

# Projet multidisciplinaire

## Rapport écrit



## *"Phelma en 2050"*

*BARRIOL Jeanne*

*SOYER Augustin*

*MICHEL Lou-Anne*

*3A EPEE - Année scolaire 2021/2022*

## **Table des matières**

<b>Table des matières</b>	<b>1</b>
<b>Remerciements</b>	<b>3</b>
<b>Introduction</b>	<b>4</b>
<b>I) Mise en contexte du problème et méthodologie de travail</b>	<b>5</b>
1) Introduction au problème	5
2) Méthodologie détaillée du projet	6
<b>II) Evolution du travail: une approche relationnelle</b>	<b>8</b>
<b>III) Présentation des résultats</b>	<b>10</b>
1) Bilan carbone des consommations énergétiques	10
2) Bilan carbone des mobilités quotidiennes	18
3) Bilan carbone des mobilités internationales	22
4) Bilan carbone des achats	25
5) Bilan carbone du restaurant universitaire	26
<b>IV) Interprétation des résultats</b>	<b>27</b>
1) Bilan global sur les émissions notables	27
2) Pistes de solutions fournies	30
<b>Conclusion</b>	<b>35</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>37</b>
<b>Annexes</b>	<b>39</b>

## **Remerciements**

*Nous remercions sincèrement toutes celles et ceux qui nous ont aidés à avancer de près ou de loin dans ce projet, en particulier :*

*Mme. Anne VILCOT, Directrice Générale à Phelma,*

*Mr. Patrice PETITCLAIR, Directeur des Études à Phelma,*

*Mme. Laurence NEAULT, du service Finances de Phelma,*

*Mr. Thierry PELLARIN, enseignant-chercheur au CNRS et directeur adjoint de l'IGE,*

*Mr. Sébastien FAUVEL, Responsable du Patrimoine Grenoble INP,*

*Mr. Pierre BAJARD, Responsable du contrat de partenariat GreEn-ER et chargé de la transition énergétique à Grenoble INP,*

*Mr. Jacques SCHMITT, Directeur Mission Projets Stratégiques et Transition Energétique*

*Mr. Nicolas GAMBY, Chargé d'opérations (Service traitement des déchets et gestion des ICPE) à la métropole de Grenoble,*

*Mme. Isabella ZIN, enseignante-chercheuse en climatologie et Vice-Présidente du Développement Durable à Grenoble INP,*

*Mme. Fanny DUROCHER, Chargée d'aide au pilotage opérationnel - Développement Durable à Grenoble INP,*

*Mr. Gabriel SOLEIL, Chef de Projet au Crous (Grenoble Alpes),*

*Mr. Guillaume MANDIL, enseignant-chercheur à l'ENSE3,*

*Mr. Aurélien KUHN, enseignant-chercheur à Phelma,*

*Mr. Adrien BIDAUD, enseignant-chercheur à Phelma,*

*Et bien sûr notre tuteur de projet, Mr. Raphaël BOICHOT, enseignant à Phelma, qui a su nous guider et nous conseiller tout au long de ce semestre.*

## **Introduction**

L'objectif de ce projet est d'évaluer l'impact carbone de l'institution Phelma (Grenoble INP), et de proposer des solutions afin de réduire cet impact d'ici 2050. Ce projet multidisciplinaire s'est fait dans le cadre de notre dernière année d'école d'ingénieur, et nous a permis de regrouper les notions scientifiques et techniques apprises tout au long de notre scolarité, en touchant également à des notions de gestion de projet, d'organisation et de partage des tâches au sein d'un groupe. Bien que ce projet avait une dimension calculatoire, car une approche scientifique et des calculs ont été nécessaires à l'établissement des bilans carbone de l'école, il avait également une forte dimension sociale. En effet, il nous a donné l'occasion de rencontrer et d'échanger avec un grand nombre de personnes ayant toutes un lien fort avec ce sujet de la transition énergétique, pour découvrir les travaux qui avaient déjà été faits sur ce thème, mais également envisager toutes les ramifications que ce projet pouvait avoir, au niveau de la vie de l'école et de la faisabilité technique et économique. Ce rapport a donc pour objectif de présenter les principaux résultats et bilans réalisés, ainsi que nos conclusions concernant le projet "*Phelma en 2050*", que nous avons pu tirer grâce aux échanges, questionnements et calculs que nous avons menés à bien durant ce semestre de travail.

## I) Mise en contexte du problème et méthodologie de travail

### 1) Introduction au problème

Notre civilisation rencontre aujourd'hui des problèmes majeurs : épuisement des ressources, crise énergétique, pollution, réchauffement climatique. La communauté scientifique interroge le fonctionnement de la société telle que nous la connaissons, comme le montre la récente publication de *Simon P. Michaux* qui prône une réduction drastique de la demande de l'ensemble des ressources à l'échelle mondiale [1]. Ces notions ont également été abordées dans le cours de transition énergétique auquel nous avons pu assister cette année et qui nous a permis de remettre notre projet dans un cadre plus large et de prendre conscience des enjeux décisifs dans lequel il s'inscrit.

A la lumière de cette prise de conscience, le fonctionnement intrinsèque de notre école d'ingénieur est remis en question et se doit d'évoluer pour pouvoir être en accord avec les enjeux sociétaux actuels. Dans l'optique d'accompagner la transition écologique à l'échelle nationale, nous avons donc cherché à établir un état des lieux des consommations énergétiques et des émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) de l'institution Phelma. Le but étant ensuite de proposer des mesures réalisables et ne dégradant pas la qualité de l'enseignement afin d'améliorer l'impact environnemental de l'école. La date "2050" est anecdotique dans le titre de notre projet puisqu'elle fait simplement référence aux accords de Paris visant une réduction des émissions de GES de 80% en France d'ici 2050. [10] Il s'agissait ici de se fixer une limite dans le temps par rapport aux solutions à proposer afin d'améliorer l'impact carbone de l'école tout en ayant au préalable réalisé un état des lieux de ses consommations actuelles. En réalité, la date a peu d'importance, il est de toute façon nécessaire de trouver des solutions le plus rapidement possible.

Une problématique claire s'est alors dessinée : **"Comment Phelma peut réaliser une transition énergétique concrète afin de réduire son impact carbone ?"**. Pour mener à bien ce projet, nous avons établi un plan d'action sur tout le semestre en commençant par rencontrer un maximum de personnes liées au domaine de la transition énergétique pour qu'elles répondent à nos questions et qu'elles nous aiguillent dans nos recherches, avant d'obtenir toutes les données liées aux consommations de Phelma et de pouvoir calculer l'impact carbone annuel de l'école. A partir de ces résultats, nous avons essayé de proposer des solutions pour réduire cet impact environnemental tout en discutant de leur moralité.

## 2) Méthodologie détaillée du projet

Ce projet étant assez ouvert en termes de possibilités de travail, il a été nécessaire de mettre en place une méthodologie de travail afin de se fixer des objectifs, ainsi que des moyens de résolution de notre problème.

### 1. Plan d'action

Pour mener à bien ce projet, nous avons établi un plan d'action sur tout le semestre :

**Bibliographie** : La première étape est la lecture d'articles et de publications afin de comprendre les enjeux du sujet. Le but est de s'informer sur les problématiques énergétiques des infrastructures publiques telles que Phelma, sur quels axes jouer pour améliorer les performances d'un bâtiment, l'impact environnemental des pratiques d'utilisation de l'institution (transport, restauration, consommation internet, chauffage...)

**Entretiens** : Notre but est de rencontrer un maximum d'experts intervenant dans les domaines étudiés, ainsi que le personnel administratif de Phelma. Cela nous permettra notamment de récupérer des données pouvant nous aider à dresser l'impact énergétique de l'institution.

**Bilans** : Une fois ces données énergétiques récupérées et les limites de l'étude définies grâce à l'étude bibliographique, nous effectuerons des bilans carbone sur l'école et sur son régime d'utilisation, afin de cibler les sources principales d'émissions de GES.

**Analyse des résultats et propositions de solutions** : Pour chaque source majeure d'émission de GES de la part de l'école, nous effectuerons un brainstorming pour proposer diverses solutions afin de réduire cet impact, avant de sélectionner celles qui sont réalisables.

**Évaluation** : Les solutions sélectionnées seront ensuite analysées afin de les chiffrer, en termes d'investissements et d'économies d'énergie, et leur adéquation à différents scénarios d'évolution de l'école et de la société sera évaluée.

Dans l'ensemble, l'objectif est de faire un état des lieux des émissions de carbone de Phelma, afin de cibler les sources principales d'émissions, pour lesquelles des solutions seront proposées afin de réaliser une réduction de l'impact carbone de l'école maximal. Afin de s'informer sur le sujet et de récolter des données, nous avons effectué de nombreux entretiens avec divers acteurs de la transition énergétique, de la méthodologie bilan carbone, et de l'administration de Phelma, dont les contenus seront résumés.

## 2. Limites de l'étude

Pour toute analyse comprenant un bilan carbone, il convient de définir les limites de l'étude. Nous nous intéresserons donc à l'ensemble de la partie scolaire de Phelma : en termes d'effectif, cela comprend les enseignants-chercheurs, les élèves, et le personnel administratif. Étant donné que l'on ne s'intéresse qu'au fonctionnement de l'institution en tant qu'école d'ingénieur, tout ce qui concerne l'activité de recherche (consommation en chauffage et électricité des bâtiments de recherche et laboratoires, déplacements dans le cadre de conférences pour les chercheurs, etc...) sera écarté de cette étude.

Après discussion avec différentes personnes ayant réalisé des bilans carbone et grâce à nos connaissances personnelles, nous avons déterminé cinq axes de travail principaux sur lesquels portera notre bilan carbone :

- Le chauffage et l'électricité
- Les mobilités quotidiennes (domicile - école)
- Les mobilités à l'international, qui font partie du cursus ingénieur
- Les achats et fournitures
- La restauration

Le but de notre étude sera donc d'effectuer un bilan carbone pour chacun de ces axes, afin d'essayer de déterminer les sources principales d'émissions de GES dues à l'activité de l'école.

## **II) Evolution du travail: une approche relationnelle**

Nous avons rencontré un grand nombre de personnes impliquées dans les différents domaines rejoignant les objectifs de notre projet. Ces entretiens nous ont permis de mieux cerner notre sujet, d'obtenir les données nécessaires à notre étude et de fournir une analyse cohérente des résultats obtenus.

### **1. Donner de la visibilité au projet**

Nous avons rencontré Patrice PETITCLAIR (Directeur des Études de Phelma) et Anne VILCOT (Directrice de Phelma) dans le but d'obtenir une certaine reconnaissance au sein de la direction de Phelma. Aussi, ce projet a le potentiel d'être développé sur plusieurs générations d'étudiants 3A, et touche à des notions d'administration, l'organisme qui a la possibilité de mettre en place des mesures pour réduire l'impact carbone de l'école. Il est donc très intéressant de partager ce projet avec différents acteurs de l'administration de Phelma pour lui donner de la visibilité, et possiblement de l'utilité si les solutions proposées se trouvent être réalisables.

Par ailleurs, ces entretiens nous ont permis de prendre conscience de la difficulté et lourdeur administrative que représente chaque modification du fonctionnement de l'école, mise en place de travaux, ou changement d'organisation, malgré la motivation et la volonté d'agir pour réduire l'empreinte carbone de l'école.

### **2. Obtenir des données**

Alexis SABLEAUX (responsable du service communication de Phelma) nous a fait parvenir les résultats d'un sondage fait passé pour tout Grenoble INP-UGA afin de connaître les modes de transport des étudiants et du personnel des différentes écoles du groupe. Ceci nous a permis d'avoir des données pour effectuer les bilans carbones concernant les mobilités quotidiennes autour de Phelma.

Isabella ZIN (vice-présidente développement durable et responsabilité sociétale de Grenoble INP) et Fanny DUROCHER (chargée de projet développement durable et responsabilité sociétale) ont effectué un Bilan de Gaz à Effet de Serre (BGES) sur l'ensemble de Grenoble INP en 2019. Elles nous ont présenté leur travail qui pourra nous servir de support comparatif. Aussi, elles nous ont aidé dans le traitement de nos données.

Gabriel SOLEIL (ingénieur transition écologique et coopération au CROUS Grenoble Alpes) a quant à lui fait un BGES pour l'ensemble des CROUS de Grenoble. Nous nous sommes appuyés sur ses données pour quantifier les émissions dues à la restauration dans Phelma.



Laurence NEAULT (responsable des finances de Phelma) nous a fait parvenir les relevés énergétiques de Phelma entre 2008 et 2016 ainsi qu'un récapitulatif des achats faits à Phelma en 2021.

Pierre BAJARD (chargé d'exploitation et notamment de la transition énergétique à Grenoble INP) et Jacques SCHMITT (directeur du développement et des projets immobiliers à l'UGA) nous ont fait parvenir les données énergétiques des bâtiments de Phelma pour l'année 2019. Ils nous ont partagé de nombreuses pistes à exploiter pour réduire l'impact carbone de Phelma.

### 3. Ouverture

Sébastien FAUVEL (responsable du patrimoine Grenoble INP) nous a donné des pistes pour mieux quantifier l'impact environnemental des bâtiments et des outils pour imaginer des solutions. Nous n'aurons malheureusement pas le temps de les exploiter pendant notre projet. Il a une grande connaissance sur les réglementations en vigueur concernant la construction de nouveaux bâtiments et l'entretien des existants.

