un sweat de promotion, ne faisant donc pas diminuer l'impact carbone total.

SUPPRESSION DE LA DISTRIBUTION GRATUITE DE TEXTILES

Certains textiles sont **gratuitement distribués** lors d'événements associatifs, comme par exemple des *tote-bags*, offerts par le club BDE Accents à la rentrée scolaire, ou des tee-shirts offerts au cours du Week-End d'Intégration. Ces derniers représentent **10 % des émissions liés aux textiles associatifs**. De plus, certains clubs ou associations paient sur leur fond propre des textiles qui deviennent ensuite la propriété de leurs membres ce qui n'encourage pas ces derniers à prendre du recul par rapport à ces achats.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Une solution pour que les personnes qui reçoivent les textiles prennent conscience de l'impact que cela représente consisterait donc à **supprimer ce processus de don**.

Certains de ces textiles pourraient **ne pas être produits du tout**. La qualité de l'accueil des étudiant-es n'en serait pas pour autant altérée, tout comme la bonne ambiance du Week-End d'Intégration. En outre, cela permettrait d'**économiser de l'argent** qui pourrait être réinvesti dans des activités de meilleure qualité, qui marqueront peut-être plus les étudiant-es que les distributions de textiles.

Pour les autres textiles, les entités associatives qui ne le font pas encore pourraient **faire payer ces textiles aux membres** du club ou de l'association.

Pour avoir une démarche globale, il sera également envisageable de **se coordonner avec les instances de l'ECN** afin d'éviter les distributions de textiles, notamment lors du grand accueil notamment.

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

La suppression des textiles, telle que proposée, permettrait de diminuer de 10 % les émissions liées aux textiles associatifs et de **0,7 % l'impact carbone de la vie associative**. Les émissions de GES liées aux activités permises par l'économie d'argent engendrée ont été négligées.

LIMITES

Il faudrait faire attention à ne pas induire d'**effet rebond** non souhaité ; l'argent économisé ne devra pas être investi dans des activités ou des achats à impact carbone encore plus élevé que celui des textiles évités (voir partie « Limites des estimations de réduction et prise en compte de l'effet rebond »).

UTILISATION DE TEXTILES IDENTIQUES D'UNE ANNEE SUR L'AUTRE

De nombreux clubs, notamment sportifs, et associations **commandent des textiles à leur effigie chaque année**. Chaque membre a alors la possibilité de posséder le textile de son club ou de son association. Certains de ces textiles sont personnalisés avec des pseudos propres à chaque membre.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

L'idée serait que les textiles n'appartiennent plus aux membres des clubs mais qu'ils deviennent la **propriété du club ou de l'association**. Ainsi, les étudiant-es se verront **prêter un textile** pour la période

pendant laquelle i-els sont membres de l'entité. Les mêmes textiles pourront donc être utilisés d'une année sur l'autre. Les textiles seraient alors **sans surnoms et sans dates**.

Par exemple, le BDS pourrait récupérer ou **racheter les vêtements sportifs** dont les élèves actuels n'ont plus besoin (shorts, maillots, baskets à crampons, baskets à semelles non marquantes pour le squash...) pour les proposer, en prêt, à la génération suivante. Si les quantités récupérées ne suffisent pas, un achat complémentaire pourra être envisagé mais cet achat ne se ferait que l'année où ce processus est initié et pourrait se faire d'occasion.

Il est possible d'envisager le même système pour le Week-End d'Intégration : 500 tee-shirts à l'effigie du club et non du thème proposé chaque année pourraient être produits la première année et ensuite appartenir au club. Ces tee-shirts seraient prêtés aux participant-es, éventuellement contre une caution, et restitués à la fin du week-end.

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

En supposant une **durée de vie de 10 ans** pour les textiles concernés (textiles des clubs sportifs, textiles des autres clubs et associations, textiles du WEI) et une marge de **5 % par an de textiles non restitués** (pertes, déchirures, ...), l'impact de ces textiles pourrait diminuer de 89 %, ce qui impliquerait une **réduction de 13 % des émissions de l'ensemble des textiles**.

LIMITES

Un problème de **taille des vêtements** pourra se poser bien qu'il soit jugé marginal. En effet, il n'est pas certain que chaque promotion comporte la même proportion de personnes taillées de façon identique.

La durée de vie de 10 ans peut sembler surestimée pour un tee-shirt mais si ces textiles sont principalement portés pour les événements associatifs ou lors des entraînements sportifs, leur durée de vie peut être jugée supérieure à celle d'un tee-shirt classique porté plus régulièrement.

ACHAT DE TEE-SHIRTS DE CLUBS OU D'ASSOCIATIONS PLUTOT QUE DE SWEATS

En plus des sweats de promotion, de nombreux clubs et associations commandent des textiles à leur effigie. L'objectif initial d'une telle démarche est de **pouvoir être identifié comme faisant partie de l'entité associative** notamment lors de l'organisation d'événements.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Les clubs et associations pourraient donc **préférer des tee-shirts** plutôt que des pulls, pour réduire leur empreinte carbone.

De même, les pulls de promotion pourraient être remplacés par des tee-shirts.

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

Selon l'ADEME, un tee-shirt a un impact carbone de 5,2 kgCO₂eq/pièce alors qu'un sweat en coton émet 27,4 kgCO₂eq/pièce. **Acheter un tee-shirt plutôt qu'un pull est donc plus de cinq fois moins émetteur.**

Si tous les textiles d'associations (sweat, polos, ...) n'étaient pas des sweats mais des tee-shirts, **leurs impacts seraient réduits de 63 %**.

De même, si les pulls de promotion étaient remplacés des tee-shirts, **le poste d'émissions « Textiles de promotion » serait réduit de 76 %.**

Additionnés, ces deux mesures permettraient diminuer l'impact de l'ensemble des textiles de 47% et de l'ensemble de la vie associative de plus de 3%.

LIMITES

La plus grande difficulté pourrait être de convaincre les étudiant-es de ce changement, étant donné que les pulls de promotion sont traditionnellement présents dans chaque école ou université. Cette limite ne doit pas empêcher le changement : toute **tradition** est amenée à évoluer.

De plus, s'il fait trop **froid** durant certains mois de l'année, ces tee-shirts seront recouverts de pulls ce qui limitera la visibilité souhaitée.

CONCLUSION

Toute démarche d'achat (ou de distribution) de textiles devrait donc être précédée par un **questionnement du besoin associé**. Ensuite, il pourra être envisagé différentes solutions pour **réduire l'impact des textiles produits** (réduction de la masse, matière recyclée, choix du type de vêtements, ...).

Leviers d'action sur les autres achats

Les « autres achats » (achats hors alimentation, textiles et *goodies*) représentent environ **4 % du BC associatif**. Néanmoins, les leviers d'action présentés dans cette partie peuvent être **généralisés aux textiles**.

REFLEXION SUR LE BESOIN D'ACHAT

Le CA de l'ECN et les BDX donnent la possibilité aux clubs et associations d'**obtenir des subventions assez facilement** (dossier rapide à effectuer, refus rares, ...). Ainsi, un club ou une association n'a rien à perdre à effectuer une demande de subventions même s'il n'en a pas réellement besoin. Ce système les **pousse donc à la consommation**.

En ce qui concerne les achats de matériel informatique ou électronique, il faut savoir si posséder des **outils dernier cri** est réellement nécessaire.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Ce levier d'action est double. Tout d'abord, les **clubs et associations** seraient encouragés à se poser eux-mêmes la question de la nécessité de leurs achats. Ensuite, en parallèle, **les instances qui attribuent leurs subventions** pourraient être plus strictes vis-à-vis des demandes.

Cette préconisation concerne l'ensemble des achats et s'applique donc également aux textiles.

Des économies financières pourront ainsi être réalisées.

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

En considérant que 20 % des subventions destinées à des achats ne répondaient pas à de vrais besoins, en première approximation, une réduction des émissions des achats du même pourcentage pourrait être atteinte puisque les émissions de GES de ce poste d'émissions sont souvent comptabilisées

grâce à des **ratios monétaires** en kgCO₂eq/€ (voir partie « Définition et méthode de calcul du Bilan Carbone » page 16).

LIMITES

Il pourrait être parfois complexe pour les CA de l'ECN et des BDX de **trancher sur la réelle nécessité des différents achats** demandés.

AUGMENTATION DE LA PART DES ACHATS D'OCCASION

La plupart des achats de produits effectués sont des objets et des textiles neufs. En effet, les étudiant-es n'ont souvent **pas le réflexe de chercher du côté des achats d'occasion**. Pourtant, beaucoup de déguisements et décors n'en seraient que plus authentiques s'ils étaient réalisés à la main, à partir de textiles d'occasion retouchés.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Les clubs et associations pourraient effectuer leurs achats de matériels d'occasion. **Des friperies, ressourceries et des sites internet** de ventes d'occasion pourraient être utilisés.

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

En première approximation, les achats d'occasion ont une empreinte carbone nulle. Ainsi, en excluant les achats de services et les achats de consommables (peinture, matériaux, ...) et en supposant que tous les autres achats pourraient être réalisés d'occasion, ce levier d'action représente **une diminution de 83 % de poste d'émissions de GES « Autres Achats » et de 3 % du Bilan Carbone associatif complet**.

Cette préconisation s'applique à l'ensemble des achats et donc également aux textiles.

La mise en place d'une telle mesure permettrait, en outre, de réaliser des économies financières.

LIMITES

Il est important de signaler que, malgré l'approximation faite, un achat d'occasion a, en réalité, **une empreinte carbone réduite mais non nulle**.

Par exemple, il faudrait dans l'idéal, privilégier les **achats d'occasion et locaux** afin d'éviter des frais de transports.

CONCLUSION

De même que pour les textiles, toute démarche d'achat devrait être précédée par un **questionnement du besoin associé**. En particulier, pour les achats de matériels, l'**achat d'occasion** peut être une piste intéressante à la fois économiquement et écologiquement.

Leviers d'action sur les *goodies*

La part relative du BC associatif lié aux *goodies* est très faible. Néanmoins, cet impact carbone se compte en centaines de kilogrammes de CO₂eq ce qui n'est en rien négligeable.

SUPPRESSION DES *GOODIES*

La distribution de *goodies* pousse à la consommation et **ne répond pas à un réel besoin** ou à une réelle utilité. En effet, si un *goodie* était indispensable à un-e étudiant-e, i-el n'attendrait probablement pas qu'on lui en distribue pour se le procurer.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Le levier d'action consisterait simplement à ne pas acheter ni donner de *goodies*.

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

Les *goodies* représentent 0,7 % du Bilan Carbone associatif. Les supprimer reviendrait donc à **diminuer son impact de 0,7 %**. Cela paraît peu mais il s'agit tout de même de plus de **3 tCO₂eq**, ce qui correspond aux émissions de **trois personnes faisant un aller-retour Paris-Moscou en avion**.

LIMITES

Le gain carbone lié à cette mesure n'est pas très important. Cependant, elle a un **impact symbolique fort**.

ETABLISSEMENT D'UN BUDGET CARBONE MAXIMAL POUR L'ACHAT DE *GOODIES* POUR LES LISTES DURANT LES CAMPAGNES ASSOCIATIVES

Durant les campagnes associatives 2019, une règle concernant les *goodies* a été instaurée dans le règlement : en dehors des *ecocups*, **les *goodies* ont été limités en fonction de l'impact carbone** de leur production. La limite d'émission totale était de 270 kgCO₂eq émis pour une liste BDE, 230 kgCO₂eq pour une liste BDA et 170 kgCO₂eq pour une liste BDS.

En pratique, ces règles n'étaient pas très contraignantes pour les listes car, sans restriction, les listes BDE, BDA et BDS des années précédentes avaient respectivement un budget carbone *goodies* de l'ordre de 300 kgCO₂eq, 170 kgCO₂eq et 150 kgCO₂eq par liste.

En parallèle de cette règle, à travers le projet « Pour des campagnes plus responsables », un défi a été proposé aux huit listes candidates : celui de ne pas dépasser la limite de 90 kgCO₂eq pour leurs *goodies*. Finalement, 6 listes sur 8 ont réussi ce défi (voir le bilan du projet « pour des campagnes plus responsables » joint au présent rapport). Par rapport à l'année précédente, **l'impact carbone des *goodies* de toutes les listes a diminué de plus de 65 %**.

PLAN D'ACTION POUR LA REDUCTION

Il est souhaitable de continuer les efforts de réduction du nombre et de l'impact des *goodies*. Une limite carbone, liée aux *goodies*, commune aux BDX et de l'ordre de **60 kgCO₂eq par liste est préconisée**.

Les empreintes carbonées de nombreux types de *goodies* (*ecocups*, gourde, briquet, ...) ont déjà été calculées. Si de nouveaux *goodies* sont distribués, leur impact pourrait être calculé par les repreneur-ses du projet "Pour des campagnes plus responsables".

ESTIMATION DES REDUCTIONS PERMISES PAR LE LEVIER

Cette mesure impliquerait une diminution minimale de 75% de l'impact carbone des *goodies* des campagnes par rapport à l'année 2018 et de 6 % par rapport à l'année 2019. Une plus grande réduction pourrait être envisagée car fixer une limite maximale ne signifie pas que toutes les listes l'atteignent.

LIMITES

Le calcul de l’empreinte carbone des *goodies* est **approximatif**, des intervalles sont utilisés pour rester cohérent avec l’idée d’ordre de grandeur. Le travail à réaliser pour calculer l’empreinte carbone d’un *goodies* est assez chronophage.

Cette mesure ne s’applique qu’aux campagnes et non à la totalité de la vie associative étudiante, ce qui en limite l’efficacité.

CONCLUSION

Les distributions de *goodies* ne répondant pas à un réel besoin, elles sont à drastiquement diminuer voire à supprimer.

Leviers d’action sur le numérique

Les différents clubs et associations ont un **usage assez conséquent d’outils numériques** (Drive, mails, Facebook, ...). Bien qu’ils soient souvent gratuits, leur usage engendre des **émissions de GES indirectes et difficilement quantifiables**. Les étudiant-es pourront donc, à titre individuel mais également à travers les activités des clubs et associations auxquels i-els participent, appliquer les pistes d’actions présentées dans la partie « Impact du numérique et bonnes pratiques pour le réduire ».

4.1.9 Une préconisation transversale : le Bilan Carbone comme indicateur

Le BC est un bon **indicateur de l’impact écologique** d’un établissement. Comme tout indicateur, il est critiquable (voir la partie 4.2 « Prise de recul »), mais il permet d’avoir une vision globale des efforts faits pour sa réduction.

PLAN D’ACTION POUR LA REDUCTION

Ainsi, il pourrait être pertinent de **l’intégrer cet indicateur au tableau de bord** dont dispose le Conseil d’Administration et la direction de l’école pour suivre les performances de l’ECN. Ce tableau de bord est un ensemble de neuf indicateurs qui permettent de suivre les résultats de la recherche, l’évolution des budgets et subventions, les effectifs d’étudiant-es... I-els sont actualisés chaque année, et présentés au Conseil d’Administration au mois de mars. Si le BC est considéré comme **un enjeu sur lequel l’ECN doit être vigilante**, il pourrait être pertinent d’avoir un suivi de la sorte.

Un tableau de bord parallèle à celui qui est actuellement utilisé pourrait également être imaginé. Celui-ci aurait comme indicateur global le Bilan Carbone total, et comme sous-indicateurs des éléments davantage ciblés sur des postes émetteurs stratégiques. Ces sous-indicateurs pourraient se concentrer sur l’impact carbone dû aux activités suivantes : déplacements domicile-travail, déplacements professionnels, déplacements à l’international des étudiant-es, achats de produits et services, alimentation. L’avantage de compartimenter le Bilan Carbone est de permettre l’actualisation de certains postes spécifiques – bien que cela ne devrait pas remplacer le bilan complet régulier.

LIMITES

Le principal frein à cette démarche est que, dans la situation actuelle, il est **difficile d'actualiser annuellement le BC**. Ainsi, ce serait un indicateur avec une fréquence de rafraîchissement plus faible que les autres. Cependant, une partie du travail présenté dans ce document a pour objectif de **simplifier la mise à jour du Bilan Carbone**, en fournissant une méthodologie complète et en proposant une amélioration de la centralisation, structuration et collecte des données pour rendre leur extraction et leur traitement plus simple.

Enfin, il est à rappeler que le BC doit, d'un point de vue légalement, être recalculé au moins tous les trois ans, et que cet indicateur a donc une réactualisation minimale assurée. Considérer le BC comme les autres indicateurs serait de plus une bonne incitation à son calcul régulier.

4.2 Prise de recul

Certaines **limites** ou **pistes d'améliorations** peuvent être listées, pour prendre du recul par rapport au travail effectué.

Les leviers d'action présentés pour chacun des postes d'émissions sont des moyens de réduire l'impact de l'ECN. Cependant, si les réductions ont été estimées, en ordre de grandeur, pour plusieurs d'entre eux, les potentiels « **effets rebonds** » n'ont pas été pris en compte.

L'étude du bilan carbone a permis de définir quelles sont les émissions de GES liées à l'activité de l'ECN. Cette étude n'est néanmoins pas exhaustive. En particulier, l'impact lié à l'**utilisation du numérique** a été négligé, car l'évaluation de ce dernier est très difficile ; peu d'éléments existent à l'heure actuelle pour le prendre en compte. Pour autant, des **bonnes pratiques peuvent être partagées**.

Par ailleurs, bien que l'impact carbone lié au fonctionnement de l'ECN ait été considéré, il peut être rappelé que le but de cette activité est double. D'une part, l'ECN a pour mission de **former de futur-es ingénieur-es**. D'autre part, l'ECN **mener des travaux de recherche**.

Il est donc intéressant d'essayer d'estimer quel impact pourrait être imputé à la réalisation de ces missions.

Il pourrait d'ailleurs être considéré que l'ECN peut se permettre de "dépenser" des émissions de GES puisque celles-ci vont être compensées par les **actions vertueuses des futur-es ingénieur-es** ou par les **bienfaits des applications des travaux de recherche**. Cependant, pour pouvoir affirmer cela, il est nécessaire de savoir dans quels domaines travaillent les diplômé-es de l'ECN et quelles sont les résultats réels des travaux de recherche.

Enfin, évaluer l'impact de la formation peut être utile pour déterminer si **un changement de politique** de la part de l'ECN parvient à encourager ses diplômé-es à agir de façon plus soutenable dans leurs **choix professionnels**.

Parmi les moyens de comptabiliser l'impact "positif" de la recherche, une méthode consiste à évaluer les « **émissions évitées** » par une activité. Cependant, il s'agit d'une **comptabilisation indépendante du bilan carbone** qui mérite d'être définie.

De façon complémentaire, la « **compensation carbone** » est une façon de « réduire » ses émissions de GES en finançant des projets ayant pour but de réduire la quantité de GES dans l'atmosphère ; par exemple, investir dans une recherche vertueuse pourrait contrebalancer des GES émis par ailleurs. Il convient néanmoins d'**interroger cette pratique** et de vérifier quelle est sa réelle efficacité et quels sont les bénéfices effectifs qui peuvent en être retirés.

4.2.1 Limites des estimations de réduction et prise en compte de l'effet rebond

Le terme « effet rebond » qualifie l'**annulation des économies carbonées réalisées au travers de mesures de réduction par des modifications du comportement** des individus ou de la société. Ces modifications peuvent être **directes** (par exemple si la température de chauffage d'une maison nouvellement isolée est augmentée) mais elles peuvent aussi être **indirectes** (par exemple si l'argent économisé sur les factures d'énergie grâce à la nouvelle isolation est dépensé dans un trajet en avion).

Lors de la mise en place d'une action de réduction, comme celles présentées par les étudiant-es de l'option Neutralité Carbone (voir « Leviers d'action : comment réduire le Bilan Carbone ? »), il est possible qu'un ou plusieurs effets rebonds se produisent. Si quantifier le potentiel de diminution des émissions de GES d'une action de réduction est important, il est également primordial d'**identifier les effets rebonds** possibles, et d'**évaluer leurs impacts** sur le bilan carbone final : la comptabilisation de la réduction des émissions de GES permise par l'action et celle des effets rebonds engendrés, permettront de **conclure sur l'utilité de la mesure proposée**.

La comptabilisation des effets rebonds pour des actions de réductions de GES se retrouve encore peu dans la littérature. Quelques études abordent néanmoins le sujet.

L'une d'entre elles s'est appliquée à **chiffrer les effets rebonds indirects de trois actions distinctes** : diminuer le thermostat de son radiateur de 1°C, acheter un tiers de nourriture en moins en supprimant totalement le gaspillage alimentaire et remplacer la voiture par la marche à pied pour les trajets de moins de 2 miles. En moyenne, **34% des émissions de GES ainsi évitées étaient annulées lorsque l'argent économisé par ces actions était dépensé** [Sorrell, 2009].

Cette étude ainsi que les autres études existantes montrent que les efforts de réduction des émissions de GES, bien que devant être appliqués, doivent également être réalisés dans une **démarche plus globale de réduction de la consommation et de sobriété** sans quoi les effets attendus ne seront pas ceux réellement observés.

Dans l'optique de mesurer ces effets rebonds et leur impact sur le bilan final, l'ADEME a créé la **méthodologie QuantiGES**, dont l'objectif énoncé est de quantifier l'impact sur les émissions de GES d'une action de réduction.

L'impact sur la quantité de GES ne se limite pas à la simple différence des émissions observées avant et après mise en œuvre de l'action.

Par définition, il se calcule à partir de la comparaison, sur la période d'observation considérée, entre les émissions de GES du scénario de référence (sans action) et celles du scénario avec action (Figure 89). Cette méthode permet d'avoir une **approche systémique des mesures de réduction**.

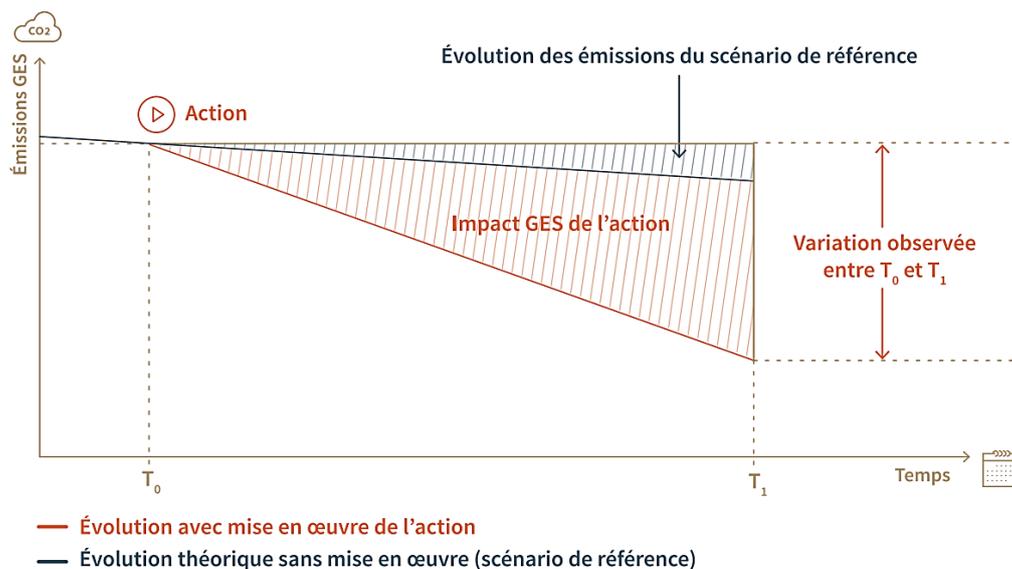


Figure 89 : Mesure de l'impact GES d'une action de réduction suivant la méthode QuantiGES

Pour citer un autre exemple d'effet rebond, lorsque l'**efficacité d'une voiture** est améliorée par l'ajout de dispositifs, cette méthode permet de vérifier que cette amélioration ne se fait pas au profit d'autres phénomènes qui engendreraient finalement plus d'émissions de GES ; la voiture pourrait par exemple être alourdie par les dispositifs et donc émettre davantage de GES lors de sa fabrication et de son utilisation.

Dans le cadre du projet, la méthodologie QuantiGES n'a pas été utilisée ; les réductions ont d'abord été estimées en ordre de grandeur et un travail supplémentaire serait nécessaire pour affiner les résultats avancés.

En revanche, plusieurs effets rebonds possibles pour chacune des préconisations ont été être identifiés en première approche.

Pour certaines actions de réduction, l'effet rebond peut être assimilé à un **pourcentage de réussite de l'action**.

Par exemple, dans le cas de l'ECN, et pour la mesure consistant à imposer **un midi exclusivement végétarien au R.U** (voir « Adoption d'un jour végétarien chaque semaine »), il est possible de considérer qu'une partie des élèves qui mangeaient au R.U. ce jour-là, déciderait de manger ailleurs afin de ne pas changer leurs habitudes alimentaires.

Pour cette raison, seul un pourcentage de la réduction totale possible s'appliquera réellement, puisque certaines personnes décident de continuer à manger de la même manière autre part.

Pour d'autres actions de réduction, l'effet rebond peut être plus **indirect**.

Un levier d'action permettant la réduction des émissions de GES liées aux déplacements consistait à **diminuer le nombre de double-diplômes, en respectant des quotas en fonction de la distance** de trajet pour les élèves (voir « Réduction du nombre de DD/SE/masters selon leur éloignement »). La réduction de la distance totale parcourue en avion grâce à cette préconisation est directe, en supposant que tous les élèves effectuent un unique aller-retour par an pour leur mobilité. Toutefois, des élèves en mobilité, proches de leur pays d'origine, peuvent finalement émettre plus de GES par an que des élèves qui viennent de loin car i-els ont la possibilité de rentrer chez elle-eux plusieurs fois dans l'année.

Aucune information n'ayant été récupérée sur ces trajets supplémentaires (il s'agit de déplacements personnels) il paraît difficile de chiffrer précisément les conséquences que pourrait avoir un tel effet rebond. Pour autant, celles-ci ne doivent pas être négligées et devraient être prises en compte si l'action de réduction proposée - ou une mesure équivalente - est réellement mise en place.

Il paraît essentiel, notamment dans la phase de "vérification" de l'action de réduction, que ces trajets soient évalués et comparés avec ceux qui ont été évités.

Un tel travail pourrait être fait au travers de la méthodologie QuantiGES, qui inclut la prise en compte de ces phénomènes dans son périmètre. Un sondage pourrait être diffusé pour récupérer les informations manquantes, notamment sur les voyages personnels des élèves en mobilité.

En conclusion, **l'identification et la comptabilisation des effets rebonds aux actions de réduction qui seront menées à l'ECN sont essentielles**. Un premier travail d'anticipation et de quantification plus précise de certains effets rebonds pourrait d'abord être réalisé.

4.2.2 Impact du numérique et bonnes pratiques pour le réduire

Avec 830 millions de tonnes en 2013 [Woods, 2013], les émissions de GES des infrastructures liées aux technologies de l'information représentaient environ **2 % des émissions mondiales de GES**. A titre de comparaison, cela représente autant que les émissions de l'industrie aéronautique (hors fret) et davantage que les émissions de l'Allemagne.

Les auteurs de l'étude exposant ces statistiques en 2012 précisait que le modèle de calcul devait être amélioré par la prise en compte d'émissions supplémentaires liées au trafic de données notamment et soulignaient que ces émissions devaient doubler d'ici 2020.

Les émissions de GES du numérique, qui paraissent invisibles, sont dues à la **fabrication des machines utilisées** (serveurs, ordinateurs, réseaux, ...) mais aussi et **surtout à l'électricité utilisée pour faire fonctionner et refroidir ces machines**.

Il est important de retenir que la production d'électricité est le premier poste d'émissions de GES dans le monde, car **l'électricité utilisée est principalement d'origine fossile**.

Bien que cela soit différent en France, avec l'utilisation d'un mix électrique décarboné (notamment grâce à la part très importante des secteurs nucléaires et hydroélectriques : 84,3% à eux deux en 2016,

source RTE), **utiliser Internet en France conduit tout de même à des émissions de GES importantes à l'étranger**. En effet, aujourd'hui, des données situées à l'autre bout du monde sont accessibles en un clic ; aucun centre de données (ou *datacenter*) de Google par exemple ne se situe en France.

Dans tous les cas, **minimiser la mise en ligne permanente de données** paraît être une solution efficace, que cela soit pour la réduction directe de la consommation énergétique et donc des émissions de GES, mais également pour la durabilité des appareils utilisés.

Plusieurs conseils sur l'utilisation du numérique au quotidien, au sein de l'ECN et en dehors peuvent être partagés, par le biais de différents leviers d'action.

Ceux qui seront présentées ci-dessous sont ciblés sur l'utilisation d'un ordinateur (fixe ou portable) avec des exemples de réflexes à adopter, ou plus spécifiquement sur l'installation d'**un environnement informatique plus sobre en énergie**.

UTILISER LE WI-FI PLUTOT QUE LE RESEAU MOBILE (3G/4G)

D'après le Shift Project [Ferreboeuf, 2018], utiliser le réseau mobile plutôt que le Wi-Fi peut conduire à une augmentation, jusqu'à six fois supérieure de la consommation d'énergie ($8,84 \cdot 10^{-7}$ Wh/byte pour le Wi-Fi contre $1,52 \cdot 10^{-7}$ Wh/byte pour le réseau mobile).

De plus, dans le cas d'une navigation internet sur un ordinateur, utiliser le réseau mobile signifie également, dans la plupart des cas, utiliser son portable pour un partage de connexion, ce qui rajoute en plus en moyenne 0,11 Wh/min.

Si la connexion Wi-Fi à l'ECN sur le réseau « Wifi-ECN » est compliquée, car elle implique de renseigner ses identifiants à chaque nouvelle connexion, la meilleure solution reste l'utilisation du **réseau « eduroam »** qui est d'ailleurs disponible dans bon nombre d'universités dans le monde entier et qui permet une connexion Wi-Fi automatique sans renseignement d'identifiants.

Il est possible de se connecter à « eduroam » avec ses identifiants de l'ECN en suivant le protocole expliqué sur le site intranet de l'établissement¹.

CONSEILS POUR LA GESTION DU COURRIER ELECTRONIQUE

Toujours d'après le Shift Project, la consommation liée à l'envoi d'un mail est de l'ordre de 1 Wh pour un mail de 1 Mo pour un unique destinataire. Cela comprend la consommation de l'appareil d'envoi, celle du réseau utilisé et celle liée au stockage dans la boîte d'arrivée [Ferreboeuf, 2018].

En particulier donc, **le stockage des messages sur les serveurs de messagerie** (et plus généralement sur les "box" de stockage ou le *cloud*) consomme de l'électricité.

Dans le monde, les centres de stockage des données (*datacenters*) consommaient 1,5 % de l'électricité mondiale en 2018, soit l'équivalent de la production de 30 centrales nucléaires, ou de 22 500 éoliennes. Comme ces centres de données sont majoritairement alimentés par des centrales à charbon

¹ <https://etudiant.ec-nantes.fr/service-wi-fi-eduroam-46259.kjsp>

comme évoqué en introduction de ce document, ils sont responsables de 2% des émissions de GES mondiales.

Pour toutes ces raisons, plusieurs conseils peuvent être donnés.

Une bonne pratique à adopter consiste à **nettoyer régulièrement sa boîte mail** ; il est possible de la paramétrer pour supprimer les mails au bout d'un certain temps après leur réception ou leur dernière consultation.

Dans les mails, **les liens hypertextes peuvent être privilégiés par rapport aux pièces jointes volumineuses** (Framadrop est par exemple une bonne alternative) ; la pièce à transmettre est ainsi stockée sur un unique serveur plutôt que dans le mail envoyé ce qui évite la démultiplication de son stockage notamment si le nombre de destinataires du mail est important. Il est également utile de **remplacer sa signature par un lien hypertexte**¹.

Lors de la transmission de fichiers en interne, le **transfert physique avec une clé USB** par exemple peut être privilégié.

Le nombre de destinataires par mail doit être raisonné ; les listes d'envoi doivent être limitées : un mail envoyé à une liste se retrouve en effet stocké dans l'ensemble des boîtes mails des personnes qui y sont abonnées. Il serait d'ailleurs intéressant de mettre en place un service de messagerie interne à l'école qui permettrait que le mail soit stocké à un seul endroit, accessible pour tous-tes les utilisateur-rices.

Le renvoi de mails d'une messagerie à une autre doit être évité car cette démarche revient à stocker le même mail à deux endroits différents.

En outre, le mail reste un outil à privilégier par rapport à d'autres moyens de communication numériques : il permet un contrôle sur ses données que n'offrent pas d'autres outils.

Il est possible par exemple de supprimer un mail tandis qu'un message sur la messagerie instantanée Messenger ne sera jamais supprimé et sera même probablement dupliqué pour assurer la robustesse de l'outil.

DIMINUTION DU NOMBRE DE REQUETES SUR LE WEB

Chaque recherche sur Google produit, en moyenne, 7 gCO₂eq [Planetoscope, s.d.].

Le nombre de requêtes traitées par Google chaque année est estimé à 1 200 milliards, ce qui correspond donc à 8,4 MtCO₂eq produites par an pour cette seule activité. A titre de comparaison, il s'agit de presque 1500 fois le BC total de l'ECN calculé par les étudiant-es de l'option Neutralité Carbone.

¹ www.wikihow.com/Create-an-HTML-Signature

Pour limiter ces émissions, plusieurs bonnes pratiques peuvent être adoptées.

Les sites fréquemment consultés peuvent être **enregistrés en favoris** – ou bien leur **adresse URL peut être directement entrée dans la barre de navigation**. Cela permet d'éviter d'y accéder par un moteur de recherche. Davantage **cibler ses recherches** permet de limiter la sollicitation des serveurs des moteurs de recherche utilisés.

Par ailleurs, d'autres **moteurs de recherche alternatifs** permettent de rechercher autrement, en participant à des projets écologiques et solidaires (peuvent être ainsi cités par exemple Ecosia ou Lilo) ou en diminuant le nombre d'informations transitantes, notamment sur la vie privée (Qwant, DuckDuckGo, ...).

DIMINUTION DU STOCKAGE DE FICHIERS EN LIGNE

Le stockage en local sur une clé USB ou sur un disque dur permet d'éviter la consommation liée à la mise en ligne des données et au stockage dans un *datacenter*.

Une donnée stockée en ligne consomme en continu, puisque le *datacenter* reste allumé 24h/24.

Dans le cas où un service de cloud est utilisé, de manière similaire à ce qui a été mentionné dans la partie sur le courrier électronique, il faut veiller à utiliser des outils de stockage permettant la **suppression automatique d'un fichier** au bout d'un certain temps après sa création ou sa dernière consultation, ce qui est possible sur les outils de Framasoft notamment (voir « Utilisation de logiciels libres »).

INSTALLATION D'UN BLOQUEUR DE PUB

L'installation d'un **bloqueur de publicités** sur les sites web tel que Adblock ou AdGuard permet la **réduction des transferts de données** lors de la consultation d'un site, et donc de la consommation énergétique liée à la navigation.

En outre, la navigation devient ainsi plus rapide et plus agréable.

VISIONNAGE DE VIDEOS EN BASSE RESOLUTION

D'après Cisco, d'ici 2021, 82% du trafic internet et donc de sa consommation serait consacré à la vidéo (source Cisco).

Si regarder moins de vidéos est une solution évidente, réduire la résolution de la vidéo permet de réduire la quantité de données transférée et donc la consommation énergétique du visionnage. Réduire de moitié la résolution c'est diviser par deux la quantité de données transitante et donc la consommation liée à la vidéo.

UTILISATION DE CARBONALYSER

Carbonalyser¹ est une extension de navigateur permettant de **visualiser la consommation électrique et les émissions de GES associées à la navigation internet**. Développée en collaboration avec le Shift Project, l'extension permet de se rendre compte par soi-même de l'impact de sa navigation personnelle.

¹ <https://theshiftproject.org/carbonalyser-extension-navigateur/>

UTILISATION DE LOGICIELS LIBRES

L'article L123-4-1 du code de l'éducation décrit que « le service public de l'enseignement supérieur met à disposition de ses usagers des services et des ressources pédagogiques numériques » et que dans ce cadre « les logiciels libres sont utilisés en priorité ».

Le logiciel libre prône la transparence, la solidarité, le partage des connaissances, la liberté et la diffusion de l'information. Ils sont de plus, en général, plus sobres en énergie car plus sobres en contenu. Dans cette optique, l'installation de Linux est une bonne préconisation, tout comme par exemple l'utilisation des outils du collectif Framasoft qui propose des services équivalents à ceux de Google et Microsoft (Drive, Calc, GitHub, Pad, ...).

ALLONGEMENT DE LA DUREE DE VIE DES EQUIPEMENTS

Allonger la durée de vie de ses équipements c'est diminuer ses émissions de GES : l'amortissement sur l'émission liée à la production de l'appareil est augmentée.

Pour préserver son ordinateur, plusieurs conseils peuvent être suivis.

Les appareils doivent être **nettoyés régulièrement**, pour assurer une aération optimale et éviter ainsi les surchauffes, qui réduisent la durée de vie des composants.

En particulier, il faut surveiller le disque dur avec attention ; le composant supporte très mal la chaleur. Pour le conserver longtemps, il est conseillé de le **défragmenter tous les ans** (sauf pour les SSD) et de **le formater tous les deux ans** (des tutoriels sont disponibles en ligne pour effectuer ces processus en fonction du système d'exploitation utilisés).

Pour préserver sa batterie, il est conseillé de procéder une à trois fois par mois au moins à une **décharge totale de la batterie** avant de la charger, en évitant de l'utiliser pendant sa charge. De plus, plutôt que laisser l'appareil en veille, il est préférable de l'éteindre.

ALLONGEMENT DE LA DUREE DE VIE D'UN ORDINATEUR.

En Europe en 2016, **seuls 37 % des déchets électroniques étaient collectés** [Planetoscope, s.d.] et ce, alors qu'ils renferment de ressources précieuses comme l'or, le zinc mais aussi des composants dangereux pour l'environnement comme le mercure ou le chrome. A Nantes, la métropole a passé un partenariat avec l'entreprise Ecosystem : les D3E (Déchets d'équipements électriques et électroniques) sont désormais pris en charge dans n'importe quelle **déchetterie de la métropole**.

