



HAL
open science

Bilan carbone d'une équipe de recherche à l'Inria

Sylvain Chevillard, Martine Olivi

► **To cite this version:**

Sylvain Chevillard, Martine Olivi. Bilan carbone d'une équipe de recherche à l'Inria. [Rapport Technique] Inria Sophia Antipolis - Méditerranée. 2021. hal-03268844v2

HAL Id: hal-03268844

<https://inria.hal.science/hal-03268844v2>

Submitted on 1 Sep 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Bilan carbone d'une équipe de recherche à l'Inria

Sylvain Chevillard et Martine Olivi

Équipe-projet Factas, Inria Sophia Antipolis Méditerranée

Table des matières

1	Contours du bilan	3
1.1	Missions	3
1.2	Trajets domicile-travail	4
1.3	Repas à la cantine	4
1.4	Équipements informatiques	5
1.5	Consommation électrique, chauffage, climatisation	5
1.5.1	Données disponibles	6
1.5.2	Estimation des émissions	7
1.6	Impressions	8
1.7	Émissions non comptabilisées	8
2	Bilan chiffré	9
2.1	Répartition des différents postes d'émission	9
2.2	Zoom sur les missions	14
2.3	Répartition des émissions dues aux fluides.	19
3	Conclusion	21
4	Annexe : données brutes et facteurs de conversion utilisés	22
4.1	Énergie des bâtiments	22
4.2	Moyens de transport	23
4.3	Repas	24
4.4	Autres	24

Note préliminaire : ceci est une version amendée du rapport déposé sous HAL. Il s'agit de la v2. Les modifications par rapport à la v1 sont les suivantes : corrections et ajouts mineurs dans l'annexe, correction du bilan des équipements suite à la découverte d'une légère erreur de calcul, correction du bilan des repas de l'agent H (qui était légèrement sous-estimé par rapport à ce qui est mentionné dans le fichier de données joint au dépôt) et du coup changement de nom : l'agent qui s'appelait H s'appelle désormais I et réciproquement, afin que les profils présentés en figure 3 soient toujours en ordre croissant. Par ailleurs, dans le fichier de données des missions 2018 joint au dépôt, correction d'une erreur : les missions d'un agent de l'équipe (noté P ; il n'était plus présent dans l'équipe en 2019) étaient incorrectement considérées comme des missions d'invités. Ceci affecte uniquement le fichier de données joint, et non les résultats présentés en figure 2, qui étaient déjà calculés en tenant compte de cette correction. Enfin, un script a été ajouté au dépôt, qui montre comment exploiter les fichiers de données joints.

Nous avons réalisé le bilan des émissions de gaz à effet de serre (GES) d'une équipe du centre de recherche Inria de Sophia Antipolis pour l'année 2019. L'équipe comprenait cette année-là 5 permanents, 5 doctorants, 1 post-doc, une assistante d'équipe à mi-temps et a accueilli pendant quelques mois deux stagiaires de master.

1 Contours du bilan

Pour établir le bilan carbone de l'équipe, nous avons décidé de prendre en compte les transports liés aux missions, ceux liés aux trajets domicile-travail, les émissions liées aux repas pris au restaurant d'entreprise, les émissions liées à l'énergie grise des équipements informatiques possédés par l'équipe, les émissions liées à la consommation électrique ainsi qu'au chauffage/climatisation et enfin celles liées aux impressions.

Faute de données disponibles, nous n'avons pas pris en compte les émissions liées aux infrastructures nationales (serveurs divers). Nous avons également fait le choix de ne comptabiliser que les émissions de l'équipe à proprement parler, sans y inclure une proportion de celles liées au fonctionnement de toutes les équipes de soutien et support à la recherche.

1.1 Missions

Parmi les missions liées à l'activité de l'équipe, on peut distinguer :

- les missions sans frais pour l'équipe (par exemple, invitation tous frais payés à parler dans un séminaire) ;
- les missions de personnels étrangers à l'équipe, mais payées par l'équipe (typiquement, le cas symétrique du précédent, où l'on invite un collaborateur à venir présenter un résultat) ;
- les missions de personnels de l'équipe, payées sur un budget de l'équipe.

Si le dernier cas ne pose pas trop de questions, nous nous sommes interrogés sur la façon dont il convenait de comptabiliser les deux autres cas. Nous avons adopté le point de vue « le payeur est imputable des émissions liées au déplacement ». Il nous est en effet apparu que le payeur est celui qu'on peut logiquement considérer comme le plus intéressé à ce que le déplacement ait lieu, et donc responsable des émissions résultantes. En outre, dans la mesure où les outils internes permettent un suivi assez précis des dépenses, il nous a semblé que ce point de vue nous permettrait d'établir facilement un listing fiable et relativement automatisé des missions concernées.