Aurélien KUHN (professeur à Phelma et chargé du chantier transition socio-écologique) et Adrien BIDAUD (enseignant-chercheur à Phelma et à l'Ense3) ont pu nous donner une vue d'ensemble des projets en lien avec la transition et le développement durable à Phelma. Ils nous ont fait connaître le collectif *Labo1point5* qui propose notamment un outil de calcul permettant d'effectuer un BGES des laboratoires de recherche. Nous avons pu nous appuyer sur leur méthodologie pour effectuer le BGES de Phelma.

Thierry PELLARIN (chercheur à l'Institut des Géosciences de l'Environnement) s'est investi dans le calcul du BGES de son laboratoire. Il nous a explicité sa démarche et montré les principaux résultats. Il était intéressant de prendre connaissance des mesures qui ont été prises dans le laboratoire suite au BGES.

Nous avons eu une discussion avec Guillaume MANDIL (chercheur associé dans l'équipe STEEP chez Inria et professeur à l'Ense3 notamment en transition énergétique) permettant de remettre notre démarche dans un cadre plus large. Il nous a donné beaucoup de contacts et nous a fait part de sa propre expérience s'investissant pour la transition énergétique au sein de Grenoble INP.

Nicolas GAMBY (chargé d'opération service traitement des déchets et gestion des Installation Classée Pour la Protection de l'Environnement à la métropole de Grenoble) nous a donné des informations sur la gestion des déchets à Grenoble. Étant en dehors du cercle de Grenoble INP, il était intéressant d'échanger avec lui sur les différentes possibilités pour réduire les émissions de GES de Phelma.

### **III) Présentation des résultats**

Dans cette partie, nous vous présentons les résultats que nous avons obtenus suite aux calculs effectués afin de connaître l'impact carbone annuel de Phelma. Nous voulions ainsi obtenir un indicateur de performance transversal de notre école pour ensuite en tirer des conclusions afin de répondre aux enjeux de la lutte contre le réchauffement climatique notamment. L'année de référence choisie a été **2019** étant donné que la crise du Covid-19 n'avait pas encore fait son entrée et qu'aucun événement particulier n'a eu lieu durant cette année pouvant perturber les données. Les personnes avec qui nous nous sommes entretenus nous ont assurés que cette année était très représentative d'une année classique.

Ce bilan est en fait un inventaire de l'ensemble des flux émetteurs de GES à l'échelle de Phelma (Minatec + campus) et leur conversion en équivalent CO<sub>2</sub>. Le périmètre organisationnel choisi est le périmètre financier de l'établissement, c'est-à-dire que nous avons considéré uniquement les installations et activités sur lesquelles Phelma a un contrôle financier, soit géographiquement les bâtiments A (Administration), C (TP), D (Usine) et E (Thermodynamique) du campus, et M et Z de Minatec. Le bâtiment B du campus qui est destiné à la recherche n'a pas été pris en compte en premier lieu car notre bilan (et plus grossièrement notre projet) était vraiment concentré sur les activités étudiantes et celles des personnels administratifs liés à ces étudiants et non les activités de recherche des enseignants. Nous avons réparti le bilan en plusieurs catégories d'impacts comme suit.

#### **1) Bilan carbone des consommations énergétiques**

Dans un premier temps nous nous sommes intéressés à l'impact environnemental des émissions indirectes d'origine énergétique telles que l'électricité ou le chauffage. Cette catégorie peut s'apparenter au "scope 2" si l'on se base sur la norme *ISO 14064-1* qui propose une classification des émissions prises en compte selon trois catégories ("scopes") : les émissions directes (combustion de sources fixes et mobiles : gaz et carburants de véhicules) + émissions directes fugitives : fuites de gaz frigorigènes = scope 1; les émissions indirectes d'origine énergétique : électricité, chaleur et froid = scope 2; les autres émissions indirectes : achats de bien et services, immobilisation de biens, déchets, déplacements domicile-travail, déplacements professionnels.

Pour ces calculs, nous avons besoin des données de consommations énergétiques (électricité et chauffage) de Phelma Minatec et Phelma Campus de septembre 2018 à août 2019. Comme nous avons aussi accès aux données du bâtiment B de Phelma campus (qui concerne la partie recherche), nous en avons profité pour prendre en compte l'impact de ce

bâtiment-là dans les calculs énergétiques, simplement pour avoir une idée de la consommation d'un tel bâtiment (qui est loin d'être négligeable dans le bilan total) bien que nous ne souhaitions pas le prendre en compte dans le bilan final étant donné qu'il est lié aux activités de recherches et non aux étudiants.

Ces données nous ont été fournies par Pierre BAJARD (annexe 1), Responsable du contrat de partenariat GreEn-ER et chargé de la transition énergétique au sein de Grenoble-INP. Nous avons ainsi accès aux consommations en électricité et en chauffage pour tous les bâtiments souhaités. Nous avons décidé de comparer deux méthodes de calculs différentes pour ce bilan : la méthode classique à partir de produits en croix sur Excel en utilisant les données fournies par l'ADEME pour connaître l'impact carbone du kWh d'électricité ou de chauffage, et le simulateur d'émissions de GES du comité *Labo 1point5* qui permet à beaucoup de laboratoires de calculer leur empreinte carbone chaque année (sur la base des valeurs fournies par l'ADEME). Comparer ces deux méthodes nous permettait une meilleure vérification des résultats obtenus.

### **Nos hypothèses de travail :**

- **Un tel bilan donne toujours un ordre de grandeur et non des valeurs précises.**
- Type de chauffage de Phelma Campus : gaz.
- Type de chauffage de Minatec : chauffage urbain.
- Pas de prise en compte des dépenses énergétiques liées à l'auditorium de Minatec.
- Les données fournies en kWh consommés n'avaient pas d'incertitude. En revanche les données de kg équivalent CO<sub>2</sub> de l'ADEME présentent des incertitudes, nous nous en sommes donc servis pour en déduire les incertitudes du calcul global. Pour le bilan via le simulateur GES, les incertitudes sont fournies directement car calculées dans le code.

### **Données utilisées :**

- Consommations d'énergie
  - Phelma campus, bâtiments ABCDE
    - Elec : PDL (point de livraison) 30001930462386 ; ENGIE
    - Gaz : PDL GI048279 ; ENGIE
  - MINATEC MZ
    - ELEC ; PDL 287031 ; GEG
    - Chauffage urbain ; PDL U231N0 ; CCIAG

## Méthodes d'approche :

- **Calcul par produit en croix et valeurs trouvées sur internet :**

Pour rappel, l'équivalent CO<sub>2</sub> est, pour un GES, la quantité de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) qui provoquerait le même forçage radiatif que ce gaz, c'est-à-dire qui aurait la même capacité à retenir le rayonnement solaire pendant sa durée de vie totale.

On trouve les valeurs suivantes pour :

- l'électricité [3] : 60,7 g ± 6,7 g CO<sub>2</sub> éq/kWh
- le gaz [4] : 230 g ± 11,5 g CO<sub>2</sub> éq/kWh PCI
- le chauffage urbain [5] : 141 g ± 42,3 g CO<sub>2</sub> éq/kWh

On obtient alors les résultats suivants concernant les consommations énergétiques de **Minatec** :

Minatec	kg CO <sub>2</sub> éq / kWh (en 2019)	kWh consommés	kg CO <sub>2</sub> éq	incertitude
électricité	0,0607	1233667	74883,5869	±7488,4
Chauffage urbain (CU)	0,141	1428366	201399,606	±60419,9
somme impact total (kg CO <sub>2</sub> éq)			276283,1929	±67908,2

*Figure 1 : Calcul de l'impact carbone des consommations énergétiques des bâtiments M et Z de Minatec*

Il y a 276 ± 68 tCO<sub>2</sub> éq émises à Minatec en 2019 uniquement due au chauffage et à l'électricité.

Pour **Phelma campus sans tenir compte du bâtiment recherche** :

sans la recherche	kg CO <sub>2</sub> éq / kWh (en 2019)	kWh consommés	kg CO <sub>2</sub> éq	incertitude
électricité	0,0607	913701	55461,6507	±5546,2
gaz (chauffage)	0,230	830418	190996,14	±9549,8
somme impact total (kg CO <sub>2</sub> éq)			246457,7907	±15096,0

*Figure 2 : Calcul de l'impact carbone des consommations énergétiques des bâtiments A, C, D et E du campus*

Il y a 246 ± 15 tCO<sub>2</sub> éq émises à Phelma campus en 2019 uniquement due au chauffage et à l'électricité sans compter le bâtiment recherche.

Pour **Phelma campus en tenant compte du bâtiment recherche** :

avec la recherche	kg CO <sub>2</sub> éq / kWh (en 2019)	kWh consommés	kg CO <sub>2</sub> éq	incertitude
électricité	0,0607	1728825	104939,6775	±10493,9
gaz (chauffage)	0,230	1408395	323930,85	±16196,5
somme impact total (kg CO <sub>2</sub> éq)			428870,5275	±26690,5

*Figure 3 : Calcul de l'impact carbone des consommations énergétiques des bâtiments A, B, C, D et E du campus*

Il y a 429 ± 27 tCO<sub>2</sub> éq émises à Phelma campus en 2019 uniquement due au chauffage et à l'électricité en comptant le bâtiment recherche.

Ceci nous donne alors les **résultats globaux** suivants :

Tableau 1 : Calcul de l'impact carbone des consommations énergétiques de PHELMA avec ou sans le bâtiment B (Recherche) du campus

Site concerné	Impact carbone total	Incertitudes
sans la recherche	522,7 tonnes CO <sub>2</sub> éq	± 83 tonnes
avec la recherche	705 tonnes CO <sub>2</sub> éq	± 95 tonnes

Ces résultats ont ensuite été comparés à ceux trouvés grâce à l'outil GES du comité *Labo 1point5*.

- **Calcul via l'outil GES de Labo 1point5 [6] :**

L'outil GES a été conçu par plusieurs membres du collectif *Labo 1point5* avec lesquels nous avons pu échanger par mail. Cette simulation a été codée par des chercheurs et permet un calcul précis de l'empreinte carbone et du BGES d'un bâtiment et de ses consommations. Habituellement, ce programme est plutôt destiné à des laboratoires de recherche plutôt qu'à des écoles mais cela ne nous a pas empêché de pouvoir l'appliquer à notre cas avec quelques hypothèses en plus. A travers cet outil leur objectif est double : mener des études scientifiques relatives à l'empreinte carbone de la recherche publique française (leur champ d'investigation actuel est limité à la France, y compris les DOM-TOM), mais aussi nourrir la réflexion sur les leviers d'actions permettant de réduire l'impact des activités de recherche sur les émissions de GES, tant à l'échelle nationale que locale au laboratoire. Le simulateur est fait pour prendre en compte différentes catégories d'impacts comme les consommations énergétiques, les déplacements domicile-travail ainsi que les déplacements professionnels, le matériel informatique et prochainement (intégration au code actuel en cours par les chercheurs) les achats que font les laboratoires. Nous avons pu utiliser chacune de ces catégories séparément pour comparer nos calculs aux valeurs trouvées sous Excel.

**Nos hypothèses de travail :**

- Année de référence : 2019
- budget annuel (pour les consommations énergétiques uniquement) : 449 452 euros sans tenir compte du bâtiment recherche, 584 848 euros sinon.
- Chiffres au niveau des occupations : Environ 1000 élèves ingénieurs et en master en moyenne sur l'année (sachant que sur une année complète plus de la moitié part en stage, ne vient pas en cours, etc.); 107 enseignants-chercheurs (comptés comme tel); 55 personnels administratifs et techniques (comptés comme "ITA" = personnel

administratif et technique); 380 intervenants de l'industrie et de la recherche (non comptés dans le bilan). (Source : intranet Phelma)

- A savoir que pour les effectifs du laboratoire selon le site de *Labo 1point5* "Une personne doit être comptée dans l'effectif du laboratoire seulement si elle a fait partie de l'effectif du laboratoire sur les 12 mois de l'année considérée (ceci exclut les stagiaires et les personnes visitantes qui restent moins d'un an)."
- Les données concernant les fluides frigorigènes sont prises en compte dans les données relatives à l'électricité.
- Nous pouvions ajouter plusieurs bâtiments au bilan ayant des modes de chauffage différents par exemple.
- Le calcul des incertitudes était fait directement par le simulateur puisque les incertitudes sont intégrées au code qui sert de méthode de calcul.