La plupart du temps, lors du dysfonctionnement d'un ordinateur, une seule pièce ou circuit de la machine est défectueux. Il est donc préférable d'essayer de **réparer** ou de **faire réparer** son ordinateur plutôt que d'en acheter un nouveau ; l'**achat de nouvelles pièces trouvées d'occasion** suffit. L'association "Les Amis de la Terre" propose par exemple de réparer bénévolement les ordinateurs dans le cadre de « Repair Cafés » organisés régulièrement à Nantes.

Si l'achat d'une nouvelle machine est inévitable, plusieurs solutions existent pour **acheter de manière plus responsable**.

Un **ordinateur d'occasion** peut être récupéré. Il est même possible d'en disposer à l'ECN. La Direction des Systèmes d'Information (DSI) donne du matériel gratuitement (machines et pièces d'occasion) lorsque celui-ci ne correspond plus aux besoins de l'établissement.

Il est aussi envisageable d'acheter un **ordinateur reconditionné** ; ce service proposé par plusieurs sites, notamment BackMarket et E-recycle.

De la même manière, dans le cas d'un remplacement de matériel alors même que sa machine fonctionne encore, **le don** à une association (par exemple Linux Nantes, ou ALIS44) ou **la revente** sur Le Bon Coin (ou sur les sites cités précédemment) est une meilleure idée qu'une mise à la décharge.

4.2.3 Etude de l'impact des missions de l'ECN : recherche et formation

Les deux missions principales de l'ECN sont la formation des étudiant-es et la recherche.

Pour rappel, la Stratégie Nationale Bas Carbone [Ministère de la Transition Écologique et Solidaire, 2020], en plus des objectifs sectoriels de réduction, des émissions de GES présente **divers objectifs concernant la recherche et la formation** : l'« intégration des enjeux de développement durable, notamment les enjeux liés au changement climatique, à la transition énergétique et la réduction des émissions de gaz à effet de serre, aux **programmes d'enseignements du supérieur** », l'encouragement « d'une **meilleure intégration des enjeux de la transition bas-carbone** par les branches, les entreprises et les territoires pour favoriser les transitions et reconversions professionnelles et le développement des emplois de demain » ou l'adaptation de « l'appareil de formation initiale et continue pour accompagner la transformation des activités et des territoires ».

En suivant ces directives, l'impact lié à la réalisation de ces deux missions aurait donc dû être pris en compte dans le bilan carbone. Cela pourrait d'ailleurs correspondre au critère 18 du bilan carbone, « **Utilisation des produits vendus** » (voir « Adaptation de la méthode Bilan Carbone de l'ADEME »).

Toutefois, il n'existe pas de méthode rigoureuse permettant de l'évaluer. C'est pourquoi il a été décidé de l'estimer avec des méthodes créées par les étudiant-es de l'option Neutralité Carbone. Cependant, ces méthodes sont des moyens d'estimer l'empreinte carbone des missions de l'ECN de façon inédite et expérimentale. **Les résultats ne sont donc pas comparables avec les calculs des autres critères du bilan carbone.**

Estimer l'impact des formé-es (c'est-à-dire des ingénieur-es diplômé-es de l'ECN) et de la recherche est néanmoins un exercice intéressant, qui permettrait, si cette estimation est répétée tous les ans, d'en déduire une **évolution temporelle** ; celle-ci attesterait des efforts effectués par l'ECN et donc de **l'impact de la formation** sur la prise de conscience des jeunes ingénieur-es et de **l'impact des travaux de recherche** des chercheur-ses.

Par ailleurs, si la **méthode devenait suffisamment fiable et précise**, il serait même possible d'imaginer de la comparer aux sources d'émissions « traditionnelles » (directes ou indirectes) et ainsi d'orienter les efforts vers ce qui importe le plus.

Le BC étant calculé sur l'année 2018, le critère « Utilisation des produits vendus » pourrait ainsi correspondre à **l'impact d'une promotion d'étudiant-es** diplômé-es en 2018 ainsi qu'à celui des **parutions de la recherche** en cette même année.

Evaluer l'impact des missions de l'ECN est une tâche complexe car de **nombreux paramètres** interviennent.

Pour les **formé-es**, **l'influence** de l'ingénieur-e au sein de son entreprise, son **domaine d'activité**, l'inertie et l'impact des **produits de son entreprise**, etc. peuvent être pris en compte.

Pour la **recherche**, les paramètres à considérer seraient le **secteur d'activité** de la parution, l'origine des **financements**, le **type de recherche** (fondamentale ou appliquée), la **visibilité** et **l'influence** dans les mentalités ou dans les pratiques industrielles, etc.

Deux modèles permettant d'avoir un ordre de grandeur de l'impact d'ingénieur-es moyens ont été réfléchis. Par ailleurs, quelques pistes permettant d'estimer l'impact de la recherche ont été esquissées.

IMPACT DES INGENIEURS DIPLOMES DE L'ECN (OU "FORME-ES")

Les Ingénieur-es Et Scientifiques de France (IESF), réalisent chaque année une enquête permettant de dresser un panorama complet dans le monde de la situation professionnelle et socio-économique des ingénieur-es et scientifiques diplômé-es en France.

Ce questionnaire a été transmis par Centrale Nantes Alumni (CNA). Y accéder a permis de savoir quel type de données pouvait être accessible.

METHODES

Deux méthodes de calcul ont donc été construites en s'appuyant sur ces données.

Le tableur détaillant les calculs de ces deux méthodes est joint au présent rapport : « Impact_Formation_Simulations ».

La première méthode part de la rémunération des formé-es ; la deuxième méthode prend en compte le secteur d'activité, la taille de l'entreprise et le niveau hiérarchique des formé-es.

Méthode mesurant l'impact des ingénieur-es de l'ECN à partir de leur rémunération

Il semble légitime en première approximation de considérer que plus une personne sera payée, plus ses impacts socio-environnementaux via son travail d'ingénieur-e seront importants pour plusieurs raisons [Lawlor, 2009].

Plus l'engagement socio-environnemental des structures (entreprises ou associations) sera poussé, plus les écarts de salaires seront faibles. Les ingénieur-es y travaillant seront donc moins payé-es.

Les domaines d'activités comme le social, l'écologie... génèrent généralement beaucoup moins de profits que d'autres domaines, comme ceux des activités les plus émettrices (les énergies fossiles, le bâtiment...). Cela se retrouve en termes de niveau de rémunération des employé-es.

L'ADEME fournit un FE de 250 kgCO₂eq/k€ pour le « Service - Recherche et développement ».

Sans information supplémentaire, il a été considéré que si une personne paye pour un service de recherche et développement, elle paye les ingénieur-es qui ont travaillé pour le mener à bien. Cependant la totalité de cet argent dépensé pour le service n'est pas directement reversé à l'ingénieur-e. Il a donc été estimé qu'un-e ingénieur-e reçoit 25 % (à 10 % près) du service facturé.

Pour obtenir un résultat chiffré, différentes hypothèses ont été utilisées.

Il a été supposé que le salaire mensuel brut d'un-e ingénieur-e moyen-ne est de 3 000 € ± 500 € ; il a été supposé que le coût horaire de ce-tte même ingénieur-e est facturé 80 € ± 20 €.

Enfin, il a été considéré que ce-tte ingénieur-e travaille 150 heures par mois.

Ces données ont donc permis de construire le modèle précité dont les résultats sont récapitulées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 80 : Récapitulatif des données utiles à l'établissement du modèle pour le calcul de l'impact des formé-es

Grandeur de calcul	Valeur	Source
FE monétaire « Service - Recherche et développement » (kgCO ₂ /k€)	250	ADEME
FE monétaire « Service - Recherche et développement » (kgCO ₂ /€)	0,25	
Part du coût du service réellement reçu par l'employé	25%	Calcul interne
FE monétaire corrigé sur le revenu du salarié (kgCO ₂ /€)	1,00	
Nombre d'étudiants par promo	791	Direction de la Formation

En multipliant le salaire brut moyen des formé-es, par le nombre de formé-es et le FE monétaire corrigé, l'impact des "produits" de la formation à l'ECN est obtenu.

Le questionnaire de l'enquête IESF donne le montant de la rémunération de celle-eux qui y ont répondu.

Cette méthode présente plusieurs **limites**.

Tout d'abord, il est possible qu'une personne ait des **impacts sociaux-environnementaux moins nocifs** qu'une autre personne **tout en étant mieux payée** que cette dernière.

Ensuite l'utilisation du **ratio monétaire** « Service - Recherche et développement » peut être remise en question : peu d'informations sont données à propos de ce FE et il est donc compliqué de savoir comment il est calculé et s'il convient à cette situation.

Pour ce modèle, il a été supposé qu'il existe une **relation linéaire entre l'influence d'un-e salarié-e dans une entreprise et son salaire**, et que cette relation **varie selon la taille de l'entreprise** : Multinationale, Grande Entreprise (GE), Entreprise de Taille Intermédiaire (ETI), Petite ou Moyenne Entreprise (PME) et Très Petite Entreprise (TPE).

Pour déterminer cette fonction, il a été décidé de prendre l'exemple d'un PDG (Tableau 82) ; son pourcentage d'influence dans l'entreprise et son salaire ont été subjectivement choisis, à partir de sources diverses.

Tableau 82 : Données permettant de calculer pour chaque type d'entreprise l'influence des formés-es

Type de structure	Nombre de salariés	Exemple de salaire du PDG	Exemple de l'influence du PDG
TPE	moins de 10	4248	0,9
PME	entre 10 et 249	9250	0,8
ETI	entre 250 et 4999	39167	0,7
GE	Plus de 5000	77917	0,5
Multinationale	-	116667	0,4

A partir du tableau ci-dessus, des fonctions d'influence ont été déduites :

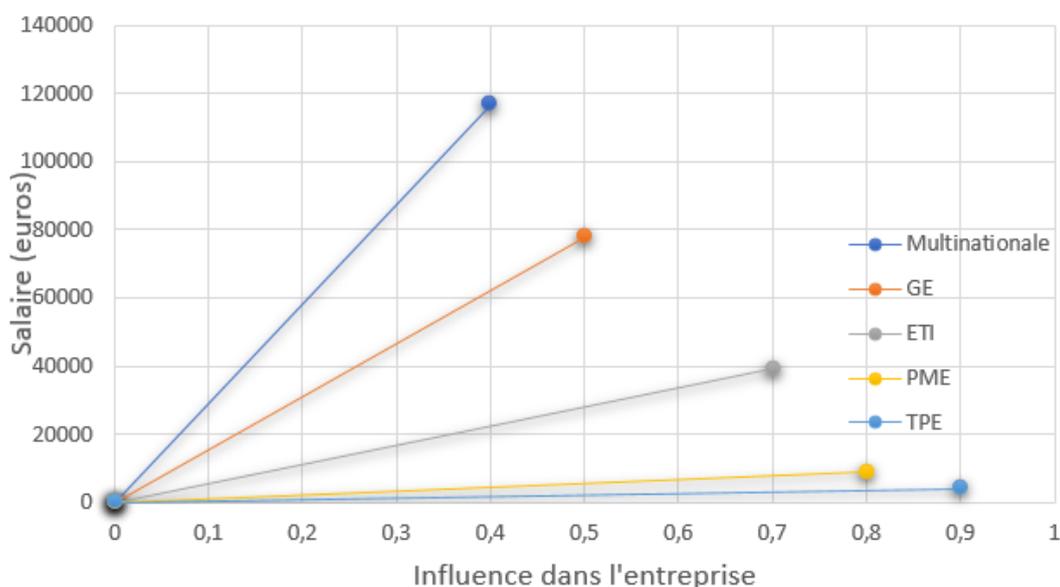


Figure 90 : Modèles caractérisant l'influence en fonction du salaire (pour chaque type d'entreprise)

Avec ces modèles linéaires, un-e vice-président-e d'une entreprise de 20 personnes payé-e 2 000 €/mois aurait par exemple une influence de 17 % contre 22 % pour un-e ingénieur-e d'une PME de

150 personnes payé-e 2 500 €/mois. Pour les multinationales ou les grands groupes, avec des salaires de 3 000 à 7 000 €/mois, l'influence des ingénieur-es est de l'ordre de 1%.

Cette méthode présente plusieurs **limites**.

Prendre en considération l'impact des secteurs d'activité a ses limites, car avec cette méthode, une personne travaillant dans l'écoconstruction ou les énergies renouvelables aura le même impact qu'une personne travaillant respectivement dans le béton ou les énergies fossiles. Seul le salaire peut linéairement modifier ce résultat via l'influence, en considérant que dans une même entreprise, les ingénieur-es qui travaillent sur des solutions plus respectueuses de l'environnement gagnent moins.

La caractérisation de l'**influence des ingénieur-es** dans leur entreprise est relativement imprécise et subjective. De plus, avec cette loi linéaire, la somme des influences des salarié-es de l'entreprise est différente de 1.

Enfin, **les salaires des PDG**, par type d'entreprise, qui ont permis de tracer les différentes courbes en Figure 90, ont été choisis de façon subjective. Or, si dans une entreprise, un-e salarié-e gagne plus que le PDG pris en exemple, son influence serait alors supérieure à 1, ce qui n'a pas de sens d'un point de vue mathématique.

Pour améliorer cette méthode, des **pistes d'amélioration** peuvent être suggérées.

Le **chiffre d'affaire de l'entreprise** pourrait être considéré à la place du salaire des PDG pour évaluer, à partir de là, l'influence des différents salarié-es.

Les données utilisées pourraient être remplacées par d'autres, plus fiables, nécessitant une recherche approfondie. Globalement, des **chiffres plus précis à l'échelle mondiale** pourraient notamment être trouvés. En effet, pour ce modèle, lorsque les données mondiales n'ont pas trouvées, les données françaises ont été utilisées. Elles ont été généralisées en faisant un produit en croix avec les populations françaises et mondiales ; ce problème a notamment été rencontré pour trouver le nombre de salarié-es d'un secteur dans le monde, l'impact des différents domaines d'activité et le salaire des PDG.

RESULTATS ET DISCUSSION

Afin d'éprouver les modèles définis précédemment, des **simulations** ont été réalisées, en considérant différents **profils d'ingénieur-es moyen-nes**, avec une entreprise, un secteur d'activité, l'effectif de cette structure et un salaire donnés.

L'impact de chacun des profils a été calculé avec la première méthode puis avec la deuxième, pour permettre d'obtenir une **comparaison** fiable.

Une promotion de 791 étudiant-es a été considérée, cela étant la taille de la promotion diplômée en 2018, selon les chiffres de la direction de la formation.

Les résultats de la première méthode suite à la simulation sont donnés dans le Tableau 83, les résultats de la deuxième méthode sont donnés dans le Tableau 84.

Tableau 83 : Résultats des simulations de la première méthode

Numéro de profil	1	2	3	ECN	4	5	6
Salaires mensuels (€)	2000	2500	3000	3300	3500	4000	5000
Primes/avantages mensuels moyens (€)	0	0	0	0	0	0	0
Revenu annuel (€)	24000	30000	36000	39600	42000	48000	60000
Impact d'une seule personne (tCO ₂ /année de travail)	24	30	36	39,6	42	48	60
Impact de toute promo avec ce profil (ktCO ₂ /an)	19,0	23,7	28,5	31,3	33,2	38,0	47,5

Tableau 84 : Résultats des simulations de la deuxième méthode

Numéro de profil	1	2	3	4	5	6	7
Description	VP d'une entreprise de 20 personnes dans les transports	Ingénieur.e d'une PME de 150 personnes dans le bâtiment	Ingénieur.e automobile Renault travaillant en début de carrière sur les voitures électriques	Ingénieur.e énergie fossile TOTAL en début de carrière	Ingénieur.e ENGIE sur EnR	Ingénieur.e à la SNCF/AIRBUS	Ingénieur.e bâtiment chez Colas
Rémunération	2000	2500	3300	3300	4000	5000	7000
Son secteur d'activité (kgCO ₂ /salarié)	74,0346504	15,91764664	74,0346504	463,6369531	463,6369531	74,0346504	15,91764664
L'effectif de sa structure (salariés)	20	150	181345	98277	158505	142240	58000
Influence	0,172972973	0,216216216	0,011314286	0,011314286	0,013714286	0,032085561	0,024
Impact d'une seule personne (tCO ₂ /année de travail)	0,256119872	0,516247999	151,9034919	515,5337183	1007,84606	337,883059	22,15736413
Impact de toute promo avec ce profil (10 ³ tCO ₂ /an)	0,202590818	0,408352167	120,1556621	407,7871711	797,2062339	267,2654997	17,52647502
Méthode 1 / Méthode 2	23,42653056	14,52790134	0,065172959	0,023276848	0,01190658	0,044394058	0,947766164

Une simulation qui considère un salaire moyen à la sortie de l'ECN de 3 300 €/mois a été réalisée dans un premier temps.

La **première méthode** aboutit à un impact carbone des formés-es de l'ordre de **31 300 tCO₂eq par an**. A titre de comparaison, l'impact carbone de l'ECN en 2018 est d'environ 5 700 tCO₂eq.

La **deuxième méthode** pour les deux profils différents étudiés avec ce salaire (les profils numérotés 3 et 4) aboutit à des **impacts quatre à dix fois plus grands**.

En comparant les deux méthodes et en regardant les résultats des simulations, il est possible de trouver un écart très variable. Cet écart peut monter jusqu'à un ordre 100 entre les méthodes ; tantôt la première méthode est 100 fois plus grande que la deuxième, tantôt l'inverse se produit. **L'incertitude est donc considérable**.

Il peut être constaté qu'**avec la deuxième méthode, l'effectif de l'entreprise joue un grand rôle dans le chiffrage de l'impact de l'ingénieur.e** qui y travaille. Pour un.e ingénieur.e qui travaille dans le domaine des transports et qui gagne 3300 €/mois, l'impact passe de 0,4 tCO₂eq/an pour une PME de 20 personnes à 150 tCO₂eq/an pour un grand groupe comme Renault.

CONCLUSION

Les modèles proposés restent à affiner.

Il reste en effet beaucoup de points à revoir, de limites à surmonter et d'autres méthodes à mettre en place, de manière à confronter chacun des résultats. Pour le moment, **les modèles sont a priori trop**

simplistes par rapport à la complexité du problème ; c'est la raison pour laquelle ils n'ont pas été inclus dans le BC global.

Si un modèle plus complet est finalement construit, les données de l'IESF pour chaque promotion de l'ECN pourront être analysées tous les ans pour en étudier l'évolution. Cela pourrait être un **bon indicateur pour évaluer les évolutions de la formation**.

Les résultats des premiers modèles peuvent indiquer que les efforts à fournir pour diminuer l'impact carbone et environnemental de l'ECN ne doivent pas uniquement se focaliser sur les émissions directes et indirectes liées à son fonctionnement (de l'énergie jusqu'aux déplacements et achats).

Ce que l'ECN "produit" doit également être repensé ; elle forme des ingénier-es qui seront amené-es à travailler dans des structures (entreprises, collectivités...), à prendre des décisions importantes et à répondre à des problématiques complexes.

Les missions de l'ECN ne doivent pas être mises de côté lors de la mise en place de la stratégie bas-carbone de l'école, au contraire.

L'ECN a son rôle à jouer dans la **formation d'ingénieur-es éclairé-es et conscient-es des enjeux socio-environnementaux actuels et futurs**. Une formation à la hauteur des enjeux, permettant aux futur-es ingénieur-es de prendre toutes leurs décisions professionnelles (et personnelles) de manière éclairée, semble être une préconisation de poids.

IMPACT DE LA RECHERCHE

En ce qui concerne la recherche, seules quelques pistes pour chiffrer son impact carbone ont été considérées ; les méthodes n'ont pas été développées ni approfondies. Un travail plus approfondi sur ce sujet serait nécessaire.

Au préalable, les données accessibles, qui seraient à la base du modèle, ont été identifiées.

Tout d'abord, **le nombre total de publications**, connu grâce au tableau de bord stratégique utilisé par le CA (Conseil d'Administration) pour connaître la santé de l'ECN, pourrait être utilisé, de même que le montant cumulé sur cinq ans des contrats de recherche. De plus, **le montant des contrats de recherche, le budget de l'école pour la recherche** ainsi que l'ensemble des articles de recherche publiés chaque année sont également accessibles.

Il serait possible de classifier les articles publiés selon leur **secteur d'activité** et selon **leurs impacts** (par exemple recherche sur le béton *versus* recherche sur des matériaux biosourcés).

D'autres ressources, comme ScienceDirect ou Web of Science – Scopus pourraient être utilisées.

Pour calculer l'impact de la recherche, plusieurs paramètres devraient être pris en compte et questionnés.

Tout d'abord se pose la question de l'**impact de la recherche** ; celui-ci n'est **pas forcément immédiat**, lors de l'année de parution de l'article : la recherche menée peut avoir des répercussions parfois 20 ans après.

Par ailleurs, évaluer la réflexion initiée par un article et son **impact réel sur l'industrie ou le changement d'habitudes**, paraît être un travail complexe.

Quelques pistes pour un calcul en ordre de grandeur peuvent être proposées.

Il serait par exemple possible de faire **le produit entre deux paramètres** : d'une part, l'impact carbone mondial d'un secteur d'activité de la recherche en fonction de l'argent généré - ce qui permet d'obtenir un **ratio monétaire du secteur** (kgCO₂eq/euro) ; d'autre part, **le « prix » d'un article**, en considérant le budget alloué à la recherche et le nombre d'articles parus ou bien en considérant le temps passé par article et le salaire d'un-e chercheur-se.

Il ne s'agit là que de pistes de réflexion à approfondir, pour aboutir à un ordre de grandeur intéressant et exploitable.

De manière plus spécifique et moins théorique, avec d'autres données que celles énoncées précédemment, il pourrait être envisagé de compter le bilan carbone des activités de recherche à l'ECN au travers du **matériel utilisé**, des **ressources nécessaires à la réalisation des travaux de recherche**, des **déplacements des chercheur-ses** - ainsi que cela est déjà en partie fait dans le bilan carbone de l'ECN.

Ce bilan carbone pourrait être comparé aux **bienfaits potentiels attendus de l'application des travaux de recherche**. Ces bienfaits seraient alors comptés et **considérés comme un "évitement"** (voir partie « Emissions évitées » page 295). Il ne s'agirait donc pas du bilan carbone d'une année particulière mais d'une évaluation globale de l'impact carbone de la recherche sur l'ensemble de sa durée, depuis la conception de l'idée à sa diffusion à grande échelle, en passant par la phase expérimentale.

Par exemple, pour le projet d'éolienne flottante de l'ECN, l'impact de la mise en place du site d'expérimentation, l'électricité utilisée, les déplacements des chercheurs, etc. ont été estimés. Ces émissions pourraient être comptées sur l'ensemble de la durée du projet de recherche (estimée), jusqu'à ce que le projet soit suffisamment mature pour être utilisé à un niveau industriel.

Les émissions de la recherche elles-mêmes pourraient alors être contrebalancées par les émissions de GES que la généralisation d'un tel système au niveau mondial permettrait d'éviter, en remplaçant d'autres moyens de générer de l'énergie. Il faudrait cependant également considérer de potentiels **effets rebonds**, comme par exemple le fait que cette nouvelle source d'énergie pourrait venir s'ajouter aux sources existantes sans pour autant les remplacer.

4.2.4 Emissions évitées

La question de l'évitement peut être perçue comme ambiguë. En effet, pour réduire la valeur du BC, il est tentant de vouloir **compter certaines actions qui paraissent bénéfiques comme ayant une valeur négative**.

Dans la fiche technique *Les émissions évitées, de quoi parle-t-on ?*, l'ADEME éclaire la question de l'évitement. Une émission évitée par une organisation « concerne une réduction d'émission réalisée par ses activités, produits et/ou services, lorsque **ces réductions se réalisent en dehors de son périmètre d'activité** » [ADEME, 2020]. Les émissions évitées sont alors évaluées au regard d'un scénario de référence.

Par exemple, si l'ECN propose à un autre organisme une récupération et réutilisation de ces déchets, alors il peut être question d'un évitement. La différence d'émissions entre les déchets revalorisés et les émissions potentielles qu'il aurait fallu pour obtenir les mêmes matériaux neufs représentent une émission évitée. Cependant, cette quantification doit être faite de manière très stricte, surtout si elle est incorporée au BC global de l'établissement.

#6

Toute communication devra produire une information complète, transparente et compréhensible par tous, en cohérence notamment avec les exigences de la norme ISO 14067 et de la norme ISO 14064-1. L'organisation distinguera les émissions induites par ses activités (bilan GES) des émissions évitées en dehors de son périmètre qu'elle souhaite valoriser. En aucun cas, la somme entre les émissions du Bilan GES et les émissions évitées ne doit être utilisée.

Figure 91 : Extrait de *Les émissions évitées, de quoi parle-t-on ?*, ADEME, 2020

Il faut rester également vigilant-es sur l'**attribution de l'évitement**. Comme signalé par l'ADEME, plusieurs acteur-ices ou organismes sont souvent impliqués dans une action qui aboutira à la réduction des émissions. Ainsi, il est préférable de ne pas s'en attribuer la paternité mais uniquement d'annoncer sa "contribution" à l'évitement d'une certaine quantité de GES.

Enfin, l'augmentation des évitements n'est pas la priorité, contrairement à la réduction des émissions évitables :

#2

Sans remettre en cause le bénéfice environnemental des émissions évitées, la priorité d'une organisation doit être la réduction de ses propres émissions directes et indirectes.

Figure 92 : Extrait de *Les émissions évitées, de quoi parle-t-on ?* p3, ADEME, 2020

Ainsi, plusieurs exemples d'évitements peuvent être donnés dans le cadre du bilan carbone de l'ECN.

Les émissions évitées par le **recyclage des déchets** par Solution Recyclage sont comptées en négatif dans le poste "déchets". En effet, Solution Recyclage fournissait comme information cet évitement calculé par Analyse du Cycle de Vie (voir la méthodologie « Déchets et recyclage » page 84). Cet évitement a été compté dans le BC. Cependant, il n'est pas souhaitable, comme dit précédemment, d'attribuer entièrement à l'ECN cette réduction ; elle y a plutôt contribué.

Les évitements liés à l'**alimentation** ne sont pas comptés.

Cette méthode n'est pas universelle, certains organismes soustraient à au bilan carbone de leurs repas les émissions moyennes du même nombre de repas pour un-e français-e moyen-ne. Cette méthode n'a pas paru souhaitable pour plusieurs raisons, dont un **manque d'informations sur ce que mangerait une personne si elle n'était pas à l'ECN**. En effet, il semble erroné de supposer que la moyenne des repas pris en dehors de l'école par les étudiant-es et permanent-es vaudrait la moyenne d'un repas français moyen. En effet, il est probable que les étudiant-es, par manque de moyens ou du fait de leur conscience écologique, consomment moins régulièrement de viande moins qu'un français moyen.

Enfin, pour une raison de **sensibilisation**, si cette approximation avait été faite, le chiffre de l'alimentation serait apparu comme négatif dans le BC total (voir partie 4.1.5) – même s'il est recommandé de placer une catégorie « évitements » à part pour cette raison. Le message perçu serait alors différent : ce résultat laisserait penser que des GES sont absorbés grâce à l'alimentation, plutôt que de permettre aux usager-es de se rendre compte de leur impact et de considérer les leviers d'action qui en découlent.

La question de l'énergie générée par l'éolienne flottante expérimentale de l'ECN au large du Croisic fait également débat.

Il a été proposé de retirer au BC de l'ECN l'énergie produite par l'éolienne. Cependant, il est important de noter plusieurs problèmes à cela.

Une énergie ne peut pas être soustraite directement à un BC. Il faudrait estimer la quantité de CO₂eq qui aurait été émise par l'utilisation d'une électricité venant d'une autre source que l'éolienne, si celle-ci n'existait pas. Il n'est donc pas aisé de convertir des kWh en tCO₂eq. Il faudrait étudier quel contrat (énergie fossile, nucléaire, ou renouvelable) les consommateur-rices de l'énergie de l'éolienne auraient choisi autrement. Comme précisé par l'ADEME, pour comptabiliser un évitement, il faut être extrêmement vigilant-e sur la quantification.

Par ailleurs, **l'ECN n'a pas la totale paternité de cet évitement** : d'autres organismes sont acteurs du projet. Ainsi, si le premier point était rempli – c'est-à-dire si les émissions qu'a permis d'éviter l'utilisation de l'éolienne avaient été quantifiées – **il ne faudrait pas retirer cette quantité au BC de l'ECN** pour autant, mais simplement **annoncer que l'école a participé à l'évitement de X tCO₂eq** grâce à son investissement dans le projet d'éolienne flottante.

Enfin, pour quantifier les tonnes de GES évitées, il faut appliquer un facteur d'émission. En considérant le FE de l'électricité consommée à l'école et en supposant que l'éolienne a produit en 2018 trois fois la consommation électrique de l'école, une réduction de 180 tCO₂eq environ pourrait être obtenue. Cela représente environ **3% du bilan carbone de 2018**.

Il n'est pas question ici de décourager les initiatives en faveur des énergies renouvelables. Il est même très probable que ce projet expérimental participera à la mise en place d'infrastructures similaires à un niveau mondial. Cependant, cette conséquence n'est pas intégrable au bilan carbone.

En conclusion, **comptabiliser les émissions évitées est un travail délicat, qui nécessite une attention particulière.**

4.2.5 Compensation carbone

Dans la fiche technique *Les émissions évitées, de quoi parle-t-on ?*, l'ADEME précise que « financer chez des tiers, hors de son périmètre d'activité, des projets bas carbone » est une forme d'**émission évitée**. Ce financement est ce qu'on appelle "la compensation carbone" ; il peut être perçu comme un moyen simple de contrebalancer les émissions liées à l'activité d'un organisme.

Après avoir rappelé la définition précise de la compensation carbone, seront détaillées ses limites et ses perspectives.

Définition de la compensation carbone

La compensation consiste à financer des **projets de réduction ou de séquestration (puits) des émissions de GES** hors du périmètre de responsabilité d'une organisation. Ce financement s'organise via l'achat de « **crédit carbone** » permettant en général d'éviter l'émission de 1 tCO₂eq par crédit, en partant de l'hypothèse que toutes les émissions de GES ont le même impact global sur le climat, et que les réduire dans le cadre de son organisation ou ailleurs aura le même impact bénéfique [ADEME, 2019]. La compensation concerne tous les GES, mais la compensation carbone du CO₂ reste la principale.

LES MARCHES DE LA COMPENSATION

Le marché de la compensation carbone se décline sous deux formes : **le marché de conformité et le marché volontaire.**

Le premier est établi selon le protocole de Kyoto et est certifié par l'Organisation des Nations Unies (ONU). Deux types de projets de compensation existent pour les Etats et les entreprises via ce marché : les **Mécanismes de Développement Propre (MDP)** qui concernent les pays en développement, et la **Mise en Œuvre Conjointe (MOC)** qui concerne d'autres pays.

Le marché volontaire quant à lui ne nécessite pas obligatoirement de certification, ce qui permet un plus grand choix de projets de compensation carbone mais *a fortiori* une moins bonne fiabilité. Il existe néanmoins des labels pour ces projets assurant une certaine fiabilité : le *Gold Standard* et le *Voluntary Carbon Standard*. Les projets de compensation volontaires se déclinent majoritairement sous trois axes : les **projets forestiers**, les **énergies renouvelables** et la **gestion raisonnée de l'énergie** [ADEME, 2019].

LES PRINCIPES DE LA COMPENSATION

Pour qu'un projet de compensation puisse être considéré comme efficace il doit répondre à plusieurs principes [ADEME, 2019] :

- **l'additivité** : ce projet doit être impossible sans le financement via les crédits carbone, cela permet de s'assurer que la compensation se fait bien en plus de ce qu'il est déjà possible de faire en l'état,
- **la permanence** : la réduction des émissions ou leur séquestration doit être permanente sinon les crédits ne sont pas valables,
- **la mesurabilité** : la réduction des émissions ou la séquestration des GES permise par le crédit carbone doit pouvoir être quantifié scientifiquement et objectivement,
- **la vérifiabilité** : l'effectivité de la compensation doit pouvoir être contrôlée par un organisme tiers,
- **l'unicité** : un même crédit carbone ne doit pas pouvoir être vendu à plusieurs organisations, sinon il n'y a pas vraiment de compensation

Les projets de compensation volontaire comportent souvent de nombreux intermédiaires ce qui a pour effet d'en hausser le prix et d'en diminuer la fiabilité, il convient donc de **favoriser la compensation ex-post** c'est à dire l'achat de crédit carbone après réduction ou séquestration pour s'assurer de **l'effectivité de l'investissement**.

Les limites de la compensation

L'ADEME insiste fortement sur les conditions nécessaires à la mise en œuvre d'une stratégie de compensation : **la compensation volontaire n'intervient qu'après la mise en place d'actions efficaces de réduction des émissions de GES** dans le périmètre d'action d'une organisation [ADEME, 2019].

Autrement le risque « *d'écoblanchiment* » (ou *greenwashing*) devient très fort, par la mise en lumière d'efforts concernant le développement durable ou la responsabilité sociétale via des outils de communication, sans mise en place d'actions de réductions des émissions efficaces au préalable. **Toute communication sur des actions de compensation doit pouvoir se justifier par une transparence et une communication** sur les actions de réduction des émissions et leurs résultats.

L'effort de réduction des émissions de GES pour tenir la trajectoire de limitation de réchauffement climatique à 1,5°C ou 2°C ne peut s'externaliser. Chaque acteur-riche ne peut se soustraire à ses propres efforts de réduction, la compensation ne pouvant constituer un remplacement des efforts internes à une organisation. [Dugast et Bettin, 2019]

L'ILLUSION DE LA NEUTRALISATION DES EMISSIONS

La compensation n'est pas une solution miracle et peut même parfois s'avérer contre-productive en favorisant la complaisance [ONU, 2019]. Il faut utiliser avec précaution les termes de « **compensation** » ou de « **neutralité carbone** » qui dans l'imaginaire collectif ont tendance à amoindrir la gravité perçue du problème et à favoriser la résistance au changement [Jancovici, 2008]. L'achat d'un crédit carbone par une organisation ne correspond en aucun cas au retrait de 1 tCO₂eq dans son propre bilan carbone,

la compensation n'est pas un dédouanement des responsabilités de réduction par un achat de bonnes actions [Dugast et Bettin, 2019].

L'illusion d'une « neutralisation » des émissions, que peut créer la compensation, fausse la perception de l'impact environnemental d'une organisation, alors même qu'en réalité les émissions continuent de croître [ONU, 2019].

La compensation, qui se veut être « un pied dans la porte » et être la première étape entraînant des changements plus importants dans les organisations et chez les individus, s'avère souvent être un petit geste, perçu malgré tout comme un geste important, favorisant l'inaction et une mauvaise perception de notre impact environnemental [Jancovici, 2008].

Une étude réalisée en 2018 par le Commissariat Général au Développement Durable a d'ailleurs révélé que la corrélation entre la perception de la sensibilité environnementale propre des individus et leurs actions effectives en faveur d'une préservation de l'environnement n'est pas toujours positive, suivant le champs des actions étudié [Monnoyer-Smith et al., 2018].

COMPENSATION ET DEVELOPPEMENT DURABLE

Les projets de compensation sont souvent liés à des projets de développement durable dans des pays en développement peu émetteurs.

La compensation carbone peut ainsi constituer un accaparement des opportunités de réductions des émissions de GES mondiales par les pays les plus riches, qui refusent de réduire leurs propres émissions.

La compensation, aussi efficace soit elle, sans réduction des émissions internes à chaque organisation et sans changement de comportement, sera contre-productive vis-à-vis des objectifs de développement durable ne permettant pas de limiter les pressions sur les ressources ou la biodiversité. Une réduction des émissions de GES par toutes et tous est nécessaire, afin de mieux se partager les solutions de décarbonation et de compensation : par exemple la sobriété énergétique permet de mieux répartir les opportunités existantes d'utilisation d'énergies renouvelables ou décarbonées [Jancovici, 2008].

TEMPORALITE DE LA COMPENSATION

Une autre limite de la compensation est la mauvaise conception courante de sa temporalité : **les projets de compensation n'ont pas les moyens de freiner la croissance des émissions de GES** [ONU, 2019].

Le développement de nouvelles technologies (énergies renouvelables, gestion raisonnée de l'énergie) ou la séquestration forestière nécessitent des temps longs. En particulier pour la séquestration forestière, il faut plusieurs dizaines d'années pour laisser le temps aux arbres de croître. **Ainsi la réduction ou la séquestration n'ont pas lieu au moment de l'achat du crédit carbone**, ce qui pose la question de la fiabilité de la démarche.

De plus, avec une utilisation croissante des énergies fossiles et sans changement des modes de consommation d'une population mondiale grandissante, **la fenêtre d'action temporelle face au réchauffement climatique n'est pas de plusieurs dizaines d'années. Une réaction rapide est nécessaire** [Dugast et Bettin, 2019]

QUANTIFICATION DE LA COMPENSATION

La quantification des réductions d'émissions ou de la séquestration des GES grâce à la compensation est souvent problématique.

Comme expliqué précédemment, la date d'achat d'un crédit carbone n'est pas la date d'effectivité de la compensation, or **souvent des émissions sont considérées comme compensées par rapport à des évitements futurs**. Ainsi sont comparés de la même manière des émissions réelles, qui ont eu lieu, pouvant être compensées scientifiquement, et des évitements potentiels, qui pourraient avoir lieu dans le futur, mais qui, en réalité, sont le fruit de spéculations par rapport à une tendance d'évolution.

La certitude scientifique concerne les émissions. Leur compensation repose, elle, sur des spéculations et sur un futur incertain : le caractère "puits de carbone" des forêts est incertain en raison des aléas naturels (inondations, incendies, maladie...) et humains (déforestation) ; les projets portant sur les énergies renouvelables présupposent subjectivement un croissance de la demande énergétique et un scénario tendanciel fondé sur l'utilisation d'énergies fossiles.

La compensation devient ainsi une promesse d'évitement, éclipsant des réductions effectives d'émissions de GES [Jancovici, 2008].