Les billets de train ou d'avion achetés via le portail informatique du marché étaient plutôt faciles à lister ; il était en revanche plus compliqué de lister les billets achetés directement par l'agent. Nous avons néanmoins pu le faire en épiluchant manuellement les demandes de remboursement. Cela

nécessite cependant un travail un peu laborieux, qu'on imagine difficilement reproductible pour une généralisation de l'exercice, par exemple à toutes les équipes de recherche de l'Inria.

Nous avons comptabilisé tous les types de déplacements (voiture, taxi, bus, métro, train, avion, et même bateau) en utilisant les facteurs de conversion plus ou moins fiables dont nous disposions (voir « Facteurs de conversion utilisés »), mais nous n'avons pas cherché par exemple à comptabiliser les émissions de GES imputables à la location de chambres d'hôtel.

1.2 Trajets domicile-travail

Nous avons fait passer à tous les membres de l'équipe (sauf les stagiaires, que nous n'avions plus sous la main) un petit questionnaire pour savoir quelles étaient leurs habitudes en matière de trajet domicile-travail. Afin de permettre une comptabilisation la plus précise possible, il était possible d'indiquer plusieurs modes de transports différents en les affectant de pourcentages, ce qui permettait de tenir compte d'habitudes qui peuvent varier d'un jour à l'autre, mais également de tenir compte de trajets impliquant une succession de plusieurs modes de transport.

Le modèle du questionnaire est visible à l'adresse http://www-sop.inria.fr/members/Sylvain.Chevillard/footprint_survey/demo.html.

Il convient de noter que nous n'avons pas cherché à inclure l'énergie grise des véhicules dans ce calcul. Ainsi, une voiture 100 % électrique est considérée ici comme émettant uniquement les GES liés à la production et l'acheminement de l'électricité qui lui permette de rouler, c'est-à-dire essentiellement rien par rapport, par exemple, à une voiture thermique. Il est cependant connu que le poids de l'énergie grise dû à la batterie peut se révéler non négligeable sur le cycle de vie total du véhicule. Cependant, prendre en compte l'énergie grise des véhicules soulevait des questions compliquées à résoudre (en premier lieu, estimer le total des émissions liées à la fabrication et au retraitement en fin de vie du véhicule, mais aussi estimer le nombre de kilomètres qu'il parcourra dans sa vie, ainsi que la part qu'il convient d'attribuer aux trajets domicile-travail parmi les divers usages du véhicule). Cela dépassait le cadre de ce que nous pouvions raisonnablement faire dans cette étude.

1.3 Repas à la cantine

Le même questionnaire sondait les membres de l'équipe sur leurs habitudes de fréquentation du restaurant d'entreprise. Il s'agissait d'estimer, parmi les options proposées à la cantine (repas végétarien, repas carné ou repas poisson) dans quelle proportion chaque type de repas était consommé par chacun. En outre, concernant les repas carnés, il était possible de spécifier qu'on portait une attention particulière aux viandes issues de ruminants (fortement émettrices) en séparant cette catégorie-là des autres types de viandes.

Pour les personnes arrivées ou parties en cours d'année et les personnes à temps partiel (que ce soit parce qu'elles travaillent à temps partiel, ou bien parce qu'elles ne sont que partiellement rattachées à l'équipe : par exemple l'assistante, ou bien les étudiants en co-tutelle), nous avons pondéré les émissions de GES des repas ainsi que des trajets domicile-travail par un coefficient représentant la part correspondante par rapport à un temps plein sur une année complète.

1.4 Équipements informatiques

Nous avons listé l'ensemble des achats informatiques effectués par l'équipe depuis dix ans (ordinateurs portables, ordinateurs fixes, écrans, téléphones portables). Compte tenu du caractère très occasionnel de l'achat d'un équipement et de sa durée de vie relativement variable, nous avons attribué une durée d'amortissement à chaque type d'équipement : 8 ans pour un ordinateur fixe, 5 ans pour un ordinateur portable, 10 ans pour un moniteur, et 4 ans pour un téléphone. Ces valeurs ont été choisies pour refléter les habitudes de renouvellement de matériel dans l'équipe. Les émissions contenues dans l'énergie grise d'un équipement sont étalées sur les années correspondantes suivant l'achat de l'équipement. Au-delà de cette durée, l'équipement est considéré comme amorti et ne produisant plus de gaz à effet de serre du fait de sa fabrication.

Pour chiffrer l'énergie grise des équipements, nous avons utilisé les valeurs « Carbon Footprint » fournies par les constructeurs pour les machines suffisamment récentes. Ces valeurs correspondent à une analyse de cycle de vie et incluent donc, outre l'énergie grise, une estimation de la consommation électrique de l'équipement durant sa vie. Nous avons retiré cette partie « Usage » de l'estimation, pour ne conserver que l'énergie grise. L'énergie réellement consommée par les équipements durant l'année 2019 est, quant à elle, prise en compte dans la section « Consommation électrique, chauffage et climatisation ». Enfin, concernant les équipements trop vieux pour qu'une fiche « Carbon Footprint » soit disponible, nous avons estimé leur énergie grise en prenant la moyenne des équipements de même nature pour lesquels nous disposions d'une fiche.