#### **Données rentrées pour Minatec :**

Surface utile brute en m<sup>2</sup> : 15273

Type de chauffage : Chauffage urbain

Réseau de chaleur : Réseau de Grenoble (38)

Consommation totale en kWh PCI pour le chauffage de janvier à décembre : 1 428 366

Consommation totale en kWh PCI pour l'électricité de janvier à décembre : 1 233 667

#### **Données rentrées pour Phelma campus sans la recherche :**

Type de chauffage : Gaz naturel

Consommation totale en kWh PCI pour le chauffage de janvier à décembre : 830 418

Consommation totale en kWh PCI pour l'électricité de janvier à décembre : 913 701

#### **Données rentrées pour Phelma campus sans la recherche :**

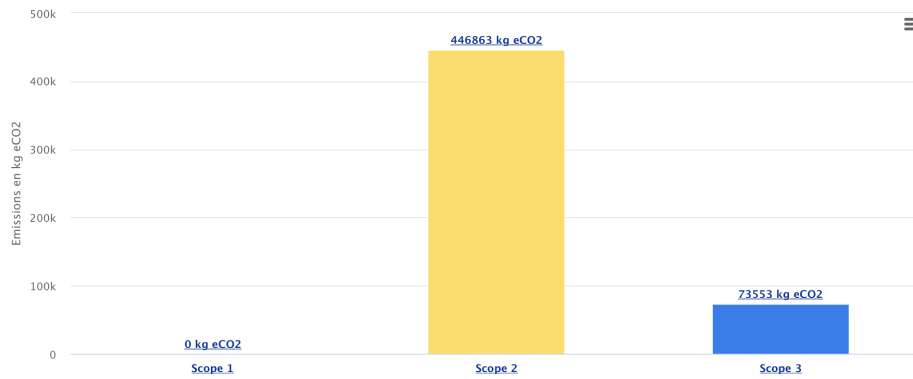
Surface utile brute en m<sup>2</sup> : 15341

Type de chauffage : Gaz naturel

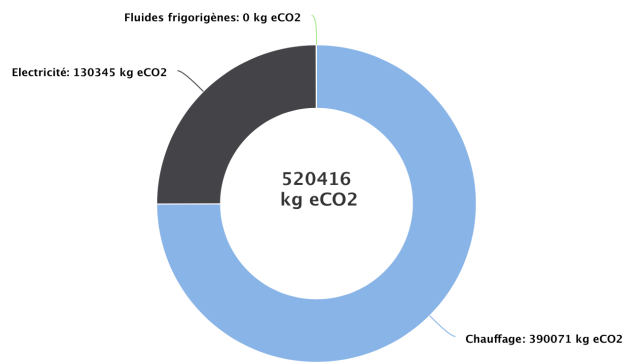
Consommation totale en kWh PCI pour le chauffage de janvier à décembre : 1 408 395

Consommation totale en kWh PCI pour l'électricité de janvier à décembre : 1 728 825

**Résultats sans compter le bâtiment recherche :**



*Figure 4 : Impact carbone des consommations énergétiques de Phelma selon les scopes sans le bâtiment B*

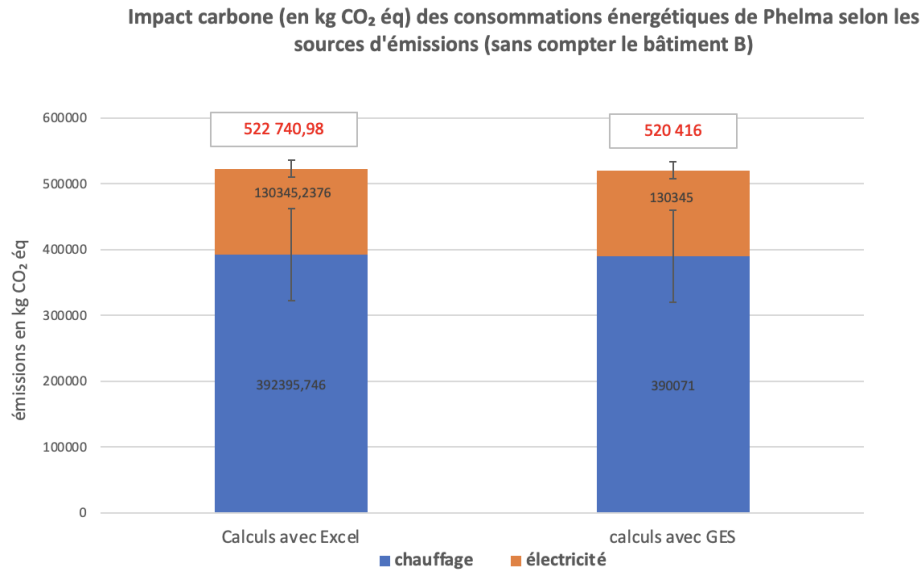


*Figure 5 : Impact carbone des consommations énergétiques de Phelma (sans le bâtiment B) selon les sources d'émissions*

**Tableau 2 : Récapitulatif de l'empreinte carbone avec incertitude des consommations énergétiques de Phelma sans le bâtiment B**

Empreinte carbone	Emissions en kg eCO2	Part de l'empreinte totale
<b>Empreinte carbone des bâtiments</b>	<b>520 416 ± 82 888</b>	<b>100 %</b>
-- Chauffage	390 071 ± 69 853	75 %
-- Electricité	130 345 ± 13 035	25 %
<b>Empreinte carbone totale</b>	<b>520 416 ± 82 888</b>	<b>100 %</b>

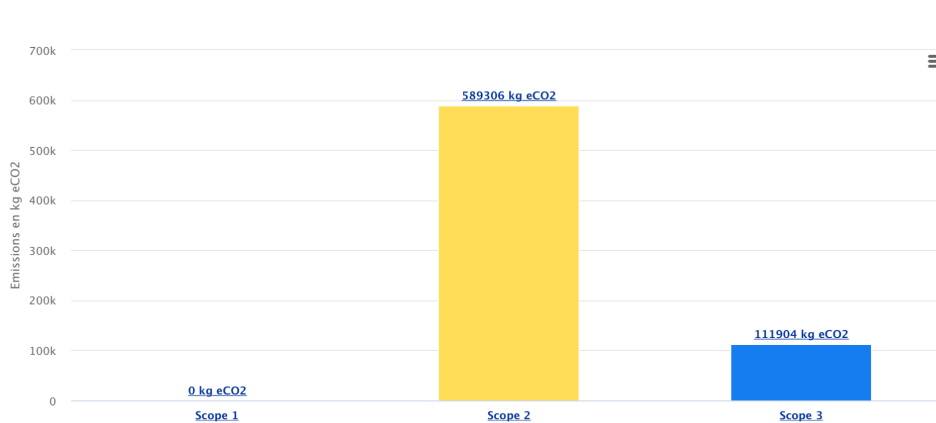
On peut donc comparer ces valeurs à celles calculées dans un premier temps via Excel :



*Figure 6 : Comparaison des méthodes d'approche pour le calcul des consommations énergétiques (sans bâtiment B) selon les sources d'émissions*

On constate que les deux méthodes nous donnent des résultats très proches (ils ne diffèrent que de 0,44%). Ceci renforce l'exactitude de nos valeurs. La seule différence se fait sur le calcul concernant le chauffage. On en conclut que sans compter la recherche, **l'institution Phelma a émis en moyenne 520 tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub> en 2019.**

**Résultats en comptant le bâtiment recherche :**



*Figure 7 : Impact carbone des consommations énergétiques de Phelma selon les scopes*



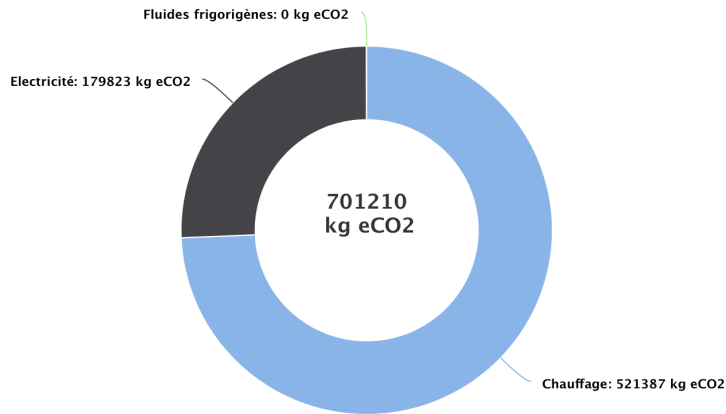


Figure 8 : Impact carbone des consommations énergétiques de Phelma selon les sources d'émissions

Tableau 3 : Récapitulatif de l'empreinte carbone avec incertitude des consommations énergétiques de Phelma

Empreinte carbone	Emissions en kg eCO2	Part de l'empreinte totale
<b>Empreinte carbone des bâtiments</b>	<b>701 210 ± 94 402</b>	<b>100 %</b>
- Chauffage	521 387 ± 76 419	74 %
- Electricité	179 823 ± 17 982	26 %
<b>Empreinte carbone totale</b>	<b>701 210 ± 94 402</b>	<b>100 %</b>

On peut encore une fois comparer ces valeurs à celles calculées par Excel :

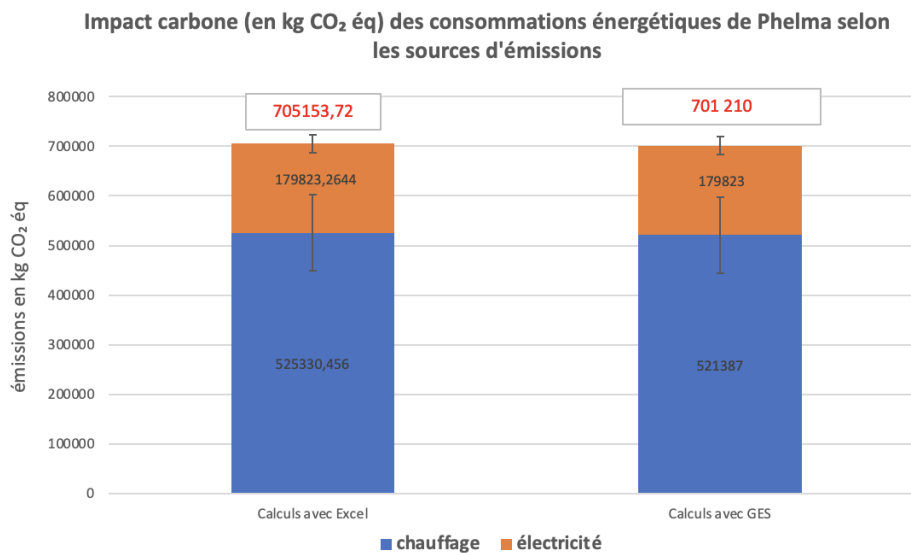
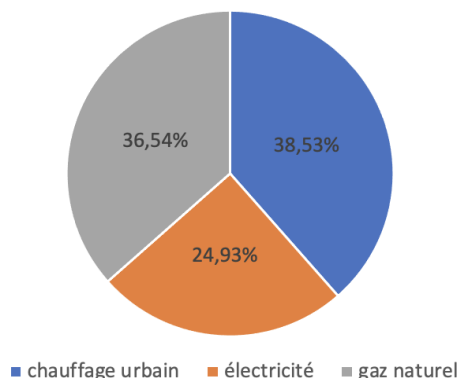


Figure 9 : Comparaison des méthodes d'approche pour le calcul des consommations énergétiques selon les sources d'émissions

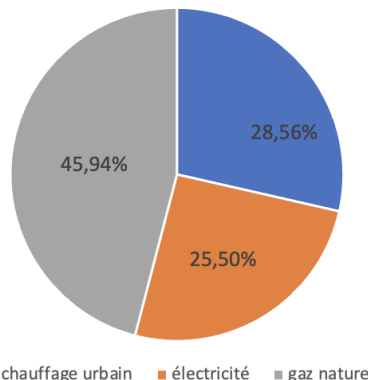
On constate encore une fois qu'il y a très peu de différences (moins de 0,6 %) entre les deux approches, le calcul par Excel surestime très légèrement les résultats. Nos calculs semblent fiables. On en conclut que **l'institution Phelma a émis en moyenne 700 tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub> en 2019** en prenant en compte le bâtiment de recherche.

Pour finir, on peut observer quel est la source d'émission la plus impactante à travers les graphes suivants :

Part respective de chacune des sources d'émissions dans le bilan ne tenant pas compte de la recherche



Part respective de chacune des sources d'émissions dans le bilan de consommations énergétiques de Phelma



Figures 10 et 11 : Comparaison des sources d'émissions les plus impactantes sur le bilan complet

On observe le résultat attendu : c'est le gaz naturel qui contribue le plus aux émissions de GES pour Phelma. A noter que les émissions dues au chauffage urbain de Grenoble ne font que diminuer dans le temps depuis quelques années puisque ce mode de fonctionnement se tourne de plus en plus vers l'utilisation d'énergies renouvelables (à l'heure actuelle il est fait de 79% d'énergies renouvelables et récupération - essentiellement le bois et les ordures ménagères [11]).

## 2) Bilan carbone des mobilités quotidiennes

Dans un second temps nous nous sommes intéressés à l'impact environnemental des déplacements domicile-travail des étudiants, des enseignants ainsi que du personnel administratif de l'école. Cette catégorie peut s'apparenter au "scope 3" si l'on se base sur la norme *ISO 14064-1* décrite précédemment. En effet, les déplacements quotidiens et notamment l'usage de la voiture à moteur thermique ont un impact non négligeable sur l'empreinte carbone d'une école.

Pour ces calculs, nous avons besoin de connaître les modes de transports utilisés par toutes les personnes se rendant à l'école chaque jour ainsi que le nombre de kilomètres

parcourus à travers ces modes. Grâce aux valeurs disponibles sur le site de l'ADEME par exemple [8], nous pouvions ensuite en déduire l'impact carbone quotidien, puis annuel.

En amont de notre projet, un questionnaire avait été fait passer par le service communication de Phelma à tous les élèves et personnels de Grenoble-UGA afin de les questionner sur leurs modes de transports quotidiens. Nous avons pu récupérer les données Excel issues des réponses à ce questionnaire grâce au responsable de communication de Phelma, Mr. SABLEAUX.