LES LIMITES DE LA COMPENSATION FORESTIERE

L'exemple de la **compensation forestière** est l'un des exemples les plus marquants de compensation carbone car, de premier abord, la **reforestation** semble être une solution simple de compensation sans dépendance des dernières avancées technologique [Sedjo, 2011]. Or la recherche scientifique jusqu'à aujourd'hui ne permet pas encore d'avoir de certitudes quant au rôle des forêts dans les équilibres physico-chimiques et leur impact sur le système climatique [Popkin, 2019].

Le rôle des forêts va au-delà de celui de simple puits. Une forêt séquestre du carbone lors de sa croissance sur un sol d'origine pauvre en carbone ; ce dernier est stocké dans les arbres et par l'enrichissement des sols [Jancovici, 2007]. Néanmoins, au bout de plusieurs dizaines d'années (en général un siècle mais cela dépend des arbres qui la compose), une forêt atteint sa maturité, ce qui veut dire qu'il y a un équilibre entre les arbres qui naissent et ceux qui meurent [Selosse, 2000]. A ce stade, il y a équilibre entre la photosynthèse des arbres et la respiration des micro-organismes chargés de la décomposition des arbres morts. **Cela signifie que pour une forêt ancienne l'équilibre est nul : les entrées et sorties en dioxyde de carbone sont équivalentes, la forêt n'est donc plus un puits.**

Ce qui est intéressant pour la compensation est donc la phase de croissance, juste après une reforestation. Or, cette phase n'est pas toujours bénéfique et dépend grandement de la nature du sol sur lequel la forêt va être plantée ; **ce qui importe n'est pas seulement la forêt elle-même mais ce qu'elle va absorber en carbone au cours de sa croissance, en plus de ce qui été déjà absorbé par l'écosystème avant sa plantation** [Jancovici, 2017]. En effet, l'impact de la reforestation dépend grandement du changement d'utilisation des sols effectué.

Comme le montre la Figure 93, le sol d'une prairie contient plus de carbone qu'une forêt tempérée. Le remplacement de l'un par l'autre aurait donc un effet inverse de relargage du CO₂ dans l'atmosphère, ce qui n'est pas souhaitable.

Généralement ce remplacement est **bénéfique sur des terres agricoles souvent appauvries en carbone**, mais représente un danger pour la **sécurité alimentaire**. En effet, sans réduction des émissions de GES, la compensation par reforestation nécessiterait le remplacement de trop nombreuses terres agricoles, présentant alors un danger pour les populations mondiales, d'autant plus que ce remplacement devrait se poursuivre **tous les siècles, avec l'arrivée à maturité des forêts** [Jancovici, 2007].

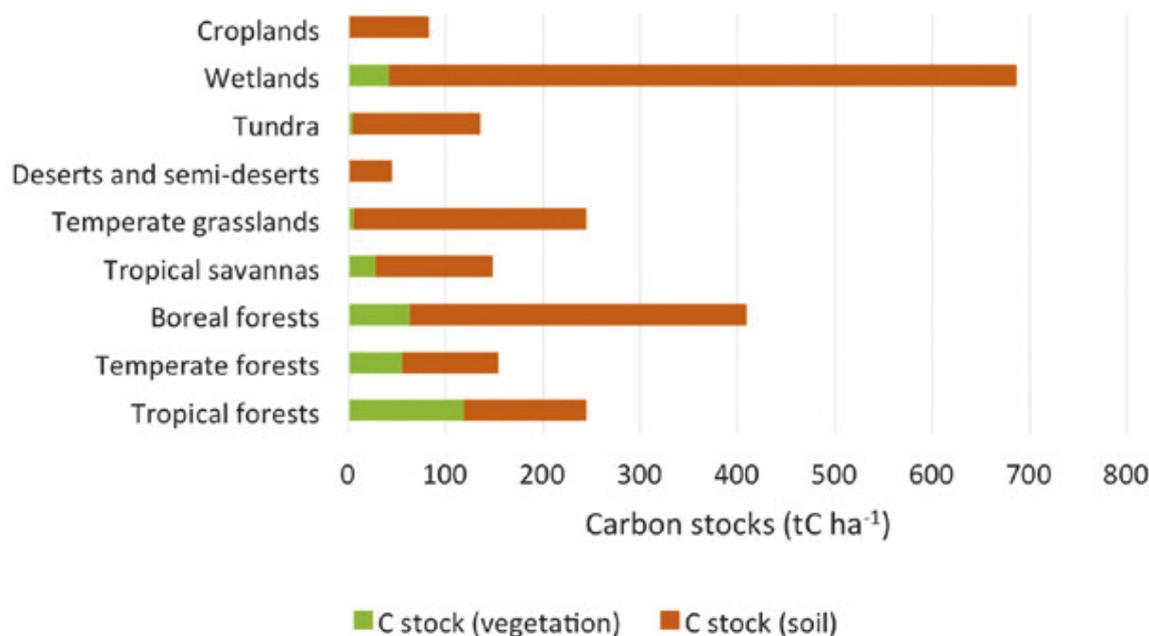


Figure 93 : Stocks de carbone de différents types d'écosystèmes

Une autre conséquence contre-productive serait le changement d'albédo¹, lié à la reforestation.

En effet la couverture forestière conditionne grandement l'aptitude de la surface terrestre à réfléchir le rayonnement solaire. Une reforestation par des forêts boréales aurait pour effet de réduire l'albédo (le remplacement de la neige par les arbres diminue la réflexion), favorisant un réchauffement climatique, contrairement à une reforestation tropicale qui elle aurait un effet inverse [Betts, 2000 ; Shukla et al., 2019].

Finalement les réserves de carbone que sont **les forêts ne peuvent garantir la permanence de la compensation. Elles peuvent même au contraire se transformer en source de dioxyde de carbone sous certaines conditions**, notamment face à certaines contraintes naturelles (inondations, maladies, incendies...) ou humaines (déforestation). Sous ces contraintes, souvent accentuées par le réchauffement climatique, les arbres ont tendance à dépérir, causant un déséquilibre entre décomposition et photosynthèse menant à un surplus d'émissions de CO₂ [Baccini, 2019 ; Shukla, 2019].

¹ L'albédo est le pouvoir réfléchissant d'une surface, il s'agit du rapport entre l'énergie lumineuse réfléchie et l'énergie lumineuse incidente

Perspectives pour la compensation carbone

Malgré ses limites, la compensation pour atteindre **la neutralité carbone ne doit pas être écartée mais repensée**, car le financement de la transition au-delà du périmètre organisationnel, en complément des réductions internes, reste important.

Pour cela, il est important d'adopter un système de comptabilité plus juste ne mettant pas les compensations sur le même plan que les réductions d'émissions internes (Figure 94) [Dugast et Bettin, 2019].

Les réductions de GES dans chaque organisation sont prioritaires, car elles sont plus sûres, avec des effets plus visible et provoquant un meilleur entraînement que la compensation, grâce à l'exemplarité de certaines organisations [Jancovici, 2008].

Pour la compensation il est important de changer d'approche et de **passer d'une « possession » des réductions via des crédits à une « contribution » aux réductions**, ce qui permet d'éviter le dédouanement des responsabilités et fait de ces contributions un outil de stimulation des réductions d'émissions de GES [Dugast et Bettin, 2019].

Pour les organisations, les premières actions à mener sont les réductions des émissions, en suivant le plan d'action détaillé ci-dessous :

- Estimations des émissions de GES (Bilan Carbone®, *GHG Protocol*, ISO 14064...)
- Objectifs de réduction (*Science Based Targets*)
- Report des actions (*Carbon Disclosure Project*)
- Mise en œuvre de la stratégie bas-carbone (*Assessing Low Carbon Transition*)

Ensuite, une fois les actions de réduction interne des émissions de GES mises en place, chaque organisation pourra **contribuer à la réduction d'autres acteurs et au développement de puits carbone mondiaux** ; la neutralité carbone ne peut être atteinte par une action exclusive sur ces deux dernières contributions.

Cette nouvelle approche vise à passer d'une approche individualiste de la neutralité carbone (par l'achat de crédits permettant de l'atteindre) à une **approche collective** via des **contributions équitables**. Une organisation peut difficilement être neutre en carbone sur un territoire qui ne l'est pas.

La compensation « annule les mauvaises actions » mais la contribution valorise les actions vertueuses par entraînement.

La séparation entre émissions des réductions internes à une organisation et les contributions externes est une forme de comptabilisation **plus juste et précise**, la quantification des émissions de GES et leurs réductions en interne étant plus objective et scientifiquement certifiée que celle des contributions.

Organiser l'action par la réduction en interne, puis hors du périmètre de chaque organisation et enfin par la participation à la création de puits de carbone mondiaux favorise la transparence, l'exemplarité et donc l'entraînement d'actions vertueuses [Dugast et Bettin, 2019 ; Dugast et Bettin 2019].

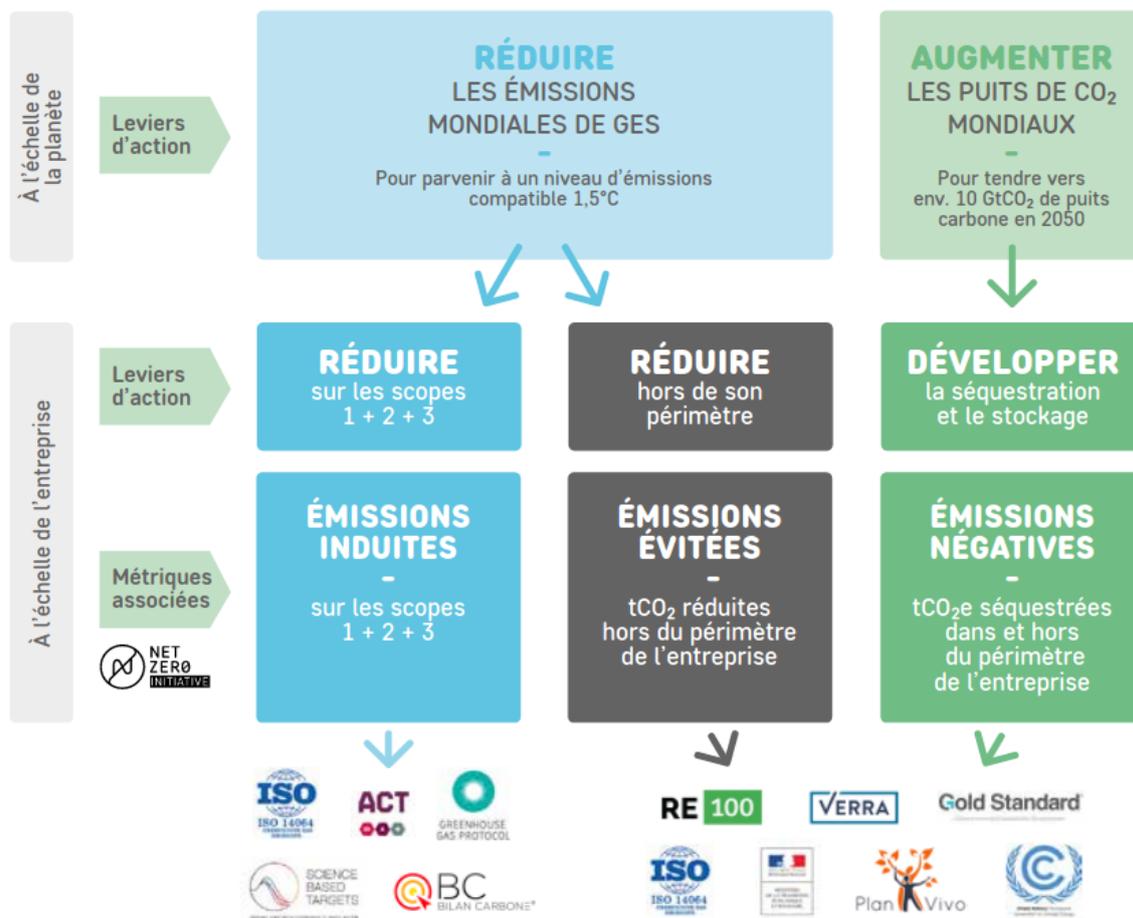


Figure 94 : Comptabilisation des émissions et des contributions. Source : (non précisé)

Conclusion

Le travail mené par l'option-projet Neutralité Carbone met en évidence les principaux postes d'émissions de GES de l'ECN, avec une prise en compte des émissions indirectes, lorsque cela était possible et pertinent. **Le Bilan Carbone de l'ECN pour l'année 2018 a ainsi été chiffré à 5 684 tCO₂eq pour le périmètre établi.**

Il a été démontré que l'impact des émissions indirectes liées à l'activité de l'ECN (hors énergie) était largement prépondérant sur les émissions directes et indirectes liées à l'énergie. En particulier, trois activités de l'ECN ont un impact majeur : les déplacements, les achats de produits et de services, et les repas des usager-es.

Des leviers d'action pour réduire cet impact ont ainsi été proposés et chiffrés en ordre de grandeur. Pour compléter le travail réalisé, une prise en compte de l'effet rebond et un approfondissement des méthodes de calcul utilisées pour l'estimation des réductions du BC sont nécessaires.

La diminution des émissions de GES jusqu'à une quantité soutenable vis-à-vis des scénarios climatiques relève cependant d'un effort politique. La somme des nombreuses actions à implication modérée, basées majoritairement sur les changements individuels est importante, mais est loin d'être suffisante, au vu de l'impératif qui se présente.

Par ailleurs, la raison d'être de l'ECN réside dans la formation de futurs ingénieur-es, qui doivent se montrer prêt-es à relever les défis et enjeux futurs, en ayant une vision aussi large et éclairée que possible. L'ECN a un rôle également très important à jouer de ce point de vue, bien que cet impact ne soit pas directement pris en compte dans le bilan carbone.

Enfin, il est important de questionner les solutions de compensation souvent proposées, et d'ouvrir la comptabilisation de la responsabilité des missions de l'ECN (enseignement et recherche) dans l'évolution future du climat.

Le travail présenté ici n'est donc pas une fin, et il appelle à être prolongé.

Pour assurer la continuité du projet, deux axes pourraient être définis : d'une part le développement d'une stratégie bas-carbone pour l'ECN, et d'autre part la création des outils de suivi nécessaires à sa mise en œuvre.

Le développement d'une stratégie de réduction des émissions de gaz à effet de serre adaptée à l'ECN et alignée sur les objectifs scientifiques internationaux de réduction peut se faire par la création de plusieurs scénarios de réduction, à partir de la méthodologie *Science Based Targets*, la quantification des leviers de réductions à partir du protocole QuantiGES de l'ADEME, la construction d'un plan d'action

et la définition d'indicateurs de suivi de la mise en œuvre de ce plan à partir du système *Assessing low Carbon Transition* de l'ADEME.

Ces outils simples de suivi de la mise en œuvre de cette stratégie de réduction peuvent être mis en place par le développement de supports de collecte de données standardisés ou automatisés (capteurs, compteurs, etc.), la création d'une base de données regroupant les facteurs d'émission de l'ADEME propre à l'ECN, l'automatisation des calculs de certains postes du bilan carbone, assurant leur reproductibilité chaque année, et l'exploitation des profils types pour la création d'un outil de calcul de l'empreinte carbone des activités individuelles à l'ECN.

L'autre moyen de poursuivre le projet est d'améliorer la prise en compte du poids que peut avoir l'ECN en tant que formatrice des futur-es ingénieur-es, et en tant que pôle de recherche d'importance.

Exposer la méthode suivie et les questionnements est primordial pour la transparence et la reproductibilité du travail à l'ECN, mais aussi pour aider les personnes qui seraient amenées à effectuer le Bilan Carbone d'un autre établissement supérieur.

Glossaire et abréviations

Les émissions de GES sont données dans le document en **unité de masse équivalent CO₂** : les GES autres que le CO₂ sont comptabilisés dans le BC grâce à leur **potentiel de réchauffement global à 100 ans (PRG)**. Ils sont alors exprimés en **équivalent CO₂, écrit CO₂eq**. Par exemple, dire que le potentiel de réchauffement global à 100 ans du méthane d'origine fossile est de 30, revient à comptabiliser l'émission de **1 t de méthane comme 30 tCO₂eq**.

ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
AMAP	Association pour le maintien d'une agriculture paysanne
BC	Bilan Carbone
BDA	Bureau des arts. Regroupe toutes les associations et clubs de l'École d'activités artistiques.
BDS	Bureau des sports. Regroupe toutes les associations et clubs de l'École d'activités sportives.
BDX	BDA, BDE et BDS
CA	Conseil d'Administration
Campagnes (associatives)	Événement annuel ayant lieu en milieu d'année scolaire parmi les élèves ingénieur.es. Des listes associatives se forment, pour remplacer les actuels BDX à la suite d'élections.
Césuré	Élève en année de césure
CVC	Chauffage-Ventilation-Climatisation
DD	Double-diplôme ou élève en double-diplôme.
ECN	Ecole Centrale de Nantes
EI	Élève-ingénieur.e. Suivi d'un nombre, désigne un EI en telle année.
Effet rebond	Si l'amélioration d'un procédé permet une économie, mais que cette économie provoque une hausse d'usage, l'économie est globalement atténuée par ce qu'on appelle l'effet rebond. Si la consommation due à la hausse d'usage dépasse l'économie, on parle du paradoxe de Jevons . Par exemple, les moteurs thermiques des voitures ne cessent d'être améliorés. Cependant, les constructeurs conçoivent davantage de SUV plus lourds. Ainsi, le gain permis par les nouveaux moteurs est presque annulé par le fait qu'ils sont davantage sollicités.
facteur d'émissions (FE)	Un facteur d'émissions (FE) permet de relier une grandeur physique ou un nombre d'objets à une émission en CO ₂ eq. Il s'exprime alors en kgCO₂eq/unité . Par exemple, l'achat d'un appareil photo hybride engendre 29 kgCO ₂ eq/appareil et une voiture de motorisation moyenne émet 253 gCO ₂ eq/km

GES	Gaz à effet de serre. On évoque principalement le dioxyde de carbone (CO ₂), mais il existe de nombreux autres gaz à effet de serre.
GIEC	Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat
<i>goodies</i>	Petits objets ou gadgets à l'effigie d'une organisation (porte-clés, stylos, briquets...)
IKV	Indemnité kilométrique vélo. Dispositif incitatif pour les salariés des entreprises, non obligatoire à ce jour.
<i>low-tech</i>	Les <i>low-tech</i> se définissent par opposition aux <i>high-tech</i> . Tandis que ces dernières ont pour but d'optimiser leur performances, sans questionner leur utilité ou leur impact environnemental, les <i>low-tech</i> visent à répondre aux problèmes posés de manière simple, et avec un impact écologique très limité.
Ratio monétaire	Identique au facteur d'émissions, mis-à-part la grandeur de départ : au lieu d'objets ou d'une grandeur physique, on donne les émissions correspondantes à une dépense en Euros.
RU	Restaurant Universitaire. Ici, désigne surtout le RU du Tertre à Nantes.
SE	Séjour d'étude ou élève en séjour d'étude
SEM-REV	Site d'essais en mer multi-technologies de Centrale Nantes
TFE	Travail de fin d'études. Stage de 6 mois en 3eme année du cursus d'EI généraliste.
<i>tote-bag</i>	Sac en tissu à bandoulière, souvent à l'effigie d'une organisation
VAE	Vélo à assistance électrique

Bibliographie

- ACCENTS (A CLUB OF CENTRALE NANTES FOR TRAVELLING STUDENTS). « Welcome to Centrale Nantes » s.d. [En ligne]. Disponible sur : <https://accents.ec-nantes.fr> (Consulté le : 01/04/2020)
- ADEME, « Documentation Base Carbone, PRG à 100 ans » s.d. [En ligne]. Disponible sur : https://www.bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?prg.htm (Consulté le : 23/03/2020)
- ADEME. *La compensation volontaire, démarches et limites*. Guide complet. 2019 [En ligne] Disponible sur : <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/compensation-volontaire-demarches-et-limites-7402.pdf> (Consulté le : 28/03/2020)
- ADEME, *Emissions évitées: de quoi parle-t-on ?*, Fiche technique, janvier 2020. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/fiche-technique-emissions-evitees-2020-02.pdf> (Consulté le : 22/03/2020)
- ARANDA USON A. et al. « Energy efficiency in transport and mobility from an eco-efficiency viewpoint ». *Elsevier Energy*, 36, 1916-1923.
- AVENIR CLIMATIQUE. « Bilan Carbone Campus ». s.d. [En ligne]. Disponible sur : <http://avenirclimatique.org/bilan-carbone-campus/> (Consulté le 08/04/2020)
- BACCINI A. et al. « Tropical forests are a net carbon source based on aboveground measurements of gain and loss ». *Science*. No.358. 230-234., 2017
- BAREAU H., *Au quotidien, éco-responsable au bureau*. ADEME, septembre 2019, <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/guide-pratique-ecoresponsable-au-bureau.pdf> (Consulté le : 20/03/2020)
- BENNET M. et al., *Note Méthodologique*, Ecole de Mines de Nantes, 18 janvier 2013
- BERGER J. et al., *Emissions Gap Report 2019*. Rapport complet, novembre 2019, PNUE. [En ligne] Disponible sur : <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/30797/EGR2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Consulté le : 24/03/2020)
- BETTS R. « Offset of the potential carbon sink from boreal forestation by decreases in surface albedo ». *Nature*. No.408. 187-190., 2000
- BLUNIER T. et al. « Atmospheric methane, record from a Greenland Ice Core over the last 1000 year ». *Geophysical Research Letters*. No.20. 2219-2222., 1993
- BOUFFLERS B. et al. *Consolidation et Plan d'action*. Rapport complet du projet A19 Bilan Carbone Campus de l'UTC. Université Technologique de Compiègne, 2019
- BOUTET-WAÏSS F., *La restauration universitaire*. Evaluation de la restauration universitaire. Tome 3., novembre 2013
- CARBO'MINES, *Bilan Carbone*. Présentation du projet. Ecole des Mines de Douai, 2010. [En ligne]. Disponible sur : http://www.cue-lillenorddefrance.fr/media/environnement/Bilan_carbone_EC_Mines_Douai_07022011.pdf (Consulté le : 08/04/2020)
- CASTAGNEDE L., *Airvire ou la face obscure des transport*. Ecosociété, 2018
- CAYOT D., *Retours sur investissement d'une réhabilitation*. Rapport de projet de l'option Phycité. Ecole Centrale de Nantes, 2015
- CENTRALE INNOVATION, « Edito ». s.d. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.centrale-innovation.fr> (Consulté le : 08/04/2020)

- CENTRALE LILLE. *Bilan Carbone® Centrale Lille*. Présentation du projet étudiant. Ecole Centrale de Lille, 2010. [En ligne]. Disponible sur : http://www.cue-lillenorddefrance.fr/media/environnement/Bilan_Carbone_Centrale_Lille_07022011.pdf (Consulté le 08/04/2020)
- CENTRALE NANTES. « La Responsabilité Sociétale des Entreprises, un engagement à Centrale Nantes », octobre 2018. [En ligne] Disponible sur : <https://www.ec-nantes.fr/responsabilite-societale/la-responsabilite-societale-des-entreprises-un-engagement-a-centrale-nantes-87506.kjsp> (Consulté le : 24/03/2020)
- CENTRALE NANTES. « Centrale Nantes intègre le nouveau classement du Times Higher Education University Impact Rankings 2019 », avril 2019. [En ligne] Disponible sur : <https://www.ec-nantes.fr/actualites/centrale-nantes-integre-le-nouveau-classement-du-times-higher-education-university-impact-rankings-2019-284039.kjsp> (Consulté le : 24/03/2020)
- CHOUINARD Y., « Production et émission du méthane et du gaz carbonique par les ruminants », 65ème Congrès de l'Ordre des Agronomes du Québec, 2002. Disponible sur : <https://www.agrireseau.net/agroenvironnement/documents/chouinard.pdf> (Consulté le 20/03/2020)
- CIERS J. et al., *Correlation between academic performance and CO₂ footprint of business air travel at EPFL: Is flying necessary for academic excellence?*. Présentation, mars 2019. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.epfl.ch/campus/mobility/wp-content/uploads/2019/08/Etude-Correlation-Final-Report.pdf> (Consulté le : 09/04/2020)
- CCNUCC. « History of the convention ». s.d. [En ligne] Disponible sur : <https://unfccc.int/process/the-convention/history-of-the-convention#eq-2> (Consulté le : 24/03/2020)
- CCNUCC. « What is the Kyoto Protocol ? ». s.d. [En ligne] Disponible sur : https://unfccc.int/kyoto_protocol (Consulté le :24/03/2020)
- CCNUCC. « The Paris Agreement ». s.d. [En ligne] Disponible sur : <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement> (Consulté le : 24/03/2020)
- COLLIN D. et al., *Rapport Bilan Carbone® Campus*. Rapport complet du projet API H19 de l'UTC. Université Technologique de Compiègne, 2019
- CONSEIL DES MINISTRES, « Les orientations des contrats de plan État-régions 2015-2020 », novembre 2014. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.gouvernement.fr/conseil-des-ministres/2014-11-20/les-orientations-des-contrats-de-plan-etat-regions-2015-2020> (Consulté le : 08/04/2020)
- COREN, « Bilan Carbone », s.d. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.coren.be/fr/le-bilan-carbone> (Consulté le : 08/04/2020)
- COUDENE M. et al., « De plus en plus de personnes travaillent en dehors de leur commune de résidence », *INSEE Première*. N° 1605. INSEE, juin 2016. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2019022> (Consulté le : 01/04/2020)
- DÉLÉGATION AU DÉVELOPPEMENT DURABLE DES MINES DE SAINT-ETIENNE. *Bilan Carbone 2018*. Ecole des Mines de Saint-Etienne, mai 2019.
- DRESCHER L. et al., « A New Index to Measure Healthy Food Diversity Better Reflects a Healthy Diet Than Traditional Measures », *The Journal of Nutrition*, Volume 137, Issue 3, March 2007, Pages 647–651. Disponible sur : <https://doi.org/10.1093/jn/137.3.647> (Consulté le : 08/07/2020)
- DUGAST C. et BETTIN R., *Ne dites plus "compensation" : De la compensation à la contribution*. Rapport 2019, Carbone 4. [En ligne] Disponible sur : <http://www.carbone4.com/neditespluscompensation-de-compensation-a-contribution> (Consulté le : 28/03/2020)
- DUGAST C. et BETTIN R., *Vers un nouveau référentiel de la neutralité carbone des entreprises*. Rapport. 2019, Carbone 4. [En ligne] Disponible sur : <http://www.carbone4.com/wp-content/uploads/2019/03/Publication-Carbone-4-Net-Zero-Initiative.pdf> (Consulté le : 28/03/2020)

- DUGAST C. et SOYEUX A. *Faire sa part ? Pouvoir et responsabilité des individus, des entreprises et de l'État face à l'urgence climatique*. 2019, Carbone 4. [En ligne] Disponible sur : <http://www.carbone4.com/publication-faire-sa-part/> (Consulté le: 24/03/2020)
- EPFL (ECOLE POLYTECHNIQUE DE LAUSANNE), « Vaisselle réutilisable », s.d. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.epfl.ch/about/sustainability/fr/vaisselle-reutilisable> (Consulté le 09/04/2020)
- EPFL (ECOLE POLYTECHNIQUE DE LAUSANNE), « Offre du jour dans tous les points de restauration », s.d. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.epfl.ch/campus/restaurants-shops-hotels/fr/offre-du-jour-de-tous-les-points-de-restauration> (Consulté le 09/04/2020)
- EPFL (ECOLE POLYTECHNIQUE DE LAUSANNE), « Plan de mobilité EPFL », s.d. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.epfl.ch/about/sustainability/fr/plan-mobilite> (Consulté le 09/04/2020)
- EPFL (ECOLE POLYTECHNIQUE DE LAUSANNE), « Energie », s.d. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.epfl.ch/about/sustainability/fr/energie> (Consulté le 09/04/2020)
- EPFL (ECOLE POLYTECHNIQUE DE LAUSANNE), « Academic », s.d. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.epfl.ch/about/sustainability/education> (Consulté le 09/04/2020)
- EPFL (ECOLE POLYTECHNIQUE DE LAUSANNE), « Prix Durabilis UNIL-EPFL », s.d. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.epfl.ch/about/sustainability/fr/etudes/durabilis> (Consulté le 09/04/2020)
- EPFL (ECOLE POLYTECHNIQUE DE LAUSANNE), « Jardin et Campus Farmers », s.d. [En ligne]. Disponible sur : <https://unipoly.epfl.ch/464> (Consulté le 09/04/2020)
- ETHERIDGE D.M. et al. « Natural and anthropogenic changes in atmospheric CO₂ over the last 1000 years from air in Antarctic ice and firn ». *Journal of Geophysical Research*. No.101. 4115-4128., 1996.
- EYCHENNE I. et LIMOUSIN L., *Un Plan de Mobilité dans mon Entreprise*. ADEME, Réseau Action Climat, 2019 [En ligne]. Disponible sur : <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/plan-mobilite-entreprise-010502.pdf> (Consulté le : 30/03/2020)
- FARIA P. et al., *ACT. Pilot Executive Summary Report*. s.d., ADEME et CDP. [En ligne]. Disponible sur : https://actproject.net/wp-content/uploads/2017/03/CDP_ACT-EXECUTIVE-SUMMARY-220317.pdf (Consulté le : 08/04/2020)
- FERREBOEUF H., *-Lean ICT- Pour une Sobriété Numérique*, Rapport du groupe de travail. Shift Project, octobre 2018 [En ligne]. Disponible sur : <https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2018/11/Rapport-final-v8-WEB.pdf> (Consulté le : 11/04/2020)
- FETTET G., *Audit thermique des bâtiments D, E et I de l'Ecole Centrale de Nantes*. Rapport final. 2015, Akajoule.
- FETTET G. et STAMBACH C., *Mise à jour de l'audit thermique du bâtiment E de l'Ecole Centrale de Nantes*. Rapport final. 2018, Akajoule.
- FRIEDLINGSTEIN P. et al. « Global Carbon Budget 2019 ». *Earth System Science Data*. No.11. 1783-1838., 2019.
- GABORIT M., *Trajectoire 1,5° ?*. Intervention de Toovalu pour Centrale Nantes. Toovalu, novembre 2019.
- GIROD B. et DE HAAN P., « More or Better? A Model for Changes in Household Greenhouse Gas Emissions due to Higher Income », *Journal of Industrial Ecology*. 14: 31-49., 2010 Disponible sur : <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2009.00202.x>
- GOLLIER C. *Le climat à la fin du mois*. Puf, 2019.
- GUIGNARD Q., *Bilan Carbone - Objectifs et principes de comptabilisation*. Guide méthodologique, v8. Association Bilan Carbone (ABC), août 2017.
- GUIGNARD Q., *Bilan Carbone - Annexes*. Guide méthodologique, v8. Association Bilan Carbone (ABC), août 2017.
- GUTRO R. et al. « NASA – What's the difference between climate and weather ? ». 2017, NASA. [En ligne]. Disponible sur : https://www.nasa.gov/mission_pages/noaa-n/climate/climate_weather.html (Consulté le : 21/03/2020)

- HALLÉPÉE S. et MAUROUX A. « Le télétravail permet-il d'améliorer les conditions de travail des cadres ? ». INSEE, novembre 2019 [En ligne]. Disponible sur : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/4126590#onglet-3> (Consulté le : 30/03/2020)
- HOUGHTON J.T. et al. *TAR Climate Change 2001 : The Scientific Basis*. Rapport, 2001, GIEC. [En ligne] Disponible sur : <https://www.ipcc.ch/report/ar3/wg1/> (Consulté le : 23/03/2020)
- INSTITUT NATIONAL DE L'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE ET FORESTIÈRE (IGN). « Inventaire forestier - définitions ». s.d. [En ligne]. Disponible sur : <https://inventaire-forestier.ign.fr/spip.php?article596> (Consulté le : 08/04/2020)
- JANCOVICI J.M. « Qui sont les scientifiques étudiant l'avenir du climat ? ». 2003. [En ligne]. Disponible sur : <https://jancovici.com/changement-climatique/croire-les-scientifiques/qui-sont-les-scientifiques-etudiant-lavenir-du-climat/> (Consulté le : 21/03/2020)
- JANCOVICI J.M. « Météo et climat, c'est pareil ? ». 2004. [En ligne] Disponible sur : <https://jancovici.com/changement-climatique/aspects-physiques/meteo-et-climat-cest-pareil/> (Consulté le : 23/03/2020)
- JANCOVICI J.M. « La responsabilité de l'homme est-elle établie sur le surplus de CO₂ dans l'air ? ». 2007. [En ligne]. Disponible sur : <https://jancovici.com/changement-climatique/gaz-a-effet-de-serre-et-cycle-du-carbone/la-responsabilite-de-lhomme-est-elle-etablie-pour-le-surplus-de-co2-dans-lair/> (Consulté le : 23/03/2020)
- JANCOVICI J.M. « Ne suffit-il pas de planter des arbres pour compenser les émissions ». 2007. [En ligne]. Disponible sur : <https://jancovici.com/changement-climatique/gaz-a-effet-de-serre-et-cycle-du-carbone/ne-suffit-il-pas-de-planter-des-arbres-pour-compenser-les-emissions> (Consulté le : 28/03/2020)
- JANCOVICI J.M. « La "neutralité" carbone, drôle de bonne idée ou belle escroquerie ? ». 2008. [En ligne]. Disponible sur : <https://jancovici.com/changement-climatique/agir-individuellement/la-compensation-drole-de-bonne-idee-ou-belle-escroquerie/> (Consulté le : 28/03/2020)
- LAWLOR E. et al., « A bit rich - Calculating the real value to society of different professions ». *New Economic Foundation*, décembre 2009. [En ligne]. Disponible sur : <https://neweconomics.org/2009/12/a-bit-rich> (Consulté le 11/04/2020)
- LE FOLL C., « Trois initiatives d'écoles d'ingénieurs qui s'engagent pour le climat ». *L'Usine Nouvelle*. 2020. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.usinenouvelle.com/article/trois-initiatives-d-ecoles-d-ingenieurs-qui-s-engagent-pour-le-climat.N929764> (Consulté le 08/04/2020)
- LEE S. et al., « The impact of Research Collaboration on Scientific Productivity ». *SAGE*. 2005. Vol 35, Issue 5. [En ligne] Disponible sur : <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0306312705052359> (Consulté le 27/03/2020)
- LEGIFRANCE, « Article L229-25 du code de l'environnement », 2015 [En ligne]. Disponible sur : <https://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?idArticle=LEGIARTI000031694974&cidTexte=LEGITEXT00006074220&dateTexte=20160101> (Consulté le : 09/04/2020)
- LEGIFRANCE, « Article L228-4 du code de l'environnement », 2015 [En ligne]. Disponible sur : <https://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?idArticle=LEGIARTI000037671263&cidTexte=LEGITEXT00006074220&dateTexte=20181125> (Consulté le : 09/04/2020)
- LEGIFRANCE, « Article L1431-3 du code des transports », 2015 [En ligne]. Disponible sur : <https://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?idArticle=LEGIARTI000031066016&cidTexte=LEGITEXT000023086525&dateTexte=20150819> (Consulté le : 09/04/2020)
- MASSON-DELMOTTE V. et al. *Global Warming of 1,5°C*. Rapport, 2018, GIEC. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.ipcc.ch/sr15/> (Consulté le : 23/03/2020)
- METEO FRANCE. « Données climatiques de la station de Nantes » [En ligne]. Disponible sur : <http://www.meteofrance.com/climat/france/nantes/44020001/relevés> (Consulté le : 22/04/2020)

- MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE. *Stratégie Nationale Bas Carbone*. Projet de Stratégie Nationale Bas-Carbone complète, janvier 2020 [En ligne]. Disponible sur : https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/2020-01-20_MTES_SNBC2.pdf (Consulté le : 24/03/2020)
- MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE, « Prix du Carbone ». Janvier 2018 [En ligne] <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/prix-du-carbone> (Consulté le 20/03/2020)
- MONNOYER-SMITH L. et al., *Modes de vie et pratiques environnementales des Français*. Analyse. Commissariat Général au développement durable, avril 2018. [En ligne] Disponible sur : <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/Th%C3%A9ma%20-%20Modes%20de%20vie%20et%20pratiques%20environnementales%20des%20Fran%C3%A7ais.pdf> (Consulté le : 28/03/2020)
- NZI, « 145 Chambres étudiantes en bois et paille à Paris », mars 2020 [En ligne]. Disponible sur : <https://www.nzi.fr/logements-avia/chantier-145-chambres-etudiantes-bois-paille-paris-habitat-t777t> (Consulté le : 08/04/2020)
- ONU. « Carbon offsets are not our get-out-of-jail free card ». Juin 2019. PNUE (Programme des Nations unies pour l'environnement). [En ligne]. Disponible sur : <https://www.unenvironment.org/news-and-stories/story/carbon-offsets-are-not-our-get-out-jail-free-card> (Consulté le : 28/03/2020)
- OPTIGEDE, « Gaspillage en restauration collective » [En ligne]. Disponible sur : <https://www.optigede.ademe.fr/pdf/12371> (Consulté le : 01/04/2020)
- PACHAURI R. et al. *AR5 Synthesis Report : Climate Change 2014*. Rapport, 2014, GIEC. [En ligne] Disponible sur : <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/> (Consulté le : 23/03/2020)
- PEARCE M. et al., *Enquête nationale mobilité et modes de vies 2020*. 2020, Forum Vies Mobiles [En ligne]. Disponible sur : <https://www.actu-environnement.com/media/pdf/news-35081-Enquete-mobilite-francais-forum-vie-mobiles-2020.pdf> (Consulté le : 07/04/2020)
- PELLERIN S. et al., *Stocker du carbone dans les sols français, Quel potentiel au regard de l'objectif 4 pour 1000 et à quel coût ?* Synthèse du rapport d'étude, 2019, INRA (France). 114 p.
- PETIT J.R. et al. « Climate and Atmospheric History of the Past 420,000 Years from the Vostok Ice Core, Antarctica ». *Nature*. No.399. 429-436, 1999.
- PLANETOSCOPE, « Émissions de CO₂ par les recherches sur Google », s.d. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.planetoscope.com/electronique/980-emissions-de-co2-par-les-recherches-sur-google.html> (Consulté le : 11/04/2020)
- PLANETOSCOPE, « Déchets électroniques DEEE produits dans le monde », s.d. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.planetoscope.com/dechets/1881-dechets-electroniques-deee-produits-dans-le-monde.html> (Consulté le : 11/04/2020)
- POORE J. et al. « Reducing food's environmental impacts through producers and consumers ». *Science*. 2018. 987-992. Disponible sur : <https://science.sciencemag.org/content/360/6392/987> (Consulté le 22/03/2020)
- POPKIN G. « How much can forests fight climate change? ». *Nature*. No.565. 280-282., 2019.
- REFEDD (Réseau Français des étudiants pour le Développement Durable), *Des menus responsables dans votre restaurant universitaire, une démarche progressive et participative*. s.d. [En ligne]. Disponible sur : <http://refedd.org/wp-content/uploads/2016/03/Des-menus-responsables-dans-votre-restaurant-universitaire.pdf> (Consulté le 08/04/2020)
- REGOIN, J-P., *Schéma Pluriannuel de Stratégie Immobilière*. Ecole Centrale de Nantes, 2019
- RINGENBACH C. et al., *La Fresque du Climat*. Support de l'atelier « La Fresque du climat », 2019, La Fresque du Climat. [En ligne] Disponible sur : <http://climatecollage.org/wp-content/uploads/2019/12/La-Fresque-du-Climat-FR-FR-Adults-V7.0.pdf> (Consulté le : 23/03/2020)
- RITCHIE H., « Food waste is responsible for 6% of global greenhouse gas emissions ». *Our World in Data*. Mars 2020.