1.5 Consommation électrique, chauffage, climatisation

L'estimation des émissions de GES dues aux bâtiments est certainement la partie du bilan qui se généralise le moins facilement à d'autres équipes. En effet, nous avons utilisé les données à notre disposition, lesquelles sont propres au dispositif de mesure des consommations des bâtiments de l'Inria Sophia. Même au sein du centre de recherche de Sophia, on va le voir, les données disponibles ne sont pas homogènes suivant les bâtiments et il n'est pas évident de mettre en place une méthodologie exploitant les données disponibles et permettant de traiter n'importe quel bâtiment du centre.

1.5.1 Données disponibles

Outre la consommation électrique et de gaz naturel totale du site, on dispose de données plus précises, via un certain nombre de sous-compteurs :

- pour chaque bâtiment, la consommation électrique de courant stabilisé (prises utilisées pour brancher les stations de travail) ;
- pour chaque bâtiment, la consommation électrique non stabilisée ; pour certains bâtiments, cela inclut le système de chauffage/climatisation du bâtiment ; cas particulier : le restaurant est regroupé avec deux autres bâtiments ;
- pour un certain nombre de bâtiments, le système de chauffage/climatisation est mutualisé et la consommation totale du système de régulation thermique est connue ;
- la consommation des serveurs du centre de recherche est comptée séparément des bâtiments (et elle-même est séparée en consommation des serveurs à proprement parler et consommation du système de refroidissement) ;
- la consommation électrique de la cuisine et du poste de garde (qui sont donc des consommations à mutualiser entre les équipes) ;
- le total de toutes les consommations listées ci-dessus reste significativement (environ 15 %) inférieur au total de la consommation électrique du site. Ce que recouvrent exactement ces courants non comptabilisés est en cours d'investigation. En l'absence d'information supplémentaire, on les compte comme des consommations mutualisées.

Un (seul) bâtiment disposait d'un système de chauffage au gaz en 2019.

L'équipe faisant l'objet de ce bilan n'utilise pas de moyen de calcul tels que des clusters nationaux, par exemple, et donc il n'y avait pas lieu de comptabiliser ni l'énergie grise, ni la consommation électrique de tels équipements. Néanmoins, la salle de serveurs du centre de recherche comprend, outre des moyens de calculs, des serveurs de stockages redondant, utilisés par l'équipe pour ses données. Il nous a ainsi semblé pertinent de comptabiliser la consommation de la salle de serveurs comme le reste des installations communautaires. Néanmoins, il faut noter que l'énergie grise de ces équipements n'est pas prise en compte dans le bilan : uniquement leur consommation effective sur l'année 2019.

Le bâtiment qui héberge l'équipe fait partie de ceux pour lesquels le chauffage/climatisation est mutualisé. Dans notre cas, nous disposions donc de :

- la consommation en courant stabilisé de tout le bâtiment ;
- la consommation en courant ordinaire de tout le bâtiment ;
- la consommation électrique totale du système de chauffage/climatisation dont le bâtiment ainsi que le poste de garde, la cuisine et le restaurant font partie ;
- les consommations communautaires de la salle des serveurs, la cuisine et le poste de garde ;
- la consommation électrique groupée du restaurant avec deux autres bâtiments.

En outre, un recensement a été fait il y a quelques temps pour connaître la répartition des agents sur le centre de recherche. Nous avons donc une estimation du nombre total d'agents sur site, de leur répartition dans les bâtiments, et du nombre d'agents rattachés à chaque équipe. Nous avons également la surface des bâtiments de manière détaillée pièce par pièce.

1.5.2 Estimation des émissions

Une première approche consiste simplement à répartir l'ensemble des émissions du site au prorata du nombre de personnes dans l'équipe. Cela ne nécessite que de connaître la consommation électrique et de gaz globale, le nombre d'agents sur site et le nombre de personnes dans l'équipe. Cette méthode a donc le mérite de se généraliser facilement à un contexte différent. Dans le cas qui nous occupe, on obtient ainsi un total d'environ 3 400 kgCO₂e.