Nous avons émis de nombreuses **hypothèses** pour pouvoir en tirer nos résultats :

- Les réponses au questionnaire ont été reçues en 2021 alors que notre bilan carbone est réalisé pour l'année 2019 : nous avons considéré que les modes de transport utilisés n'avaient globalement pas changé en deux ans pour les étudiants et le personnel et que les résultats étaient donc valables pour l'année 2019.
- Le questionnaire était destiné à tout Grenoble-UGA alors que nous nous intéressons uniquement au bilan carbone de Phelma, nous considérons donc que les modes de transport utilisés sur tous les campus de Grenoble sont identiques à ceux utilisés uniquement pour se rendre à Phelma.
- Nous avons supprimé toutes les valeurs qui apparaissaient comme "irrélelles" ou "non traitables". Par ces termes nous entendons les réponses pour lesquelles les personnes avaient répondu "plusieurs centaines de kilomètres parcourus chaque jour à pied" par exemple, ou "plusieurs kilomètres parcourus avec tous les moyens de transport chaque jour" ce qui n'est pas possible. Ceci a donné lieu à 504 réponses de personnes différentes soit 709 moyens de transports et kilométrages différents recensés. En effet, plusieurs personnes utilisent plusieurs moyens de transport chaque jour pour se rendre à Phelma, exemple : ils vont à pied jusqu'au tram. Un tel résultat était compté comme deux différents (kilomètres en tram + kilomètres à pied) puisque le fait que ce soit une même personne qui prenne plusieurs des transports n'impacte pas le résultat du bilan : ce qui compte c'est le transport utilisé et sur combien de kilomètres.
- L'empreinte carbone du véhicule hybride rechargeable a été calculée comme une moyenne entre l'empreinte carbone d'un véhicule thermique et celle d'un véhicule électrique. Cette valeur n'est pas forcément représentative car elle dépend déjà fortement du type de véhicule hybride, mais également de l'utilisation que son propriétaire en fait (s'il la recharge et à quelle fréquence, si elle est uniquement utilisée en mode thermique, etc.).

- L'empreinte carbone liée à l'utilisation du covoiturage a été choisie pour une moyenne de 2,5 personnes par voiture.
- Pour ce qui est des valeurs de kg éq CO<sub>2</sub> pour chaque mode de transport disponibles sur la base carbone de l'ADEME : sont incluses les émissions directes, et la production et distribution de carburant et d'électricité. **La construction des véhicules** (voiture, vélo, batterie, train, avion...) **et des infrastructures** (routes, rails, aéroports...) **n'est pas incluse**. Les valeurs sont données en équivalent par personne en France.
- Nous avons considéré qu'il y avait encore une fois 1162 personnes qui effectuent ces trajets chaque jour (1000 élèves + 107 enseignants-chercheurs + 55 personnels administratifs).
- Nous avons supposé que le trajet *aller* effectué était identique au trajet *retour* et qu'il n'y avait **qu'un seul aller-retour effectué chaque jour par personne**. Cela sous-estime donc un peu plus le bilan étant donné que plusieurs personnes rentrent manger chez elles le midi (et notamment celles qui ont le temps de le faire car elles viennent en voiture, ce qui est encore plus impactant !).
- Nous avons calculé l'impact pour une semaine de cinq jours, soit cinq aller-retour dans la semaine, et ce sur trente-neuf semaines de travail (moyenne globale si l'on prend en compte les étudiants mais aussi les enseignants et personnels administratifs).
- Nous n'avons pas pu procéder à un calcul d'incertitude car nous n'avions pas de valeurs d'incertitude fournies sur le simulateur de l'ADEME permettant de connaître l'impact carbone de chaque mode de transport, ni sur les données récupérées du questionnaire. Il existe des incertitudes disponibles directement sur la Base Carbone ADEME © mais ces valeurs prennent en compte l'impact de la fabrication du véhicule, hypothèse que nous n'avons pas considérée dans notre méthode de calcul, ces incertitudes n'auraient donc pas de sens pour notre étude.

Nous n'avons pas pu procéder à deux méthodes de calcul différentes cette fois-ci car l'outil GES de *Labo 1point5* nécessitait, soit de faire passer un questionnaire spécifique à toute l'école pour pouvoir ensuite directement calculer l'impact selon leur code (mais un questionnaire avait déjà été fait passé en amont et nous n'étions pas sûrs de pouvoir obtenir à nouveau des réponses en temps et en heure), soit en rentrant une à une chacune des 729 réponses que nous avons obtenu dans le premier questionnaire à la main sur le simulateur, ce qui nous aurait pris beaucoup trop de temps pour un résultat facilement calculable autrement. Nous avons donc réalisé ce bilan carbone uniquement à partir des réponses au questionnaire de Mr. SABLEAUX et à partir de produits en croix sous Excel. Les valeurs

utilisées pour le calcul provenant du simulateur de l'ADEME ainsi que les hypothèses qui s'y rattachent sont données en annexe 3.

Les **résultats** sont présentés ci-dessous :

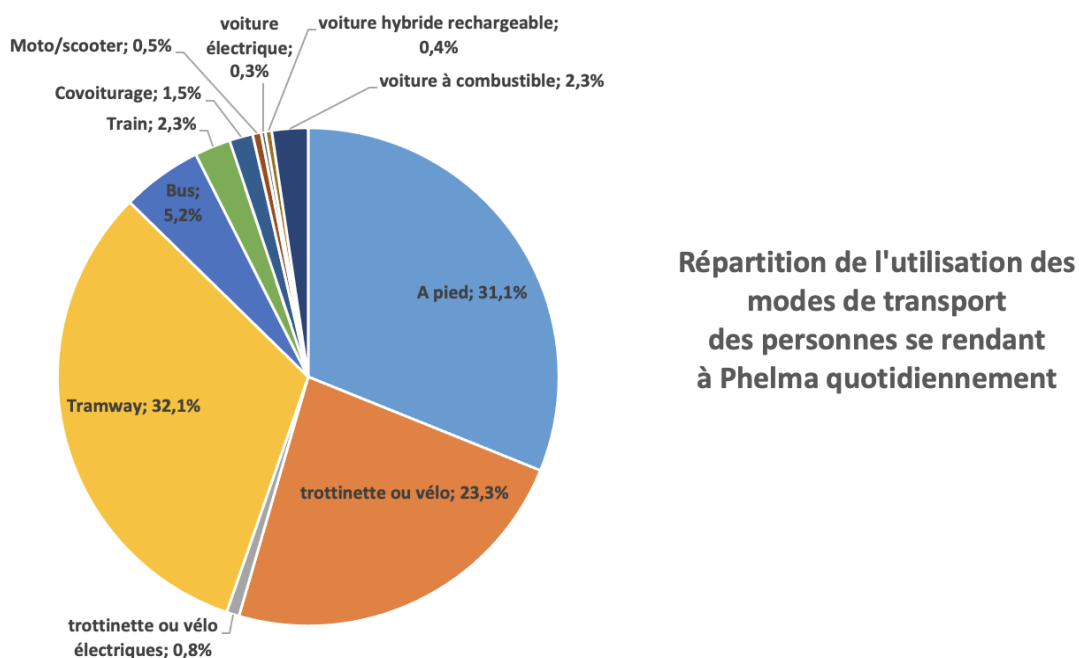


Figure 12 : Pourcentages de répartition des différents modes de transports utilisés par les personnes se rendant à Phelma

On constate dans un premier temps que les moyens de transport les plus utilisés ne sont pas les plus émetteurs. Étant nous-mêmes étudiants, nous constatons qu'ils sont pourtant très représentatifs des moyens de transport utilisés par les étudiants de Phelma en général. En revanche, le pourcentage d'utilisation de la voiture thermique semble sous-estimé, nous en déduisons que **le bilan que nous obtiendrons ici sera sous-estimé par rapport à la réalité.**

Tableau 4 : Impact carbone des mobilités quotidiennes concernant Phelma

Bilan émissions pour 1 aller-retour soit une journée de travail à Phelma (kg CO <sub>2</sub> éq)	276,75	
Bilan émissions pour une semaine de travail (5 jours) à Phelma (kg CO <sub>2</sub> éq)	1383,75	
Bilan émissions pour une année de travail (39 semaines) à Phelma	<b>53966,34</b>	<b>kg CO<sub>2</sub> éq</b>

On arrive donc à un total d'environ **54 tonnes équivalent CO<sub>2</sub> émises chaque année concernant les déplacements domicile-travail de chaque personne travaillant à Phelma quotidiennement.**

Il est également intéressant de regarder quels sont les plus gros facteurs influençant ce résultat :

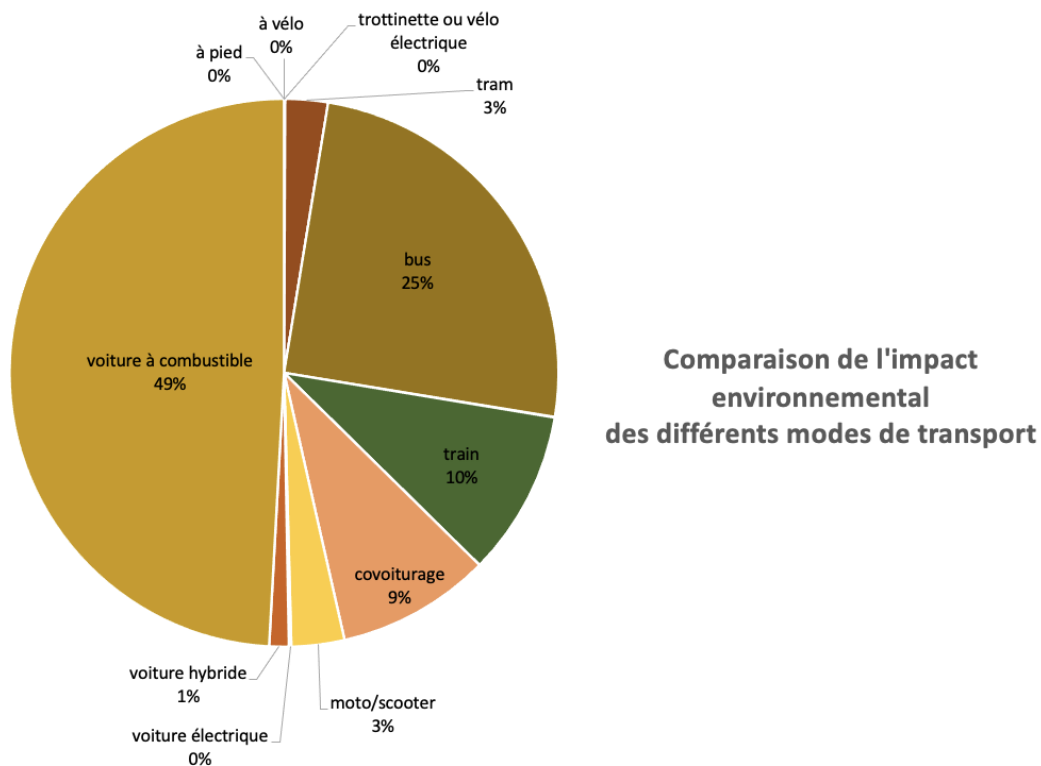


Figure 13 : Impact des différents modes de transports utilisés par les personnes se rendant à Phelma

On voit très clairement que malgré le fait que seulement 2,3% de la population Phelma utilisent la voiture à combustible, ce mode de transport représente la moitié de l'impact carbone annuel de Phelma liés aux déplacements quotidiens !  
Ce résultat de 54 tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub> reste malgré tout très faible face au premier bilan effectué qui concerne les consommations énergétiques.

### 3) Bilan carbone des mobilités internationales

Dans le cadre de la formation dispensée à Phelma, il est obligatoire d'effectuer au moins six semaines à l'étranger en stage, double-diplôme ou semestre d'échange. Cette réglementation a d'ailleurs évolué puisqu'il faudra maintenant partir 17 semaines (soit plus de quatre mois) à l'étranger pour tous les nouveaux élèves à partir de l'année scolaire 2021-2022. Nous nous sommes donc intéressés à l'empreinte carbone du voyage aller-retour induite par l'obligation de partir à l'étranger.

### **Nos hypothèses de travail :**

- Tous les déplacements ont lieu en avion. De plus, on néglige les émissions dues au transport entre le lieu d'habitation et l'aéroport.
- Les distances entre les villes de départ et les villes d'arrivée sont calculées à vol d'oiseaux.
- Pour les destinations hors Europe, on utilise dans les calculs la distance entre pays via le site internet : <https://www.villedistance.com/country/FR>.
- Pour les destinations en Europe, on utilise dans les calculs la distance entre l'aéroport de Lyon Saint-Exupéry et la capitale du pays destination via le site internet : <http://www.distance2villes.com/>.
- On ne prend pas en compte les déplacements des étudiants liés au stage ou à un semestre d'échange en France. On ne prend pas en compte non plus les déplacements des enseignants liés à leurs activités de recherche puisqu'on ne tient pas compte de la recherche dans notre BGES.
- On choisit les facteurs d'émission de l'ADEME [7] avec traînées, récapitulés dans le tableau n°5 suivant :

*Tableau 5 : Facteur d'émission des trajets en avion et leurs incertitudes*

	Facteur d'émission (kgCO <sub>2</sub> /pers/km)	Incertitude
Court courrier (<1000km)	0,258	70%
Moyen courrier	0,187	70%
Long courrier (>3500km)	0,152	70%
Train	0,047	20%

Pour le facteur d'émission du train, on prend une moyenne des facteurs d'émission des principaux pays d'Europe [9].

- On prend en compte uniquement l'aller-retour entre la France et le pays de destination.
- On considère que la Suisse est trop proche de Grenoble pour y aller en avion. On ne prend donc pas en compte les voyages en Suisse dans nos calculs.
- Comme le collectif *labo 1point5*, nous choisissons de multiplier par 1,2 la distance à vol d'oiseau pour estimer la distance parcourue en train.