- SAINT-ETIENNE MÉTROPOLE, « Le plan de déplacement inter-campus », s.d. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.saint-etienne-metropole.fr/services-aux-habitants/deplacements/plans-de-deplacements> (Consulté le 08/04/2020)
- SEDOJO R. et MACAULEY M. « Forest Carbon Offsets : Possibilities and limits ». *Journal of forestry*. No.8. 470-475., 2011.
- SELOSSE M.A. et THOMAS P. « Les forêts produisent-elles de l'oxygène ? ». 2000, ENS Lyon. [En ligne] Disponible sur : <https://planet-terre.ens-lyon.fr/article/oxygene-forets.xml> (Consulté le : 28/03/2020)
- SEM-REV. « Présentation et missions du SEM-REV ». 2017 [En ligne]. Disponible sur : <https://sem-rev.ec-nantes.fr/presentation-et-missions-du-sem-rev> (Consulté le : 08/04/2020)
- SEM-REV. « Eolienne flottante - FLOATGEN ». 2017 [En ligne]. Disponible sur : <https://sem-rev.ec-nantes.fr/eolienne-flottante-floatgen> (Consulté le : 08/04/2020)
- SERVICE-PUBLIC. « Télétravail dans le secteur public », s.d. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.service-public.fr/particuliers/vosdroits/F13974> (Consulté le : 28/03/2020)
- SERVICE-PUBLIC. « Réduction d'impôts pour la mise à disposition de vélos aux salariés », s.d. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.service-public.fr/professionnels-entreprises/vosdroits/F33808> (Consulté le : 28/03/2020)
- SOLOMON S. et al., *AR4 Climate Change 2007 : The Physical Science Basis*. Rapport, 2007, GIEC. [En ligne] Disponible sur : <https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg1/> (Consulté le : 23/03/2020)
- SORELL et al. « Empirical estimates of the direct rebound effect: A review ». *Energy Policy*, Volume 37, Issue 4, Pages 1356-1371., avril 2009.
- STOCKER T. et al. *AR5 Climate Change 2013 : The Physical Science Basis*. Rapport, 2013, GIEC. [En ligne] Disponible sur : <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/> (Consulté le : 23/03/2020)
- SHUKLA P.R. et al., *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. Rapport. 2019, GIEC. [En ligne] Disponible sur : <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/02/SRCCL-Complete-BOOK-LRES.pdf> (Consulté le : 28/03/2020)
- TRONCHET D. *Petit Traité de vélosophie*. Plon, J'ai Lu, 2008
- VILLE A., *Accompagner le changement de comportement*. Guide Pratique. Commissariat général au développement durable (CGDD), septembre 2019 [En ligne]. Disponible sur : https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/190729_CDDEP_guide_changement_de_comportement.pdf (Consulté le : 20/03/2020)
- WOODS M. et BERNSTEIN M., « Toward reducing the greenhouse gas emissions of the Internet and telecommunications ». *ACS News Service Weekly PressPac*, janvier 2013. [En ligne] Disponible sur : <https://www.acs.org/content/acs/en/pressroom/presspacs/2013/acs-presspac-january-23-2013/toward-reducing-the-greenhouse-gas-emissions-of-the-internet-and-telecommunications.html> (Consulté le : 11/04/2020)
- WYNES S. et al. « Academic air travel has a limited influence on professional success ». *Journal of Cleaner Production*. 2019. 226, 959-967. [En ligne] Disponible sur : https://www.researchgate.net/publication/332378520_Academic_air_travel_has_a_limited_influence_on_professional_success (Consulté le 27/03/2020)

Table des figures

FIGURE 1 : EVOLUTION DE LA TEMPERATURE DE SURFACE MOYENNE ANNUELLE (SOURCE : AR5 CLIMATE CHANGE 2013 : THE PHYSICAL SCIENCE BASIS, GIEC, 2013)	4
FIGURE 2 : ÉVOLUTION DE DIFFÉRENTES GRANDEURS ANNUELLES MOYENNES CARACTÉRISTIQUES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE (SOURCE : AR5 CLIMATE CHANGE 2013 : THE PHYSICAL SCIENCE BASIS, GIEC, 2013).....	5
FIGURE 3 : EVOLUTION DU FORÇAGE RADIATIF GLOBAL PAR RAPPORT A 1750 (SOURCE : AR5 CLIMATE CHANGE 2013 : THE PHYSICAL SCIENCE BASIS, GIEC, 2013)	6
FIGURE 4 : RAYONNEMENTS ARRIVANT OU REPARTANT DE LA TERRE (SOURCE : OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU).....	7
FIGURE 5 : EVOLUTION DES CONCENTRATIONS ATMOSPHÉRIQUES EN GES. MLO, SPO, ALT, CGO, MHD SONT LES NOMS DES DIFFÉRENTS ENSEMBLES DE DONNÉES UTILISÉS (SITES DE MESURES PHYSIQUES). (SOURCE : AR5 CLIMATE CHANGE 2013 : THE PHYSICAL SCIENCE BASIS, GIEC, 2013)	7
FIGURE 6 : REACTIONS ASSOCIÉES A LA DISSOLUTION DU CO ₂ DANS L'OCEAN (SOURCE : UNIVERSITE DE LAVAL, CANADA)	8
FIGURE 7 : EVOLUTION DES ÉMISSIONS DE GES D'ORIGINE ANTHROPIQUE (SOURCE : AR5 CLIMATE CHANGE 2013 : THE PHYSICAL SCIENCE BASIS, GIEC, 2013)	9
FIGURE 8 : RISQUES ET IMPACTS D'UN RECHAUFFEMENT DE 1,5°C A 2°C (SOURCE : GLOBAL WARMING OF 1.5°C, GIEC, 2018).....	11
FIGURE 9 : ENJEUX DE L'ATTÉNUATION ET DE L'ADAPTATION (SOURCE : GLOBAL WARMING OF 1.5°C, GIEC, 2018)	12
FIGURE 10 : SCÉNARIOS D'ATTÉNUATION DU GIEC (SOURCE : GIEC)	12
FIGURE 11 : OBJECTIFS SECTORIELS DE RÉDUCTION DE LA SNBC (SOURCE : SNBC)	14
FIGURE 12 : PART DES ACTIONS INDIVIDUELLES ET COLLECTIVES POUR ATTEINDRE LES OBJECTIFS DE L'ACCORD DE PARIS (SOURCE : RAPPORT "FAIRE SA PART ? ", CARBONE 4, 2019)	15
FIGURE 13 : SCHEMA SYNTHETIQUE D'UN BC	17
FIGURE 14 : PRINCIPE DE CALCUL D'UN BC.....	19
FIGURE 15 : BILAN CARBONE DE L'ECN 2012 (SOURCE : ECN)	21
FIGURE 16 : TABLEAU DE BORD DE L'ÉQUIPE NEUTRALITÉ CARBONE POUR VISUALISER L'AVANCEMENT DU PROJET EN TEMPS REEL	28
FIGURE 17 : ESTIMATION DES ÉMISSIONS DE GES LIÉES AUX ACTIVITÉS DE L'ECN POUR L'ANNÉE 2018.....	39
FIGURE 18 : BILAN CARBONE DES CAMPAGNES ASSOCIATIVES ÉTUDIANTES 2018	44
FIGURE 19 : REPARTITION DU BC TOTAL DE L'OPTION NC.....	47
FIGURE 20 : EFFECTIFS TOTAUX SELON LE GENRE (EFFECTIF TOTAL : 450 PERSONNES)	61
FIGURE 21 : EFFECTIFS PARMI LES PERMANENT-ES SELON LA TRANCHE D'ÂGE (EFFECTIF TOTAL : 140 PERSONNES)	61
FIGURE 22 : COMPARAISON ENTRE LE NOMBRE DE RÉPONDANT-ES PAR CATÉGORIE D'USAGER-E ET LES EFFECTIFS DE 2018	70
FIGURE 23 : NOMBRE DE PERMANENT-ES EN FONCTION DE LA TRANCHE D'ÂGE (EFFECTIF TOTAL : 183 PERSONNES).....	71
FIGURE 24 : RESULTATS GLOBAUX DU BILAN CARBONE DE L'ECN.....	93
FIGURE 25 : PLAN DU CAMPUS DE L'ECN 2019. (SOURCE : SERVICE COMMUNICATION DE L'ECN, 2019).....	98

FIGURE 26 : COMPARAISON DES PROFILS TYPES DES USAGER·ES DE L'ECN : EMPREINTE MOYENNE PAR USAGER·E DE L'ECN SELON QUATRE PROFILS POUR L'ANNEE 2018	99
FIGURE 27 : REPARTITION DE LA CONSOMMATION ELECTRIQUE PAR BATIMENT	108
FIGURE 28 : COMPARAISON DE LA REPARTITION DE LA CONSOMMATION ELECTRIQUE	108
FIGURE 29 : CONSOMMATION GLOBALE SURFACIQUE PAR BATIMENT	109
FIGURE 30 : CONSOMMATION SURFACIQUE PAR BATIMENT POUR LA CONSOMMATION DE CVC	109
FIGURE 31: VARIATION RELATIVE DES EMISSIONS DE GES PAR RAPPORT A UNE DUREE D'AMORTISSEMENT DE 50 ANS .	111
FIGURE 32 : REGIME ALIMENTAIRE DECLARE DE L'ENSEMBLE DES PERSONNES INTERROGEES (ECHANTILLON TOTAL : 462 PERSONNES)	113
FIGURE 33 : AVIS SUR L'IMPACT PERSONNEL DE L'ALIMENTATION (ECHANTILLON TOTAL : 462 PERSONNES)	113
FIGURE 34 : DERNIER TYPE DE RESTAURATION (ECHANTILLON TOTAL : 318 PUIS 144 PERSONNES).....	114
FIGURE 35 : TYPE DE RESTAURATION HABITUEL DECLARE LE MIDI EN SEMAINE (ECHANTILLON TOTAL : 317 PUIS 143 PERSONNES)	114
FIGURE 36 : RENONCEMENT AU FOOD-TRUCK CROUS A CAUSE DE LA VAISSELLE JETABLE FOURNIE (ECHANTILLON TOTAL : 463 PERSONNES)	115
FIGURE 37 : DERNIERE SOURCE DE PROTEINES CONSOMMEES AU COURS DU DERNIER REPAS LE MIDI EN SEMAINE (ECHANTILLONS TOTAUX : 317 (ELEVES EN HAUT) PUIS 143 PERSONNES (PERMANENT·ES EN BAS))	115
FIGURE 38 : FREQUENCE HEBDOMADAIRE DE CONSOMMATION DES DIFFERENTES SOURCES DE PROTEINES (ECHANTILLON TOTAL : 460 PERSONNES).....	116
FIGURE 39 : DETAIL DES FREQUENCES HEBDOMADAIRES DE CONSOMMATION DES DIFFERENTES SOURCES DE PROTEINES (ECHANTILLON TOTAL : 460 PERSONNES)	116
FIGURE 40 : REPAS CONSOMMEES A L'ECN SUR UNE ANNEE ET EMISSIONS CORRESPONDANTES DE GES	117
FIGURE 41 : SOURCES DE PROTEINES MOYENNES AU R.U. (ECHANTILLON TOTAL : 233 PERSONNES)	118
FIGURE 42 : FREQUENCE A LAQUELLE LES PERSONNES NE TERMINENT PAS LE CONTENU DE LEUR PLATEAU AU R.U. (ECHANTILLON TOTAL : 233 PERSONNES)	118
FIGURE 43 : CRITERES DE CHOIX A L'ACHAT DE PRODUITS ALIMENTAIRES : PROPORTIONS DES PERSONNES INTERROGEES AYANT SELECTIONNE LE CRITERE CORRESPONDANT (ECHANTILLONS TOTAUX : 318 (ELEVES) ET 144 (PERSONNEL PERSONNES).....	119
FIGURE 44 : LEVIERS D'INCITATION A L'ACHAT DE PRODUITS ALIMENTAIRES AYANT UNE EMPREINTE CARBONE PLUS FAIBLE : PROPORTIONS DES PERSONNES INTERROGEES AYANT SELECTIONNE LE CRITERE CORRESPONDANT (ECHANTILLON TOTAL : 462 PERSONNES)	120
FIGURE 45 : REPARTITION PAR ZONE GEOGRAPHIQUE DES MOBILITES ELEVES (2018-2019)	123
FIGURE 46 : LES 10 MOBILITES HORS EUROPE LES PLUS IMPORTANTES EN NOMBRE A L'ECN (2018-2019)	124
FIGURE 47 : ÉMISSIONS DES 10 MOBILITES HORS EUROPE LES PLUS IMPORTANTES (2018-2019).....	124
FIGURE 48 : ÉMISSIONS DE GES (EN TCO2EQ) LIES AU DEPLACEMENT DES PERMANENT·ES ET DOCTORANT·ES.....	126
FIGURE 49 : DISTANCE PARCOURUE PAR PERSONNE ET EMISSIONS DE GES PAR KM ASSOCIEES	126
FIGURE 50 : ÉMISSIONS DE GES (EN TCO2EQ) PAR PERSONNE ET PAR STATUT AU SEIN DES DIFFERENTS LABORATOIRES	128
FIGURE 51 : ÉMISSIONS DE GES (EN TCO2EQ) PAR SERVICE ADMINISTRATIF	129
FIGURE 52 : NOMBRE DE TRAJETS EFFECTUES ET EMISSIONS DE GES EN FONCTION DES DISTANCES PARCOURUES, PAR MODE DE TRANSPORT.....	130
FIGURE 53 : NOMBRE DE TRAJETS DE MOINS DE 500 KM EFFECTUES ET EMISSIONS DE GES, PAR MODE DE TRANSPORT	130
FIGURE 54 : REPARTITION DES USAGER·ES DU CAMPUS EN FONCTION DE LA DISTANCE ENTRE LEUR DOMICILE ET LEUR LIEU DE TRAVAIL (ECHANTILLON TOTAL : 547 PERSONNES).....	133

FIGURE 55 : BOITE A MOUSTACHE PRESENTANT LA REPARTITION DES USAGER-ES DU CAMPUS EN FONCTION DE LA DISTANCE ENTRE LEUR DOMICILE ET LEUR LIEU DE TRAVAIL (ECHANTILLON TOTAL : 547 PERSONNES)	134
FIGURE 56 : REPARTITION DES NAVETTEUR-EUSES EN FONCTION DE LA DISTANCE ENTRE LEUR DOMICILE ET LEUR LIEU DE TRAVAIL (ECHANTILLON : 87 PERMANENT-ES ET 24 ETUDIANT-ES).....	135
FIGURE 57 : NOMBRE DE PERMANENT-ES PAR MOYEN DE TRANSPORT POSSEDE (ECHANTILLON TOTAL : 183 PERSONNES)	136
FIGURE 58 : REPARTITION DE LA POPULATION EN FONCTION DES MOYENS DE TRANSPORT A DISPOSITION DES PERMANENT-ES (ECHANTILLON TOTAL : 183 PERSONNES).....	136
FIGURE 59 : NOMBRE D'ELEVES PAR MOYEN DE TRANSPORT POSSEDE (ECHANTILLON TOTAL : 364 PERSONNES).....	137
FIGURE 60 : REPARTITION DE LA POPULATION EN FONCTION DES MOYENS DE TRANSPORT A DISPOSITION DES ELEVES (ECHANTILLON TOTAL : 364 PERSONNES)	137
FIGURE 61 : PART MODALE DES DEPLACEMENTS PENDULAIRES DES ETUDIANT-ES (GAUCHE) ET DES PERMANENT-ES (DROITE) (ECHANTILLON TOTAL : 364 ET 183 PERSONNES).....	138
FIGURE 62 : PART RELATIVE DE L'IMPACT CARBONE DE CHAQUE MODE DE TRANSPORT UTILISE PAR LES ETUDIANT-ES (GAUCHE) ET LES PERMANENT.ES (IMPACT MODE DIVISE PAR L'IMPACT TOTAL) EN POURCENT (ECHANTILLON TOTAL : 364 ET 183 PERSONNES).....	138
FIGURE 63 : FREQUENCE D'EXPRESSION DES FACTEURS SUSCEPTIBLES D'INFLUENCER L'UTILISATION DU VELO (ECHANTILLON TOTAL : 161 PERSONNES).....	140
FIGURE 64 : FREQUENCE D'EXPRESSION DES FACTEURS SUSCEPTIBLES D'INFLUENCER L'UTILISATION DU VELO (ECHANTILLON TOTAL : 292 PERSONNES, DONT 34 DOCTORANT-ES).....	141
FIGURE 65 : AVIS DES PERMANENT-ES (GAUCHE) ET DES ETUDIANT-ES (DROITE) A PROPOS DES DOUCHES (ECHANTILLON TOTAL : 90 ET 178 PERSONNES).....	142
FIGURE 66 : AVIS DES PERMANENT-ES (GAUCHE) ET DES ETUDIANT-ES A PROPOS DES INFRASTRUCTURES LIES AU VELO (ECHANTILLON TOTAL : 109 ET 210 PERSONNES).....	143
FIGURE 67 : FREQUENCE D'EXPRESSION DES FACTEURS SUSCEPTIBLES D'INFLUENCER L'UTILISATION DES TRANSPORTS EN COMMUN (ECHANTILLON TOTAL : 143 PERSONNES).....	144
FIGURE 68 : FREQUENCE D'EXPRESSION DES FACTEURS SUSCEPTIBLES D'INFLUENCER L'UTILISATION DES TRANSPORTS EN COMMUN (ECHANTILLON TOTAL : 209 PERSONNES).....	145
FIGURE 69 : FREQUENCE D'EXPRESSION DES FACTEURS SUSCEPTIBLES D'INFLUENCER LA PRATIQUE DU COVOITURAGE CHEZ LES PERMANENT.ES (ECHANTILLON TOTAL : 119 PERSONNES)	146
FIGURE 70 : FREQUENCE D'EXPRESSION DES FACTEURS SUSCEPTIBLES D'INFLUENCER LA PRATIQUE DU COVOITURAGE, CHEZ LES ETUDIANT.ES (ECHANTILLON TOTAL : 78 PERSONNES).....	147
FIGURE 71 : BILAN CARBONE DE LA VIE ASSOCIATIVE DE L'ECN EN 2018 PAR POSTES D'EMISSIONS.....	153
FIGURE 72 : ÉMISSIONS DE GES ET NOMBRE DE TEXTILES ACHETES DANS LE CADRE DE LA VIE ASSOCIATIVE, SELON LEUR TYPE.....	154
FIGURE 73 : REPARTITION DES EMISSIONS LIEES AUX TEXTILES SELON LEUR DESTINATION.....	155
FIGURE 74 : BILAN CARBONE DE LA VIE ASSOCIATIVE DE L'ECN EN 2018 PAR TYPES DE STRUCTURES.....	156
FIGURE 75 : BILAN CARBONE DU BDE ET DE SES CLUBS EN 2018 PAR POSTES D'EMISSIONS	157
FIGURE 76 : BILAN CARBONE DU BDS ET DE SES CLUBS EN 2018 PAR POSTES D'EMISSIONS.....	158
FIGURE 77 : BILAN CARBONE DES AUTRES ASSOCIATIONS EN 2018 PAR POSTES D'EMISSIONS	158
FIGURE 78 : BILAN CARBONE DU BDA ET DE SES CLUBS EN 2018 PAR POSTES D'EMISSIONS.....	159
FIGURE 79 : DIFFERENTS TYPES DE STATIONNEMENTS VEGETALISES. SOURCE : CONSEIL D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME ET DE L'ENVIRONNEMENT D'EURE ET LOIRE.....	166
FIGURE 80 : IMPACT SUR 10 ANS DES TROIS SCENARIOS MODELISES POUR L'EVOLUTION DU PARC AUTOMOBILE	172

FIGURE 81 : DEPERDITIONS THERMIQUES DU BATIMENT D.....	188
FIGURE 82 : DEPERDITIONS THERMIQUES DU BATIMENT I.....	188
FIGURE 83 : SCHEMA DE SYSTEME DE RECUPERATION DE CHALEUR ENVISAGE DANS L'ETUDE D'OPPORTUNITE D'AKAJOULE ET AUXILIA (TAR : TOUR AEROREFRIGERANTE)	193
FIGURE 84 : LABELS PRESENTS SUR LES PLATS EN ALLEMAGNE.....	202
FIGURE 85 : EVOLUTION DES EMISSIONS DE GES INDIVIDUELLES EN FONCTION DE LA DISTANCE A PARCOURIR	218
FIGURE 86 : EXEMPLE DE COURBE DE REDUCTION DU NOMBRE D'ADMIS EN FONCTION DE LA DISTANCE A PARCOURIR..	219
FIGURE 87 : IMPACT DE LA MESURE SUR LE NOMBRE DE TRAJETS ET SUR LE NOMBRE DE KILOMETRES PARCOURUS	243
FIGURE 88 : MOYENNE 2019 DES EMISSIONS DE GES PAR PERSONNE AU SEIN DE CHAQUE ENTITE ET VARIATION RELATIVE DE CETTE MOYENNE PAR RAPPORT A CELLE FIXEE PAR LE BUDGET CARBONE	246
FIGURE 89 : MESURE DE L'IMPACT GES D'UNE ACTION DE REDUCTION SUIVANT LA METHODE QUANTIGES	280
FIGURE 90 : MODELES CARACTERISANT L'INFLUENCE EN FONCTION DU SALAIRE (POUR CHAQUE TYPE D'ENTREPRISE) ..	290
FIGURE 91 : EXTRAIT DE LES EMISSIONS EVITEES, DE QUOI PARLE-T-ON ?, ADEME, 2020	295
FIGURE 92 : EXTRAIT DE LES EMISSIONS EVITEES, DE QUOI PARLE-T-ON ? P3, ADEME, 2020.....	295
FIGURE 93 : STOCKS DE CARBONE DE DIFFERENTS TYPES D'ECOSYSTEMES	301
FIGURE 94 : COMPTABILISATION DES EMISSIONS ET DES CONTRIBUTIONS. SOURCE : (NON PRECISE).....	303

Index des tableaux

TABLEAU 1 : BEGES (BILAN D'ÉMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE) REGLEMENTAIRE (SOURCE : INSTITUT DE FORMATION CARBONE).....	18
TABLEAU 2 : PERIMETRE DU BC ETABLI PAR DIFFERENTS ETABLISSEMENTS D'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR.....	30
TABLEAU 3 : DETAIL DES CALCULS (PCI ET MASSE VOLUMIQUE FOURNIS PAR L'ADEME).....	54
TABLEAU 4 : FACTEURS D'ÉMISSIONS UTILISES POUR LES CONSTRUCTIONS	57
TABLEAU 5 : CARACTERISATION DES BATIMENTS DE L'ECN	58
TABLEAU 6 : ECHANTILLON DU SONDAGE SUR LES HABITUDES ALIMENTAIRES.....	60
TABLEAU 7 : PROPORTION DES REPAS PRIS EN FONCTION DE LA SOURCE DE PROTEINE CHOISIE.....	62
TABLEAU 8 : NOMBRE DE DEJEUNERS CORRESPONDANTS SUR UN AN, EN FONCTION DES EFFECTIFS ET DU NOMBRE DE JOURS DE PRESENCE	63
TABLEAU 9 : FACTEURS D'ÉMISSIONS DE L'ADEME POUR UN TRAJET EN AVION OU EN TRAIN	67
TABLEAU 10 : ECHANTILLON DU QUESTIONNAIRE SUR LES HABITUDES EN TERMES DE MOBILITE.....	70
TABLEAU 11 : CHOIX POSSIBLES DE LA QUESTION 4 DU QUESTIONNAIRE SUR LES HABITUDES EN TERMES DE MOBILITE DES USAGER-ES DU CAMPUS	72
TABLEAU 12 : CODAGE DES REPONSES A LA QUESTION 4.....	72
TABLEAU 13 : FACTEUR D'ÉMISSIONS UTILISE EN FONCTION DU MODE DE DEPLACEMENT	74
TABLEAU 14 : FACTEURS D'ÉMISSIONS UTILISES POUR CALCULER L'IMPACT DES DEPLACEMENTS LIES AUX FORUMS PREPA.....	79
TABLEAU 15 : FACTEURS D'ÉMISSIONS UTILISES POUR CALCULER L'IMPACT DU MATERIEL INFORMATIQUE.....	81
TABLEAU 16 : FACTEURS D'ÉMISSIONS UTILISES POUR CALCULER L'IMPACT DES ACHATS DE PRODUITS ET SERVICES DE L'ECN.....	82
TABLEAU 17 : FACTEURS D'ÉMISSIONS UTILISES POUR CALCULER L'IMPACT DE L'IMPRESSION ET DE L'ENVOI DES PLAQUETTES ALPHA ET TAUPIN	84
TABLEAU 18 : FACTEUR D'ÉMISSIONS UTILISE, EN FONCTION DU TYPE DE DECHET CONSIDERE.....	85
TABLEAU 19 : RESUME DES INFORMATIONS RELATIVES A LA CAPTATION CARBONE DE LA VEGETATION	102
TABLEAU 20 : RESUME DES INFORMATIONS RELATIVES AUX ÉMISSIONS DIRECTES	103
TABLEAU 21: RESUME DES INFORMATIONS RELATIVES AU CHAUFFAGE AU GAZ.....	103
TABLEAU 22 : RESUME DES INFORMATIONS RELATIVES AUX ÉMISSIONS DUES AUX VEHICULES THERMIQUES.....	104
TABLEAU 23 : RESUME DES INFORMATIONS RELATIVES AUX ÉMISSIONS DUES AUX MOUTONS	104
TABLEAU 24 : RESUME DES INFORMATIONS RELATIVES AUX MOTEURS THERMIQUES EXPERIMENTAUX	105
TABLEAU 25 : RESUME DES INFORMATIONS RELATIVES AUX FLUIDES FRIGORIGENES.....	105
TABLEAU 26 : RESUME DES INFORMATIONS RELATIVES AUX ÉMISSIONS INDIRECTES LIEES A L'ÉNERGIE	106
TABLEAU 27 : RESUME DES INFORMATIONS RELATIVES A LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITE.....	106
TABLEAU 28 : RESUME DES INFORMATIONS RELATIVES A LA CONSOMMATION DE CHALEUR VIA LE RESEAU DE CHALEUR.....	109
TABLEAU 29 : COMPARATIF DE L'IMPACT DES DIFFERENTES ENERGIES DISPONIBLES.....	110
TABLEAU 30 : RESUME DES INFORMATIONS RELATIVES AUX CONSTRUCTIONS	110

TABLEAU 31: RESUME DES INFORMATIONS RELATIVES AUX CONSTRUCTIONS, EXCEPTE SEM-REV	111
TABLEAU 32 : RESUME DES INFORMATIONS RELATIVES AUX REPAS DES USAGER-ES DE L'ECN	112
TABLEAU 33 : RESUME DES INFORMATIONS RELATIVES AUX DEPLACEMENTS	121
TABLEAU 34 : RESUME DES INFORMATIONS RELATIVES AUX DEPLACEMENTS LIES A LA FORMATION DES ETUDIANT.ES....	121
TABLEAU 35 : EFFECTIF PAR TYPE DE MOBILITE POUR L'ANNEE SCOLAIRE 2018-2019	122
TABLEAU 36 : EMISSIONS PAR TYPE DE MOBILITE POUR L'ANNEE SCOLAIRE 2018-2019.....	122
TABLEAU 37 : RESUME DES INFORMATIONS RELATIVES AUX DEPLACEMENTS PROFESSIONNELS	125
TABLEAU 38 : RESUME DES INFORMATIONS RELATIVES AUX DEPLACEMENTS PENDULAIRES.....	131
TABLEAU 39 : RESUME DES INFORMATIONS RELATIVES AUX DEPLACEMENTS LIES FORUMS PREPA.....	147
TABLEAU 40 : MOYENS DE TRANSPORT UTILISES POUR LES DEPLACEMENTS DANS LES FORUMS PREPA ET LEUR IMPACT CARBONE RESPECTIF	148
TABLEAU 41 : PROPORTION DES VOLS POUR CHAQUE DESTINATION.....	148
TABLEAU 42 : RESUME DES INFORMATIONS RELATIVES AUX PRODUITS ET SERVICES	149
TABLEAU 43 : RESUME DES INFORMATIONS RELATIVES AUX ACHATS DE PRODUITS ET SERVICES	149
TABLEAU 44 : IMPACT CARBONE DES DEPENSES DE L'ECN (ACHATS DE PRODUITS ET SERVICES)	150
TABLEAU 45 : RESUME DES INFORMATIONS RELATIVES AUX COLIS ET PLAQUETTES REÇUS	150
TABLEAU 46 : RESUME DES INFORMATIONS RELATIVES AUX PLAQUETTES TAUPIN ET ALPHA.....	151
TABLEAU 47 : RESUME DES INFORMATIONS RELATIVES AUX DECHETS	152
TABLEAU 48 : RESUME DES INFORMATIONS RELATIVES A LA VIE ASSOCIATIVE DE L'ECN.....	152
TABLEAU 49 : ESTIMATION DE L'IMPACT ANNUEL DU RATTACHEMENT DES BATIMENTS M, N ET O AU RESEAU DE CHALEUR	169
TABLEAU 50 : DETAILS DES TROIS SCENARIOS MODELISE POUR ESTIMER LE POTENTIEL DES VOITURES ELECTRIQUES	172
TABLEAU 51 : ESTIMATION DE L'IMPACT ANNUEL DU REMPLACEMENT DE VOITURES PAR DES VELOS ELECTRIQUES DANS LE PARC.....	174
TABLEAU 52 : ESTIMATION DE L'IMPACT ANNUEL DE LA SUPPRESSION DE LA CLIMATISATION DU BATIMENT A.....	177
TABLEAU 53 : ESTIMATION DE L'IMPACT ANNUEL DU REMPLACEMENT DES FLUIDES FRIGORIGENES PAR DES SUBSTITUANTS MOINS POLLUANTS	178
TABLEAU 54 : ESTIMATION DU POTENTIEL EN ENERGIE SOLAIRE THERMIQUE DES BATIMENTS DU CAMPUS	185
TABLEAU 55 : ESTIMATION DE L'INVESTISSEMENT ET DE L'IMPACT PERMIS PAR LA MISE EN PLACE DE DOMES ET D'UNE COURSIVE.....	189
TABLEAU 56 : ESTIMATION DU POTENTIEL EN ENERGIE SOLAIRE THERMIQUE DES BATIMENTS DU CAMPUS	191
TABLEAU 57 : ESTIMATION DU POTENTIEL DE REDUCTION DES EMISSIONS DE GES DU SYSTEME DE RECUPERATION DE LA CHALEUR FATALE DU SUPERCALCULATEUR.....	193
TABLEAU 58 : ESTIMATIONS DES ECONOMIES ET DU TEMPS DE RETOUR SUR INVESTISSEMENT PERMISES PAR LA POMPE A CHALEUR.....	194
TABLEAU 59 : ESTIMATION DE LA REDUCTION D'IMPACT CARBONE PERMISE PAR UNE REDUCTION PAR TROIS DE LA CONSOMMATION DE VIANDE ROUGE.....	204
TABLEAU 60 : ESTIMATION DE LA REDUCTION D'IMPACT CARBONE PERMISE PAR UNE REDUCTION PAR TROIS DE LA CONSOMMATION DE VIANDE	205
TABLEAU 61 : ÉMISSIONS DE GES D'UN FRUIT/LEGUME PAR MODE D'ACHEMINEMENT SOURCE : BOUFLERS B. ET AL. CONSOLIDATION ET PLAN D'ACTION. RAPPORT COMPLET DU PROJET A19 BILAN CARBONE CAMPUS DE L'UTC. UNIVERSITE TECHNOLOGIQUE DE COMPIEGNE, 2019.....	206

TABLEAU 62 : ÉMISSIONS DE GES EN FONCTION DE LA SAISONNALITE SOURCE : BOUFLERS B. ET AL. CONSOLIDATION ET PLAN D'ACTION. RAPPORT COMPLET DU PROJET A19 BILAN CARBONE CAMPUS DE L'UTC. UNIVERSITE TECHNOLOGIQUE DE COMPIEGNE, 2019.....	206
TABLEAU 63 : ESTIMATION DE LA REDUCTION PERMISE PAR UNE BOURSE AUX MOBILITES RESPONSABLES DE 5 000 €...	215
TABLEAU 64 : ESTIMATION DES REDUCTIONS DES EMISSIONS DE GES PERMISES PAR LE TELETRAVAIL	226
TABLEAU 65 : ESTIMATION DES REDUCTIONS DES EMISSIONS DE GES PERMISES PAR LA VENTE D'EQUIPEMENTS CONTRE LES INTEMPERIES	227
TABLEAU 66 : ESTIMATION DES REDUCTIONS DES EMISSIONS DE GES PERMISES PAR LA MISE A DISPOSITION D'EQUIPEMENTS D'ENTRETIEN	228
TABLEAU 67 : ESTIMATION DES REDUCTIONS DES EMISSIONS DE GES PERMISES PAR LA SECURISATION DU RESEAU CYCLABLE	229
TABLEAU 68 : ESTIMATION DES REDUCTIONS DES EMISSIONS DE GES PERMISES PAR LA PROPOSITION D'UNE AIDE FINANCIERE A L'ACHAT D'UN VELO AUPRES DES PERMANENT.ES.....	230
TABLEAU 69 : ESTIMATION DES REDUCTIONS DES EMISSIONS DE GES PERMISES PAR LA CREATION D'UN ACCES A L'ECN VIA L'ERDRE.....	231
TABLEAU 70 : ESTIMATION DES REDUCTIONS DES EMISSIONS DE GES PERMISES PAR LA GESTION D'UNE FLOTTE DE VELO PAR L'ECN	232
TABLEAU 71 : ESTIMATION DES REDUCTIONS DES EMISSIONS DE GES PERMISES PAR L'OFFRE D'UNE IKV AUX PERMANENTS	233
TABLEAU 72 : RECAPITULATIF DES ESTIMATIONS DE REDUCTION EN TERMES D'IMPACT CARBONE ET DU COUT ASSOCIE POUR LES DIFFERENTS LEVIERS D'ACTION INCITANT A LA PRATIQUE DU VELO.....	234
TABLEAU 73 : ESTIMATION DES REDUCTIONS DES EMISSIONS DE GES PERMISES PAR UNE POLITIQUE D'HORAIRES DIFFERENCIES.....	236
TABLEAU 74 : ESTIMATION DES REDUCTIONS DES EMISSIONS DE GES PERMISES PAR UNE AMELIORATION DES DESSERTES DES LIGNES DE TRANSPORTS EN COMMUN	237
TABLEAU 75 : RECAPITULATIF DES ESTIMATIONS DE REDUCTION EN TERMES D'IMPACT CARBONE ET DU COUT ASSOCIE POUR LES DIFFERENTS LEVIERS D'ACTION INCITANT A L'UTILISATION DES TRANSPORTS EN COMMUN	237
TABLEAU 76 : ESTIMATION DES REDUCTIONS DES EMISSIONS DE GES PERMISES PAR L'ORGANISATION DE RENCONTRES ENTRE LES PERMANENTS	239
TABLEAU 77 : IMPACT DES DIFFERENTES ETAPES SUR LE BC.....	243
TABLEAU 78 : DETAIL DES CHIFFRES UTILISES POUR LES CALCULS, ET BUDGET CARBONE ASSOCIE A CHAQUE ENTITE	245
TABLEAU 79 : ESTIMATION DE L'IMPACT DU CHANGEMENT D'UTILISATION DES MODES DE TRANSPORT POUR SE RENDRE AUX FORUMS PREPA	250
TABLEAU 80 : RECAPITULATIF DES DONNEES UTILES A L'ETABLISSEMENT DU MODELE POUR LE CALCUL DE L'IMPACT DES FORME-ES	288
TABLEAU 81 : IMPACT CARBONE PAR SECTEUR D'ACTIVITE ET NOMBRE DE SALARIE-ES TRAVAILLANT DANS CE DOMAINE	289
TABLEAU 82 : DONNEES PERMETTANT DE CALCULER POUR CHAQUE TYPE D'ENTREPRISE L'INFLUENCE DES FORME-ES	290
TABLEAU 83 : RESULTATS DES SIMULATIONS DE LA PREMIERE METHODE	292
TABLEAU 84 : RESULTATS DES SIMULATIONS DE LA DEUXIEME METHODE	292

Annexes

LISTE DES FICHIERS JOINTS AU RAPPORT	II
METHODE DE CALCUL DU BC ESTIME EN ORDRE DE GRANDEUR.....	III
ETAT DE L'ART DES METHODES DE VISUALISATION DE L'EMPREINTE CARBONE	VII
EFFECTIFS 2018 DE L'ECN	X
GUIDE DE CONCEPTION DU COMPTEUR DE VEHICULES	XIII
SONDAGE SUR LES HABITUDES DE MOBILITE DES USAGER-ES DE L'ECN (FRANÇAIS ET ANGLAIS)	XXVII
POSTER DE L'OPTION NEUTRALITE CARBONE	LV
TABLEAU DES NUMEROS DE COMPTES ET LIBELLES FINANCIERS A L'ECN.....	LVI
COORDONNEES GEOGRAPHIQUES DES CAPITALES DU MONDE	LVII

Liste des fichiers joints au rapport

FICHIERS EN RAPPORT AVEC LA PARTIE 2 : METHODOLOGIE

1. « Charte_NCO2.pdf » : cette charte d'option définit la vision de l'écologie et les engagements des étudiant-es de l'option pour ce projet.
2. « Definition_projet_NCO2.pdf » : ce document définit les objectifs du projet et définit les tâches à réaliser pour y parvenir.
3. « Bilan_Carbone_ECN_2018.xlsx » : ce tableur est l'outil de calcul créé par les étudiant-es de l'option permettant de calculer le BC de l'ECN. Il contient donc les détails des calculs du BC de l'ECN sur l'année 2018.
4. « Kit_pour_des_campagnes_plus_responsables.pdf » : ce document contient des conseils et des défis écologiques pour réduire l'impact environnemental des listes candidates aux campagnes associatives étudiantes.
5. « Bilan_eco-campagnes_ECN_2019.pdf » : ce document réalise un bilan du projet « Pour des campagnes plus responsables » mené par différentes associations étudiantes du campus.
6. « Coin_lecture_NCO2.pdf » : ce document regroupe les lectures en lien avec la thématique de l'écologie que les étudiant-es de l'option conseillent.