Une deuxième approche, qui a été la nôtre, consiste à essayer d'exploiter les informations plus fines dont nous disposons. Dans un premier temps, nous estimons la part du chauffage/climatisation mutualisé à imputer au bâtiment qui nous occupe : en première approximation, nous avons jugé raisonnable de l'estimer en proportion de la surface du bâtiment par rapport à la somme des surfaces des bâtiments concernés par le système mutualisé (on pourrait bien sûr arguer que l'isolation thermique n'est pas la même dans tous les bâtiments, ou même que tous les bâtiments n'ont pas le même usage – par exemple, parmi les bâtiments du système mutualisé, on trouve le restaurant, ainsi qu'un bâtiment comprenant principalement des espaces de circulation ou de réunion. On peut aussi se demander ce que nous entendons par « surface du bâtiment » : est-ce la surface de bureaux uniquement ? ou bien faut-il y ajouter les salles de réunions et les amphithéâtres ? ou bien considérer la surface intérieure totale, comprenant les couloirs, sanitaires, locaux techniques, etc. ? Dans notre cas, suivant le mode de calcul adopté, le ratio varie de 0,17 à 0,27 ; nous avons pris le parti d'utiliser la surface intérieure totale, ce qui donne la valeur de 0,21). La même méthodologie est appliquée pour calculer la part à imputer à la cuisine, au restaurant et au poste de garde (suivant ce calcul, ces trois bâtiments totalisent 9,4 % de la consommation de chauffage/climatisation mutualisée).

À ce stade on est donc en mesure d'estimer :

- 1) la quantité de GES émis par le bâtiment de l'équipe (électricité stabilisée + électricité non stabilisée + climatisation/chauffage) ;
- 2) la quantité de GES émis pour les usages communautaires (électricité de la cuisine et du poste de garde, climatisation/chauffage du poste de garde et restaurant, électricité de la salle de serveurs), sauf l'électricité utilisée pour le restaurant qui est groupée avec deux autres bâtiments.

Pour attribuer à l'équipe sa part dans ces émissions, on considère que celles-ci sont proportionnelles au nombre de personnes dans l'équipe. Ainsi, on multiplie la première quantité par (nombre de

personnes dans l'équipe)/(nombre de personnes dans le bâtiment) et la seconde quantité par (nombre de personnes dans l'équipe)/(nombre de personnes sur site).

Nous avons un temps différencié la façon de calculer la part du chauffage/climatisation en considérant le rapport des surfaces occupées plutôt que le nombre de personnes. En effet, l'énergie dépensée pour réguler la température d'une pièce est en première approximation proportionnelle à sa surface, qu'il y ait une ou quatre personnes dans la pièce. Cependant ce mode de calcul était assez compliqué car il obligeait à calculer la surface occupée par l'équipe (ce qui est déjà un peu laborieux, sans compter que certains bureaux peuvent être partagés par des personnels de plusieurs équipes). En outre, pour être cohérent avec le choix de considérer la surface intérieure totale du bâtiment, il fallait attribuer à l'équipe sa quote-part de surfaces communes (sanitaires, couloirs, salle de réunion). Une fois tous ces calculs faits, nous sommes arrivés à un rapport sensiblement égal au rapport (nombre de personnes dans l'équipe)/(nombre de personnes dans le bâtiment) et nous avons donc renoncé à ce mode de répartition qui semblait, tout compte fait, inutilement compliqué.

Le mode de calcul de la part d'électricité à attribuer au restaurant importe peu : la consommation électrique totale du restaurant et des deux bâtiments avec lesquels il est groupé ne représente que de l'ordre de 2,5 % des consommations communautaires (lesquelles sont largement dominées par l'électricité nécessaire au fonctionnement des serveurs). Les deux bâtiments comprenant très peu de bureaux, nous avons attribué un peu moins de la moitié de cette valeur au seul restaurant.

1.6 Impressions

Dans la mesure où il était aisé de comptabiliser les impressions, nous avons également inclus ce poste dans le calcul des émissions de GES de l'équipe. En effet, le système d'imprimantes partagées mis en place sur le site peut être facilement interrogé pour connaître le nombre de pages imprimées en couleur ainsi qu'en noir et blanc sur une période donnée, et par une personne donnée. La difficulté a consisté à trouver une estimation des émissions de GES associées. Les seules estimations que nous avons pu obtenir comptabilise les émissions liées au papier, mais ni l'encre, ni le cycle de vie de l'imprimante ne sont pris en compte.

1.7 Émissions non comptabilisées

L'activité d'une équipe de recherche n'est pas possible sans un certain nombre de métiers d'appui et de support. En outre, certaines structures comme les agences de financement ou d'évaluation (ANR, HCERES, etc.) n'existent (et donc n'émettent des GES) qu'en complément de l'activité de recherche. Il faudrait donc, en toute rigueur comptabiliser les émissions liées à ces activités dans le bilan de l'équipe, en les comptant au prorata du poids de l'équipe par rapport au périmètre de chacune de ces structures.

De la même façon, nous dépendons d'infrastructure nationales (serveurs de courrier électroniques, de visio-conférence, d'hébergement de pages internet, fourniture d'accès internet, etc.) dont les émissions devraient être réparties entre toutes les équipes de recherche en bénéficiant.