### Données utilisées :

Les données sont issues de tableaux Excel disponibles sur l'intranet de Phelma. Valérie Parry (directrice des relations internationales de Phelma) nous a partagé un fichier regroupant toutes les données (nombre de départs par destination pour motif de stage, de double-diplôme et de semestre d'échange à l'étranger).

### Résultats :

Pour l'année 2018-2019, au total **487 ± 341 tCO<sub>2</sub> éq** ont été émises lors du déplacement des élèves de Phelma pour leur stage, double-diplôme ou semestre d'échange à l'étranger. Sur la figure 15, on peut voir que partir en Europe émet en moyenne neuf fois moins de GES que lorsque l'on part en Asie et sept fois moins lorsque l'on part en Amérique. Sur la figure 14, il est intéressant de noter que, alors que l'Europe est la destination la plus choisie (à 67,5%), elle induit moins d'un quart des émissions de GES. A contrario, seulement 11,8% des élèves partent en Asie mais cela représente 36,2% des émissions de GES (figure 15).

Il est intéressant de noter aussi qu'une telle valeur d'émission ne concerne qu'un nombre d'élèves total (faible) partant à l'étranger qui est de 492. Cet impact est donc d'autant plus à prendre en compte étant donné que même avec une faible part d'élèves partant à l'étranger, les émissions générées sont énormes.

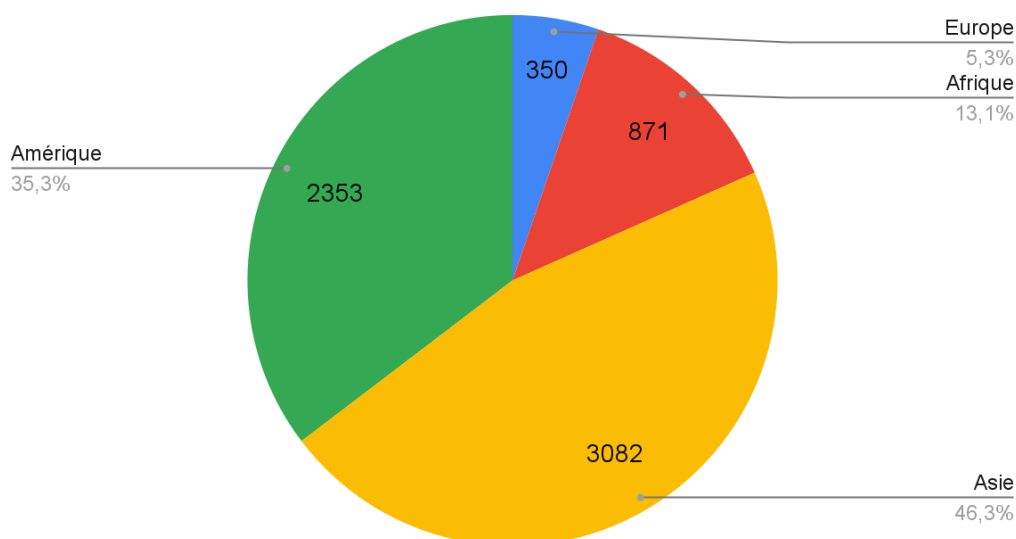


Figure 14 : Émissions de gaz à effet de serre en kgCO<sub>2</sub>éq par élève et par continent liées à la mobilité à l'international



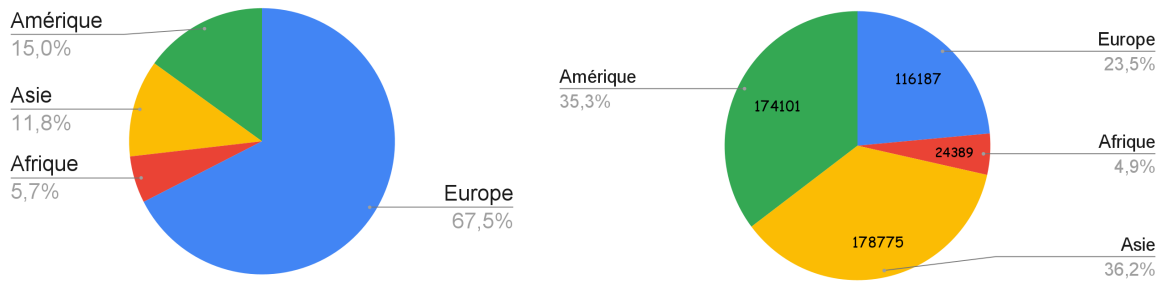


Figure 15 : Pourcentage de répartition des départs des élèves par destination (à gauche) et répartition des émissions en kgCO<sub>2</sub>eq par continent dues à la mobilité à l'international sur un an à Phelma (à droite)

## 4) Bilan carbone des achats

En tant que grande institution, Phelma achète beaucoup de fournitures, d'électronique et de matériaux chaque année : notamment dans les factures de l'école, on retrouve des ordinateurs et des machines pour les TP, du papier, des denrées alimentaires... Tous ces achats représentent un impact carbone potentiellement important, qu'il est nécessaire de chiffrer. Cette partie de l'étude se base donc sur la liste de tous les achats faits lors de l'année 2021 (de janvier à décembre) par le compte de Phelma, (cf. excel "Dépenses 2021 - NACRES"). Ces données ont été mises à notre disposition par la gestionnaire du service Finance de Phelma, Laurence NEAULT, qui nous a indiqué que l'année 2021 était assez classique et représentative en termes de nature des dépenses faites par Phelma.

Malheureusement, ces données étaient difficilement exploitables, car à moins de reprendre toutes les factures une par une, il est difficile de relier une dépense en euros, caractérisée par un code NACRE (qui indique la catégorie à laquelle appartient la dépense) à un impact carbone fiable, les catégories NACRES étant très larges (exemple : le code NACRE AB.02 correspond à "Mobilier de bureau et de salles de réunion", ce qui reste assez vague pour interpréter ça en termes de bilan carbone). Ces données ne sont cependant pas disponibles en annexe, car leur diffusion n'est pas autorisée.

Toutefois, au vu des produits habituellement achetés par Phelma, on peut supposer que l'impact le plus important dans le bilan complet des achats est dû au renouvellement du parc informatique de Phelma. Un simple calcul nécessitant la connaissance de la taille de ce parc, de l'impact carbone d'un PC lors de sa durée de vie ainsi que cette durée de vie permet alors de retrouver l'impact carbone de tout le parc.

*Tableau 6 : Bilan carbone lié au nombre de postes informatiques de Phelma*

Taille du parc informatique (nombre de postes)	850 PC actifs
Durée de vie moyenne d'un PC	5 à 6 ans
Impact carbone d'un PC sur toute sa durée de vie (source : Documentation Base Carbone de l'ADEME)	189 kg CO <sub>2</sub> /produit
Impact total du parc informatique de Phelma	26 775 à 32 130 kg CO <sub>2</sub> /an

Au vu des résultats (environ entre 27 et 32 tonnes de CO<sub>2</sub> émises par an pour le simple renouvellement du parc informatique), les achats ne peuvent clairement pas être négligés dans le bilan global d'émissions de l'école : il serait nécessaire de s'y intéresser plus longuement pour en sortir un bilan carbone complet.

## 5) Bilan carbone du restaurant universitaire

L'organisation des cours à Phelma implique qu'un grand nombre d'élèves et de personnels mange au restaurant universitaire de Minatec le midi. Nous souhaitons prendre en compte cette activité dans notre BGES comme elle est induite par le fonctionnement de l'école.

### Nos hypothèses de travail :

- On néglige les boissons et denrées alimentaires consommées dans un autre cadre que le RU de Minatec (café du personnel, produits vendus par l'association étudiante Le Chalet, etc...)

### Données utilisées :

Nous nous sommes appuyés sur le BGES effectué sur l'année 2020 sur l'ensemble des restaurants universitaires du CROUS Grenoble Alpes (voir annexe 5). L'incertitude sur les chiffres donnés est estimée à 10%.

### Résultats :

Minatec représente  $4 \pm 1\%$  du BGES global d'après Gabriel Soleil. On choisit donc de faire une extrapolation en prenant 4% du total des émissions. On obtient ainsi  $260 \pm 91$  tCO<sub>2</sub>éq (calcul d'incertitude annexe 6) émis en 2020 par le Restaurant Universitaire de Minatec. 63% des émissions sont dues aux aliments consommés. Il est intéressant de noter

que dans le BGES global fourni par Gabriel Soleil, l'achat de bœuf constitue à lui seul 59% des émissions dues aux aliments consommés.

## **IV) Interprétation des résultats**

Après avoir réalisé ces différents bilans, nous voulions avoir une vision d'ensemble sur tous les calculs effectués pour pouvoir ensuite analyser nos résultats.

### **1) Bilan global sur les émissions notables**

Nous avons conclu ce bilan de gaz à effet de serre en regroupant tous les résultats obtenus dans la partie précédente.

La seule hypothèse notable en plus de toutes les hypothèses émises pour chaque partie du calcul est que **les résultats utilisés pour la partie "bilan carbone des consommations énergétiques" sont ceux ne tenant pas compte de la recherche**, puisque comme précisé en début de rapport, les activités de recherche et les émissions des laboratoires de Phelma en découlant ne font pas partie de notre bilan de gaz à effet de serre global.

Nous avons utilisé les résultats obtenus grâce à Excel avec des produits en croix et non ceux obtenus via le simulateur de Labo *1point5*.

*Tableau 7 : Bilan carbone global selon les différents postes d'émissions*

<b>Catégorie du bilan</b>	<b>Impact total carbone en kg CO<sub>2</sub> éq</b>	<b>Incertitudes (kg CO<sub>2</sub> éq)</b>
Consommations énergétiques (électricité + chauffage)	522 740,98	±83 004,3
Déplacements quotidiens (domicile-travail)	53 966,34	inconnues
Déplacements à l'international étudiants	487 341,6	±341 000
Achats de biens et services (PC)	29 452,5	inconnues
Restauration universitaire	259 360	±91 000
<b>Total</b>	<b>1 352 861,4</b>	<b>±515 004,3</b>

Il y a donc, selon toutes les hypothèses émises précédemment, **un total de 1 353 ± 515 tonnes de CO<sub>2</sub> équivalent émis par l'institution Phelma en 2019**. Voici la répartition des différents postes émetteurs en pourcentage :

Répartition des émissions du bilan global de gaz à effet de serre suivant la source pour l'institution Phelma en 2019

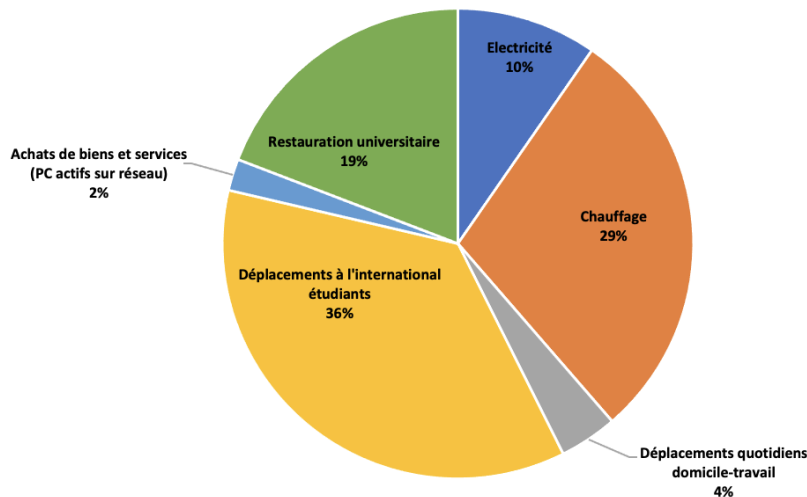


Figure 16 : Pourcentage des différentes sources d'émission CO<sub>2</sub> sur le bilan global de Phelma

Le **plus gros poste émetteur est donc les départs à l'étranger** des étudiants chaque année, suivi du chauffage, puis de la restauration universitaire et enfin de l'électricité. Contrairement à ce que l'on pourrait imaginer, les déplacements quotidiens domicile-travail ont un impact très faible à l'année sur le bilan total. De même que le nombre de PC actifs sur le réseau qui n'émet que très peu.

Cependant, ce bilan n'est pas aussi complet qu'il pourrait l'être. Il y a toujours plus de facteurs à ajouter à un tel calcul mais nous pensons avoir tout de même cibler les plus impactants. Nous savons que si nous avons pris tous les achats de biens et services en compte dans notre bilan, le résultat aurait été encore plus conséquent. En effet, après plusieurs discussions avec Isabella ZINE, Fanny DUROCHER et Thierry PELLARIN ayant chacun réalisé des BGES sur différents bâtiments, nous savons que les achats représentent une grosse partie des émissions d'une institution (plus de 33% du bilan global selon les calculs d'Isabella ZINE). Les déchets représentent également une catégorie impactante au niveau du bilan total, malheureusement nous n'avons pas réussi à récupérer de données à ce niveau et n'avons pas pu les intégrer à notre bilan.