FICHIERS EN RAPPORT AVEC LA PARTIE 3 : RESULTATS

7. « Profils-types_ECN.xlsx » : ce tableur détaille les calculs qui ont permis de diviser l'empreinte carbone totale de l'ECN selon 4 profils-types (élèves, enseignant-es et/ou chercheur-ses, doctorant-es et personnels administratifs).
8. « Rapport_Sondage_alimentation.pdf » : ce document détaille la méthodologie et les résultats relatif à l'enquête sur les habitudes alimentaires des acteur-ices de l'ECN réalisée en 2020.
9. « Analyse_Deplacements_Professionnels.xlsx » : ce document analyse les données relatives aux déplacements professionnels des différents laboratoires et services de l'ECN.
10. « Bilan Carbone – Clubs & Assos.xlsx » : ce tableur regroupe les calculs réalisés afin d'établir le bilan carbone de la vie associative sur l'année 2018.

FICHIERS EN RAPPORT AVEC LA PARTIE 4 : DISCUSSION

11. « Rehabilitation_BatE_Phycite2015.pdf » : ce document est une étude sur la réhabilitation du bâtiment E réalisée par les étudiant-es de l'option disciplinaire « Sciences de l'Ingénieur pour l'Habitat et l'Environnement Urbain » de l'ECN en 2015.
12. « Etude_thermique_AKAJOULE_2015.pdf » : ce document est le rapport final concernant l'étude thermique des bâtiments D, E et I de l'ECN réalisée par le bureau d'étude Akajoule en 2015.
13. « Chiffrages_Deplacements_Scolaires_Pendulaires.xlsx » : ce tableur regroupe toutes les hypothèses et détails des calculs relatif aux chiffrages des réductions des émissions de GES permises par les leviers d'action concernant les déplacements liés à la formation et les déplacements liés aux déplacements pendulaires (domicile-travail).
14. « Impact_Formation_Simulations » : ce tableur comprend les deux méthodes d'estimation de l'impact des diplômé-es de l'ECN.

SYNTHESES DU PRESENT RAPPORT

15. « Synthèse - Impact Carbone à l'Ecole Centrale de Nantes » : ce document vise à résumer le rapport "Impact Carbone de l'Ecole Centrale de Nantes" de l'Option Neutralité Carbone. Son but est de synthétiser les principaux résultats, leviers d'action et réflexions sur le sujet.
16. « Summary - Carbon Impact of the Ecole Centrale de Nantes » : this document aims to summarize the "Carbon Impact of the Ecole Centrale de Nantes" report of the "Carbon Neutrality" specialization. Its purpose is to synthesize the main results, levers for action and reflections on the subject.

Méthode de calcul du BC estimé en ordre de grandeur

Avant de calculer précisément le BC de l'ECN, celui-ci a été estimé en ordre de grandeur, pour permettre de concentrer les efforts de précision sur les postes ayant l'impact le plus important. Ces ordres de grandeur ont été établis en s'appuyant sur le fonctionnement de l'ECN et en faisant des hypothèses sur les quantités associées.

La méthode et les hypothèses utilisées seront détaillées par critère du bilan carbone.

METHODE

IMPACT CARBONE LIE A LA CONSOMMATION DE GAZ

Pour ce critère, seules les consommations de gaz des bâtiments M, N et O ont été comptabilisées. Le bâtiment P est chauffé à l'électricité et les autres bâtiments sont raccordés au réseau de chaleur de la chaufferie Malakoff.

La surface totale de ces trois bâtiments, estimée à 3000 m², a été obtenue grâce au plan cadastral de l'ECN¹.

Il a ensuite été considéré que les bâtiments avaient des besoins en chauffage comparables à ceux d'un gymnase : les bâtiments ont une grande hauteur sous plafond et ne sont pas isolés. Le coefficient de 200 kWh/m²/an a ainsi été utilisé pour estimer la consommation de gaz de ces bâtiments [Hespul, s.d.].

Le coefficient d'émission d'une chaudière, au gaz, classique – 0,24 kgCO₂e/kWh – fourni par M. Rozière a été considéré.

Ces deux estimations ont permis accéder au résultat final, à savoir 144 tCO₂e/an.

IMPACT CARBONE LIE A L'UTILISATION DE VOITURES DE SERVICE

Il a été fait l'hypothèse que l'ECN avait dix voitures de service, et qu'elles parcouraient 20 000 km par an.

Le facteur d'émission utilisé (200 gCO₂e/km) a été choisi entre celui d'une voiture neuve (120 gCO₂e/km) et le chiffre moyen donné par l'ADEME (259 gCO₂e/km).

Cela a permis d'obtenir un impact de 40 tCO₂e/an pour l'utilisation des voitures.

IMPACT CARBONE LIE A LA PRESENCE DE MOUTONS SUR LE CAMPUS

Les moutons sont des ruminants, ils émettent donc du méthane qui est un GES. Les émissions de méthane du mouton par an ont été trouvées sur le site Agri-Réseau (8kg CH₄/an/mouton) [Chouinard, 2002]. Cette quantité de méthane a été convertie en équivalent CO₂ grâce au PRG du méthane de 25.

Un impact de 2 tCO₂e/an a ainsi été trouvé.

IMPACT CARBONE LIE A L'UTILISATION DE SYSTEMES DE CLIMATISATION

Ce critère a été estimé dans un premier temps à partir du bilan carbone des Mines de Douai, au *pro rata* du nombre d'élèves de Centrale Nantes par rapport à celui des Mines de Douai. Cette manière de procéder a néanmoins été jugée bancal car les établissements ne sont pas comparables uniquement par rapport à leur nombre d'élèves.

Il a donc été supposé qu'il y avait environ une salle de 50 m² climatisée dans chacun des 16 bâtiments, sachant que certains bâtiments en sont dépourvus et que d'autres en ont quatre.

Le ratio de charge, estimé à 0,3 kg de fluide total par m² pour les climatisations avec de faible puissance selon l'ADEME, a permis de connaître le nombre de litres nécessaires par système de climatisation.

Enfin, un pourcentage de fuite de 20 % a été choisi ; ce pourcentage est situé entre celui d'une climatisation neuve (10%) et d'une vieille climatisation (80%) selon l'ADEME.

Le fluide retenu est le R134a, même si l'école a encore certaines climatisations qui utilisent du R22 (hors protocole de Kyoto). Un PRG moyen de 2500 a ainsi été pris.

A l'aide des fuites totales calculées, une émission totale de 120 tCO₂e a finalement été déduite.

CAPTATION CARBONE PERMISE PAR LES ESPACES VERTS

Les espaces verts ont été considérés comme neutres en carbone : les arbres ont été mal entretenus, ils ne captent que très peu de CO₂ ; leur entretien compense le captage.

¹ Disponible sur le site cadastre.gouv.fr

IMPACT CARBONE LIE A LA CONSOMMATION D'ELECTRICITE

La consommation d'électricité en 2018 a été obtenue ; elle est estimée à 3,36 GWh.

Un facteur d'émission donné par EDF (17gCO₂eq/kWh) a ensuite été utilisé, ce qui permet d'aboutir à un résultat de 57 tCO₂eq émises au cours de l'année 2018.

IMPACT CARBONE LIE A LA CONSOMMATION DE CHALEUR

La consommation de chaleur (2,93 GWh) de l'ECN en 2018 et le facteur d'émission du réseau de chaleur ERENA 2016 (67 gCO₂/kWh) ont également été récupérées.

Ces chiffres permettent d'estimer l'impact lié à la consommation de chaleur à 196 tCO₂eq pour 2018.

IMPACT CARBONE LIE AUX ACHATS DE PRODUITS ET SERVICES

Une première approximation a été faite suivant le même raisonnement que pour l'impact des systèmes de climatisation, et abandonnée pour la même raison.

La part du budget total de l'ECN non dédiée aux salaires a été estimée à 40 M€.

Sur ce budget, il a été considéré que 10 M€ étaient dédiés à l'achat de produit et services. Cette quantité a été séparée en 50 % d'achats et 50 % de services.

A l'aide des coefficients de l'ADEME, il a été choisi un ratio moyen de 800 kgCO₂eq/k€ pour les achats et un ratio moyen de 200 kgCO₂eq/k€ pour les services.

Un total de 4 000 tCO₂eq a été obtenu pour l'impact lié aux achats de produits et 1 000 tCO₂eq pour l'impact lié aux achats de service.

IMPACT CARBONE LIE A L'ALIMENTATION

Les émissions de GES liées à l'alimentation ont également été estimées.

Pour ce faire, ont été considérés les déjeuners de 2 500 personnes. Il a en effet été supposé qu'à l'ECN sont inscrits 2000 étudiants et sont employés 500 permanents.

Il a été estimé qu'une année comporte environ 200 jours ouvrés.

Le facteur d'émission choisi est celui d'un repas moyen selon l'ADEME (2,035 kgCO₂eq/repas).

Ainsi, il a été estimé que l'alimentation conduit à l'émission de 1 038 tCO₂eq par an.

IMPACT CARBONE LIE AUX IMMOBILISATIONS

Pour les immobilisations, seuls les bâtiments du campus ont été comptés. Les immobilisations comme le parc informatique et les machines des laboratoires sont *a priori* comptées dans les achats de produits du fait de leur durée d'amortissement faible.

Le terrain de sport synthétique et la mise en place de l'éolienne n'ont pas été pris en compte dans cette estimation.

Le bilan carbone de l'école réalisé en 2012, donnait la surface des bâtiments en béton (26 000 m²) et de ceux en métal (15 000 m²). Ces données ont été réutilisées pour la présente estimation.

L'amortissement a été réalisé sur 20 ans.

Les facteurs d'émission retenus proviennent de l'ADEME (0,44 kgCO₂eq/m² pour le béton et 0,275 kgCO₂eq/m² pour le métal).

Les constructions ont donc un impact carbone de 778 tCO₂eq par an d'après l'estimation.

IMPACT CARBONE LIE A LA PRODUCTION DE DECHETS

L'impact des déchets a été calculé à partir du bilan des déchets produits en 2017 fourni par Veolia et des facteurs d'émission donné par l'ADEME.

Les déchets pour lesquels aucun facteur d'émission n'a été trouvé sont classés dans la catégorie « Ordures ménagères ».

Tableau : Quantité de déchets produits par l'ECN selon leur type et leur impact carbone

Déchet	Quantité (kg)	FE (kgCO ₂ eq/t _{déchet})
Papier	12 495	43,1
Carton	3 344	37,9
Déchets minéraux	790	33

Plastique	277,2	877
Ordures ménagères	90 468	215
Gravats	120 000	5,58

Finalement, un impact de 20 tCO₂eq de déchets a été atteint.

IMPACT CARBONE LIE A LA RECEPTION DE COLIS

Il a été fait l'hypothèse que 50 colis pesant 2 kg et provenant de Paris étaient reçus au service colis de l'ECN par jour, et cela pendant 200 jours travaillés. Le coefficient d'émission (150 gCO₂e/colis) a été calculé via le site de La Poste.

Les colis reçus par l'ECN provoqueraient donc - indirectement - 2 tCO₂eq par an.

IMPACT CARBONE LIE AUX DEPLACEMENTS PROFESSIONNELS DES PERMANENTS

Les déplacements professionnels les plus émetteurs sont les déplacements des chercheurs et enseignants-chercheurs en avion. Deux allers-retours Paris New-York par an et par chercheur ont été comptés, ce qui est probablement sous-estimé.

L'impact d'un aller-retour Paris New-York a été estimé à 1 tCO₂eq, ainsi que l'affirment les compagnies aériennes¹

Il a été considéré qu'il y a approximativement 150 chercheurs et enseignants-chercheurs à l'ECN.

C'est donc un impact de 300 tCO₂eq par an qui a été trouvé pour les déplacements professionnels des chercheurs, en première approximation.

IMPACT CARBONE LIE AUX DEPLACEMENTS DES ETUDIANTS : INTERVENANTS DE COURS, DOUBLES-DIPLOMES, VOYAGES HUMANITAIRES

Dans cette catégorie, ont été comptés les voyages des associations humanitaires, les voyages dus aux doubles diplômes (DD) entrants et sortants de l'ECN et les trajets des intervenants qui viennent donner des cours à l'ECN.

Il a été supposé que les DD concernent deux tiers des élèves, sur les 2 000 élèves inscrits.

Il a été supposé que les voyages humanitaires touchent 30 étudiants par année.

Pour chacun de ces étudiants, un aller-retour Paris New-York a été compté par an - en reprenant l'hypothèse qu'un aller-retour Paris New-York correspond à 1 tCO₂eq.

Certains élèves font de plus nombreux allers retours entre leur établissement d'accueil et leur pays durant le DD, mais comme l'ECN n'a pas de responsabilité vis-à-vis de ces déplacements, ceux-ci n'ont pas comptés.

Pour les intervenants, il a été considéré, qu'en moyenne, un intervenant par semaine et par parcours venait à l'ECN.

Il a été considéré qu'un tiers des intervenants venaient de La Roche-sur-Yon en voiture, un tiers de Nantes en mode doux et un tiers de Paris en train.

Cela a permis d'obtenir un total de 1 444 tCO₂eq pour les déplacements liés à la formation des étudiants - au sens large.

IMPACT CARBONE LIE A L'ENVOI DE COLIS ET COURRIERS

Une estimation de 20 000 € de courriers envoyés par l'ECN par an a été utilisée.

Pour calculer l'impact, le ratio monétaire de l'ADEME a été pris (0,13 CO₂eq/€).

L'envoi de marchandises conduirait à 3 tCO₂eq par an.

IMPACT CARBONE LIE AUX DEPLACEMENTS DOMICILE-TRAVAIL

Un sondage sur la mobilité a été réalisé en 2008.

Ce sondage montrait que 6 % des élèves et 44 % du personnel venaient en voiture sur le campus (dont 15 % de covoiturage). Pour 2 000 élèves et 500 permanents, en considérant que le covoiturage se faisait à deux personnes, le nombre de voitures venant sur le campus a été estimé à partir de ces pourcentages.

¹ En réalité, les compagnies aériennes, utilisent une méthode différente de celle de l'ADEME pour calculer l'impact carbone de leurs vols. Cette méthode sous-estime les émissions de GES. En effet, l'article L1431-3 du code des transports oblige les prestataires de transport à informer les clients des émissions de dioxyde de carbone liées à un trajet [Légifrance, 2015] ; ainsi seules les émissions de CO₂ sont comptabilisées. L'ADEME quant à elle comptabilise toutes les émissions : elle compte le CO₂ émis par combustion du kérosène en vol, le transport et la production du carburant et les traînées de condensation, la vapeur d'eau étant aussi un gaz à effet de serre

Le facteur d'émission lié à la voiture est le même que celui des voitures de service.

Il a été estimé qu'environ 40 km allers-retours étaient réalisés par jour et par voiture. Il a été supposé que les personnes qui utilisent leur voiture venaient de loin (environ 20 km) ou étaient plus susceptibles de rentrer déjeuner chez elles et donc de faire deux allers-retours par jour de travail ; 200 jours de travail ont été considérés.

Il a donc été évalué que ce critère a un impact de 781 tCO₂eq.

RESULTATS

Finalement, les résultats ont été récapitulés ci-dessous.

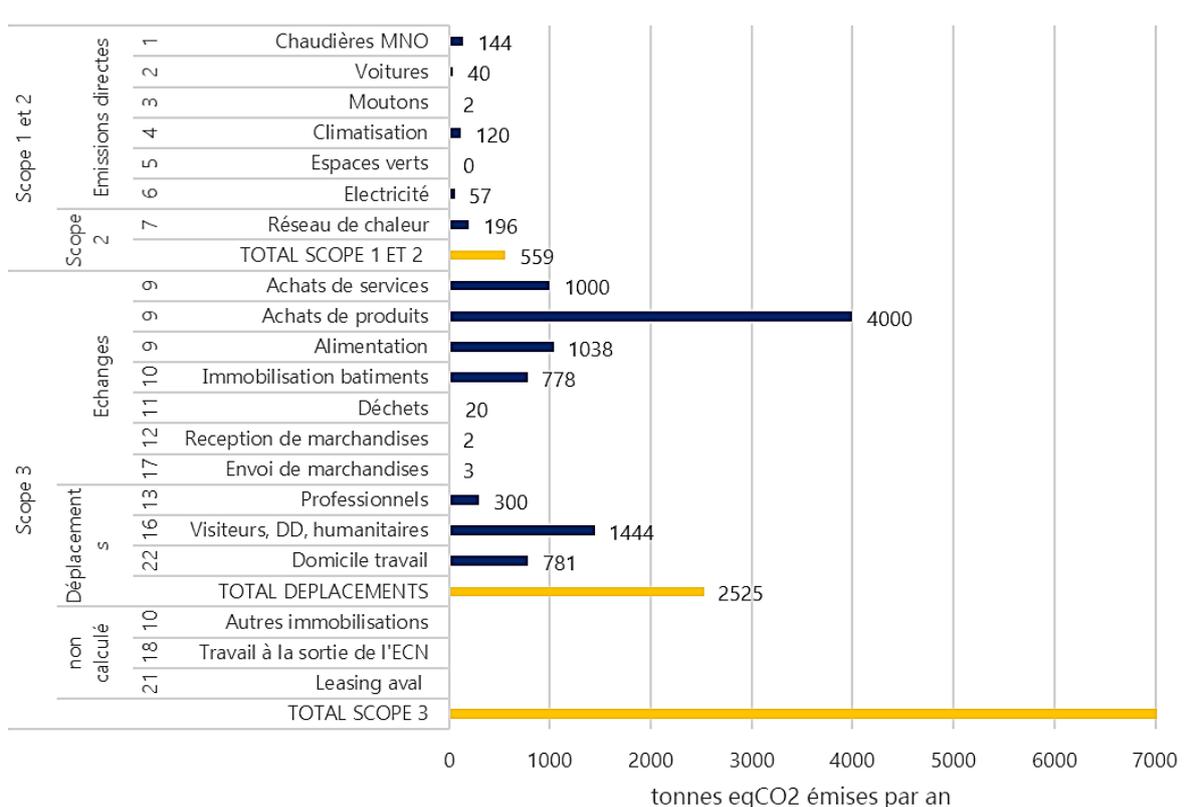


Figure : Estimation des émissions de GES liées à l'activité de l'ECN

Au total, en première approximation, l'ECN émettrait - directement et indirectement - environ 10 000 tCO₂eq par an.

Source complémentaire :

HEPUL, *Les chiffres clés de l'énergie dans un projet d'aménagement*. Fiche pratique. s.d. [En ligne] Disponible sur : <http://www.hespul.org/wp-content/uploads/2014/02/HESPUL-Eco-Urbanisme-FICHE-Chiffres-Cles.pdf> (Consulté le 09/04/2020)

Etat de l'art des méthodes de visualisation de l'empreinte carbone

Il a été choisi de s'intéresser aux moyens déjà existants de représenter les BC ou de mettre en évidence les émissions de CO₂ liées à la consommation de certains produits.

Ainsi, un état de l'art des méthodes de visualisation de BC a été réalisé. Quelques méthodes ont été jugées intéressantes et sont inventoriées, en fonction de l'organisme qui les utilisent.

Visualisation de l'empreinte carbone de l'alimentation par Climat-score

Secteurs concernés : Alimentation

Principe : Indiquer sur les étiquettes des différents produits l'impact carbone de ceux-ci. Deux informations sont proposées : l'impact en gCO₂ pour 100g de produit et une note de A⁺ à E

Avantages : Visibilité au quotidien / Vulgarisation via les notes / Comparaison entre les produits

Inconvénients : Pas de moyen de comparaison avec d'autres pôles que l'alimentation

Visuels / sources :



Figure : Climat-score proposé par Etiquettable

Visualisation de l'empreinte carbone de l'alimentation par Etiquetable

Secteurs concernés : Alimentation

Principe : Etiquetable est une application de cuisine durable, à destination de tous, rassemblant des informations pour mieux choisir son alimentation y compris des informations sur l'impact environnemental

Avantages : Analyse complète du menu / Accessibilité par tous / Exhaustivité des informations

Inconvénients : Payant / Pas de prise en compte de la provenance des aliments

Visuels / sources : <https://etiquetable.eco2initiative.com/>

Visualisation de l'empreinte carbone des déplacements selon une initiative du gouvernement suédois

Secteurs concernés : Déplacement

Principe : Le gouvernement suédois souhaite imposer aux compagnies l'ajout de l'impact carbone d'un vol sur les billets et sur les panneaux d'affichages

Avantages : Sensibilisation sur l'impact des déplacements et sur l'avion en particulier

Inconvénients : Pas de comparatifs avec les autres moyens de transport

Visuels / sources : Multiples sources journalistiques, en particulier la suivante : http://www.spacedaily.com/reports/Sweden_wants_travel_companies_to_flag_up_climate_impact_999.html

Visualisation de l'empreinte carbone des déplacements par la RATP

Secteurs concernés : Déplacement

Principe : L'application mobile de la RATP donne pour chaque recherche les émissions du trajet via les transports en commun et en voiture

Avantages : Sensibilisation sur l'impact des déplacements et sur la voiture en particulier / Proposition d'une alternative

Inconvénients : N/A

Visuels / sources :



Figure : Empreinte carbone comparative entre la voiture et les transports en commun

Visualisation de l'empreinte carbone des achats par Doconomy

Secteurs concernés : Achats

Principe : L'entreprise fintech veut lancer une application et une carte de paiement permettant de visualiser l'impact carbone de chaque transaction mais aussi de proposer des méthodes de compensation et un seuil bloquant

Avantages : Sensibilisation sur l'impact du monde financier et sur les achats / Méthodes de compensation

Inconvénients : Intérêt pour le consommateur / Intrusivité

Visuels / sources :

- <https://doconomy.com/en/black>
- <https://www.numerama.com/business/526533-doconomy-une-carte-bancaire-peut-elle-vraiment-connaître-votre-bilan-carbone.html>

Visualisation du bilan carbone par l'ADEME - Bilan GES

Secteurs concernés : Bilan carbone complet

Principe : Le site de l'ADEME référence des BC d'entreprise mais aussi des informations sur les causes de ces émissions et sur les démarches mises en place

Avantages : Bilan complet avec des données brutes / Informations sur les démarches d'entreprises

Inconvénients : Restriction au scope 1 et 2 / Complexité de l'information / Manque de proximité et visibilité pour le grand public

Visuels / sources : <http://www.bilans-ges.ademe.fr/fr/accueil/>

Effectifs 2018 de l'ECN

Il est possible de distinguer deux types de profils parmi les usager-es de l'ECN. En premier lieu, les étudiant-es et en second lieu les membres du personnel (ou permanent-es). Un profil particulier peut être distingué : il s'agit des doctorant-es, qui sont inscrit-es comme des étudiant-es mais exercent comme des permanent-es.

Pour obtenir les effectifs de chacun-e des acteur-rices, deux services ont été contactés. Le nombre d'étudiant-es a été demandé à la direction de la formation ; le nombre de permanent-es a été demandé à la direction des ressources humaines.

Nombre d'étudiant-es en 2018-2019

Les données fournies par la direction de la formation détaillent les effectifs des étudiant-es inscrit-es pour l'année scolaire 2018-2019.

Les étudiant-es se découpent en deux catégories. Les étudiant-es inscrit-es à l'ECN sont dits "diplômables", c'est-à-dire qu'il vont recevoir un diplôme de la part de l'ECN. D'autres étudiant-es sont présent-es à l'ECN dans le cadre d'un échange ou "séjour d'étude" ; ces étudiant-es ne recevront pas de diplôme de la part de l'ECN.

Par ailleurs, parmi tous-tes les inscrit-es, certain-es étudiant-es sont présent-es sur le campus et d'autres pas. En effet, les étudiant-es parti-es dans le cadre d'un double-diplôme ou d'une césure sont toujours inscrit-es à l'ECN mais son physiquement hors du campus.

Parmi les élèves-ingénieur-es généralistes, sont distingué-es les élèves-ingénieur-es en 1^{ère} année (EI1), les élèves-ingénieur-es en 2^{ème} année (EI2) et les élèves-ingénieur-es en 3^{ème} année (EI3) du cursus généraliste.

Certain-es élèves, entre deux années d'étude, peuvent prendre un an pour affiner leur projet professionnel ou développer un projet personnel. Ils sont alors en année de césure.

Enfin, il est possible que, bien qu'ayant quitté le cursus classique, certaines personnes soient redevables d'un TFE (Travail de Fin d'Étude), d'une mobilité à l'international ou d'une validation du TOEIC, conditions nécessaires à l'obtention du diplôme. Ces personnes doivent donc s'inscrire une année supplémentaire pour s'acquitter de leur devoir. Elles sont en "fin de cursus".

L'ensemble des effectifs est détaillé dans le tableau ci-dessous en fonction de leurs caractéristiques.

La répartition hommes/femmes a également été précisée. Il y a 25 % de femmes parmi l'ensemble des élèves ; il y a 27 % de femmes parmi les doctorant-es.

Tableau : Effectifs 2018-2019 des élèves inscrits à l'ECN

	Diplômables	Séjour d'étude (SE)	Total inscrits	dont présents sur le campus
Bachelor	60		60	23
Centrale Digital Lab	6			6
Foundation Master		59	59	59
Ingénieur-e spécialité BTP	90		90	83
Ingénieur-e spécialité Mécanique	96		96	89
Master	389	27	416	380

Mastère Marketing	27		27	27
Mastère Matériaux	5		5	5
Prépa Archi 4e année		9	9	9
Ingénieur-e généraliste	EI1	398 (dont SE)	26	1485
	EI2	335 (dont SE)		
	EI3	404 (dont SE)		
	Césure	65		
	Fin de cursus	283		
Doctorant-e	290		290	

Pour le calcul du bilan carbone, les élèves diplômables et les élèves en séjour d'étude seront traité-es indifféremment.

En revanche, seules les élèves présent-es sur le campus seront compté-es ; l'empreinte carbone des personnes qui ont quitté - physiquement - l'ECN ne sera pas prise en compte. Ce sont donc 1 596 étudiant-es (hors doctorant-es) qui sont présent-es à l'ECN.

Le découpage EI1/EI2/EI3/césure/fin de cursus des élèves-ingénieur-es étant utile pour le calcul du bilan carbone, des hypothèses ont dû être formulées.

Il a été supposé que l'ensemble des EI1 et EI2 étaient présent-es sur le campus ; en revanche, il a été supposé que les élèves en césure et en fin de cursus en étaient parti-es.

Les élèves en EI3 peuvent être soit sur le campus, soit en double-diplôme à l'étranger. Puisque 915 élèves-ingénieur-es sont présent-es sur le campus, il a été déduit que 182 EI3 sont présent-es.

Ces hypothèses comportent des approximations. En effet, il est possible que certain-es étudiant-es en EI2 partent réaliser un semestre d'étude à l'étranger. Cela n'a pas été pris en compte dans les estimations effectuées pour le calcul du bilan carbone.

Nombre de permanent-es en 2018

Les données fournies par la direction des ressources humaines détaille les effectifs des permanent-es employé-es par l'ECN à la fin de l'année 2018.

Plusieurs types de contrat existent pour les permanent-es.

Celle-eux-ci peuvent être employé-es comme apprenti-es. Ces apprenti-es ne sont pas étudiant-es à l'ECN.

Les permanent-es peuvent être des BIATSS (Personnels ingénieur-es, administratifs, techniques, sociaux et de santé et des bibliothèques), des enseignant-es, des enseignant-es-chercheur-ses.

Les chiffres donnés par la direction des ressources humaines précisent également un nombre de doctorant-es et de post-doctorant-es.

L'ensemble de ces effectifs est répertorié dans le tableau suivant, accompagnée par une répartition hommes/femmes.

Tableau ... : Effectifs fin 2018 des permanent-es employés par l'ECN

	Nombre hommes	Nombre femmes	Total
Apprenti-es	4	2	6
BIATSS	128	111	239
Doctorant-es	74	12	86
Enseignant-es	7	3	10

Enseignant-es-chercheur-ses	86	14	100
Post-doctorant-es	9	3	12

Les chiffres du tableau ont été comparés aux chiffres de 2017 donnés dans le Schéma Pluriannuel de Stratégie Immobilière (SPSI) 2019. Les effectifs ont globalement augmenté.

En plus du personnel employé par l'ECN, certain-es permanent-es sont présent-es sur le campus mais pas employé-es directement par l'ECN ; il s'agit de "personnels hébergé-es".

En 2017, d'après le SPSI, il y avait 207 chercheurs hébergé-es. Il a donc été considéré qu'en 2018, 210 chercheurs hébergé-es travaillaient sur le campus. Il est à noter que, d'après le SPSI, "les chercheurs hébergés proviennent d'organismes comme le CNRS. La présence de doctorants dans le nombre de chercheurs hébergés est tout à fait possible" [Regoin, 2019].

D'autres personnes évoluent également sur le campus en étant "hébergées". Il s'agit des entreprises incubées qui bénéficient de locaux dans le bâtiment E. L'impact de ces personnes n'a pas été pris en compte.

Nombre total d'acteur-rices de l'ECN en 2018

Pour calculer les effectifs totaux de l'ECN, les données fournies par la direction de la formation et celles fournies par la direction des ressources humaines. Il a donc été supposé qu'elles n'étaient pas redondantes, en particulier en ce qui concerne les doctorant-es. Il est probable que cette hypothèse soit erronée et que le nombre d'acteur-rices total ait donc été surestimé.

Les post-doctorant-es ont été assimilés à des doctorant-es.

Les effectifs totaux calculés à partir des données précédentes sont montrés ci-dessous. Pour le calcul du bilan carbone, des approximations ont été faites, celles-ci sont également spécifiées.

Tableau : Effectifs réels estimés des acteurs de l'ECN présents sur le campus pendant l'année 2018 et chiffres utilisés pour le calcul du BC

	Effectifs réels estimés	Effectifs considérés pour le calcul du BC
EI2 et EI3	517	515
Nombre d'élèves total	1 596	1 600
Autres élèves (EI1, master et bachelor, élèves-ingénieurs de spécialité, mastère, prépa archi)	1 079	1 085
Doctorant-es et post-doctorant-es	388	390
Permanent-es (hors doctorant-es) : apprenti-es, BIATSS, enseignant-es, enseignant-es-chercheur-ses, chercheur-ses hébergé-es	565	560

Au total, ce serait donc environ 2 550 personnes qui ont évolué sur le campus de l'ECN en 2018.

Guide de conception du compteur de véhicules

Besoin

Les émissions des déplacements pendulaires (domicile-école) des personnes qui fréquentent l'école sont un point non négligeable du BC. Afin de pouvoir quantifier ces déplacements au quotidien, et avoir des informations plus fiables qu'un questionnaire pour estimer les émissions de GES dues aux déplacements, on souhaite **compter les véhicules** entrants dans l'école. On note cependant qu'il sera nécessaire de compléter ce comptage par un questionnaire, pour estimer la provenance des véhicules.

Ce système de comptage nécessitera un **entretien minimal** (pas ou peu de changement de batterie, de branchement à refaire ou d'allumage quotidien).

Ce système devra compter les voitures, idéalement les vélos, et si possible les piéton.nes, mais cette dernière caractéristique n'est pas indispensable. En effet, la mesure ne serait pas forcément exploitable, étant donné qu'une partie des piéton.nes peuvent venir de la résidence de l'école.

Ce système devra être **peu invasif**, et ne pas nécessiter de raccordement filaire à un réseau internet.

Les résultats du comptage devront être accessibles par une requête internet sur un serveur miniature, afin de **mettre à jour automatiquement** les graphes de visualisation.

On garde enfin en tête l'objectif de minimiser l'impact de ce système : si une solution est plus **low-tech** qu'une autre, cela jouera fortement en sa faveur.

Pistes de solutions

Solutions du marché

COMPTEURS MIXTES

La société MAGSYS propose un Compteur Cityradar¹, permettant de mesurer soit deux-roues et voitures, soit piéton.nes et deux-roues. Ce système est un radar compris dans un boîtier qui se fixe sur un mât, un poteau ou un arbre (des supports déjà présents à l'entrée de l'école). La mesure utile au projet est la première dans le descriptif (voitures/deux-roues) suivant:

¹ <https://www.hellopro.fr/cityradar-2002145-6379608-produit.html>

	 	 
Détection	2 voies uni ou bi-directionnelles	Piste cyclable uni ou bi-directionnelle
Distance de détection	Jusqu'à 15 m	Jusqu'à 8 m et 5 m de large
Précision de comptage	98% sous conditions de trafic normal	90%
Précision de vitesse	+/- 3%	+/- 5 km/h
Précision de longueur	+/- 0,5 m	NA
Autonomie	10 jours sur batterie interne 17 AH	10 jours sur batterie interne 17 AH
Stockage	4 Go (200 000 000 véhicules)	4 Go (200 000 000 détections)
Type d'étude	<ul style="list-style-type: none"> Comptage directionnel Vitesse Classification longueur Interdistances Enregistrements véhicule par véhicule ou agrégés 	<ul style="list-style-type: none"> Comptage directionnel vélos et piétons Vitesse Enregistrements individuels ou agrégés
Alimentation	12 V	
Température	-25° à + 70° C	
Dimensions	36 x 32 x 23 cm	
Poids	4,5 kg hors batterie. Le poids additionnel dépend des options d'alimentation (batterie, 220 V, éclairage public, solaire)	
Configuration	Sur PC Windows	
Exploitation des données	Sur PC Windows ou Web	
Conformité	CE et FCC	

En bilan, ce système est très simple à installer, fait ce qui a été défini dans le besoin (avec connexion web, mais nécessite une alimentation 12V). Il faudrait cependant évaluer si un panneau solaire, couplé à la batterie de 10 jours d'autonomie, pourrait alimenter correctement le système.

L'avantage est que cette solution est livrée clé en main, et son service après-vente devrait être assuré. Cela limitera donc la surcharge de travail qu'elle pourrait causer aux permanent-es de l'école.

D'autres constructeurs proposent des radars de comptage. Par exemple, CEP propose une solution équivalente à celle de MAGSYS (les mêmes données sont fournies) mais qui ne semble pas disposer d'une connexion internet.

La société Eco-compteur propose dans sa gamme *Multi*¹ de solutions mixtes piétons+vélos, mais ce n'est pas ce dont nous avons besoin.

Nous avons demandé par mail un devis pour le système de MAGSYS pour avoir un ordre de grandeur de prix pour ce genre de système. Voici la réponse de Jean Marc Coutellier, Dir. commercial de TagMaster (mail : jm.coutellier@magsys.net).

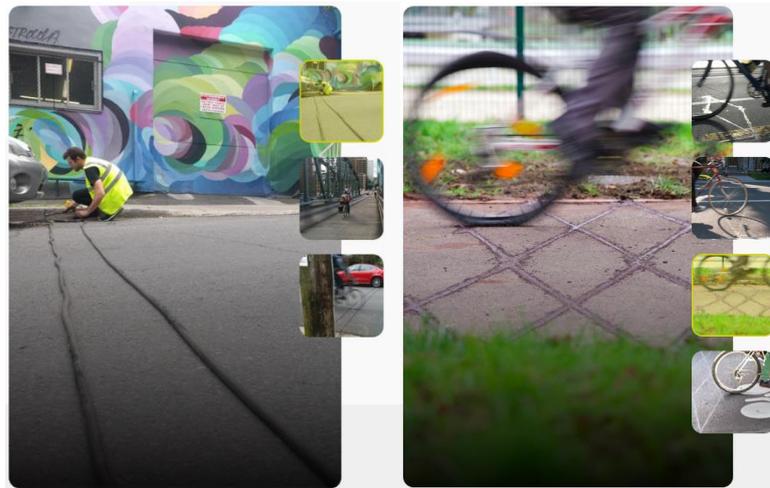
"Le prix public unitaire du radar de comptage CITYRADAR est de 3 300 € HT dans sa version mobile, et 4 020 € HT s'il est équipé d'un modem 3G. Il ne se connecte à Internet qu'à travers sa liaison 3G."

Le prix étant assez rédhibitoire pour ce système surtout si l'on souhaite la version modem, on prévoit plutôt de se tourner vers des solutions "faites maison".

COMPTEURS DE VELOS

Le comptage des vélos peut fonctionner de deux manières principalement, l'une étant plus invasive que l'autre. Celle-ci consiste à une détection magnétique des vélos <https://www.eco-compteur.com/produits/gamme-zelt/zelt-urbaine/>. Cette solution est autonome longtemps (1-2 ans en énergie) et très précise mais aucune version ne semble équipée d'un modem internet. De plus, elle semble aussi coûteuse (min 1500€), et donc peu envisageable pour une solution incomplète.