Ces calculs sont néanmoins impossibles à effectuer au niveau d'une équipe et dépassaient largement le cadre de ce qui était envisageable dans cette étude. Nous les avons donc délibérément ignorés.

2 Bilan chiffré

2.1 Répartition des différents postes d'émission

Précisons d'emblée que les valeurs obtenues dépendent des coefficients de conversion utilisés et, on l'aura compris, des choix effectués pour calculer la part de la consommation électrique à imputer à l'équipe. Il faut donc considérer les données numériques présentées ici, non comme un chiffrage précis, mais plutôt comme une estimation à contours relativement flous qui doit surtout permettre de prendre conscience des grandes masses et des axes sur lesquels il convient de travailler en premier.

La répartition que nous avons obtenue est la suivante :

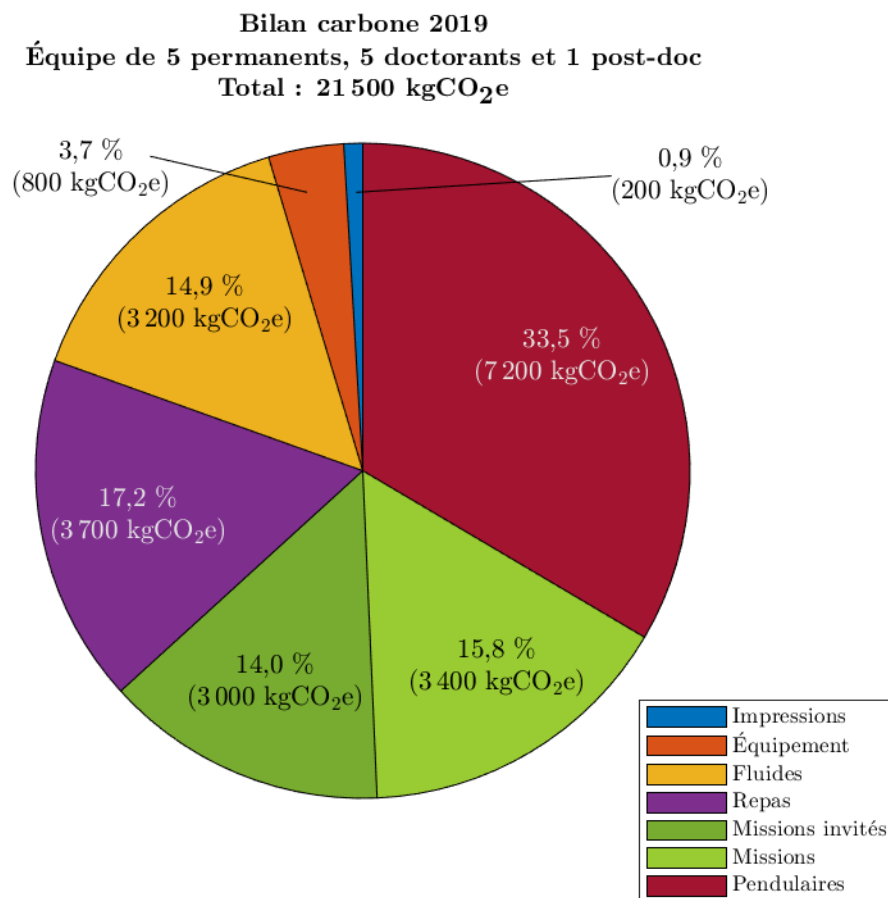


FIGURE 1 – Répartition des émissions de GES de l'équipe

Une remarque s'impose avant tout commentaire. On ne s'attend pas à ce que l'ordre de grandeur des émissions change énormément d'une année sur l'autre (hormis événements brutaux telle que la crise sanitaire de 2020-2021) ; ce constat est vrai à une exception près : les missions. Le volume de celles-ci peut varier considérablement en fonction de la localisation des grandes conférences, du début ou de la fin de collaborations avec l'étranger, etc. À titre d'illustration, la figure suivante montre ce que serait le bilan, toutes choses égales par ailleurs, si on y intégrait les missions effectuées par l'équipe en 2018 au lieu de celles de 2019.