Pour finir, il est intéressant de comparer ce bilan à celui effectué en 2019 pour tout Grenoble-INP (réalisé par Fanny DUROCHER et Isabella ZINE qui nous ont fourni leurs résultats) :

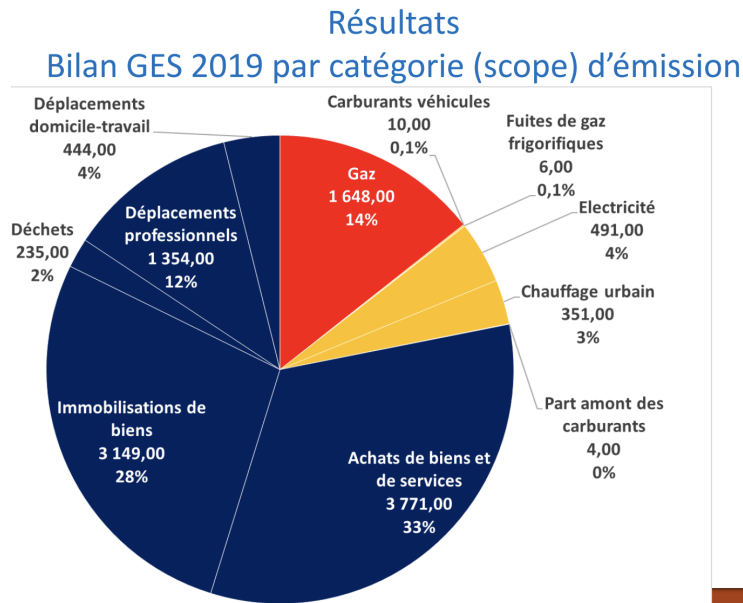


Figure 17 : Pourcentage des différentes sources d'émission CO<sub>2</sub> sur le bilan global de Grenoble-INP datant de 2019

Ce résultat les amène à un total de 11 463 ± 6 631 tonnes de CO<sub>2</sub> équivalent émises par le groupe Grenoble-INP en 2019. **Phelma représenterait donc 12% de ce bilan global**, ce qui semble très cohérent étant donné que c'est l'une des plus grandes institutions du groupe contenant huit écoles d'ingénieurs et de management, une prépa et une école d'ingénieurs partenaire, mais qu'ils manquent certaines catégories à notre bilan comme les parties achats ou déchets qui ne sont pas négligeables.

On peut finalement comparer nos résultats à ceux déterminés par des étudiants de l'E3 en 2019 également :

Répartition des origines des émissions de GES à l'ense3

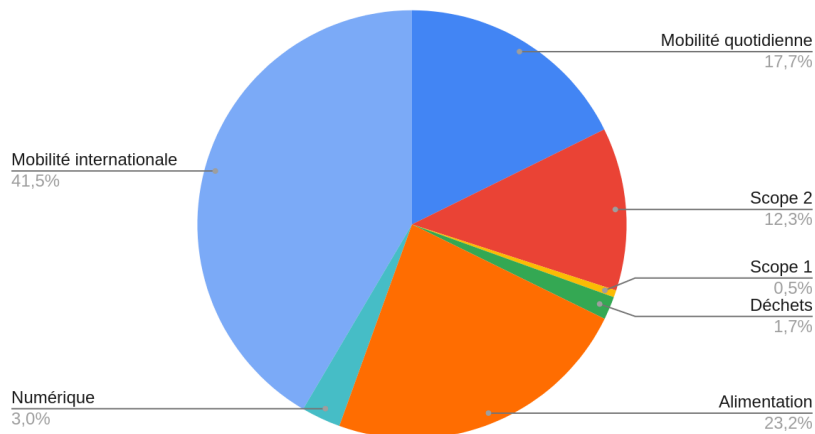


Figure 18 : Pourcentage des différentes sources d'émission CO<sub>2</sub> sur le bilan global de l'ENSE3 datant de 2019

Ce bilan représente alors un **total de 1303 tonnes de CO<sub>2</sub> équivalent émises par l'ENSE3 en 2019**. On arrive donc au même résultat global que cette école. Ceci est rassurant puisque ces deux écoles sont de tailles pratiquement équivalentes (Phelma est un peu plus grande), proposent des formations semblables, accueillent les mêmes profils d'étudiants et usent des mêmes moyens technologiques et financiers pour fonctionner.

## 2) Pistes de solutions fournies

Après avoir réalisé ce bilan de gaz à effet de serre complet, nous sommes à présent en mesure de dégager des solutions ou des pistes vers lesquelles se tourner afin de venir répondre à notre problématique de départ : **"Comment Phelma peut réaliser une transition énergétique concrète afin de réduire son impact carbone ?"**. Le but n'est pas ici de donner des leçons mais plutôt de cibler des enjeux ou des solutions potentielles pour se tourner vers une réduction drastique des émissions de gaz à effets de serre, à partir du bilan global qui a été dessiné. Nous avons donc établi une liste de solutions qui nous sont venues à l'esprit au cours du projet, ou que nous avons discutées lors de certains de nos entretiens et nous avons essayé d'analyser leur adéquation avec le mode de fonctionnement actuel de Phelma.

1. Dans un premier temps, nous avons vu que l'impact des mobilités à l'international n'était pas négligeable dans le bilan total de GES. Nous proposons donc deux solutions pour réduire cette contribution :
  - **Réduire le panel de destinations à l'Europe uniquement** puisque l'empreinte carbone est beaucoup plus faible pour ce type de voyage (350 kg CO<sub>2</sub> éq/élève au lieu de 3082 kg CO<sub>2</sub> éq/élève pour l'Asie par exemple).  
Si les 492 élèves partis à l'étranger en 2018-2019 étaient tous partis en Europe, les émissions s'élèveraient à 172 ± 120 tCO<sub>2</sub>éq. Cela diviserait donc par trois les émissions dues à la mobilité à l'internationale.
  - **Inciter les élèves (et même la population en général) à faire les trajets en train**. Il faut cependant noter que l'offre des compagnies de train ne permet en général pas facilement de parcourir de grandes distances au sein de l'Europe et propose des prix assez élevés comparés aux offres en avion. L'école pourrait, par exemple, proposer une aide financière ou une compensation aux élèves se déplaçant en train.  
Les émissions pour l'Europe sont divisées par 4 lorsque l'on utilise le train plutôt que l'avion (350 ± 245 kg CO<sub>2</sub> éq/élève en avion contre 78 ± 16 kg CO<sub>2</sub> éq/élève en train).  
Ainsi, **si l'on cumule les deux contraintes (partir uniquement en Europe et en train), les émissions s'élèveraient pour l'année scolaire 2018-2019 à 38 tCO<sub>2</sub> éq soit 12 fois**

**moins que le bilan réel.** Cette solution ne nous semble pas moralement infaisable : elle ne porte pas atteinte à la qualité de l'enseignement de Phelma ni au travail de l'administration, elle fait partie des solutions qui réduisent efficacement et de manière durable les émissions de GES et elle est facilement compréhensible par le public concerné à Phelma.

2. D'autre part, il serait aussi intéressant de réduire la part des émissions dues à la restauration à Phelma. Nous basons nos analyses sur les chiffres du BGES de l'ensemble du CROUS Grenoble Alpes (donné dans l'annexe 5) en considérant que les menus et les comportements sont similaires entre tous les restaurants universitaires. La consommation de viande (en particulier de bœuf) apparaît comme étant le principal poste d'émission de GES. **Limiter la consommation de viande** aurait donc un impact direct et non négligeable sur la partie restauration du BGES. Ainsi, **réduire de moitié la consommation de viande en proposant par exemple plus de menus végétariens et moins de viande servie par assiette permettrait de réduire de 25% les émissions de GES.** Par ailleurs, il est intéressant de noter que la viande bovine (steack haché) a un facteur d'émission de 52,4 kg CO<sub>2</sub> éq/kg poids net contre 7,31 kg CO<sub>2</sub> éq/kg poids net pour un filet de poulet et 12,1 kg CO<sub>2</sub> éq/kg poids net pour une côte de porc [12]. Il serait donc intéressant de **réduire la consommation de viande de bœuf** au profit de la volaille et de la viande de porc. N'ayant pas à disposition le détail des quantités de viandes consommées au sein du CROUS, nous ne pouvons pas fournir de données quantitatives à ce niveau. Cette solution a une forte dimension sociale puisqu'elle vient remettre en cause nos comportements et habitudes alimentaires, ce qui pourrait en déranger certains. Il ne faudrait donc pas qu'elle induise un effet rebond en poussant certains élèves à ne plus manger au restaurant universitaire mais à rentrer manger chez eux le midi pour consommer plus de viande. C'est pourtant une solution qui reste des plus envisageables : le Crous s'y tourne de plus en plus en proposant par exemple tous les jours des repas végétariens dans chacun de ses restaurants, sans que leurs fréquentations n'aient diminué depuis. [13]
3. Une autre solution, qui peut paraître originale (mais qui est déjà en application dans plusieurs pays comme en Corée du Sud [14]), serait de remanier l'emploi du temps des vacances scolaires actuel. Nous avons mesuré **l'impact que générerait une modification des grandes vacances pour les placer sur la période d'hiver de janvier-février au lieu de les garder en été (juillet-août).** En effet, l'un des plus gros facteurs d'émission de Phelma reste le chauffage de chacun des bâtiments (occupés ou non) qui est particulièrement actif sur la période hivernale. Si l'école fermait sur cette période de forte consommation, cela limiterait l'impact carbone de l'école. A contrario en été, en période de fonctionnement de l'école, nous n'aurions pas besoin de plus de chauffage pour maintenir nos activités.

Nous avons donc chiffré l'impact de cette solution. Nous avons à disposition grâce à Mme. NEAULT la consommation en MWh de chauffage de Minatec chaque mois de 2008 jusqu'à 2016. Nous n'avions pas un tel détail de données pour Phelma campus, notre calcul se base donc uniquement sur les données de Minatec. Nous avons pu en déduire combien de MWh de chauffage étaient consommés chaque mois en moyenne entre 2008 et 2016, nous avons considéré que ces valeurs étaient toujours d'actualité aujourd'hui et nous en avons conclu que les mois les plus émetteurs à ce niveau étaient janvier et février. Les calculs sont disponibles en annexe 4. Concernant les valeurs **pour Minatec**, si l'on considère que les grandes vacances ont lieu en janvier-février (l'école ferme), et donc que la consommation de chauffage sur cette période devient moindre et équivalente à celle des grandes vacances actuelle sur les mois de juillet-août (uniquement pour garder le bâtiment "à température ambiante"), mais que pour autant la consommation de chauffage sur les mois de juillet-août reste identique à ce qu'elle est actuellement puisqu'en plein été le chauffage est au minimum, alors **on obtient environ 53 tonnes de CO<sub>2</sub> éq d'émissions évitées**. Pour **Phelma campus**, comme nous n'avions pas de données, nous avons considéré (au vu de la comparaison des valeurs de kWh consommés en 2019 entre le campus et Minatec, et en sachant que la consommation de chauffage au campus en hiver est encore plus conséquente) que le même nombre de kWh consommés était évité grâce au changement de vacances. On obtient alors environ **87 tonnes de CO<sub>2</sub> éq d'émissions évitées** (l'impact carbone du gaz naturel est supérieur à celui du chauffage urbain). On a alors un **total de 140 tonnes de CO<sub>2</sub> éq d'émissions évitées, ce qui représenterait 10% du bilan global d'émission de gaz à effet de serre**. Cette solution est donc un moyen efficace de réduire l'impact carbone de Phelma, cependant elle fait partie des solutions qui nécessiterait une sorte de remaniement de la société puisque l'institution Phelma à elle seule ne peut pas décider de ce changement d'emploi du temps. Nous l'évoquons quand même car nous savons que cela se fait dans certains pays, la solution n'est donc pas utopique.

4. Pour finir, voici plusieurs pistes de solutions auxquelles nous avons pensé, mais qui ne sont pas forcément chiffrables sans données supplémentaires, ou à cause de leur complexité.
  - Nous avons imaginé n'avoir plus qu'un seul site sur lequel l'école serait active (idéalement Minatec vu l'âge récent et l'isolation des bâtiments, et non Phelma campus). Les étudiants habiteraient idéalement tous plus proches du centre de Grenoble et de Minatec plutôt qu'à mi-chemin entre le campus et Minatec. Cela limiterait les déplacements quotidiens jusqu'au campus (que nous ne pouvons pas chiffrer car nous ne disposons pas des données concernant les aller-retour quotidiens selon les sites). De plus, l'isolation du campus étant moins bonne qu'à Minatec et le chauffage se faisant au gaz



naturel, beaucoup plus émetteur de gaz à effet de serre que le chauffage urbain, cette solution améliorerait l'impact carbone de l'école. Malheureusement après discussion de cette solution avec les dirigeants de l'école, nous avons constaté qu'un tel remaniement n'était pas possible tant sur le plan économique qu'au niveau de la surface constructible disponible sur la Presqu'île.

- Instaurer le plus de cours possibles en télétravail : cette solution permettrait de s'affranchir d'une grande partie du bilan carbone, car les locaux inoccupés n'auraient pas besoin d'être chauffés ni éclairés, et les élèves n'auraient pas à prendre les transports pour venir en cours. Toutefois, l'utilisation des ordinateurs personnels ainsi que des serveurs informatiques liée à la mise en place de cours en visioconférence aurait besoin d'être ajoutée au bilan carbone. C'est une piste qui pourrait être chiffrée en recherchant des données sur la consommation énergétique des serveurs, et en analysant les emplois du temps afin de déterminer le nombre d'heures qui pourraient être passées en distanciel.

Toutefois, cette solution pose un problème éthique, car il n'est pas certain que tous les élèves disposent d'un ordinateur personnel pour assister à ces cours. De plus, les cours en distanciel peuvent être difficiles à suivre pour les élèves, et à réaliser pour les enseignants, car l'absence de contact direct et d'interactions est difficile à remplacer.