¹ <https://www.eco-compteur.com/produits/gamme-multi/>



Les deux solutions : à gauche la temporaire à tubes hydrauliques, et la permanente à bande magnétiques

L'autre version est temporaire, elle peut fonctionner avec des bandes électromagnétiques ou des tubes hydrauliques posés en travers de la chaussée. Cette solution permet de ne pas avoir de coût d'installation, et davantage de maniabilité, mais elle présente les mêmes désavantages que la précédente.

Bien que pour la résilience du système il fut intéressant de séparer les fonctions du système, le coût de ces systèmes et le fait que leurs fonctionnalités ne correspondent pas exactement aux besoins nous découragent d'utiliser des systèmes "sur étagères" pour chaque fonction.

COMPTEURS DE VOITURE



Analyseur de trafic routier autonome

Installé au centre de la voie, le compteur NC 350 enregistre avec une grande précision la longueur et la vitesse de chaque véhicule. Il restitue un fichier de mesures individuelles ou agrégées sur une période paramétrable.

Enfin, le comptage des voitures peut se faire également par tubes comme pour les vélos, mais aussi par détection magnétique. Le plus intéressant est le second, comme le compteur de trafic routier nc350¹

¹ <https://www.magsys.net/compteur-de-traffic-routier-nc350/>

qui se pose discrètement sur la route, et ne requiert pas d'entretien ou de mise en place difficile. Il est tout-à-fait adapté à un comptage sur une seule voie. Il peut être à remplacer tous les 3/4 ans mais la batterie doit être rechargée tous les 20 jours, ce qui est contraignant. De plus, la connexion à distance peut se faire par Bluetooth, mais cela implique d'avoir un autre système à proximité pour relayer les données du compteur. De plus, cette fonctionnalité n'est pas prévue pour une récupération en continu des données mais plutôt pour vérifier le bon fonctionnement du système.

Solution artisanale

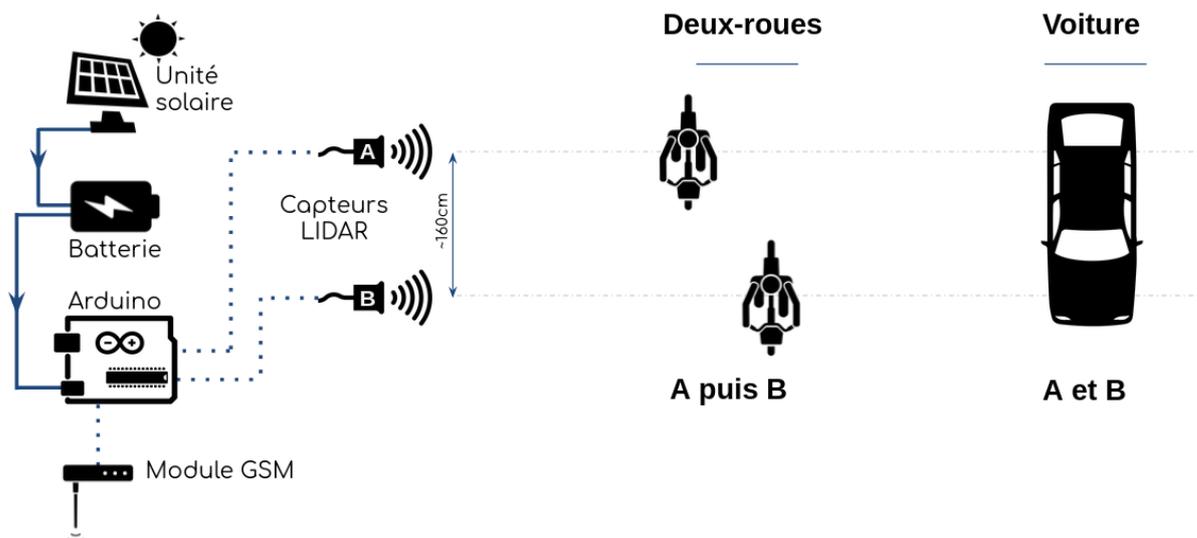
Les solutions « faites maison » seront assurément moins coûteuses que celles du marché, et plus adaptées aux besoins du projet, mais demanderont bien sûr davantage de temps de travail.

La meilleure solution me semble être de baser ces solutions autour d'une carte Arduino¹ pour plusieurs raisons. D'abord, l'Arduino est un système open-source (donc en accord avec la charte de l'option), léger (donc peu consommateur en énergie) et facile d'utilisation. En effet, il est codé dans un C++ très intuitif, et possède beaucoup de documentation et de bibliothèques qui fonctionnent très bien. De plus, il préexiste une quantité considérable de capteurs faits pour fonctionner avec, et possédant une bibliothèque adaptée. Cela permet de ne pas partir de rien pour la conception du système.

DETECTION DE VEHICULES

L'idée de base serait d'utiliser deux capteurs de distance détectant lorsqu'un objet passe sur la route (dans le sens de l'entrée). Les deux capteurs seraient écartés de moins de la longueur d'une voiture (~1.6m). La détection d'une voiture se passerait donc ainsi : si le premier capteur A détecte, et que peu après ($t < 0.5s$, par exemple) le second capteur B détecte alors que A détecte encore, on considère que c'est une voiture.

Pour un vélo (ou plutôt un deux-roues), si le capteur B détecte après le capteur A mais que le A ne détecte plus, on considère que c'est un vélo.



¹ L'Arduino est une carte électronique à microcontrôleur Atmel AVR ou ARM dont le schéma est en licence libre. Elle est très utilisée dans le domaine de la robotique et domotique amateur.

Ce qui est appelé « détection », c'est la chose suivante. Les capteurs de distance détecteraient une distance infinie (c'est à dire supérieure à leur distance de détection maximale) à vide. On définirait une distance maximale (= largeur d'une route), et le passage d'un objet serait la mesure d'une distance inférieure à cette distance maximale.

Note: De plus, on pourrait fiabiliser la mesure en renseignant une distance faible (=1/2 routes). Si quelque chose a été détecté à plus que cette distance, il ne pourra pas s'agir d'une voiture (car elle prendrait la quasi-totalité de la largeur de la route).

La détection s'accompagnerait bien sûr d'une importante partie de filtrage du signal. L'Arduino est probablement capable de faire un filtrage satisfaisant, et de faire le traitement pour n'avoir en sortie du programme que le comptage des vélos ou voitures.

TRANSMISSION DES DONNEES

Il existe des modules de connexion Wifi¹ adaptés à une Arduino, celle-ci pourrait donc se connecter au réseau wifi de l'école (à voir donc avec la Direction des Systèmes d'Information (DSI) pour pouvoir avoir un accès permanent). Cependant, après consultation de l'avis de diverses personnes sur le sujet, ce n'est peut-être pas la meilleure solution à envisager. Le principal retour de Pierre Molinaro porte sur l'ESP8266. En effet, le wifi n'est pas ce qu'il existe de plus stable, et, pour un système placé à l'entrée de l'école, il est plus que probable que le signal ne se porte pas à une telle distance, vue la distance de la borne wifi la plus proche.

Si l'on tient à faire du wifi, il serait plus stable d'effectuer le développement sur un **ESP32**² plutôt que sur un ESP8266 : c'est une version plus récente. Il est possible d'effectuer des calculs directement sur la carte, et donc plus besoin d'une Arduino. Cependant, il ne semble pas que l'ESP32 dispose de 2 paires de connexions UART pour la connexion Serial avec les deux capteurs³.

L'ESP pourrait quand même être une solution très intéressante, soit pour faire tourner comme serveur pour regrouper les données, soit pour la partie test.

C'est tout de même un composant autrement plus « sportif » à programmer qu'une Arduino (je n'ai à ce jour pas réussi à installer un environnement complet sur Ubuntu pour l'ESP32 Mini kit de MH-ET Live).

Une solution de communication longue distance est le protocole **LoRaWAN**, de la technologie LoRa[FOOTNOTE: <https://fr.wikipedia.org/wiki/LoRaWAN>]. C'est un protocole propriétaire longue distance pour lequel il existe déjà des shields⁴. Arduino, et donc des bibliothèques adéquates. Cependant, si l'on émet en LoRaWAN, il faut recevoir également en LoRaWAN. Donc cela impliquerait d'avoir une Arduino équipée d'un shield LoRa à l'entrée de l'école, ainsi qu'un système avec soit une autre Arduino Ethernet avec shield LoRa branchée dans réseau de l'école, soit un ESP32 avec LoRa (la compatibilité protocolaire ne sera probablement pas immédiate) connecté à la wifi de l'école.

¹ Comme l'ESP8266 <https://www.sparkfun.com/products/13678>

² Pour l'avenir, voilà un précieux tutoriel pour l'installation de l'environnement ESP : <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/get-started/index.html> <http://www.esp32learning.com/hardware/mh-et-live-minikit-for-esp32.php>

³ Il y en a bien deux, mais un d'entre eux est exclusivement réservé à la connexion au port COM de l'ordinateur.

⁴ Un shield est un module qui s'emboîte simplement sur une carte Arduino. Ces modules sont faits pour être relativement *plug & play*.

Dans les deux cas, cela rajoute beaucoup de complexité au système (et en fait potentiellement doubler le coût).

Une autre solution de connexion qui me vient est une **communication 4G LT**, puisque le campus est quand même très bien couvert.

Le site <https://www.cooking-hacks.com/documentation/tutorials/4g-gps-lte-wcdma-hspa-3g-gprs-shield-arduino-raspberry-pi-waspmote-tutorial/> présente les bandes de fréquence à utiliser en Europe, et le **LE910-EUG** semble le plus adapté.

Cette solution me paraît la plus pratique, car assez indépendante de la connexion de l'école (et ne demande pas à ce que la DSI ait une potentielle faille dans le réseau de l'école par une entrée « facile » pour l'Arduino). De plus, cela permet de conserver une base Arduino au système, ce qui est toujours avantageux pour l'intégration des capteurs, la documentation, et la passation du projet. Les données seraient envoyées à un serveur léger hébergé potentiellement à Centrale. Il ne restera qu'à les récupérer du côté de l'exploitation des données.

AUTONOMISATION DU SYSTEME

Enfin, pour autonomiser le système, il faut l'alimenter. Le plus simple serait d'enfermer le tout dans un boîtier étanche, équipé d'une batterie et d'un panneau solaire. Comme le système serait très peu énergivore, la surface de piles solaires ne devrait pas être trop importante.

Préconception du système

Listage des composants

Note : je liste ici des composants avec leur lien sur une boutique internet spécifique ; les prix sont donnés à titre purement indicatif.

- Une Arduino Uno¹ pourrait être le centre du système. Le modèle de l'Arduino est, je pense assez adapté. Cependant, on verra dans le second point que les capteurs LiDAR fonctionnent en communication UART, et l'Arduino Uno ne dispose que d'un seul port série. Ainsi, il faudrait relier les deux capteurs au même port et alterner dans le code l'entrée des données, éventuellement avec un composant de switch supplémentaire. Cela risquerait de faire perdre en fiabilité et en réactivité le système, et l'économie de quelques Euros ne vaut probablement pas le coût d'une telle complexification. Une **Arduino Mega**, elle, ne coûte pas beaucoup plus cher, et permet un certain confort avec le nombre d'entrées/sorties (prix : ~\$40)
- Il faut deux capteurs de distance. Il faut que la distance mesurable soit au minimum de 4m (une route fait 3,5m généralement). La technologie infrarouge ou ultrasons ne permet pas d'atteindre de telles distances, surtout en extérieur. Des capteurs « LiDAR » me semblent les plus appropriés, car ils ont une bonne fiabilité et une bonne portée, même s'ils sont légèrement plus chers. Ceux que j'ai repéré sont les suivants : **TFMini Plus - Micro LiDAR**

¹ <https://www.sparkfun.com/products/11021>

Module¹. Ils sont de plus équipés d'un boîtier certifié IP65 adapté à un usage en extérieur. La mesure va de 5cm à 12m avec une précision (plus que suffisante) de 1 %. La mesure est communiquée en protocole UART à l'Arduino (prix : **2* \$45**).

- Les divers impératifs de commande sur les sites suscités nous ont fait nous rabattre sur un module **Adafruit FONA 3G**, basé sur une puce SIM800 pour transmettre les données à distance
- Il faut également alimenter le tout. Il suffit d'alimenter l'Arduino entre 7V et 12V en courant continu (consommation environ 50mA). Une batterie serait nécessaire, et un panneau solaire serait idéal pour rendre le système non invasif et complètement autonome. Enfin, on garde à l'esprit, pendant le développement de l'outil dans le détail, qu'un redémarrage du système à cause d'un manque d'énergie ne l'incapacitera pas, et qu'il pourra se rallumer normalement. On peut utiliser un assemblage de composants avec un panneau solaire indépendant², un BMS (Battery Management System) dédié à l'Arduino³, et une batterie rechargeable⁴ (coût total ~150€). Cependant, cela revient à un coût de \$116, sans compter l'intégration et la protection du panneau solaire livré nu. On pourrait cependant recycler une batterie en fin de vie dans un labo ou un panneau solaire inutilisé, mais la longévité du système et son bon fonctionnement pourraient être compromis. Il existe en revanche des kits⁵ comprenant les trois composants (**BMS, batterie et panneau**) adaptés à l'Arduino qui semblent parfaitement adaptés.
- Enfin, il conviendrait de protéger le tout avec un boîtier électrique étanche. Un **boîtier de dérivation**⁶ ferait l'affaire (prix ~6€). Les capteurs LiDAR, comme dit plus haut, sont déjà étanchéifiés et n'ont pas besoin de protection supplémentaire. On ajoute à cela quelques mètres de **câbles** pour relier les capteurs (~5€). On aura probablement besoin de quelques attaches pour fixer le système à l'entrée du portail, mais c'est à voir avec les Services Généraux de l'école.

Après commande, et en prenant en compte les frais de douane, on obtient un total d'environ 400€.

Code

Ébauche de structuration du code :

- Les modules LiDAR communiquant en UART avec l'Arduino Mega, il faudra initialiser (dans *setup()*) deux liaisons serie avec *Serial.begin()*, avec lesquelles on pourra lire les données directement dans la boucle *loop()*.

¹ <https://www.sparkfun.com/products/15179>

² Solar Panel 6W <https://www.sparkfun.com/products/13783>

³ Sparkfun Sunny Buddy MPPT Solar Charger - <https://www.sparkfun.com/products/12885>

⁴ Lithium Ion Battery 6Ah - <https://www.sparkfun.com/products/13856>

⁵ Solar Module for Arduino - <https://www.cooking-hacks.com/solar-module-for-arduino>

⁶ Boîtier de dérivation 10E/S <https://www.leroymerlin.fr/v3/p/produits/boite-de-derivation-etanche-en-saillie-debflex-10-entrees-e29210>

- On lira, à chaque itération de `loop()`, la valeur du capteur A. S'il se déclenche (valeur fixée de distance $<4\text{m}$) on s'intéresse au déclenchement du capteur B. S'il se déclenche moins de x ms après, on regarde l'état du A ; s'il est toujours allumé, on incrémente le compteur des voitures, s'il ne l'est plus, on incrémente celui des vélos.
- Chaque lecture pourra bénéficier d'un lissage par filtre de Kalman, très simple d'utilisation avec une librairie Arduino¹. Cependant si ce filtre n'est pas le plus adapté, une moyenne mobile classique devrait très bien faire l'affaire
- Une horloge avec la fonction `millis()` permettra d'envoyer une donnée voiture et vélos (entiers int?) au serveur, toutes les minutes par exemple.

Elaboration du système

Cartes de communication

Le choix de l'antenne n'est pas aisé. La connexion GSM est une technologie qui évolue vite, et pas de la même manière selon la localisation géographique. Ainsi, il faut être vigilant-es à l'obsolescence de la technologie (combien de temps reste-il d'utilisation de la 2G en France ?), et à la couverture du réseau. Heureusement, le campus du Tertre est tout à fait bien couvert par la 2G/3G/LTE/4G.

Il existe plusieurs *shields* :

- Les cartes FONA SIM800² par Adafruit. Elles peuvent être équipées d'une antenne. Permet de recevoir/émettre des données GPRS (TCP/IP, HTTP,...) avec une connectivité 2G ou des SMS. Format SIM standard. Elles sont très complètes, plus que nécessaire ici, mais la documentation est très bien fournie. Possèdent une antenne passive IP67 2G et le port adapté. Une version shield³ (qui peut s'empiler directement sur l'Arduino) existe, mais ne dispose pas d'une antenne rigide. (~\$40). D'autres versions sont basées sur une SIM900, mais la compatibilité avec le réseau français et l'Arduino Mega est la même. L'usage d'une batterie externe (type LiPo 500mAh⁴) est recommandé : en effet, l'Arduino n'est pas en mesure de fournir le courant en pic consommé lors de certaines opérations par les pins 5V auxquels les shields s'alimentent en général. Une autre source de courant est donc nécessaire. On pourra cependant envisager d'utiliser la batterie de l'alimentation de l'Arduino.
- Les cartes FONA SIM5320⁵ ont des caractéristiques encore similaires, mais cette fois-ci portées en 3G. Vigilance donc : il existe une version USA et une version européenne, adaptée aux fréquences locales. (~\$80). L'usage d'une batterie externe (au moins 500mAh, recommandé +1000mAh) est nécessaire.

¹ Démonstration ici : <https://www.youtube.com/watch?v=4Q5kJ96YYZ4> et code de la librairie ici : <https://github.com/denyssene/SimpleKalmanFilter>

² SIM800L normale: <https://www.adafruit.com/product/1963>

³ Version shield de la SIM800H: <https://www.adafruit.com/product/2468>

⁴ Batterie LiPo 500mAh : <https://www.adafruit.com/product/1578>

⁵ SIM5320H : <https://www.adafruit.com/product/2691>

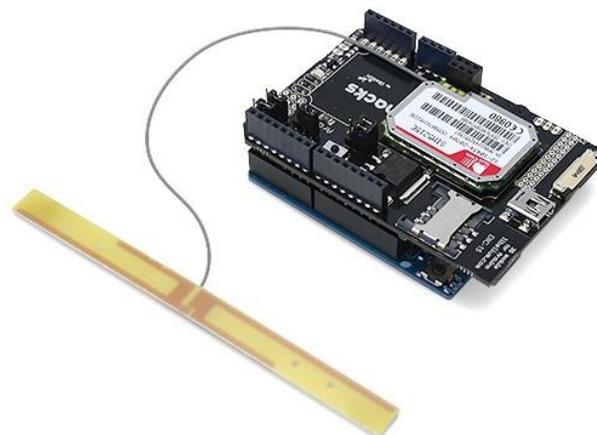
- Une carte de Cooking Hacks¹ supporte également la 3G avec un SIM5215-E (pour l'Europe) avec une documentation assez complète. (~54€)
- Les cartes basées sur un Téliit LE910-EUG² sont aptes à capter des réseaux LTE et 4G, protocole les plus récents sur le marché actuellement (de même, prendre le modèle adapté à la zone géographique). (~111€)

Choosing the right cellular module for Arduino and Raspberry Pi: 4G / 3G / GPRS / GSM

Model	Protocols	Frequency Bands	Certifications	Market
SIM908	GPRS / GSM	850, 900, 1800, 1900MHz	CE	Europe
SIM5215-E	3G / GPRS / GSM	850, 900, 1800, 2100MHz	CE, GCF	Europe
SIM5215-A	3G / GPRS / GSM	850, 900, 1800, 1900MHz	FCC, IC, PTCRB	US / Canada
LE910-EUG	4G / 3G / GPRS / GSM / WCDMA / HSPA+ / LTE	850, 900, 1800, 2100, 2600MHz	CE, GCF, ANATEL	Europe / Brasil
LE910-NAG	4G / 3G / GPRS / GSM / WCDMA / HSPA+ / LTE	700, 850, 900, 1700, 1900MHz	FCC, IC, PTCRB, AT&T Compliant	US / Canada
LE910-SKG	4G / LTE / HSPA+	850, 1800MHz	KCC	South Korea
LE910-AU V2	4G / LTE / HSPA+	850, 1500, 2100MHz	RCM	Australia
LE910-JN V2	4G / LTE / HSPA+	850, 1500, 2100MHz	NTT DoCoMo	Japan
LE910-JK V2	4G / LTE / HSPA+	850, 1500, 2100MHz	KDDi	Japan

Conclusion : l'utilisation de la 4G n'est absolument pas nécessaire, car le système n'a aucunement besoin de haut débit. En fait, la 2G serait probablement suffisante, mais il vaut mieux se tourner vers la 3G, qui sera moins sujette à l'obsolescence. Enfin, les modules basés sur une SIM5215 ne nécessitent pas d'usage de batterie, contrairement au SIM5320, car i-els peuvent être alimentés à travers la carte. De plus, il semble moins encombré de technologies dont on n'a pas vraiment besoin (radio, GPS, ...). Ainsi, le module **3G/GPRS de CookingHacks semble le plus adapté.**

<https://www.cooking-hacks.com/3g-gprs-shield-for-arduino-3g-gps>



¹ <https://www.cooking-hacks.com/documentation/tutorials/3g-gps-shield-arduino-raspberry-pi-tutorial/>

² LE910-EUG: <https://www.cooking-hacks.com/4g-gps-3g-gprs-gsm-gps-lte-wcdma-hspa-shield-for-arduino>

Malheureusement, ce shield n'est pas disponible lors de la commande et dans les délais visés. On le remplace donc par la carte d'**Adafruit FONA 800 Shield**¹ qui a des caractéristiques similaires.

Par rapport au système précédemment décrit, on remplace donc l'ESP8266 par un shield 3G. Il faut noter qu'il faudra se munir d'une carte SIM prépayée qui permettrait d'avoir un forfait équipé d'un peu d'internet (max 100MB par mois environ), et de quelques SMS (pour le test, voire pour une fonctionnalité additionnelle : on peut imaginer un numéro auquel on puisse envoyer un sms, et qu'il réponde avec les statistiques de la semaine passée par exemple).

Pour ce qui est des cartes SIM pour avoir un réseau 3G, il existe des cartes prépayées. Bien que pratiques au niveau financier (car payées une seule fois), la ligne a une durée de vie limitée, souvent à quelques mois. Un forfait à prélèvement automatique est probablement plus pratique.

Un forfait de **50 ou 100Mo/mois** est largement suffisant, car il ne s'agit que d'envoyer au plus quelques requêtes par jour au serveur. Un plus serait des **SMS illimités** ; on peut imaginer une fonctionnalité qui envoie les données de la semaine ou du jour en réponse au numéro qui l'a sollicité.

Il existe un grand nombre d'offres de différents opérateurs ; le coût est de l'ordre de **5€/mois** (soit 60€ /an). Il est à noter que cette carte SIM sera bloquée par un code fourni par l'opérateur ; il faudra soit procéder à une commande systématique de l'Arduino pour la déverrouiller, soit la débloquent définitivement depuis un autre téléphone.

Alimentation

Comme discuté précédemment, pour l'indépendance du système, la solution qui semble plus simple à mettre en place est un ensemble panneau solaire/BMS/batterie. Cependant, le kit solaire présenté précédemment sur CookingHacks n'est plus disponible. Voltaic propose une solution 2W de remplacement satisfaisante².



¹ www.adafruit.com/product/2468

² <https://voltaicsystems.com/2-watt-kit/>

La batterie dispose d'un port USB femelle pour fournir une puissance électrique, et le câble de branchement pour l'Arduino est fourni avec la carte.

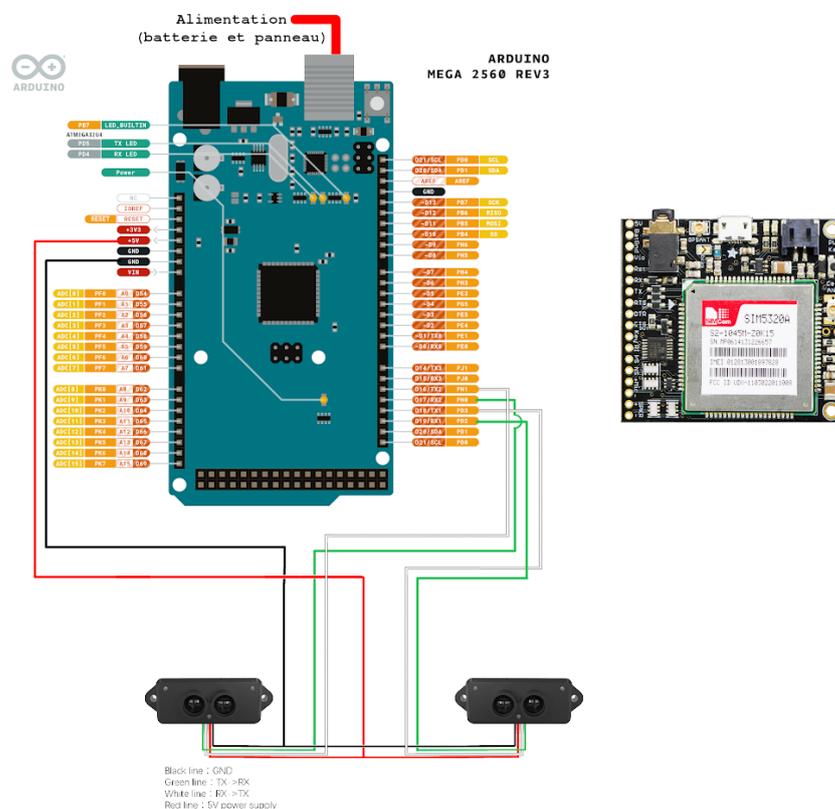
Capteurs

Deux capteurs de distances LIDAR TFMini Plus sont commandés chez Sparkfun.

Assemblage

Ci-dessous est présenté un schéma de l'ensemble tel qu'il est à la date de ce rapport. Il est à noter que la liaison entre le module 3G et la carte Arduino n'est pas représenté, car les contraintes de temps n'ont pas permis de le tester. La documentation¹ est cependant très aidante sur ce sujet.

Les images du schéma ci-dessous viennent de arduino.cc, adafruit.com et sparkfun.com.



Début de code

Le code déjà rédigé l'a été avant la réception de la carte de télécommunication, et n'intègre donc que les détections. De plus, **il n'a pas été testé** par manque de temps.

```
int nbVoitures = 0;
```

¹ <https://learn.adafruit.com/assets/27348>

```

int nbVelos = 0;

int uartC1[9]; int uartC2[9]; //Messages en provenance des Serials 1 et 2 (C1 et C2)
int distances[4]; // format : [distance C1; certitude C1; distance C2; certitude C2]
const int HEADER = 89; //frame header of data package (cf doc : 0x59)
int check1 = 0; const int checksum1 = 167;
int check2 = 0; const int checksum2 = 423;

//====Filtrage - Moyenne mobile pondérée linéaire====
const int nEchant = 10; //largeur de la fenêtre (première valeur: 50)
int fenetreC1[nEchant];
int fenetreC2[nEchant];

//Limite de distance
int limC1 = 100;//cm
int limC2 = 100;//cm

int vitesseMin = 1000; //temps maximal entre l'activation des deux capteurs par un véhicule lent

unsigned long tDetect1 = 0;
unsigned long tDetect2 = 0;
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  Serial1.begin(115200);
  Serial2.begin(115200);
}

void loop() {
  //====Réception du signal des capteurs Lidar
  while (Serial1.available()) {
    if (Serial1.read() == HEADER) {
      uartC1[0] == HEADER;
      for (int i = 1; i < 9; i++) {
        uartC1[i] = Serial.read();
      }
      check1 = uartC1[0] + uartC1[1] + uartC1[2] + uartC1[3] + uartC1[4] + uartC1[5] + uartC1[6] + uartC1[7];
      if (check1 - uartC1[8] == checksum1) {
        distances[0] = (uartC1[2] + uartC1[3] * 256);
        for (int i = 1; i < nEchant; i++) { // Décalage de la fenêtre
          fenetreC1[i] = fenetreC1[i - 1];
        }
        fenetreC1[0] = distances[0];
        float sum = 0;
        for (int i = 0; i < nEchant; i++) { // Somme pondérée de l'échantillon
          sum += fenetreC1[i] * (nEchant - i);
        }
        distances[0] = 2 * sum / (nEchant * (nEchant + 1));
        distances[1] = (uartC1[4] + uartC1[5] * 256) / 100; //Force de la mesure (pas forcément utile. Piste: pondérer la
moyenne mobile avec cette fiabilité)
      }
    }
  }
  while (Serial2.available()) { //Fonctionne exactement de la même manière que le précédent
    if (Serial2.read() == HEADER) {
      uartC2[0] == HEADER;

```

```

    for (int i = 1; i < 9; i++) {
        uartC2[i] = Serial2.read();
    }
    check2 = uartC2[0] + uartC2[1] + uartC2[2] + uartC2[3] + uartC2[4] + uartC2[5] + uartC2[6] + uartC2[7];
    if (check2 - uartC2[8] == checksum2) {
        distances[2] = (uartC2[2] + uartC2[3] * 256);
        for (int i = 1; i < nEchant; i++) { // Décalage de la fenêtre
            fenetreC2[i] = fenetreC2[i - 1];
        }
        fenetreC2[0] = distances[2];
        float sum = 0;
        for (int i = 0; i < nEchant; i++) { // Somme pondérée de l'échantillon
            sum += fenetreC2[i] * (nEchant - i);
        }
        distances[2] = 2 * sum / (nEchant * (nEchant + 1));
        distances[3] = (uartC2[4] + uartC2[5] * 256) / 100; //Force de la mesure
    }
}
}
//=====Detection d'un véhicule

//Detection d'un front montant tous les moins de vitesseMin
if (distances[0] < limC1 && tDetect1 == 0) { //Si le premier capteur est active (détection montée)
tDetect1 = millis();
Serial.println("C1");
}
if (millis() - tDetect1 > vitesseMin && tDetect1 != 0) { //Si ça fait plus de vitesseMin que le C1 est activé, on oublie; faux
positif sur C1
tDetect1 = 0;
}
if (millis() - tDetect2 > vitesseMin && tDetect2 != 0) { //Si ça fait plus de vitesseMin que le C2 est activé, on oublie; faux
positif sur C2
tDetect2 = 0;
}
if (distances[2] < limC2 && tDetect2 == 0) { //Si le SECOND capteur est active (detection montée)
tDetect2 = millis();
Serial.println("C2");

if (distances[0] < limC1) {
    nbVoitures++;
} else if (tDetect1 != 0) {
    nbVelos++;
}
}
Serial.print("Nombre de voitures :"); Serial.print(nbVoitures);
Serial.print(" | Nombre de deux-roues :"); Serial.println(nbVelos);

delay(5); //Juste histoire d'avoir un peu de stabilité dans les cycles
}

```

Continuation

Il reste donc à :

- Régler les paramètres de filtrage pour obtenir une détection fiable ;
- Implémenter la carte de communication et donc :
 - Choisir un protocole d'envoi internet,
 - Choisir la forme des données à envoyer,
 - Implémenter potentiellement la fonctionnalité d'information SMS (une partie du code qui renvoie les statistiques à une personne qui les demande par SMS) ;
- Relier le code "détection" et le code "communication" ;
- Câbler définitivement les composants et installer le tout dans une boîte étanche ;
- Faire des tests (par exemple, rester surveiller une journée et comparer le nombre réel de véhicules et le nombre de détections ;
- Exploiter ces données avec un compteur dynamique consultable sur internet, et les enregistrer dans une base de données ;
- Utiliser l'outil pour le calcul du BC des déplacements et pour de la sensibilisation (visualisation des données récupérées au sein de l'établissement par exemple).

Sondage sur les habitudes de mobilité des usager-es de l'ECN (français et anglais)

Afin de réaliser le bilan carbone 2018 de l'Ecole Centrale de Nantes (ECN), un questionnaire sur portant sur les habitudes en termes de mobilité des usagers de l'ECN a été diffusé. Il a été proposé en deux langues, en français et en anglais.

Questionnaire complet en français

NB : Un bouton "Précédent" en bas de page permet de revenir en arrière dans le questionnaire si vous souhaitez modifier vos réponses. Merci d'utiliser cette option plutôt que l'icône de votre navigateur, qui risquerait de causer un bug. Si toutefois vous avez utilisé la flèche du navigateur, vos réponses sont normalement accessibles en rechargeant la page.

Ce questionnaire a pour objectif d'établir un **état des lieux des habitudes liées aux déplacements** à Centrale Nantes, au quotidien comme lors de déplacements plus exceptionnels. Il s'inscrit dans la continuité de deux enquêtes précédentes menées en 2008 et 2014 par la Commission développement durable. Les réponses que vous apporterez nous permettront de suivre l'**évolution des pratiques de mobilité** à l'école, d'identifier vos **attentes** en la matière ainsi que d'anticiper sur les **enjeux futurs** (évolution du bâti, augmentation du nombre d'usagers suite au déménagement sur le campus de l'École Nationale Supérieure Maritime), mais aussi de compléter le **bilan carbone** de l'établissement et de réfléchir à la promotion de modes de transports plus **soutenables**.

Le questionnaire est divisé en 3 parties :

- les habitudes liées à vos **déplacements quotidiens**,
- l'évaluation des **infrastructures** existant sur le campus,
- les pratiques liées à vos **déplacements exceptionnels** : conférences et formations pour les personnels, mobilité à l'international pour les étudiant.e.s.

Le temps estimé pour remplir ce sondage est de sept minutes. Afin d'assurer une bonne représentativité des résultats, nous espérons que vous serez nombreux.x.ses à répondre.

Un espace de libre expression est prévu à la fin du sondage pour nous faire remonter vos éventuelles remarques.

Vous remerciant d'avance pour votre participation,

Le groupe de travail Mobilité.

*Obligatoire

DEPLACEMENTS AU QUOTIDIEN

Cette partie a pour but d'évaluer les modes de déplacement utilisés au quotidien pour les trajets domicile - Centrale.

1. A Centrale, à quelle catégorie d'usagers appartenez-vous ?*

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

- Personnel
- EI Généraliste
- EI de Spécialité (ex : ITII)
- Etudiant.e en master
- Doctorant.e

2. Vous possédez ... ?*

Veillez choisir toutes les réponses qui conviennent

- Une voiture thermique
- Une voiture hybride
- Une voiture électrique
- Un scooter / une moto à moteur thermique

- Un vélo à assistance électrique
- Un vélo
- Un engin de déplacement personnel électrique (trottinette, scooter, skate, monoroue, ...)
- Un abonnement TAN mensuel/annuel illimité
- Autre :

3. La dernière fois que vous êtes allé.e à Centrale, quelle a été la durée du trajet depuis votre domicile ?*
Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

- Moins de 5 minutes
- 5 - 9 minutes
- 10 - 14 minutes
- 15 - 29 minutes
- 30 - 44 minutes
- 45 minutes - 1 heure
- Plus d'une heure

4. Comment et à quelle fréquence venez-vous à Centrale (hors pause de midi) ?*

En face de chaque possibilité, indiquez la fréquence d'utilisation du moyen de transport correspondant. **Si vous utilisez plusieurs modes de transport sur une même journée, comptez-la en multimodal.**

Exemple : Camille vient 4 jours par semaine en vélo, et le 5ème jour, en voiture puis en tram → Camille coche 4 jours de vélo et 1 jour multimodal.

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément

	Jamais	Moins d'une fois par semaine	Une à deux fois par semaine	Trois à quatre fois par semaine	Cinq fois par semaine
De manière multimodale	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
A pieds uniquement	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
En vélo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
En vélo à assistance électrique	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
En transports en commun (bus, tram)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
En voiture, seule (autosolisme)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
En covoiturage (conducteur-ice)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
En covoiturage (passager-e)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Autre engin électrique	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
En scooter ou moto thermique	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

5. Quels sont les moyens de transport que vous combinez en multimodal ?*
Répondre à cette question seulement si la réponse n'était pas 'Jamais' à la question 'Comment et à quelle fréquence venez-vous à Centrale ? [De manière multimodale]'

Veillez choisir toutes les réponses qui conviennent

- A pieds
- A vélo
- A vélo à assistance électrique
- En transports en commun urbains (bus, tram)
- En tram-train
- En train
- En voiture, seul.e
- En covoiturage, en tant que conducteur.trice
- En covoiturage, en tant que passager.e
- Autre engin électrique
- En scooter/moto thermique
- Autre :

6. Combien de fois par semaine rentrez-vous manger à votre domicile (hors week-end) ?*
Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes

- Jamais
- Moins d'une fois / semaine
- Une à deux fois / semaine
- Trois à quatre fois / semaine
- Cinq fois / semaine

7. Avec quel moyen de transport ?*
Répondre à cette question seulement si la réponse n'était pas 'Jamais' à la question 'Combien de fois par semaine rentrez-vous manger à votre domicile ?'

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes

- De manière multimodale
- A pieds uniquement
- A vélo
- A vélo à assistance électrique
- En transports en commun urbain (bus, tram, tram-train)
- En voiture, seul.e
- En covoiturage, en tant que conducteur.trice
- En covoiturage, en tant que passager.e
- Autre engin électrique
- A scooter / moto thermique

8. Que faudrait-il pour que vous preniez plus souvent le vélo pour votre trajet domicile-Centrale ?*
Répondre à cette question seulement si la réponse n'était pas 'Jamais' à la question 'Comment et à quelle fréquence venez-vous à Centrale (hors pause de midi) ? [De façon multimodale], [En voiture, seul.e], [en covoiturage, en tant que conducteur.trice], [en covoiturage, en tant que passager.e] ou [à scooter/moto thermique]' et si la réponse était 'Doctorant.e' ou 'Personnel' à la question 'A Centrale, à quelle catégorie d'usagers appartenez-vous ?'