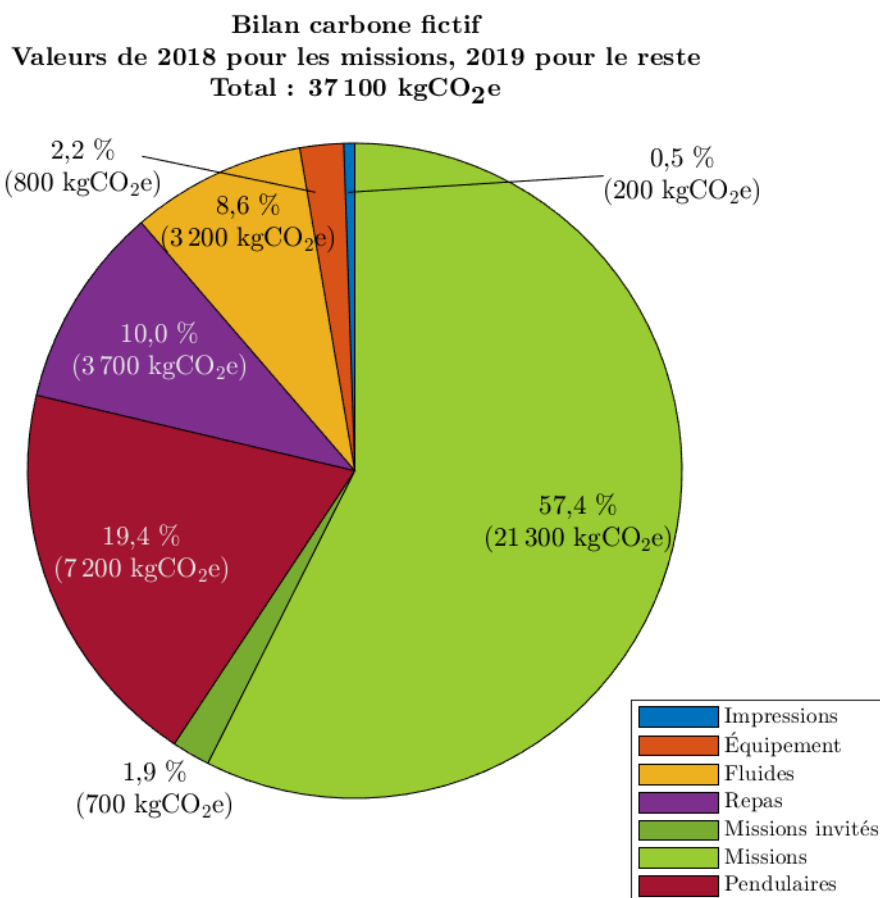


FIGURE 2 – Répartition des émissions de GES de l'équipe, si les missions étaient celles de 2018

Les missions de 2018 émettent à elles seules la même quantité de GES que le bilan complet de l'équipe en 2019.

Pour le reste, on voit que les impressions jouent un rôle marginal et il ne semble pas très utile d'essayer d'y inclure les GES liés à l'encre et au cycle de vie de l'imprimante.

Les trajets domicile-travail constituent, de loin, le poste d'émissions le plus important après les missions. Mais il est également certainement très dépendant du contexte géographique local (densité urbaine à proximité du site de recherche, infrastructures cyclables, relief local, etc.). L'équipe choisie pour cette expérience travaille à Sophia Antipolis qui cumule pour ainsi dire toutes les difficultés (grand étalement urbain, infrastructures routières imaginées pour le « tout voiture », technopole isolée des habitations et située sur une colline).

Il nous semble que l'importance de ces deux postes d'émissions (missions et pendulaires) doit nous amener à une réflexion collective, certainement délicate mais absolument nécessaire, pour en réduire le volume. Leur nature est d'ailleurs essentiellement identique et très symptomatique de ce à quoi

nous confronte le changement climatique : notre goût pour la mobilité et notre dépendance aux transports.

Les repas constituent un poste d'émission non négligeable, sur lequel on peut agir : sensibilisation à l'importance relative de ces émissions de GES, pédagogie possible au restaurant d'entreprise vis-à-vis des usagers, réduction de la fréquence à laquelle les repas carnés sont constitués de viandes fortement émettrices, développement de propositions végétariennes véritablement attractives, etc.

Les émissions de GES des fluides (électricité et gaz, incluant le chauffage, la climatisation, le fonctionnement des machines, dont les serveurs du centre) constituent un poste un peu moins émetteur, quoi qu'il reste non négligeable. Il faut souligner que cela tient à l'utilisation de pompes à chaleur réversibles, produisant à la fois le chaud et le froid, combiné au caractère extrêmement décarboné de l'électricité française. Par exemple, ce poste d'émission serait loin devant les trajets pendulaires dans le bilan d'une équipe de recherche similaire située en Italie ou en Allemagne, dont l'intensité carbone de l'électricité est environ 5 fois plus élevée qu'en France.

L'énergie grise des équipements informatiques est le dernier poste non négligeable. Réduire son poids dans le bilan annuel nécessite de concentrer les achats sur des équipements à faible bilan carbone et d'allonger leur durée de vie. Il convient aussi de rappeler que la production d'équipements électroniques engendrent bien d'autres pollutions que les seules émissions de gaz à effet de serre ; ces pollutions ne sont bien sûr pas prises en compte dans cette étude, qui se limite au bilan carbone, mais doivent rester présentes à l'esprit.