- Une autre solution imaginable serait un remaniement complet du campus, sur le modèle américain ou chinois, qui rend le campus autosuffisant en matière de transport et de nécessités. Cette mesure permettrait de proposer aux étudiants logements, école et commerces essentiels sur le campus, ce qui permettrait d'éviter des mobilités quotidiennes carbonées, ainsi que diminuer l'impact énergétique du logement des étudiants (non pris en compte dans notre bilan). Au niveau du bilan carbone, cela permettrait notamment de diminuer énormément l'impact du transport quotidien, mais pourrait potentiellement augmenter l'impact du chauffage dans le cas où les logements des étudiants sur le campus étaient gérés ou rattachés directement à l'école.
- Une autre solution qui pourrait être intéressante est la rénovation énergétique complète des bâtiments du campus. Beaucoup des intervenants rencontrés nous ont signalé que la mauvaise isolation du campus occasionne d'importantes pertes énergétiques, d'autant plus si on prend en compte le bâtiment recherche, dont l'isolation est très mauvaise. Des connaissances plus poussées dans le domaine de la rénovation énergétique et de

l'urbanisme, ainsi qu'une rencontre avec des ingénieurs travaillant dans l'audit et la rénovation énergétique auraient été nécessaires afin de développer et chiffrer cette solution. Cette option permettrait notamment de réduire l'impact carbone du chauffage des bâtiments du campus, toutefois, il faudrait calculer l'impact carbone des travaux, afin de pouvoir chiffrer une période d'amortissement (en terme d'impact carbone) pour les travaux de rénovation de cette partie de Phelma. C'est déjà un projet qui voit le jour, car une initiative est lancée pour rénover de nombreux bâtiments énergivores de l'université Grenoble Alpes.

- Une solution à laquelle on pourrait penser, qui se trouve être plus une interrogation qu'une solution, est la remise en question de l'éthique carbone de la formation des ingénieurs en France. Est-il vraiment nécessaire, si l'on est dans une démarche de transition énergétique totale, de mettre tant de moyens et d'énergie dans la formation d'ingénieurs ? Cette "solution" touche à des notions de décroissance, de planification de la transition énergétique, et se trouve être trop large et philosophique pour être proprement abordée dans ce rapport ; c'est toutefois une piste qu'il est essentiel d'envisager dès lors que l'on parle de réduire l'impact carbone d'une institution telle que Phelma.

L'objectif originel de ce projet étant de proposer des solutions qui permettraient de réduire l'impact carbone de Phelma d'ici 2050, il aurait également été intéressant de prévoir différents scénarios d'évolution de la société, afin d'analyser plus proprement l'adéquation de chaque solution proposée selon différents scénarios pour 2050. Par exemple, on pourrait imaginer que si la société se dirigeait vers un mix énergétique beaucoup moins carboné, l'impact carbone du chauffage et de l'éclairage serait amoindri, ou en imaginant que en 2050, les transports en commun marchent toujours avec des énergies fossiles, dont l'EROI aura diminué (si l'on se fie aux modélisations existantes), l'impact des mobilités quotidiennes en serait augmenté. Pour conclure, nous aurions pu récapituler toutes ces solutions sous la forme d'un tableau matriciel afin d'estimer leur pertinence selon les différents scénarios d'évolution de Phelma (si une solution est bonne sur une majorité de scénarios, elle est bonne, si elle n'est bonne que sur un seul scénario et non sur les autres, elle n'est pas forcément pertinente).

Tableau 8 : Exemple d'une matrice d'analyse de pertinence des solutions

	Solution 1	Solution 2	Solution 3
Scénario 1	+ (Réduction de x kg de CO2 dans le bilan)	+ (Réduction de x kg de CO2 dans le bilan)	+ (Réduction de x kg de CO2 dans le bilan)
Scénario 2	- (Augmentation de x kg de CO2 dans le bilan)	+ (Réduction de x kg de CO2 dans le bilan)	- (Augmentation de x kg de CO2 dans le bilan)
Scénario 3	+ (Réduction de x kg de CO2 dans le bilan)	+ (Réduction de x kg de CO2 dans le bilan)	- (Augmentation de x kg de CO2 dans le bilan)
Bilan	<b>Assez bonne solution</b>	<b>Très bonne solution</b>	<b>Solution peu pertinente / à repenser</b>

## Conclusion

Pour conclure, nous avons réalisé le bilan de gaz à effet de serre de Phelma pour l'année 2019 donnant un total de **1 353 ± 515 tonnes de CO<sub>2</sub> équivalent**. Ce travail nous a permis de cibler les principaux postes émetteurs : les départs à l'étranger des étudiants, le chauffage, la restauration universitaire et l'électricité.

Nous tenons à rappeler que tout au long des calculs menés dans le cadre du BGES de Phelma, nous avons dû faire de nombreuses hypothèses pour pouvoir composer avec les données que nous avons à disposition. Les résultats de notre travail présentent de fortes incertitudes, il est donc nécessaire de nuancer notre analyse et nos solutions dégagées. Par exemple, il serait intéressant de refaire un BGES sur la restauration de Phelma en se basant sur les chiffres exacts du Restaurant Universitaire de Minatec et non sur une extrapolation des données sur l'ensemble du CROUS Grenoble Alpes. Cela permettrait de faire une meilleure estimation avec une plus petite incertitude. Nous n'avons pas intégré l'impact des déchets générés par Phelma par manque de données. Pour proposer un BGES le plus complet possible, il serait nécessaire d'y intégrer cette catégorie. Il serait également important de tenir compte de tous les achats de biens et services dans le bilan complet puisqu'au vu des résultats récupérés sur le BGES de Grenoble-INP, cette catégorie n'est pas négligeable.

Comme nous avons pu le constater tout au long de ce semestre, la récupération et l'analyse de toutes ces données prend du temps, c'est pourquoi nous pensons qu'il pourrait

être intéressant de proposer à nouveau ce projet à de futurs 3A pour compléter notre étude avec plus de détails, moins d'incertitudes et d'hypothèses, et surtout idéalement travailler sur plus de solutions ou de scénarios permettant d'accompagner Phelma dans la transition énergétique. Nous sommes restés un peu "frustrés" sur cette partie car nous savions qu'elle avait une part importante dans ce projet, mais le manque de temps et le délai de récupération des données nous ont fait défaut.

Au travers de nos différents entretiens, il est ressorti que la lourdeur administrative (normes, démarches à effectuer pour programmer des travaux) ainsi que le manque d'argent et de personnel dédié à la transition énergétique apparaissent comme étant les principaux freins vers une réelle transition énergétique de l'école. Cette thématique serait à creuser si le projet venait à être proposé à nouveau à d'autres élèves. Ce projet lui-même pourrait alors donner lieu à plusieurs petits projets à mettre en place à Phelma afin de réduire durablement son impact environnemental.

Finalement ce travail nous a permis de mieux cerner les enjeux de la transition énergétique. Du fait de sa forte dimension sociale un peu "en décalé" du monde scientifique qui nous est plus commun, il a été très riche en découvertes, en partage de connaissances mais aussi en rencontres, élargissant ainsi notre réseau sur Grenoble autour de cette thématique. Ce fut un moyen très concret de mettre en application le cours de *Génie de la Transition* qui nous a été dispensé cette année. Il nous a aussi éveillé à toutes les problématiques liées au bâtiment et plus globalement au secteur tertiaire. Il a donc été très enrichissant et nous avons réellement apprécié de le travailler tout au long de ce dernier semestre.

## **Bibliographie**

- [1] S. P. Michaux, Assessment of the Extra Capacity Required of Alternative Energy Electrical Power Systems to Completely Replace Fossil Fuels (2021)
- [2] ISO. (2018) ISO 14064-1:2018. Disponible sur :  
<https://www.iso.org/fr/standard/66453.html> (Consultée le 18/01/2022)
- [3] Base Carbone ADEME. (2021) Mix réseau électrique - France continentale - Moyen. Disponible sur :  
<https://bilans-ges.ademe.fr/fr/basecarbone/donnees-consulter/liste-element/categorie/64/siGras/1> (Consultée le 02/12/2021)
- [4] Cours de génie de la transition énergétique (2021/2022) - Raphaël BOICHOT
- [5] Base Carbone ADEME. (2021) Réseaux de chaleur/Froid -Rhônes-Alpes - 38.Isère. Disponible sur :  
<https://bilans-ges.ademe.fr/fr/basecarbone/donnees-consulter/liste-element/categorie/454/siGras/1> (Consultée le 02/12/2022)
- [6] Collectif *Labo 1point5*. (2021) Outil de calcul d'empreinte carbone. Disponible sur :  
<https://labos1point5.org/ges-1point5> (Consultée le 15/11/2022)
- [7] Base Carbone ADEME. (2021) Transport de personnes - Aérien - Court, Moyen , Long courrier. Disponible sur :  
<https://bilans-ges.ademe.fr/fr/basecarbone/donnees-consulter/liste-element/categorie/547> (Consultée le 19/01/2022)
- [8] Mon impact transport. (2021) Quand je parcours .. km j'émet. Disponible sur :  
[https://monimpacttransport.fr/?transportations=6\\_1\\_9\\_3\\_11\\_13\\_14\\_12\\_2\\_8\\_7\\_5\\_4](https://monimpacttransport.fr/?transportations=6_1_9_3_11_13_14_12_2_8_7_5_4) (Consultée le 20/01/2022)
- [9] Base carbone Ademe. (2013) Documentation Base Carbone Version 1.01. Disponible sur :  
<https://bilans-ges.ademe.fr/static/documents/%5BBase%20Carbone%5D%20Documentation%20g%C3%A9n%C3%A9rale%20v11.0.pdf> (Consultée le 21/01/2022)
- [10] Conseil Européen. (2021) Accord de Paris sur le changement climatique. Disponible sur :  
<https://www.consilium.europa.eu/fr/policies/climate-change/paris-agreement/> (Consultée le 21/09/2022)
- [11] Métropole de Grenoble. (2021) Réseau de chaleur. Disponible sur ;  
<https://www.grenoblealpesmetropole.fr/615-la-densification-du-reseau-de-chaleur.htm> (Consultée le 22/01/2022)
- [12] Base Carbone ADEME. (2021) Achats de biens - Produits agro-alimentaires - Viandes cuites. Disponible sur :  
<https://bilans-ges.ademe.fr/fr/basecarbone/donnees-consulter/liste-element/categorie/642> (Consultée le 22/01/2022)
- [13] Dossier de presse. (2019) Un plat végétarien tous les jours, dans tous les Crous. Disponible sur :

<https://www.etudiant.gouv.fr/fr/un-plat-vegetarien-tous-les-jours-dans-tous-les-crous-1432>

(Consultée le 23/01/2022)

[14] Sélection.ca. (2018) Les calendriers scolaires à travers le monde. Disponible sur :

<https://www.selection.ca/sante/famille/les-calendriers-scolaires-travers-le-monde/>

(Consultée le 23/01/2022)

## **Annexes**

**Annexe 1** : Données fournies par Pierre BAJARD pour les consommations énergétiques

Onglets "Synthèse Minatec 2019" et "Synthèse campus 2019" du fichier Excel fourni en zip

**Annexe 2** : Hypothèses liées au calcul de l'empreinte carbone via l'outil GES de *Labo 1point5* (source [6])

### **"Méthode générique :**

Pour une activité donnée émettrice de GES, les émissions de GES sont calculées de la façon suivante : Quantité d'activité émettrice de GES \* Facteur d'émission de cette activité exprimé en équivalent CO<sub>2</sub>(eCO<sub>2</sub>)

Par exemple, le véhicule diesel d'un labo qui effectue 10 000 km sur une année émet 10 000 \* 0,190 = 1 900 kg eCO<sub>2</sub>, car le facteur d'émission (combustion + amont) d'un km parcouru par un véhicule diesel moyen français est de 0,190 kg eCO<sub>2</sub> (source Base Carbone Ademe juillet 2020).

Au-delà de ce calcul simple, divers éléments sont à considérer en fonction des activités émettrices et eu égard aux facteurs d'émission.

Nous avons homogénéisé les facteurs d'émission à partir des données de la Base Carbone de l'Ademe et d'autres sources quand c'était nécessaire, de manière à ce que les facteurs d'émission totaux se décomposent en facteurs d'émission liés à la combustion, facteurs d'émission "amont" et facteurs d'émission "fabrication".

### **Émissions de combustion / émissions amont / émissions de fabrication :**

Les émissions générées par une activité incluent d'une part les émissions provenant de la combustion des combustibles utilisés pour cette activité, d'autre part les émissions "amont" provenant de la chaîne de production de l'énergie (extraction, transport, raffinage / traitement, distribution), et enfin celles provenant de la fabrication des équipements utilisateurs d'énergie.

Ces 3 types d'émissions sont inclus dans le calcul de l'empreinte carbone des activités. Ils sont répartis en plusieurs postes dans le bilan GES réglementaire.

### **Bilan réglementaire :**

Le BGES réglementaire de l'outil présente les calculs d'émissions de GES dans le format imposé par la réglementation en vigueur en France (MEEM, Méthode pour la réalisation des bilans d'émissions de GES, conformément à l'article L.229-25 du code de l'environnement, version 4, octobre 2016, 88 p.).

Il distingue 3 catégories d'émissions :

- Catégorie 1 : émissions directes, c'est-à-dire générées par les sources de GES, fixes et mobiles, contrôlées par le labo ;
- Catégorie 2 : émissions indirectes associées à l'énergie, provenant de la production de l'électricité, de la chaleur ou de la vapeur consommées par le labo pour ses activités ;
- Catégorie 3 : émissions indirectes autres que les émissions associées à l'énergie, qui sont une conséquence des activités du labo mais qui proviennent de sources de GES contrôlées par d'autres entités.