Veillez sélectionner 3 réponses maximum

Veillez choisir toutes les réponses qui conviennent

- Un meilleur équipement contre les intempéries
- Un trajet plus court entre mon domicile et Centrale
- Un parcours à vélo plus sécurisé
- De meilleures infrastructures dédiées au vélo sur le campus (abri à vélo, douche, vestiaire...)
- Plus de place pour ranger mon vélo à mon domicile
- Un accès à l'Ecole par l'Erdre
- Des équipements collectifs d'entretien de vélo sur le campus (pompe, outils, distributeur de chambres à air...)
- La mise en place d'une indemnité kilométrique vélo (IKV)

- Une aide financière à l'achat d'un vélo proposée par l'Ecole (sur la base d'un montant équivalent à la moitié d'un abonnement annuel à la TAN)
- Une flotte de vélos appartenant à l'Ecole, disponibles à la location pour les étudiants et les personnels
- Autre :

9. Que faudrait-il pour que vous preniez plus souvent le vélo pour votre trajet domicile-Centrale ?* Répondre à cette question seulement si la réponse n'était pas 'Jamais' à la question 'Comment et à quelle fréquence venez-vous à Centrale (hors pause de midi) ? [De façon multimodale], [En voiture, seul.e], [En covoiturage, en tant que conducteur.trice], [En covoiturage, en tant que passager.e] ou [à scooter/moto thermique]' et si la réponse était 'Ei de spécialité' ou 'Ei généraliste' ou 'étudiant.e en master' à la question 'A Centrale, à quelle catégorie d'usagers appartenez-vous ?' Veuillez sélectionner 3 réponses maximum

Veuillez choisir toutes les réponses qui conviennent

- Un meilleur équipement contre les intempéries
- Un trajet plus court entre mon domicile et Centrale
- Un parcours à vélo plus sécurisé
- De meilleures infrastructures dédiées au vélo sur le campus (abri à vélo, douche, vestiaire...)
- Plus de place pour ranger mon vélo à mon domicile
- Un accès à l'Ecole par l'Erdre
- Des équipements collectifs d'entretien de vélo sur le campus (pompe, outils, distributeur de chambres à air...)
- Une flotte de vélos appartenant à l'Ecole, disponibles à la location pour les étudiants et les personnels
- Autre :

10. Que faudrait-il pour que vous utilisiez plus souvent les transports en commun pour votre trajet domicile-Centrale ?* Répondre à cette question seulement si la réponse n'était pas 'Jamais' à la question 'Comment et à quelle fréquence venez-vous à Centrale (hors pause de midi) ? [En voiture, seul.e], [en covoiturage, en tant que conducteur.trice], [en covoiturage, en tant que passager.e] ou [à scooter/moto thermique]' Veuillez sélectionner 3 réponses maximum

Veuillez choisir toutes les réponses qui conviennent

- Des abonnements de transport en commun plus abordables
- Des lignes de bus / tram plus directes entre mon domicile et Centrale
- Plus de bus / tram aux heures de pointe
- Un arrêt de bus / tram plus proche de mon domicile
- Une politique d'horaires différenciés pour éviter l'affluence dans les transports en commun (horaires d'entrée et sortie du travail / de cours décalés)
- Autre :

COVOITURAGE

Cet ensemble de questions a pour but d'évaluer la pertinence de développer des solutions de covoiturage quotidien.

11. Que faudrait-il pour que vous utilisiez plus souvent le covoiturage pour faire votre trajet domicile-Centrale ?* Répondre à cette question seulement si la réponse n'était pas 'Jamais' à la question 'Comment et à quelle fréquence venez-vous à Centrale (hors pause de midi) ? [En voiture, seul.e], [En covoiturage, en tant que conducteur.trice] ou [En covoiturage, en tant que passager.e]' Veuillez sélectionner 2 réponses maximum

Veuillez choisir toutes les réponses qui conviennent

- Que je trouve des covoitureur.se.s
- Qu'il y ait une incitation financière
- Je ne peux pas covoiturer à cause de contraintes extérieures (mes horaires, ma vie de famille, ...)
- Je ne souhaite pas covoiturer
- Autre :

12. Questions complémentaires sur le covoiturage :* Répondre à cette question seulement si la réponse n'était pas 'Jamais' à la question 'Comment et à quelle fréquence venez-vous à Centrale (hors pause de midi) ? [En voiture, seul.e], [En covoiturage, en tant que conducteur.trice] ou [En covoiturage, en tant que passager.e]' et si la réponse était 'Que je trouve des covoitureur.se.s' ou 'Qu'il y ait une incitation financière' à la question 'Que

faudrait-il pour que vous utilisiez plus souvent le covoiturage pour faire votre trajet domicile-Centrale ?
Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément

	Oui	Non
Venez-vous à heures fixes à Centrale ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Avez-vous la possibilité d'emmener des passager.ere.s	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Seriez-vous prêt.e à covoiturer avec des personnels de Centrale ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Seriez-vous prêt.e à covoiturer avec des étudiants de Centrale ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Seriez-vous prêt.e à covoiturer avec des personnes extérieures à Centrale ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

INSTALLATIONS DISPONIBLES SUR LE CAMPUS

Les installations du campus sont-elles adaptées aux besoins des usagers ?

13. Selon vous, sur le campus, les parkings pour voitures sont :*
Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément

	Je ne sais pas / Non concerné.e	Tout à fait d'accord	Plutôt d'accord	Plutôt pas d'accord	Pas du tout d'accord
Fonctionnels (bien entretenus, accessibles ...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
En nombre suffisant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bien positionnés	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

14. Selon vous, les douches sur le campus sont :*
Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément

	Je ne sais pas / Non concerné.e	Tout à fait d'accord	Plutôt d'accord	Plutôt pas d'accord	Pas du tout d'accord
Fonctionnelles (propres, chaudes, débit ...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
En nombre suffisant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bien positionnées	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

15. Selon vous, les stationnements vélos sont :*
Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément

	Je ne sais pas / Non concerné.e	Tout à fait d'accord	Plutôt d'accord	Plutôt pas d'accord	Pas du tout d'accord
Fonctionnels (éclairés, protégeant des intempéries ...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
En nombre suffisant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bien positionnés	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pratiques	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sûrs	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

16. Avez-vous des remarques ou suggestions à faire sur les installations du campus ?
Veuillez écrire votre réponse ici

DEPLACEMENTS PROFESSIONNELS EXCEPTIONNELS

Cette partie a pour but d'évaluer les habitudes de déplacement des personnels lorsqu'elles et ils sont amené.e.s à participer à des formations, des conférences ou des colloques en-dehors de Nantes, que ce soit en France ou à l'étranger

17. Vous êtes amené.e à réaliser de tels déplacements*
Répondre à cette question seulement si la réponse était 'Doctorant' ou 'Personnel' à la question 'A Centrale, à quelle catégorie d'usagers appartenez-vous ?'

Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes

- Oui
- Non

18. Pour vos déplacements professionnels, quels critères déterminent en priorité le choix du mode de transport ?*
Répondre à cette question seulement si la réponse était 'Doctorant' ou 'Personnel' à la question 'A Centrale, à quelle catégorie d'usagers appartenez-vous ?' et si la réponse était 'Oui' à la question 'Vous êtes amené.e à réaliser de tels déplacements' Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément

	Très important	Important	Peu important	Pas du tout important
Le prix	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Le temps de trajet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Le confort	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
L'empreinte carbone	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
La flexibilité horaire	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

19. Dans le cas où il existe une alternative à l'avion pour un déplacement professionnel, seriez-vous prêt.e à choisir cette alternative ?*

Répondre à cette question seulement si la réponse était 'Doctorant' ou 'Personnel' à la question 'A Centrale, à quelle catégorie d'usagers appartenez-vous ?' et si la réponse était 'Oui' à la question 'Vous êtes amené.e à réaliser de tels déplacements' Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes

- Oui
- Non
- Je le fais déjà

20. Combien de temps supplémentaire, "porte-à-porte", seriez-vous prêt.e à passer pour éviter de prendre l'avion ?* Répondre à cette question seulement si la réponse était 'Doctorant' ou 'Personnel' à la question 'A Centrale, à quelle catégorie d'usagers appartenez-vous ?' et si la réponse était 'Oui' à la question 'Vous êtes amené.e à réaliser de tels déplacements' et si la réponse était 'Oui' à la question 'Dans le cas où il existe une alternative à l'avion pour un déplacement professionnel, seriez-vous prêt.e à choisir cette alternative ?'

Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes

- Moins d'une heure
- Entre 1h et 2h
- Entre 2h et 3h
- Plus de 3h

21. Combien de temps supplémentaire, "porte-à-porte", êtes-vous prêt.e à passer pour éviter de prendre l'avion ?* Répondre à cette question seulement si la réponse était 'Doctorant' ou 'Personnel' à la question 'A Centrale, à quelle catégorie d'usagers appartenez-vous ?' et si la réponse était 'Oui' à la question 'Vous êtes amené.e à réaliser de tels déplacements' et si la réponse était 'Je le fais déjà' à la question 'Dans le cas où il existe une alternative à l'avion pour un déplacement professionnel, seriez-vous prêt.e à choisir cette alternative ?'

Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes

- Moins d'une heure
- Entre 1h et 2h
- Entre 2h et 3h
- Plus de 3h

22. Pour une réunion de quelques heure dans une autre ville, optez-vous pour la visioconférence au lieu d'un déplacement à la journée ?*

Répondre à cette question seulement si la réponse était 'Doctorant' ou 'Personnel' à la question 'A Centrale, à quelle catégorie d'usagers appartenez-vous ?' et si la réponse était 'Oui' à la question 'Vous êtes amené.e à réaliser de tels déplacements' Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes

- Toujours
- Souvent
- Parfois
- J'ai essayé une fois
- Jamais
- Non concerné.e

23. Pour quelle(s) raison(s) n'utilisez-vous pas la visioconférence plus souvent ?*

Répondre à cette question seulement si la réponse était 'Doctorant' ou 'Personnel' à la question 'A Centrale, à quelle catégorie d'usagers appartenez-vous ?' et si la réponse était 'Oui' à la question 'Vous êtes amené.e à réaliser de tels déplacements' et si la réponse était 'Parfois' ou 'J'ai essayé une fois' ou 'Jamais' à la question 'Pour une réunion de quelques heure dans une autre ville, optez-vous pour la visioconférence au lieu d'un déplacement à la journée ?'

Veuillez écrire votre réponse ici

24. Que pensez-vous de la compensation carbone ?*

Répondre à cette question seulement si la réponse était 'Doctorant' ou 'Personnel' à la question 'A Centrale, à quelle catégorie d'usagers appartenez-vous ?' et si la réponse était 'Oui' à la question 'Vous êtes amené.e à réaliser de tels déplacements' Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes

- Je la sollicite lors de certains déplacements
- Je voudrais y avoir recours mais je ne sais pas comment faire

- Je ne sais pas ce que c'est
- Je préfère réduire mes émissions par d'autres moyens
- Cela ne m'intéresse pas
- Autre :

MOBILITE A L'INTERNATIONAL

Cette partie a pour but d'estimer vos déplacements longue distance liés à votre mobilité à l'international

25. Êtes-vous étudiant international ?*
- Répondre à cette question seulement si la réponse était 'EI Généraliste' ou 'EI de spécialité' ou 'étudiant.e en master' à la question 'A Centrale, à quelle catégorie d'utilisateurs appartenez-vous ?'
- Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes
- Oui
 - Non

26. Combien de mobilités à l'international avez-vous effectuées dans le cadre de vos études à Centrale, y compris dans le cadre de vos activités associatives ?*
- Répondre à cette question seulement si la réponse était 'EI Généraliste' ou 'EI de spécialité' ou 'étudiant.e en master' à la question 'A Centrale, à quelle catégorie d'utilisateurs appartenez-vous ?' et si la réponse était 'Non' à la question 'Êtes-vous étudiant international ?'

Exemple : vous êtes parti.e en STING à l'étranger et vous avez également validé un double diplôme à l'étranger : vous renseignez donc le chiffre 2 (pour des raisons pratiques, ce questionnaire ne tiendra pas compte de plus de 4 mobilités à l'international)

Veillez écrire votre réponse ici

27. Dans quelle zone géographique avez-vous effectué votre premier séjour à l'international dans le cadre de vos études ?*
- Répondre à cette question seulement si la réponse était 'EI Généraliste' ou 'EI de spécialité' ou 'étudiant.e en master' à la question 'A Centrale, à quelle catégorie d'utilisateurs appartenez-vous ?' et si la réponse était 'Non' à la question 'Êtes-vous étudiant international ?' et si la réponse était supérieure ou égale à 1 à la question 'Combien de mobilités à l'international avez-vous effectuées dans le cadre de vos études à Centrale, y compris dans le cadre de vos activités associatives ?'
- Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes
- En Europe, dans un pays frontalier (Royaume-Uni inclus)
 - En Europe, dans un pays non frontalier
 - En Amérique du Nord
 - En Amérique du Sud
 - En Afrique
 - En Asie
 - En Océanie

28. Quels moyens de transport avez-vous utilisés pour partir à l'international lors de votre première mobilité ?*
- Répondre à cette question seulement si la réponse était 'EI Généraliste' ou 'EI de spécialité' ou 'étudiant.e en master' à la question 'A Centrale, à quelle catégorie d'utilisateurs appartenez-vous ?' et si la réponse était 'Non' à la question 'Êtes-vous étudiant international ?' et si la réponse était supérieure ou égale à 1 à la question 'Combien de mobilités à l'international avez-vous effectuées dans le cadre de vos études à Centrale, y compris dans le cadre de vos activités associatives ?'
- Veillez choisir toutes les réponses qui conviennent
- Avion
 - Voiture
 - Bateau
 - Train
 - Autocar
 - Autre :

29. Dans quelle zone géographique avez-vous effectué votre deuxième séjour à l'international dans le cadre de vos études ?*

Répondre à cette question seulement si la réponse était 'EI Généraliste' ou 'EI de spécialité' ou 'étudiant.e en master' à la question 'A Centrale, à quelle catégorie d'usagers appartenez-vous ?' et si la réponse était 'Non' à la question 'Êtes-vous étudiant international ?' et si la réponse était supérieure ou égale à 2 à la question 'Combien de mobilités à l'international avez-vous effectuées dans le cadre de vos études à Centrale, y compris dans le cadre de vos activités associatives ?' Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes

- En Europe, dans un pays frontalier (Royaume-Uni inclus)
- En Europe, dans un pays non frontalier
- En Amérique du Nord
- En Amérique du Sud
- En Afrique
- En Asie
- En Océanie

30. Quels moyens de transport avez-vous utilisés pour partir à l'international lors de votre deuxième mobilité ?*

Répondre à cette question seulement si la réponse était 'EI Généraliste' ou 'EI de spécialité' ou 'étudiant.e en master' à la question 'A Centrale, à quelle catégorie d'usagers appartenez-vous ?' et si la réponse était 'Non' à la question 'Êtes-vous étudiant international ?' et si la réponse était supérieure ou égale à 2 à la question 'Combien de mobilités à l'international avez-vous effectuées dans le cadre de vos études à Centrale, y compris dans le cadre de vos activités associatives ?' Veuillez choisir toutes les réponses qui conviennent

- Avion
- Voiture
- Bateau
- Train
- Autocar
- Autre :

31. Dans quelle zone géographique avez-vous effectué votre troisième séjour à l'international dans le cadre de vos études ?*

Répondre à cette question seulement si la réponse était 'EI Généraliste' ou 'EI de spécialité' ou 'étudiant.e en master' à la question 'A Centrale, à quelle catégorie d'usagers appartenez-vous ?' et si la réponse était 'Non' à la question 'Êtes-vous étudiant international ?' et si la réponse était supérieure ou égale à 3 à la question 'Combien de mobilités à l'international avez-vous effectuées dans le cadre de vos études à Centrale, y compris dans le cadre de vos activités associatives ?' Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes

- En Europe, dans un pays frontalier (Royaume-Uni inclus)
- En Europe, dans un pays non frontalier
- En Amérique du Nord
- En Amérique du Sud
- En Afrique
- En Asie
- En Océanie

32. Quels moyens de transport avez-vous utilisés pour partir à l'international lors de votre troisième mobilité ?*

Répondre à cette question seulement si la réponse était 'EI Généraliste' ou 'EI de spécialité' ou 'étudiant.e en master' à la question 'A Centrale, à quelle catégorie d'usagers appartenez-vous ?' et si la réponse était 'Non' à la question 'Êtes-vous étudiant international ?' et si la réponse était supérieure ou égale à 3 à la question 'Combien de mobilités à l'international avez-vous effectuées dans le cadre de vos études à Centrale, y compris dans le cadre de vos activités associatives ?' Veuillez choisir toutes les réponses qui conviennent

- Avion
- Voiture
- Bateau
- Train
- Autocar
- Autre :

33. Dans quelle zone géographique avez-vous effectué votre quatrième séjour à l'international dans le cadre de vos études ?*

Répondre à cette question seulement si la réponse était 'EI Généraliste' ou 'EI de spécialité' ou 'étudiant.e en master' à la question 'A Centrale, à quelle catégorie d'utilisateurs appartenez-vous ?' et si la réponse était 'Non' à la question 'Êtes-vous étudiant international ?' et si la réponse était supérieure ou égale à 4 à la question 'Combien de mobilités à l'international avez-vous effectuées dans le cadre de vos études à Centrale, y compris dans le cadre de vos activités associatives ?' Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes

- En Europe, dans un pays frontalier (Royaume-Uni inclus)
- En Europe, dans un pays non frontalier
- En Amérique du Nord
- En Amérique du Sud
- En Afrique
- En Asie
- En Océanie

34. Quels moyens de transport avez-vous utilisés pour partir à l'international lors de votre quatrième mobilité ?* Répondre à cette question seulement si la réponse était 'EI Généraliste' ou 'EI de spécialité' ou 'étudiant.e en master' à la question 'A Centrale, à quelle catégorie d'utilisateurs appartenez-vous ?' et si la réponse était 'Non' à la question 'Êtes-vous étudiant international ?' et si la réponse était supérieure ou égale à 4 à la question 'Combien de mobilités à l'international avez-vous effectuées dans le cadre de vos études à Centrale, y compris dans le cadre de vos activités associatives ?' Veuillez choisir toutes les réponses qui conviennent

- Avion
- Voiture
- Bateau
- Train
- Autocar
- Autre :

35. Quels moyens de transport avez-vous utilisé pour venir en France pour vos études ?* Répondre à cette question seulement si la réponse était 'EI Généraliste' ou 'EI de spécialité' ou 'étudiant.e en master' à la question 'A Centrale, à quelle catégorie d'utilisateurs appartenez-vous ?' et si la réponse était 'Oui' à la question 'Êtes-vous étudiant international ?'

Veuillez choisir toutes les réponses qui conviennent

- Avion
- Voiture
- Bateau
- Train
- Autocar
- Autre :

36. En plus de votre trajet vers la France, combien de mobilités à l'international avez-vous effectuées dans le cadre de vos études à Centrale ?*

Répondre à cette question seulement si la réponse était 'EI Généraliste' ou 'EI de spécialité' ou 'étudiant.e en master' à la question 'A Centrale, à quelle catégorie d'utilisateurs appartenez-vous ?' et si la réponse était 'Oui' à la question 'Êtes-vous étudiant international ?'

Exemple : en plus d'être venu.e en France étudier à Centrale, vous êtes parti.e en stage hors de France et vous avez également effectué un voyage à l'étranger avec une association de l'école : vous renseignez donc le chiffre 2. (pour des raisons pratiques, ce questionnaire ne tiendra pas compte de plus de 4 mobilités à l'international) Veuillez écrire votre réponse ici

37. Dans quelle zone géographique avez-vous effectué votre premier séjour à l'international (hors France) dans le cadre de vos études ?*

Répondre à cette question seulement si la réponse était 'EI Généraliste' ou 'EI de spécialité' ou 'étudiant.e en master' à la question

'A Centrale, à quelle catégorie d'utilisateurs appartenez-vous ?' et si la réponse était 'Oui' à la question 'Êtes-vous étudiant international ?' et si la réponse était supérieure ou égale à 1 à la question 'En plus de votre trajet vers la France, combien de mobilités à l'international avez-vous effectuées dans le cadre de vos études à Centrale ?' Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes

- En Europe, dans un pays frontalier (Royaume-Uni inclus)
- En Europe, dans un pays non frontalier
- En Amérique du Nord
- En Amérique du Sud
- En Afrique
- En Asie
- En Océanie

38. Quels moyens de transport avez-vous utilisés pour partir à l'international (hors France) lors de votre première mobilité ?*

Répondre à cette question seulement si la réponse était 'EI Généraliste' ou 'EI de spécialité' ou 'étudiant.e en master' à la question 'A Centrale, à quelle catégorie d'utilisateurs appartenez-vous ?' et si la réponse était 'Oui' à la question 'Êtes-vous étudiant international ?' et si la réponse était supérieure ou égale à 1 à la question 'En plus de votre trajet vers la France, combien de mobilités à l'international avez-vous effectuées dans le cadre de vos études à Centrale ?' Veuillez choisir toutes les réponses qui conviennent

- Avion
- Voiture
- Bateau
- Train
- Autocar
- Autre :

39. Dans quelle zone géographique avez-vous effectué votre deuxième séjour à l'international (hors France) dans le cadre de vos études ?*

Répondre à cette question seulement si la réponse était 'EI Généraliste' ou 'EI de spécialité' ou 'étudiant.e en master' à la question 'A Centrale, à quelle catégorie d'utilisateurs appartenez-vous ?' et si la réponse était 'Oui' à la question 'Êtes-vous étudiant international ?' et si la réponse était supérieure ou égale à 2 à la question 'En plus de votre trajet vers la France, combien de mobilités à l'international avez-vous effectuées dans le cadre de vos études à Centrale ?' Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes

- En Europe, dans un pays frontalier (Royaume-Uni inclus)
- En Europe, dans un pays non frontalier
- En Amérique du Nord
- En Amérique du Sud
- En Afrique
- En Asie
- En Océanie

40. Quels moyens de transport avez-vous utilisés pour partir à l'international (hors France) lors de votre deuxième mobilité ?*

Répondre à cette question seulement si la réponse était 'EI Généraliste' ou 'EI de spécialité' ou 'étudiant.e en master' à la question 'A Centrale, à quelle catégorie d'utilisateurs appartenez-vous ?' et si la réponse était 'Oui' à la question 'Êtes-vous étudiant international ?' et si la réponse était supérieure ou égale à 2 à la question 'En plus de votre trajet vers la France, combien de mobilités à l'international avez-vous effectuées dans le cadre de vos études à Centrale ?' Veuillez choisir toutes les réponses qui conviennent

- Avion
- Voiture
- Bateau
- Train
- Autocar
- Autre :

41. Dans quelle zone géographique avez-vous effectué votre troisième séjour à l'international (hors France) dans le cadre de vos études ?*

Répondre à cette question seulement si la réponse était 'EI Généraliste' ou 'EI de spécialité' ou 'étudiant.e en master' à la question 'A Centrale, à quelle catégorie d'usagers appartenez-vous ?' et si la réponse était 'Oui' à la question 'Êtes-vous étudiant international ?' et si la réponse était supérieure ou égale à 3 à la question 'En plus de votre trajet vers la France, combien de mobilités à l'international avez-vous effectuées dans le cadre de vos études à Centrale ?' Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes

- En Europe, dans un pays frontalier (Royaume-Uni inclus)
- En Europe, dans un pays non frontalier
- En Amérique du Nord
- En Amérique du Sud
- En Afrique
- En Asie
- En Océanie

42. Quels moyens de transport avez-vous utilisés pour partir à l'international (hors France) lors de votre troisième mobilité ?*

Répondre à cette question seulement si la réponse était 'EI Généraliste' ou 'EI de spécialité' ou 'étudiant.e en master' à la question 'A Centrale, à quelle catégorie d'usagers appartenez-vous ?' et si la réponse était 'Oui' à la question 'Êtes-vous étudiant international ?' et si la réponse était supérieure ou égale à 3 à la question 'En plus de votre trajet vers la France, combien de mobilités à l'international avez-vous effectuées dans le cadre de vos études à Centrale ?' Veuillez choisir toutes les réponses qui conviennent

- Avion
- Voiture
- Bateau
- Train
- Autocar
- Autre :

43. Dans quelle zone géographique avez-vous effectué votre quatrième séjour à l'international (hors France) dans le cadre de vos études ?*

Répondre à cette question seulement si la réponse était 'EI Généraliste' ou 'EI de spécialité' ou 'étudiant.e en master' à la question 'A Centrale, à quelle catégorie d'usagers appartenez-vous ?' et si la réponse était 'Oui' à la question 'Êtes-vous étudiant international ?' et si la réponse était supérieure ou égale à 4 à la question 'En plus de votre trajet vers la France, combien de mobilités à l'international avez-vous effectuées dans le cadre de vos études à Centrale ?' Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes

- En Europe, dans un pays frontalier (Royaume-Uni inclus)
- En Europe, dans un pays non frontalier
- En Amérique du Nord
- En Amérique du Sud
- En Afrique
- En Asie
- En Océanie

44. Quels moyens de transport avez-vous utilisés pour partir à l'international (hors France) lors de votre quatrième mobilité ?*

Répondre à cette question seulement si la réponse était 'EI Généraliste' ou 'EI de spécialité' ou 'étudiant.e en master' à la question 'A Centrale, à quelle catégorie d'usagers appartenez-vous ?' et si la réponse était 'Oui' à la question 'Êtes-vous étudiant international ?' et si la réponse était supérieure ou égale à 4 à la question 'En plus de votre trajet vers la France, combien de mobilités à l'international avez-vous effectuées dans le cadre de vos études à Centrale ?' Veuillez choisir toutes les réponses qui conviennent

- Avion
- Voiture
- Bateau
- Train
- Autocar
- Autre :

INFORMATIONS PERSONNELLES

Pour finir, nous aimerions en savoir (un peu) plus sur vous

45. Quel âge avez-vous ?*

Veillez sélectionner une des propositions suivantes

- 19 ans et moins
- 20 - 24 ans
- 25 -29 ans
- 30 - 34 ans
- 35 - 39 ans
- 40 - 44 ans
- 45 - 49 ans
- 50 - 54 ans
- 55 - 59 ans
- 60 ans et plus
- Ne souhaite pas répondre

46. Quelle est votre commune de résidence ?*

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes

- Nantes
- Basse-Goulaine
- Bouaye
- Bougenais
- Brains
- Carquefou
- Couëron
- Indre
- La Chapelle-sur-Erdre
- La Montagne
- Le Pellerin
- Les Sorinières
- Mauves-sur-Loire
- Orvault
- Rezé
- Saint-Aignan de Grand Lieu
- Saint-Herblain
- Saint-Jean-de-Boiseau
- Saint-Léger-les Vignes
- Sainte-Luce-sur-Loire
- Sautron
- Thouaré-sur-Loire
- Vertou
- Ne souhaite pas répondre
- Autre :

47. Quel est le quartier de Nantes dans lequel vous résidez ?*

Répondre à cette question seulement si la réponse était 'Nantes' à la question 'Quelle est votre commune de résidence ?'

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes

- J'habite à la résidence de l'Ecole
- Centre-ville
- Bellevue/Chantenay/Sainte-Anne
- Dervillières/Zola
- Hauts-Pavés/Saint-Félix
- Malakoff/Saint-Donatien
- Île de Nantes
- Breil/Barberie
- Nantes Nord
- Nantes Erdre

- Doulon/Bottière
- Nantes-Sud
- Autre :

EXPRESSION LIBRE

Si vous avez d'éventuelles remarques à transmettre, vous pouvez le faire ici

48. Des remarques ? des suggestions ? Vous pouvez nous en faire part ici.
Veuillez écrire votre réponse ici

Questionnaire complet en anglais

NB: A "Previous" button at the bottom of the page allows you to go back in the questionnaire if you wish to modify your answers. Please use this option rather than your browser's icon, which could cause a bug. If you have used the browser arrow however, your answers should still be accessible by reloading the page.

The purpose of this survey is to give a clear picture of the habits related to **business travel** at Centrale Nantes, both on a daily basis and during more exceptional trips. It follows on from two previous surveys conducted in 2008 and 2014 by the Sustainable Development Commission. The answers you will provide will enable us to follow the evolution of **mobility practices** at Centrale Nantes, to identify your **expectations** in this area, and to anticipate **future challenges** (changes in the built environment, increase in the number of users following the arrival on campus of the Ecole Nationale Supérieure de la Marine Marchande), but also to complete the school's **carbon footprint** and to think about the promotion of more sustainable modes of transport.

The questionnaire is divided into 3 parts:

- your **daily travels** habits,
- the evaluation of the **infrastructures** existing on campus,
- your **occasional travels** habits: conferences and training for the staff, mobility abroad for the students.

The estimated time needed to complete this survey is seven minutes. In order to ensure a good representativeness of the results, we hNB: A "Back" button at the bottom of the page allows you to go back in the questionnaire if you wish to modify your answers. Please use this option rather than your browser's icon, which could cause a bug. However, if you have used the browser arrow, your answers are normally accessible by reloading the page.ope that many of you will answer it. A space for free expression is provided at the end of the survey to let us know any comments you may have.

Thank you in advance for your participation,
The Mobility Working Group.

There are 48 questions in this survey

*Required Question

DAILY COMMUTE

The purpose of this section is to assess the modes of transport used in everyday life for commuting to and from Ecole Centrale de Nantes.

1. At Centrale, to which category of users do you belong?*

Please choose **only one** of the following:

- Employees
- Engineering student (general course)
- Engineering student, specialized course (e.g. ITII)
- Master student
- PhD student

2. Your personally own:*

Please choose **all** that apply:

- A combustion-powered car
- A hybrid car
- An electric car
- A motorcycle
- An electric bicycle
- A bicycle
- A personal electric mobility device (scooter, skateboard, mono-wheel ...)
- A month/season public transport pass
- Other :

3. The last time you went to Centrale, how long was the trip from your home? *

Please choose only one of the following:

- Less than 5 minutes
- 5 - 9 minutes
- 10 - 14 minutes
- 15 - 29 minutes
- 30 - 44 minutes
- 45 minutes - 1 hour
- More than 1 hour

4. How and how often do you come to Ecole Centrale (lunch break excluded)?*

In front of each possibility, indicate the frequency of use of the corresponding means of transport. **If you use more than one mode of transport on the same day, count it as multimodal.**

Example: John comes 4 days a week by bike, and on the 5th day, he takes the car and then the tramway: John ticks "By bike : 4 days / week" and "Multimodal: 1 day/week". Please choose the appropriate response for each item:

	Never	Less than once a week	1-2 times per week	3-4 times per week	5 times per week
You combine several modes of transport	<input type="radio"/>				
You walk (you go there only by foot)	<input type="radio"/>				
You go by bike	<input type="radio"/>				
You use an electrically assisted bicycle	<input type="radio"/>				
You use urban public transportation (bus, tramway, ...)	<input type="radio"/>				
You take the car, alone	<input type="radio"/>				

You carpool, as a driver	<input type="radio"/>				
You carpool, as a passenger	<input type="radio"/>				
You use an electric personal transport equipment (other than bike, e.g. scooter, skateboard)	<input type="radio"/>				
You drive a combustion-powered scooter/motorbike	<input type="radio"/>				

5. What means of transport do you combine?*

Only answer this question if the following conditions are met:

Answer was NOT 'Never' at question 'How and how often do you come to Ecole Centrale (lunch break excluded)? [You combine several modes of transport]'

Please choose **all** that apply:

- Walking
- Bike
- Power-assisted bike
- Urban public transport (bus, tram)
- Tram-train
- Train
- Car as a driver, only one passenger
- Car as a driver, several passengers
- Car as a passenger (several passengers)
- Electric, personal transport equipment (other than bike, e.g. scooter, skateboard)
- Combustion-powered scooter/motorbike
- Other:

6. How many times a week do you go home to have lunch (weekends excluded)?*

Please choose only one of the following:

- Never
- Less than once a week
- Between once and twice a week
- Between three and four times a week
- Five times a week

7. By what means of transport?*

Only answer this question if the following conditions are met:

Answer was NOT 'Never' at question 'How many times a week do you go home to have lunch (weekends excluded)?'

Please choose **only one** of the following:

- You combine several modes of transport
- You walk (you go there only by foot)
- You go to bike
- You use an electrically assisted bicycle
- You use urban public transportation (bus, tramway, ...)
- You take the car, alone
- You carpool, as a driver
- You carpool, as a passenger
- You use an electric personal transport equipment (e.g. scooter, skateboard)
- You drive a thermic scooter / motorbike

8. What would it take for you to ride your bike more often for your home-to-ECN commute?*

Only answer this question if the following conditions are met:

Answer was NOT 'Never' at question 'How and how often do you come to Ecole Centrale (lunch break excluded)? [You combine several modes of transport], [You take the car, alone], [You carpool, as a driver], [You carpool, as a passenger] or [You drive a combustion-powered scooter/motorbike]'

Answer was 'PhD student' or 'Employees' at question 'At Centrale, to which category of users do you belong?'

Please select at most 3 answers.

Please choose **all** that apply:

- Better equipment against bad weather
- A shorter cycling route between my home and ECN
- A safer cycling route
- Better bike facilities on campus (bike shed, shower, locker ...)
- More room to store my bike at home
- Access to ECN from the banks of River Erdre
- Collective bicycle maintenance equipment on the campus (pump, tools, tube dispenser, ...)
- The introduction of a bicycle mileage allowance
- Financial assistance for the purchase of a bicycle proposed by the School (equivalent to half an annual subscription to the public transportation system)
- A fleet of bicycles belonging to ECN, which could be rented to students and staff
- Other:

9. What would it take for you to ride your bike more often for your home-to-ECN commute?*

Only answer this question if the following conditions are met:

Answer was NOT 'Never' at question 'How and how often do you come to Ecole Centrale (lunch break excluded)? [You combine several modes of transport], [You take the car, alone], [You carpool, as a driver], [You carpool, as a passenger] or [You drive a combustion-powered scooter/motorbike]'

Answer was 'Engineering student, specialized course (e.g. ITII)' or 'Engineering student (general course) or 'Master student' at question 'At Centrale, to which category of users do you belong?'

Please select at most 3 answers.

Please choose **all** that apply:

- Better equipment against bad weather
- A shorter cycling route between my home and ECN
- A safer cycling route
- Better bike facilities on campus (bike shed, shower, locker ...)
- More room to store my bike at home
- Access to ECN from the banks of River Erdre
- Collective bicycle maintenance equipment on the campus (pump, tools, tube dispenser, ...)
- The introduction of a bicycle mileage allowance
- Financial assistance for the purchase of a bicycle proposed by the School (equivalent to half an annual subscription to the public transportation system)
- A fleet of bicycles belonging to ECN, which could be rented to students and staff
- Other:

10. What would it take for you to use public transport more often for your home-to-ECN journey?*

Only answer this question if the following conditions are met:

Answer was NOT 'Never' at question 'How and how often do you come to Ecole Centrale (lunch break excluded)? [You combine several modes of transport], [You take the car, alone], [You carpool, as a driver], [You carpool, as a passenger] or [You drive a combustion-powered scooter/motorbike]'

Please select at most 3 answers.

Please choose **all** that apply:

- More affordable transit passes
- More direct bus / tram lines between my home and ECN
- More buses / trams during peak hours

- A bus / tram stop closer to my home
- A policy of differentiated working hours to avoid congestion on public transport (staggered work /school entry & exit times).
- Other:

CARPOOL

The purpose of these questions is to assess the relevance of implementing daily carpooling solutions.

11. What would it take for you to use carpooling more often for your home-to-ECN commute?*
- Only answer this question if the following conditions are met:**

Answer was NOT 'Never' at question 'How and how often do you come to Ecole Centrale (lunch break excluded)? [You combine several modes of transport], [You take the car, alone], [You carpool, as a driver] or [You carpool, as a passenger]'

Please select at most 2 answers.

Please choose **all** that apply:

- To find carpoolers
- A financial incentive
- I cannot carpool because of external constraints (my schedule, my family life ...)
- I don't want to carpool
- Other:

12. Additional questions:*

Only answer this question if the following conditions are met:

Answer was NOT 'Never' at question 'How and how often do you come to Ecole Centrale (lunch break excluded)? [You combine several modes of transport], [You take the car, alone], [You carpool, as a driver] or [You carpool, as a passenger]'

Answer was 'To find carpoolers' or 'A financial incentive' at question 'What would it take for you to use carpooling more often for your home-to-ECN commute?'

Please choose the appropriate response for each item:

	Yes	No
Do you come to Central at fixed hours?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Are you able to take passengers ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Would you be willing to carpool with employees from Centrale?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Would you be willing to carpool with students from Centrale?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Would you be willing to carpool with people from outside Centrale?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

FACILITIES AVAILABLE ON CAMPUS

In order to assess the adequacy of campus facilities to meet the needs of users, note your level of agreement with the proposals below.

13. According to you, on campus, car parks are:*
- Please choose the appropriate response for each item:

	I don't know / Not applicable	Strongly agree	Agree	Disagree	Strongly disagree
Functional (well maintained, accessible, ...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
In sufficient number	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Well-placed	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

14. According to you, the showers on campus are :*

Please choose the appropriate response for each item:

	I don't know / Not applicable	Strongly agree	Agree	Disagree	Strongly disagree
Functional (clean, warm, ...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
In sufficient number	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Well-placed	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

15. According to you, bike sheds are:*

Please choose the appropriate response for each item:

	I don't know / Not applicable	Strongly agree	Agree	Disagree	Strongly disagree
Functional (well-lit, weatherproof, ...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
In sufficient number	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Well-placed	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Convenient	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Safe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

16. Do you have any comments or suggestions about the campus facilities?

Please write your answer here:

OCCASIONAL BUSINESS TRIPS

The aim of this section is to assess the travel habits of personnel when they participate in training courses, conferences or symposiums outside Nantes, whether in France or abroad.

17. You occasionally carry out such trips:*

Only answer this question if the following conditions are met:

Answer was 'PhD student' or 'Employees' at question 'At Centrale, to which category of users do you belong?'

Please choose **only one** of the following:

- Oui
- Non

18. For your business trips, which criterion(s) determine(s) in priority the choice of the mode of transport?*

Only answer this question if the following conditions are met:

Answer was 'PhD student' or 'Employees' at question 'At Centrale, to which category of users do you belong?'

Answer was 'Yes' at question 'You occasionally carry out such trips:'

Please choose the appropriate response for each item:

	Very important	Important	Slightly important	Not important
Price	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Travel time	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Comfort	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Carbon footprint	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Time flexibility	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

19. If there is an alternative to flying for a business trip, would you be willing to choose this alternative?*

Only answer this question if the following conditions are met:

Answer was 'PhD student' or 'Employees' at question 'At Centrale, to which category of users do you belong?'