Rappelons à toutes fins utiles que, pour rester en-deçà des 1,5 °C de réchauffement climatique, et en tout état de cause le plus largement possible sous le seuil des 2 °C, le consensus scientifique est que l'humanité doit peu ou prou diviser son empreinte carbone par 2 chaque décennie à venir, jusqu'à 2050. Bien entendu, cela ne signifie pas nécessairement que le secteur de la recherche publique doive suivre la même trajectoire : il est possible d'argumenter qu'elle est essentielle et qu'elle doit être partiellement exonérée de l'effort commun. Il ne nous appartient pas de discuter cette question ici ; notons cependant que si chaque équipe de recherche devait s'astreindre à réduire son bilan dans les proportions évoquées ci-dessus, les actions à entreprendre d'ici 2030 seraient déjà considérables. En particulier, il est illusoire de penser qu'il suffit d'agir sur un seul poste d'émissions, l'effort fût-il massif (si l'on prend l'année 2018 comme référence, réduire les missions durablement au niveau de 2019 ferait à peu près l'affaire, mais ne serait pas suffisant à soi seul ; si l'on prend comme référence l'année 2019, la chose devient impossible, aucun poste ne représentant plus de 50 % des émissions).

Nous nous sommes intéressés à la variabilité des émissions d'un agent à l'autre au sein de l'équipe. En première approximation, on peut considérer que les émissions dues à la consommation électrique, aux missions des invités et à l'énergie grise des équipements sont à répartir équitablement entre les membres de l'équipe. (On pourrait bien sûr discuter cette hypothèse : les émissions dues au chauffage sont essentiellement les mêmes dans un grand bureau, qu'il soit occupé par une ou trois personnes,

donc il n'est pas juste de créditer le chercheur solitaire d'autant d'émissions que ses trois collègues du bureau d'à côté ; faut-il vraiment faire reposer sur tous les émissions liées à la mission d'un chercheur invité spécifiquement pour travailler avec un membre de l'équipe ? etc.) Pour les autres postes (missions des agents, trajets pendulaires, repas, impressions), on dispose des émissions individuelles. Dans le graphique suivant, chaque barre verticale représente le profil des émissions d'un agent de l'équipe. Afin de rendre les profils d'émission comparables, nous avons extrapolé les émissions de chaque agent proportionnellement pour les faire correspondre à un temps plein annuel : ainsi, ce ne sont pas les émissions réelles qui sont représentées ici, mais ce qu'elles auraient été si chaque agent avait été dans l'équipe à temps plein pendant toute l'année.

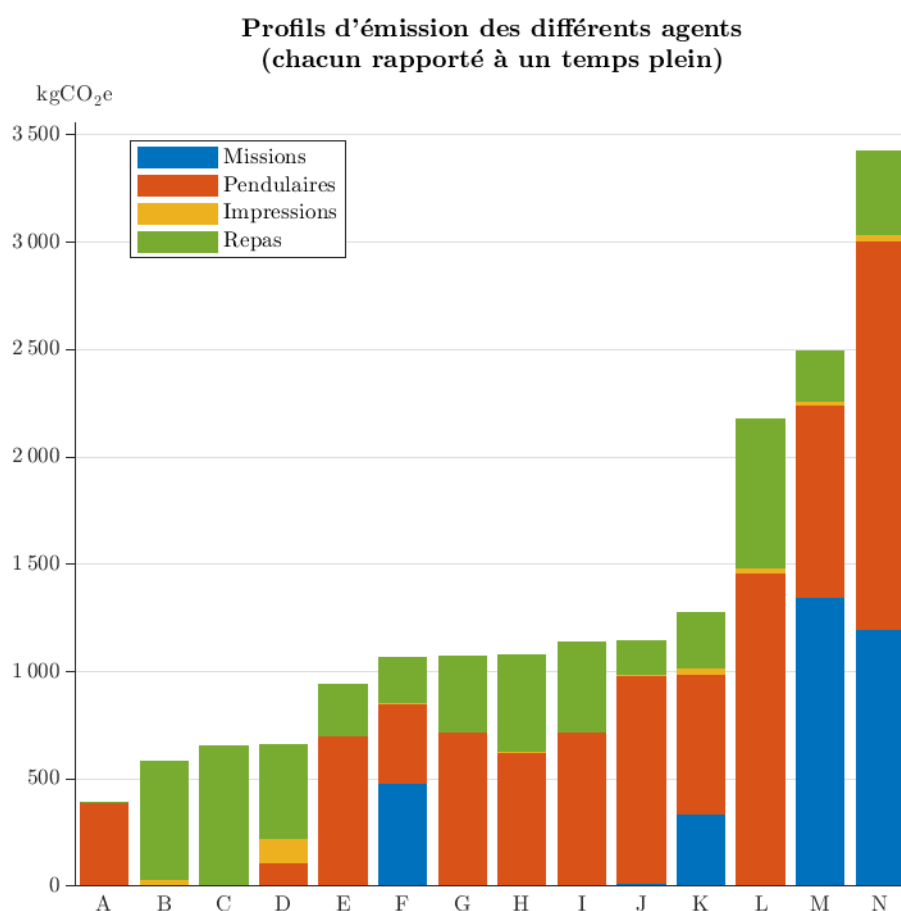


FIGURE 3 – Profils d'émission des différents agents

On voit que la répartition des postes d'émission diffère parfois grandement d'un agent à l'autre. De même, on voit que les agents ne sont pas égaux en terme d'émissions : certains membres émettent bien plus que d'autres. Il semble important d'avoir ces éléments en tête pour aborder la discussion collective visant à établir une stratégie de réduction des émissions.