Au sein de chaque catégorie, les émissions des postes suivants ont été prises en compte dans l'outil.

**Catégorie 1 :**

- Poste 1 : émissions des sources fixes de combustion dont le labo a le contrôle (équipements de chauffage) ;
- Poste 2 : émissions des sources mobiles dont le labo a le contrôle (véhicules) ;
- Poste 4 : émissions fugitives liées aux fuites des systèmes de réfrigération dont le labo a le contrôle.

**Catégorie 2 :**

- Poste 6 : émissions indirectes liées à la consommation d'électricité du labo ;
- Poste 7 : émissions indirectes liées à la consommation de vapeur, chaleur ou froid du labo.

**Catégorie 3 :**

- Poste 8 : émissions liées à l'énergie non incluses dans les catégories "émissions directes de GES" et "émissions indirectes associées à l'énergie". Ce poste inclut toutes les émissions "amont" liées à la chaîne de production d'énergie finale. Il s'agit des émissions associées à l'extraction, au transport, au raffinage / traitement et à la distribution des combustibles et de l'électricité ;
- Poste 10 : émissions liées aux immobilisations de biens. Ce poste inclut toutes les émissions intégrées dans le matériel informatiques hors de la phase d'usage.
- Poste 13 : émissions liées aux déplacements professionnels ;
- Poste 22 : émissions liées aux déplacements domicile travail.

Pour les postes 1, 2, 6 et 7, les émissions liées aux consommations d'énergie ont été calculées en utilisant les facteurs d'émission "hors amont". Les émissions liées à "l'amont" des combustibles ont été comptabilisées dans le poste 8.

**Empreintes carbone :**

L'empreinte carbone représente l'estimation globale des émissions du laboratoire sur le périmètre retenu. Pour ce "premier niveau" de l'outil, elle est la somme de l'empreinte carbone des bâtiments et de l'empreinte carbone des déplacements. Les calculs sont effectués à partir des émissions calculées pour les différents postes du BGES réglementaire.

Par construction, l'empreinte carbone d'un laboratoire est égale au total de son BGES réglementaire.

**Empreinte carbone des bâtiments (ECB) :**

Ce sont les émissions générées par les consommations d'énergie et de fluides frigorigènes des bâtiments du labo.

ECB = Empreinte chauffage + Empreinte électricité + Empreinte refroidissement

Empreinte chauffage des bâtiments = total émissions du poste 1 + total émissions poste 7 + total émissions poste 8 liées au chauffage du BGES réglementaire

Empreinte électricité des bâtiments = total émissions du poste 6 + total émissions poste 8 liées à l'électricité du BGES réglementaire

Empreinte refroidissement = total émissions du poste 4 du BGES réglementaire

**Empreinte carbone des déplacements (ECD) :**

ECD = Emissions des déplacements domicile-travail + Emissions des déplacements professionnels

Emissions des déplacements domicile-travail = émissions du poste 22 du BGES réglementaire



Emissions des déplacements professionnels = émissions des véhicules exploités par le labo + émissions des missions

Emissions des véhicules exploités par le labo = émissions du poste 2 du BGES réglementaire +total émissions poste 8 relatives aux véhicules du BGES réglementaire

Emissions des missions = émissions du poste 13 du BGES réglementaire

### Empreinte carbone du matériel informatique (ECMI) :

Ce sont les émissions liées à la fabrication des matériels informatiques achetés par le laboratoire. Ces émissions sont estimées en utilisant la base de données de l'outil Ecodiag du GDS Ecoinfo du CNRS. Les émissions liées aux consommations d'électricité du matériel informatique ne sont pas prises en compte dans l'empreinte carbone du matériel informatique, car elles sont incluses dans les consommations d'énergie des bâtiments (empreinte carbone des bâtiments).

ECMI = total émissions poste 10 liées aux achats de matériel informatique. "

### Annexe 3 : kg de CO<sub>2</sub> équivalent/km selon le transport utilisé (source [8])

*Tableau 9 : Impact carbone des différents modes de transport*

Modes de transport	Impact carbone en kg CO <sub>2</sub> éq/km (Source ADEME)
à pied	0
à vélo	0
à trottinette ou vélo électrique	0,002
en tramway	0,0022
Bus (Taux de remplissage : 10 personnes; au gazole)	0,103
Train (ter)	0,0248
Covoiturage (moyenne de 2,5 personnes dans la voiture)	0,0804
Moto/scooter (Deux roues thermiques < 250cm <sup>3</sup> )	0,0616
Voiture électrique (les données intègrent les émissions liées à l'électricité pour recharger le véhicule. Comme pour les autres modes de transports, elles n'intègrent pas la fabrication des véhicules et les émissions liées aux infrastructures routières.)	0,0198
Voiture hybride (moyenne faite entre valeurs trouvées sur internet + moyenne entre électrique et thermique)	0,1
Voiture à combustible	0,193

**Annexe 4** : Calculs réalisés pour quantifier la solution du remaniement de l'emploi du temps des vacances scolaires (solution 3 - partie IV)

Concernant Minatec :

*Tableau 10 : Calculs réalisés sur Minatec pour mesurer le pourcentage d'émissions de GES évitées grâce à un remaniement des vacances scolaires*

	impact en kg CO <sub>2</sub> éq/ kWh	kWh consommés sur ces 2 mois d'après les données fournies	Impact carbone généré par le chauffage (kg CO <sub>2</sub> éq)
Chauffage en janvier-février	0,141	447444,4444	63089,66667
Chauffage en juillet-août	0,141	70152,77778	9891,541667

émissions actuelles CO <sub>2</sub> générées par le chauffage (kg CO <sub>2</sub> éq)	72981,20833
émissions CO <sub>2</sub> générées par le chauffage si remaniement (kg CO <sub>2</sub> éq)	19783,08333
émissions ainsi évitées (kg CO <sub>2</sub> éq)	53198,125

Concernant Phelma campus si on imagine qu'on économise le même nombre de kWh à Minatec qu'au campus :

*Tableau 11 : Calculs réalisés sur le campus pour mesurer le pourcentage d'émissions de GES évitées grâce à un remaniement des vacances scolaires*

	kg CO <sub>2</sub> éq/ kWh	kWh consommés sur ces 2 mois d'après les données fournies	Impact carbone généré par le chauffage (kg CO <sub>2</sub> éq)
Chauffage en janvier-février	0,23	447444,4444	102912,2222
Chauffage en juillet-août	0,23	70152,77778	16135,13889

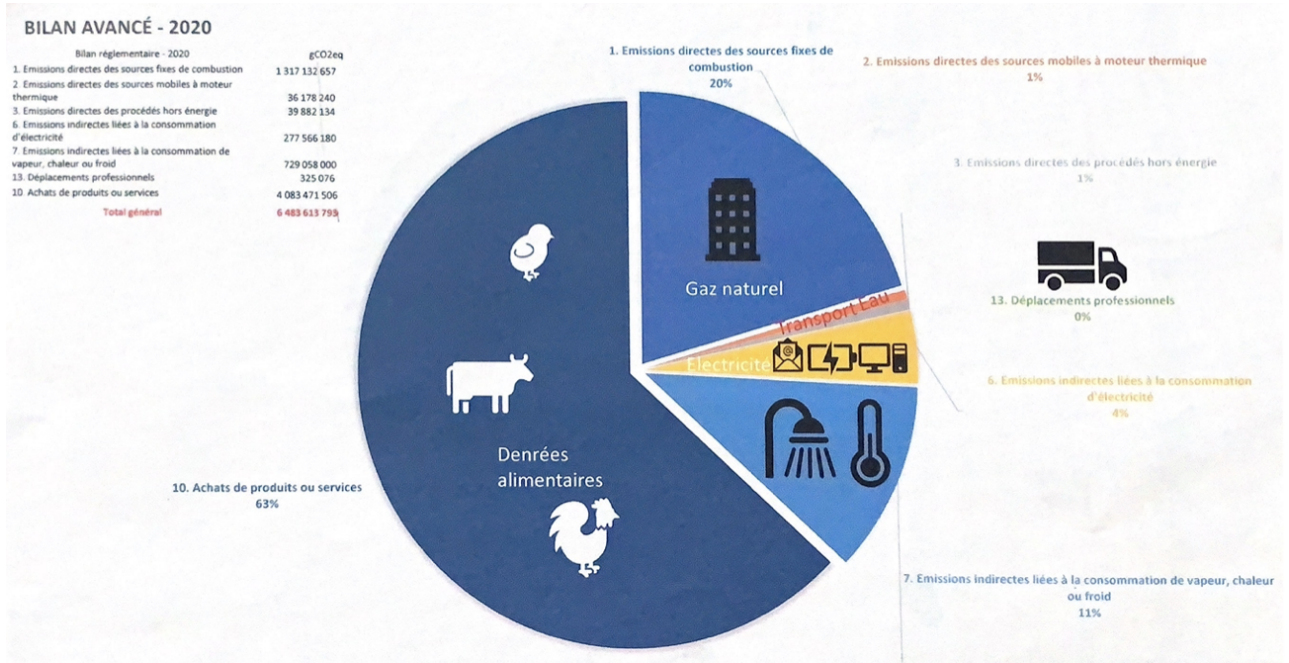
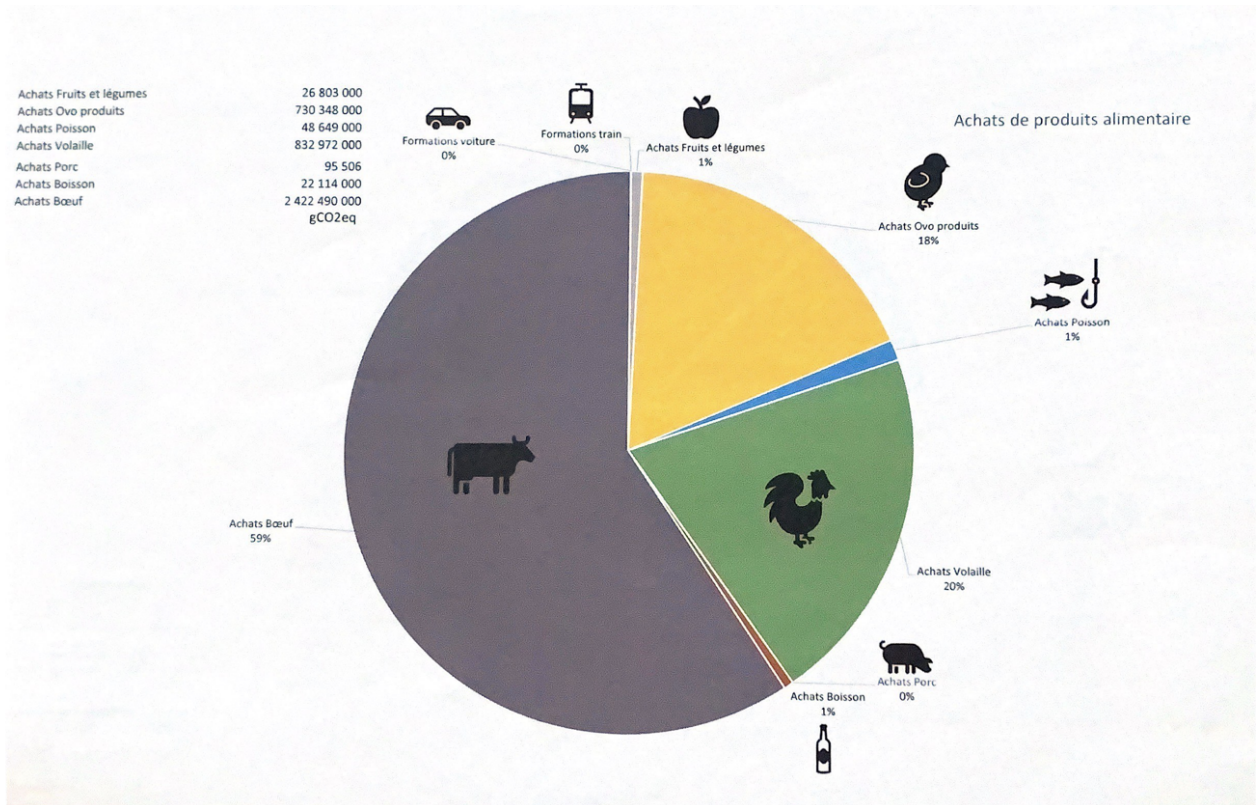
émissions actuelles CO <sub>2</sub> générées par le chauffage (kg CO <sub>2</sub> éq)	119047,3611
émissions CO <sub>2</sub> générées par le chauffage si remaniement (kg CO <sub>2</sub> éq)	32270,27778
émissions ainsi évitées (kg CO <sub>2</sub> éq)	86777,08333

Bilan global :

*Tableau 12 : Pourcentage d'émissions de GES ainsi évitées*

Total émissions évitées grâce au remaniement (kg CO <sub>2</sub> éq)	139975,2083
Bilan global émissions	1352861,42
Pourcentage d'émissions évitées	10%

### Annexe 5 : BGES du CROUS Grenoble Alpes sur l'année 2020



### Annexe 6 : Calcul d'incertitude

Soit  $y = x_1 * x_2$  alors  $\frac{\Delta y}{y} = \frac{\Delta x_1}{x_1} + \frac{\Delta x_2}{x_2}$

Dans notre cas,  $\Delta y = \left( \frac{0.1 * 6484}{6484} + \frac{1}{4} \right) * 260 = 91$

Annexe 7 : Diagramme de Gantt