Answer was 'Yes' at question 'You occasionally carry out such trips:'

Please choose **only one** of the following:

- Yes
- N
- I already avoid flying

20. How much extra time door to door would you be willing to spend on transportation to avoid flying?*

Only answer this question if the following conditions are met:

Answer was 'PhD student' or 'Employees' at question 'At Centrale, to which category of users do you belong?'

Answer was 'Yes' at question 'You occasionally carry out such trips:'

Answer was 'Yes' at question 'If there is an alternative to flying for a business trip, would you be willing to choose this alternative?'

Please choose **only one** of the following:

- Less than 1 hour
- Between 1 and 2 hours
- Between 2 and 3 hours
- More than 3 hours

21. How much extra time door to door would you be willing to spend on transportation to avoid flying?*

Only answer this question if the following conditions are met:

Answer was 'PhD student' or 'Employees' at question 'At Centrale, to which category of users do you belong?'

Answer was 'Yes' at question 'You occasionally carry out such trips:'

Answer was 'Yes' at question 'If there is an alternative to flying for a business trip, would you be willing to choose this alternative?'

Please choose **only one** of the following:

- Less than 1 hour
- Between 1 and 2 hours
- Between 2 and 3 hours
- More than 3 hours

22. For a meeting lasting a few hours in another city, do you opt for videoconferencing instead of a day trip?*

Only answer this question if the following conditions are met:

Answer was 'PhD student' or 'Employees' at question 'At Centrale, to which category of users do you belong?'

Answer was 'Yes' at question 'You occasionally carry out such trips:'

Please choose **only one** of the following:

- Always
- Often
- Sometimes
- I already tried once
- Never
- Not concerned

23. Why don't you use videoconferencing more often?*

Only answer this question if the following conditions are met:

Answer was 'PhD student' or 'Employees' at question 'At Centrale, to which category of users do you belong?'

Answer was 'Yes' at question 'You occasionally carry out such trips:'

Answer was 'Sometimes', 'I already tried once' or 'Never' at question 'For a meeting lasting a few hours in another city, do you opt for videoconferencing instead of a day trip?'

Please write your answer here:

24. What is your opinion about carbon offsetting?*

Only answer this question if the following conditions are met:

Answer was 'PhD student' or 'Employees' at question 'At Centrale, to which category of users do you belong?'

Answer was 'Yes' at question 'You occasionally carry out such trips:'

Please choose **only one** of the following:

- I already compensate my trips
- I'd like to use it, but I don't know how to do it...
- I don't know what carbon offsetting is
- I prefer to reduce my emissions by other means
- It doesn't interest me
- Other :

INTERNATIONAL MOBILITY

The purpose of this section is to estimate your longdistance travel related to your international mobility.

25. Are you an international student?*

Only answer this question if the following conditions are met:

Answer was 'Engineering student, specialized course (e.g. ITII)' or 'Engineering student (general course) or 'Master student' at question 'At Centrale, to which category of users do you belong?'
Please choose only one of the following:

- Yes
- No

26. How many international mobilities have you carried out as part of your studies at Centrale, including for your associative activities?*

Only answer this question if the following conditions are met:

Answer was 'Engineering student, specialized course (e.g. ITII)' or 'Engineering student (general course) or 'Master student' at question 'At Centrale, to which category of users do you belong?'

Answer was 'No' at question 'Are you an international student?'

Example: you went abroad for your STING and you validated a Double Diploma abroad: so you fill in the number 2.

(For practical reasons, 4 trips maximum will be taken into account in this questionnaire.)

Only numbers may be entered in this field.

Please write your answer here:

27. In which geographical area did you spend time abroad in your first trip, as part of your studies?*

Only answer this question if the following conditions are met:

Answer was 'Engineering student, specialized course (e.g. ITII)' or 'Engineering student (general course) or 'Master student' at question 'At Centrale, to which category of users do you belong?'

Answer was 'No' at question 'Are you an international student?'

Answer was no lower 1 at question 'How many international mobilities have you carried out as part of your studies at Centrale, including for your associative activities?'

Please choose **only one** of the following:

- In Europe, in a border country (including the United Kingdom)
- In Europe, in a non-border country
- In North America
- In South America
- In Africa
- In Asia
- In Oceania

28. What means of transport did you use to travel for your first trip?*

Only answer this question if the following conditions are met:

Answer was 'Engineering student, specialized course (e.g. ITII)' or 'Engineering student (general course) or 'Master student' at question 'At Centrale, to which category of users do you belong?'

Answer was 'No' at question 'Are you an international student?'

Answer was no lower 1 at question 'How many international mobilities have you carried out as part of your studies at Centrale, including for your associative activities?'

Please choose **all** that apply:

- Plane
- Car
- Ship
- Train
- Coach
- Other:

29. In which geographical area did you spend time abroad in your second trip, as part of your studies?*

Only answer this question if the following conditions are met:

Answer was 'Engineering student, specialized course (e.g. ITII)' or 'Engineering student (general course) or 'Master student' at question 'At Centrale, to which category of users do you belong?'

Answer was 'No' at question 'Are you an international student?'

Answer was no lower 2 at question 'How many international mobilities have you carried out as part of your studies at Centrale, including for your associative activities?'

Please choose **only one** of the following:

- In Europe, in a border country (including the United Kingdom)
- In Europe, in a non-border country
- In North America
- In South America
- In Africa
- In Asia
- In Oceania

30. What means of transport did you use to travel for your second trip?*

Only answer this question if the following conditions are met:

Answer was 'Engineering student, specialized course (e.g. ITII)' or 'Engineering student (general course) or 'Master student' at question 'At Centrale, to which category of users do you belong?'

Answer was 'No' at question 'Are you an international student?'

Answer was no lower 2 at question 'How many international mobilities have you carried out as part of your studies at Centrale, including for your associative activities?'

Please choose **all** that apply:

- Plane
- Car
- Ship
- Train
- Coach
- Other:

31. In which geographical area did you spend time abroad in your third trip, as part of your studies?*

Only answer this question if the following conditions are met:

Answer was 'Engineering student, specialized course (e.g. ITII)' or 'Engineering student (general course) or 'Master student' at question 'At Centrale, to which category of users do you belong?'

Answer was 'No' at question 'Are you an international student?'

Answer was no lower 3 at question 'How many international mobilities have you carried out as part of your studies at Centrale, including for your associative activities?'

Please choose **only one** of the following:

- In Europe, in a border country (including the United Kingdom)
- In Europe, in a non-border country
- In North America
- In South America
- In Africa
- In Asia
- In Oceania

32. What mean(s) of transport did you use to travel for your third trip?*

Only answer this question if the following conditions are met:

Answer was 'Engineering student, specialized course (e.g. ITII)' or 'Engineering student (general course) or 'Master student' at question 'At Centrale, to which category of users do you belong?'

Answer was 'No' at question 'Are you an international student?'
 Answer was no lower 3 at question 'How many international mobilities have you carried out as part of your studies at Centrale, including for your associative activities?'

Please choose **all** that apply:

- Plane
- Car
- Ship
- Train
- Coach
- Other:

33. In which geographical area did you spend time abroad in your fourth trip, as part of your studies?*

Only answer this question if the following conditions are met:

Answer was 'Engineering student, specialized course (e.g. ITII)' or 'Engineering student (general course) or 'Master student' at question 'At Centrale, to which category of users do you belong?'

Answer was 'No' at question 'Are you an international student?'
 Answer was no lower 4 at question 'How many international mobilities have you carried out as part of your studies at Centrale, including for your associative activities?'

Please choose **only one** of the following:

- In Europe, in a border country (including the United Kingdom)
- In Europe, in a non-border country
- In North America
- In South America
- In Africa
- In Asia
- In Oceania

34. What means of transport did you use to travel for your fourth trip?*

What mean(s) of transport did you use to travel for your third trip?*

Only answer this question if the following conditions are met:

Answer was 'Engineering student, specialized course (e.g. ITII)' or 'Engineering student (general course) or 'Master student' at question 'At Centrale, to which category of users do you belong?'

Answer was 'No' at question 'Are you an international student?'
 Answer was no lower 3 at question 'How many international mobilities have you carried out as part of your studies at Centrale, including for your associative activities?'

Please choose **all** that apply:

- Plane
- Car
- Ship
- Train
- Coach
- Other:

35. What means of transport did you use to travel to France as part of your studies?*

Only answer this question if the following conditions are met:

Answer was 'Engineering student, specialized course (e.g. ITII)' or 'Engineering student (general course) or 'Master student' at question 'At Centrale, to which category of users do you belong?'

Answer was 'Yes' at question 'Are you an international student?'

Please choose **all** that apply:

- Plane
- Car
- Ship
- Train

- Coach
- Other:

36. In addition to your trip to France to study at Ecole Centrale: how many international mobilities have you carried out as part of your studies? This includes trips made within the framework of the school's associative life.*

Only answer this question if the following conditions are met:

Answer was 'Engineering student, specialized course (e.g. ITII)' or 'Engineering student (general course) or 'Master student' at question 'At Centrale, to which category of users do you belong?'

Answer was 'Yes' at question 'Are you an international student?'

Example: you completed an internship outside of France and you also went abroad with a school's association: you fill in the number 2.

(For practical reasons, 4 trips maximum will be taken into account in this questionnaire.)

Only numbers may be entered in this field.

Please write your answer here:

37. In which geographical area did you spend time abroad in this first trip (France excluded), as part of your studies?*

Only answer this question if the following conditions are met:

Answer was 'Engineering student, specialized course (e.g. ITII)' or 'Engineering student (general course) or 'Master student' at question 'At Centrale, to which category of users do you belong?'

Answer was 'Yes' at question 'Are you an international student?'

Answer was no lower 1 at question 'In addition to your trip to France to study at Ecole Centrale: how many international mobilities have you carried out as part of your studies? This includes trips made within the framework of the school's associative life.'

Please choose **only one** of the following:

- In Europe, in a border country (including the United Kingdom)
- In Europe, in a non-border country
- In North America
- In South America
- In Africa
- In Asia
- In Oceania

38. What means of transport did you use to travel for your first trip?*

Only answer this question if the following conditions are met:

Answer was 'Engineering student, specialized course (e.g. ITII)' or 'Engineering student (general course) or 'Master student' at question 'At Centrale, to which category of users do you belong?'

Answer was 'Yes' at question 'Are you an international student?'

Answer was no lower 1 at question 'In addition to your trip to France to study at Ecole Centrale: how many international mobilities have you carried out as part of your studies? This includes trips made within the framework of the school's associative life.'

Please choose **all** that apply:

- Plane
- Car
- Ship
- Train
- Coach
- Other:

39. In which geographical area did you spend time abroad in this second trip (France excluded), as part of your studies?*

Only answer this question if the following conditions are met:

Answer was 'Engineering student, specialized course (e.g. ITII)' or 'Engineering student (general course) or 'Master student' at question 'At Centrale, to which category of users do you belong?'

Answer was 'Yes' at question 'Are you an international student?'
 Answer was no lower 2 at question 'In addition to your trip to France to study at Ecole Centrale: how many international mobilities have you carried out as part of your studies? This includes trips made within the framework of the school's associative life.'

Please choose **only one** of the following:

- In Europe, in a border country (including the United Kingdom)
- In Europe, in a non-border country
- In North America
- In South America
- In Africa
- In Asia
- In Oceania

40. What means of transport did you use to travel for your second trip?*

Only answer this question if the following conditions are met:

Answer was 'Engineering student, specialized course (e.g. ITII)' or 'Engineering student (general course) or 'Master student' at question 'At Centrale, to which category of users do you belong?'

Answer was 'Yes' at question 'Are you an international student?'
 Answer was no lower 2 at question 'In addition to your trip to France to study at Ecole Centrale: how many international mobilities have you carried out as part of your studies? This includes trips made within the framework of the school's associative life.'

Please choose **all** that apply:

- Plane
- Car
- Ship
- Train
- Coach
- Other:

41. In which geographical area did you spend time abroad in this third trip (France excluded), as part of your studies?*

Only answer this question if the following conditions are met:

Answer was 'Engineering student, specialized course (e.g. ITII)' or 'Engineering student (general course) or 'Master student' at question 'At Centrale, to which category of users do you belong?'

Answer was 'Yes' at question 'Are you an international student?'
 Answer was no lower 3 at question 'In addition to your trip to France to study at Ecole Centrale: how many international mobilities have you carried out as part of your studies? This includes trips made within the framework of the school's associative life.'

Please choose **only one** of the following:

- In Europe, in a border country (including the United Kingdom)
- In Europe, in a non-border country
- In North America
- In South America
- In Africa
- In Asia
- In Oceania

42. What means of transport did you use to travel for your third trip?*

Only answer this question if the following conditions are met:

Answer was 'Engineering student, specialized course (e.g. ITII)' or 'Engineering student (general course) or 'Master student' at question 'At Centrale, to which category of users do you belong?'

Answer was 'Yes' at question 'Are you an international student?'
 Answer was no lower 3 at question 'In addition to your trip to France to study at Ecole Centrale: how many international mobilities have you carried out as part of your studies? This includes trips made within the framework of the school's associative life.'

Please choose **all** that apply:

- Plane
- Car
- Ship
- Train
- Coach
- Other:

43. In which geographical area did you spend time abroad in this fourth trip (France excluded), as part of your studies?*

Only answer this question if the following conditions are met:

Answer was 'Engineering student, specialized course (e.g. ITII)' or 'Engineering student (general course) or 'Master student' at question 'At Centrale, to which category of users do you belong?'

Answer was 'Yes' at question 'Are you an international student?'
 Answer was no lower 4 at question 'In addition to your trip to France to study at Ecole Centrale: how many international mobilities have you carried out as part of your studies? This includes trips made within the framework of the school's associative life.'

Please choose **only one** of the following:

- In Europe, in a border country (including the United Kingdom)
- In Europe, in a non-border country
- In North America
- In South America
- In Africa
- In Asia
- In Oceania

44. What means of transport did you use to travel for your fourth trip?*

Only answer this question if the following conditions are met:

Answer was 'Engineering student, specialized course (e.g. ITII)' or 'Engineering student (general course) or 'Master student' at question 'At Centrale, to which category of users do you belong?'

Answer was 'Yes' at question 'Are you an international student?'
 Answer was no lower 4 at question 'In addition to your trip to France to study at Ecole Centrale: how many international mobilities have you carried out as part of your studies? This includes trips made within the framework of the school's associative life.'

Please choose **all** that apply:

- Plane
- Car
- Ship
- Train
- Coach
- Other:

PERSONAL INFORMATION

Finally, we would like to know (a little) more about you.

45. How old are you?*

Please choose **only one** of the following:

- 18 - 25 years old
- 25 - 30 years old
- 30 - 40 years old
- More than 40 years old

46. What is your commune of residence?*

Please choose **only one** of the following:

- Nantes
- Basse-Goulaine
- Bouaye
- Bougenais

- Brains
- Carquefou
- Couëron
- Indre
- La Chapelle-sur-Erdre
- La Montagne
- Le Pellerin
- Les Sorinières
- Mauves-sur-Loire
- Orvault
- Rezé
- Saint-Aignan de Grand Lieu
- Saint-Herblain
- Saint-Jean-de-Boiseau
- Saint-Léger-les Vignes
- Sainte-Luce-sur-Loire
- Sautron
- Thouaré-sur-Loire
- Vertou
- Don't wish to respond
- Other:

47. Which district of Nantes do you live in?*

Only answer this question if the following conditions are met:

Answer was 'Nantes' at question 'What is your commune of residence?'
Please choose **only one** of the following:

- I live in the residence of École Centrale de Nantes
- Centre-ville
- Bellevue/Chantenay/Sainte-Anne
- Dervallières/Zola
- Hauts-Pavés/Saint-Félix
- Malakoff/Saint-Donatien
- Île de Nantes
- Breil/Barberie
- Nantes Nord
- Nantes Erdre
- Doulon/Bottière
- Nantes-Sud
- Other :

OPEN EXPRESSION

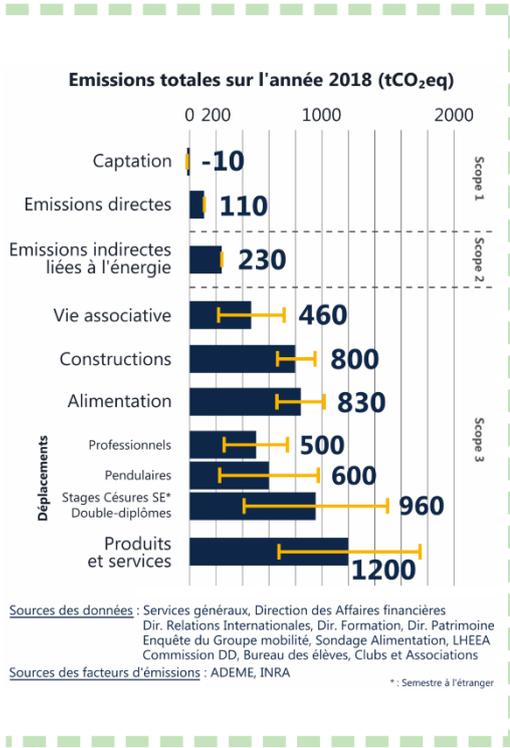
If you have any comments you would like to make, you can do so here.

48. Any comments? Suggestions? You can let us know here.

Please write your answer here:

Poster de l'option Neutralité Carbone

RESULTATS



TRANSITION ECOLOGIQUE CHANGEMENTS INDIVIDUELS OU COLLECTIFS ?

D'après les Accords de Paris, ratifiés par la France le 15 octobre 2016, il convient de contenir « l'élévation de la température de la planète nettement en dessous de 2°C par rapport aux niveaux préindustriels » et de poursuivre « l'action menée pour limiter l'élévation de la température à 1,5°C ». Pour tenir ces objectifs à l'échelle individuelle, il conviendrait de **ne pas émettre plus de 2 t eqCO₂ par an et par personne**.



En 2017, un.e français.e moyen.ne émettait environ 10,8 t eqCO₂ / an, soit **5,4 fois plus que ce qui est recommandé** vis-à-vis des Accords de Paris : **2 t eqCO₂ / an / personne**



D'après l'étude « Faire sa part ? » réalisée par Carbone 4, un individu réalisant un **changement radical de comportement sans investissement financier** pourrait réduire son empreinte carbone de 25 %.



Avec des **investissements stratégiques des ménages** (mobilités, logement...), il serait encore possible de réduire de 20 points les émissions annuelles individuelles, soit une réduction totale de 45 %.

QUELLES MESURES COMPLEMENTAIRES POUR ATTEINDRE LES OBJECTIFS DES ACCORDS DE PARIS ?

L'impact de l'action individuelle est **non négligeable**, celle-ci peut représenter jusqu'à 45 % de la réduction des émissions individuelles annuelles en gaz à effet de serre (GES). Cependant, chaque individu est limité par le « système sociotechnique » dont il fait partie.

D'après l'étude « Faire sa part » de Carbone 4, « **il est donc vain, et même dangereusement contre-productif, de prétendre résoudre la question climatique en faisant reposer l'exclusivité de l'action sur les seuls individus** ».

La démarche individuelle ne peut donc suffire à limiter le changement climatique, **elle doit nécessairement s'allier à une démarche collective** d'intégration des enjeux écologiques dans nos organisations : entreprises, Etats, associations, écoles... Des stratégies de décarbonation incluent une forme de **sobriété** (réduction de l'activité), l'amélioration de l'**efficacité énergétique** (rendement des machines, isolation thermique...), ou le remplacement des sources d'énergies fossiles par des **sources renouvelables**. Ce dernier point présente toutefois des obstacles techniques (stockage, énergie grise).

Extraits de la charte de l'option :

Nous sommes en faveur d'une écologie sincère vers une société plus sobre mais aussi **plus juste, plus solidaire et plus équitable**. L'écologie ne peut être dissociée des autres problématiques humaines et sociales. Elle se doit d'être tolérante et bienveillante. Nous pensons qu'il est important de **questionner le rôle de la technique** et de l'ingénieur.e afin qu'il puisse mettre ses compétences au **service de l'intérêt général**.

Nos engagements :

- Avoir un impact positif conformément à notre vision de l'écologie,
- **Co-construire** avec les acteurs de l'École et amorcer un dialogue,
- Faire preuve d'honnêteté intellectuelle et de **transparence**,
- Être les plus **cohérent.e.s** possibles en réduisant notre impact personnel ainsi que celui de l'option Neutralité Carbone,
- Rester **indépendant.e.s** vis-à-vis des intérêts privés ; le travail est réalisé dans un but strictement non lucratif.

NCO₂ NEUTRALITE CARBONE



11 élèves ingénieur.e.s

- Lou Bedouret
- Victor Blancart
- Estelle de Cremoux
- Hugo Doux
- Perrine Juillet
- Julien Kraemer
- Gwenaél Leprince-M.
- Jean-Luc Levoux
- Abel Pruchon
- Romain Sucche
- Lucille Zribi



2 professeurs encadrants

- M. Benoit Hilloulin
- M. Emmanuel Rozière

Nos objectifs :

- Calculer la **quantité de GES émise** par les activités de Centrale Nantes
- Permettre la **visualisation** de l'ensemble des résultats obtenus
- Proposer des **solutions** visant à réduire ces émissions

QU'EST-CE QU'UN BILAN CARBONE ?

Il s'agit d'une **évaluation de la quantité de gaz à effet de serre (GES)** émise (ou captée) dans l'atmosphère sur une année par les activités d'une organisation ou d'un territoire. Ainsi, le CO₂ n'est qu'un **des nombreux gaz pris en compte** : méthane, fluides frigorigènes, protoxyde d'azote, ...

METHODOLOGIE

Le bilan carbone est un **outil développé par l'Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie (ADEME)**. Au préalable, il est nécessaire de délimiter son étendue :

- Définir le périmètre organisationnel : quelles **parties de l'organisation** sont concernées ?
- Définir le périmètre opérationnel : quelles sont les **émissions prises en compte** ?
- Fixer des **facteurs d'émissions** ou des ratios monétaires : déterminer la masse de CO₂ équivalente aux émissions de GES liées à une activité, à des montants d'achats.



CADRE LEGAL

D'après la « **Loi sur la Transition Énergétique pour la Croissance Verte** » en application depuis le 18 août 2015, un bilan réglementaire d'émissions des GES est obligatoire pour les entreprises de plus de 500 salarié.e.s, les collectivités de plus de 50 000 habitant.e.s, les établissements publics de plus de 250 agent.e.s, et les services de l'Etat. **Il est à renouveler** tous les 4 ans pour les entreprises et tous les 3 ans pour les autres organisations. Tout manquement est passible de sanctions depuis 2016.

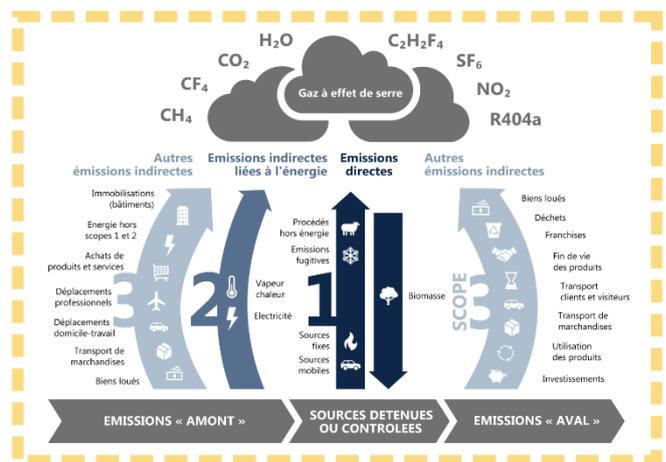


Tableau des numéros de comptes et libellés financiers à l'ECN

Numéro du compte	Libellé du compte
205311	Logiciels informatiques : 1 an
205313	Logiciels informatiques 7 ans
2058	Autres concessions et droits similaires, brevets, licences, marques, procédés, droits et...
21226	Aménagements terrains aménagés reçus en dotation ou en affectation
21827	Matériel de transport - Acquis (5 ans)
21837	Matériel de bureau acquis (5 ans)
21847	Mobilier acquis (10 ans)
213561	Inst Agenc Amen Constr Affect ou Dotation C1 : 55 ans
214161	Bâtiments sur sol d'autrui affectés ou remis en dotation C1 : gros œuvre 55 ans
214162	Bâtiments sur sol d'autrui affectés ou remis en dotation C2: couvertures 30 ans
214163	Bâtiments sur sol d'autrui affectés ou remis en dotation C3 : façades 30 ans
214164	Bâtiments sur sol d'autrui affectés ou remis en dotation C4 : chauffage et climatisation 20 ans
214165	Bâtiments sur sol d'autrui affectés ou remis en dotation C5 : ascenseurs, sécurité, Câblages 15 ans
214166	Bâtiments sur sol d'autrui affectés ou remis en dotation C6 : second œuvre 10 ans
214562	Inst agencement Aménag const sol autrui affect dot C2 : 30 ans
214563	Inst agencement Aménag Constr sur sol d'autrui affect dot C3 : 30 ans
214564	Inst agencement Aménag constru sur sol d'autrui affect Dot C4 : 20 ans
214565	Inst agencement Aménag Constr sur sol d'autrui affect dot C5 : 15 ans
214566	Inst agencement Aménag Constr sur sol d'autrui affect dot C6: 10 ans
215171	Inst techniques complexes acquises 10 ans
215173	Inst techniques complexes acquises 30 ans
215371	Matériel scientifique acquis, 5 ans
215372	Matériel scientifique acquis 10 ans
215374	Matériel scientifique 2 ans
215671	Matériel d'enseignement acquis 5 ans
215771	Agencement aménagement mat et outillages acquis 5 ans
215772	Agencement aménagement matériel et outillage acquis, 10 ans
218162	Installation agencements divers affectés ou remis en dotation, 10 ans
218321	Matériel informatique acquis (3 ans)
218322	Matériel informatique acquis (5 ans)
218871	Matériel Divers Acquis 5 ans
218872	Matériels divers acquis 10 ans

Coordonnées géographiques des capitales du Monde

PAYS	CAPITALE	ALTITUDE	LATITUDE	LONGITUDE
AFGHANISTAN	KABOUL	1803	35N	69E
AFRIQUE DU SUD	PRETORIA	1400	26S	28E
ALBANIE	TIRANA	89	41N	20E
ALGERIE	ALGER	25	37N	3E
ALLEMAGNE	BONN	64	51N	7E
ANDORRE	ANDORRE-LA-VIEILLE	1070	43N	2E
ANGOLA	LOANDA	70	9S	13E
ANGUILLA	LA VALLEE	31	18N	63W
ANTIGUA	SAINT-JOHN'S	10	17N	62W
ANTILLES NEERLANDAISES	WILLEMSTAD	23	12N	69W
ARABIE SAOUDITE	AR RIYAD	609	25N	47E
ARGENTINE	BUENOS AIRES	25	35S	50W
AUSTRALIE	CANBERRA	560	35S	149E
AUTRICHE	VIENNE	212	48N	16E
BAHAMAS	NASSAU	10	25N	77W
BAHREIN	MANAMA	2	26N	51E
BANGLADESH	DACCA	7	24N	90E
BARBADE	BRIDGETOWN	56	13N	60W
BELGIQUE	BRUXELLES	16	51N	4E
BELIZE	BELIZE CITY	5	18N	88W
BENIN	PORTO NOVO	13	6N	2E
BERMUDES	MANILTON	46	32N	65W
BHOUTAN	THIMPHU-PUNAKHA	1381	27N	90E
BIRMANIE	RANGOON	23	17N	96E
BOLIVIE	LA PAZ-SUCRE	3658	17S	65W
BOTSWANA	GABORONE	1006	22S	24E
BRESIL	BRASILIA	1161	16S	48W
BRUNEI	BANDAR SERI	3	5N	115E
BULGARIE	SOFIA	588	43N	23E
BURKINA FASO	OUADAGOUDOU	314	12N	2W
BURUNDI	BUJUMBURA	783	3S	29E
CAIMANS	GEORGETOWN	1	19N	81W
CAMEROUN	YAOUNDE	760	4N	12E
CANADA	OTTAWA	126	45N	75W
CAP-VERT	PRAIA	28	18N	25W
CENTRAFRIQUE	BANGUI	381	4N	19E
CHILI	SANTIAGO	520	33S	71W
CHINE	PEKIN	38	40N	116E
CHYPRE	NICOSIE	217	35N	33E
COLOMBIE	BOGOTA	2546	5N	72W
COMORES	MORONI	17	12S	43E
CONGO	BRAZZAVILLE	314	4S	15E
COOK	AVARUA	2	20S	160W
COREE DU NORD	PYONGYANG	30	40N	127E
COREE DU SUD	SEOUL	87	37N	127E
COSTA RICA	SAN JOSE	1158	10N	84W
COTE D'IVOIRE	YAMOOUSSOUKRO	7	6N	6W
CUBA	LA HAVANE	64	21N	80W
DANEMARK	COPENHAGUE	13	56N	10E
DJIBOUTI	DJIBOUTI	9	12N	43E

PAYS	CAPITALE	ALTITUDE	LATITUDE	LONGITUDE
DOMINICAINE	SAINT-DOMINGUE	14	18N	70W
DOMINIQUE	ROSEAU	24	15N	61W
EGYPTE	LE CAIRE	24	30N	32E
EMIRATS ARABES UNIS	ABU DHABI	15	24N	54E
EQUATEUR	QUITO	2812	0	78W
ESPAGNE	MADRID	657	40N	4W
ETATS-UNIS	WASHINGTON	20	39N	77W
ETHIOPIE	ADDIS ABEBA	2360	9N	39E
FALKLAND	STANLEY		52S	60W
FEROE	THORSHAVN		62N	7W
FIDJI	SUVA	39	18S	178E
FINLANDE	HELSINKI	58	60N	25E
FORMOSE	TAIPEH	9	25N	122E
FRANCE	PARIS	53	49N	2E
GABON	LIBREVILLE	10	0	9E
GAMBIE	BANJUL	2	13N	15W
GHANA	ACCRA	65	6N	0
GIBRALTAR	GIBRALTAR	3	36N	5W
GRECE	ATHENES	107	38N	24E
GRENADE	SAINT-GEORGE'S	6	12N	62W
GROENLAND	GODTHAAB	50	70N	40W
GUADELOUPE	POINTE-A-PITRE	8	16N	62W
GUAM	AGANA	162	14N	145E
GUATEMALA	GUATEMAMLA CITY	1502	15N	91W
GUERNESEY-JERSEY	ST.PETER PORT	10	50N	2W
GUINEE	CONAKRY	46	10N	14W
GUINEE EQUATORIALE	MALABO	24	2N	10E
GUINEE-BISSAU	BISSAU	40	12N	16W
GUYANA	GEORGETOWN	2	7N	58W
GUYANE FRANCAISE	CAYENNE	9	5N	52W
HAITI	PORT-AU-PRINCE	38	19N	73W
HONDURAS	TEGUCIGALPA	1107	14N	87W
HONG KONG	VICTORIA	33	22N	114E
HONGRIE	BUDAPEST	130	48N	19E
ILES VIERGES E-U	CHARLOTTE AMALIE	2	18N	65W
ILES VIERGES R-U	ROAD TOWN	5	18N	64W
INDE	DELHI	216	29N	77E
INDONESIE	DJAKARTA	8	6S	107E
IRAK	BAGDAD	2	31N	48E
IRAN	TEHERAN	1590	33N	52E
IRLANDE	DUBLIN	81	53N	6W
ISLANDE	REYKJAVIK	49	64N	23W
ISRAEL	JERUSALEM	810	32N	35E
ITALIE	ROME	5	42N	12E
JAMAIQUE	KINGSTON	12	18N	77W
JAPON	TOKYO	6	36N	150E
JORDANIE	AMMAN	771	32N	36E
KAMPUCHEA	PNOM PENH	11	11N	104E
KAZAKHSTAN	ASTANA	0	51N	71E
KENYA	NAIROBI	1798	1S	37E

PAYS	CAPITALE	ALTITUDE	LATITUDE	LONGITUDE
KIRIBATI	TARAWA	2	2N	157W
KOWEIT	KOWEIT	11	29N	48E
LAOS	VIENTIANE	170	18N	103E
LESOTHO	MASERU	1061	29S	27E
LIBAN	BEYROUTH	16	34N	35E
LIBERIA	MONROVIA	23	7N	10W
LIBYE	TRIPOLI	22	32N	13E
LIECHTENSTEIN	VADUZ	445	47N	10E
LUXEMBOURG	LUXEMBOURG	330	50N	6E
MACAO	MACAO	5	97N	114E
MADAGASCAR	ANTANANARIVO	1310	19S	48E
MALAISIE	KUALA LUMPUR	38	3N	102E
MALAWI	ZOMBA	957	13S	34E
MALDIVES	MALE	5	2N	73E
MALI	BAMAKO	332	13N	8E
MALTE	LA VALETTE	74	36N	14E
MAN	DOUGLAS	620	54N	5W
MAROC	RABAT	19	33N	7W
MARTINIQUE	FORT-DE-FRANCE	146	15N	61W
MAURICE	PORT-LOUIS	55	19N	57E
MAURITANIE	NOUAKCHOTT	5	20N	10N
MAYOTTE	MAYOTTE	2		
MEXIQUE	MEXICO	2237	19N	99W
MONACO	MONACO	37	44N	7E
MONGOLIE	OULAN BATOR	1150	47N	105E
MONTSERRAT	PLYMOUTH	248	17N	62W
MOZAMBIQUE	MAPUTO	59	26S	33E
NAMIBIE	WINDHOEK	1728	22S	17E
NAURU	MAKWA	37	1S	167E
NEPAL	KHATMANDOU	1348	22N	85E
NICARAGUA	MANAGUA	1338	13N	85W
NIGER	NIAMEY	226	13N	2E
NIGERIA	ABUJA	38	9N	7E
NIUE	ALOFI	59	19S	170W
NORVEGE	OSLO	203	60N	11E
NOUVELLE-CALEDONIE	NOUMEA	75	22S	166E
NOUVELLE-ZELANDE	WELLINGTON	119	41S	175E
OMAN	MASCATE	3	13N	45E
OUGANDA	KAMPALA	1146	0	32E
PACIFIQUE	SAIPAN	66	15N	143E
PAKISTAN	ISLAMABAD	508	34N	73E
PANAMA	PANAMA	2	8N	80W
PAPOUASIE	PORT MORESBY	70	5S	145E
PARAGUAY	ASUNCION	64	25S	58W
PAYS-BAS	LA HAYE	0	57N	4E
PEROU	LIMA	155	12S	77W
PHILIPPINES	MANILLE	15	15N	121E
PITCAIRN	ADAMSTOWN	5	25S	130W
POLOGNE	VARSOVIE	107	52N	21E
POLYNESIE FRANCAISE	PAPEETE	2	18S	150W

PAYS	CAPITALE	ALTITUDE	LATITUDE	LONGITUDE
PORTO RICO	SAN JUAN	19	18N	66W
PORTUGAL	LISBONNE	110	39N	9W
QATAR	DOHA	10	25N	51E
REPUBLIQUE TCHEQUE	PRAGUE	0	50N	14E
REUNION	ST-DENIS	11	17N	55E
ROUMANIE	BUCAREST	82	44N	26E
ROYAUME-UNI	LONDRES	45	52N	0
RUSSIE	MOSCOU	0	56N	37E
RWANDA	KIGALI	1465	2S	30E
SAINT-MARIN	SAINT-MARIN	738	44N	12E
SAINT-VINCENT	KINGSTOWN	5	12N	61W
SAINTE-HELENE	JAMESTOWN	5	16S	8W
SAINTE-LUCIE	CASTRIES	2	14N	61W
SALOMON	HONIARA	2	10S	155E
SALVADOR	SAN SALVADOR	689	14N	89W
SAMOA	PAGO-PAGO	2	15S	171W
SAMOA OCCIDENTALES	APIA	2	12S	172W
SAO TOME-ET-PRINCIPE	SAO TOME	5	0	7E
SENEGAL	DAKAR	23	15N	18W
SEYCHELLES	PORT VICTORIA	2	5S	55E
SIERRA LEONE	FREETOWN	8	8N	13W
SINGAPOUR	SINGAPOUR	10	1N	104E
SLOVENIE	LJUBLJANA	0	46N	14E
SOMALIE	MOGADISCIO	10	2N	45E
SOUDAN	KHARTOUM	380	16N	33E
SRI LANKA	COLOMBO	6	7N	80E
ST-KITTS-ET-NEVIS	BASSETERRE	52	17N	63W
ST-PIERRE-ET-MIQUELON	ST-PIERRE	2	47N	56W
SUEDE	STOCKHOLM	11	59N	18E
SUISSE	BERNE	569	47N	9E
SURINAME	PARAMARIBO	4	6N	55W
SWAZILAND	MBABANE	641	26S	32E
SYRIE	DAMAS	729	33N	36E
TANZANIE	DAR-ES-SALAM	58	7S	39E
TCHAD	N'DJAMENA	295	12N	15E
TCHECOSLOVAQUIE	PRAGUE	374	50N	14E
THAILANDE	BANGKOK	12	14N	101E
TOGO	LOME	22	6N	1E
TOKELAU	NUKUNONU	2	9S	171W
TONGA	NUKU ALOFA	67	20S	175W
TRINITE-ET-TOBAGO	PORT OF SPAIN	14	11N	61W
TUNISIE	TUNIS	4	37N	10E
TURKS-CAICOS	COCKBURN TOWN	2	22N	71W
TURQUIE	ANKARA	894	40N	33E
TUVALU	FUNAFUTI	3	8S	180
U.R.S.S.	MOSCOU	156	56N	38E
URUGUAY	MONTEVIDEO	22	35S	56W
VANUATU	VILA	2	17S	167E
VATICAN	CITE DU VATICAN	50	42N	12E
VENEZUELA	CARACAS	865	11N	67W
VIETNAM	HANOI	17	26N	106E
WALLIS-ET-FUTUNA	MATA-UTU	2	14S	177W
YEMEN	SANAA	2242	15N	44W
YOUgoslavie	BELGRADE	132	45N	20E
ZAIRE	KINSHASA	309	4S	15E
ZAMBIE	LUSAKA	1277	15S	29E
ZIMBABWE	HARARE	1479	18S	31E