2.2 Zoom sur les missions

Comme on l'a vu, les missions constituent le poste le plus important avec les trajets pendulaires ; en outre, c'est le poste pour lequel il est le plus facile de collecter automatiquement les données ; enfin, c'est certainement celui sur lequel l'institution dispose d'un levier d'action immédiat. Pour toutes ces raisons, il mérite d'être examiné d'un peu plus près.

Sur le total de 6 400 kgCO₂e émis par les missions en 2019 :

- 6 100 kgCO₂e sont obtenus par des procédés relativement automatisés (billets pris par le portail du marché ou indemnité kilométrique demandée lors du remboursement des frais) ;
- 300 kgCO₂e seulement (soit moins de 5 % du total) sont obtenus en épluchant manuellement les demandes de remboursement des agents (billets pris par l'agent lui-même, taxi, location de voiture, transport en commun, etc.). Mais aucun billet d'avion ne figurait dans les demandes de remboursement.

Nous en concluons que les données extraites automatiquement donnent une bonne idée du bilan des missions, en y ajoutant toutefois les billets d'avion achetés par les agents (c'est ce que nous avons fait pour calculer le total de 2018 ; les billets d'avion pris en dehors du portail du marché concernaient quatre missions, pour un total de 2 500 kgCO₂e émis, soit environ 11 % du total).

La répartition du nombre de kilomètres parcourus en 2019, en fonction du moyen de transport est donnée dans la figure suivante.

Répartition des km parcourus en mission en 2019
par mode de transport
Total : 45 300 km

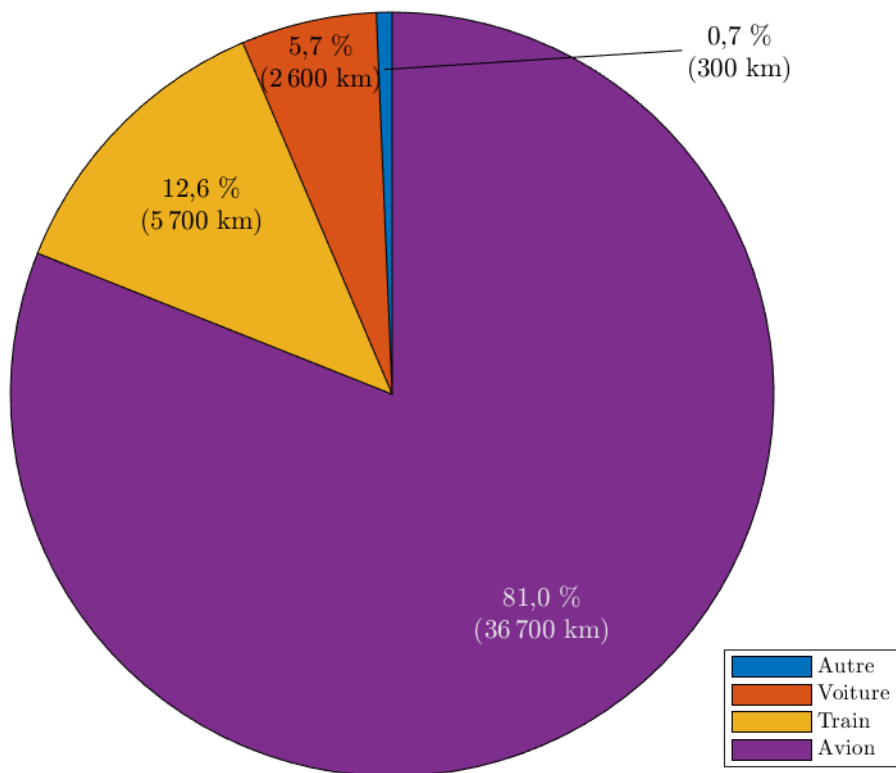


FIGURE 4 – Nombre de kilomètres parcourus en mission, répartis par moyen de transport

Sans surprise, le nombre de kilomètres parcourus est d'autant plus grand que le moyen de transport permet d'aller vite (et donc loin, dans un même laps de temps). On observe la très nette domination de l'avion, qui représente plus de 80 % des kilomètres parcourus.

La figure suivante donne, cette fois, la répartition des **émissions** suivant le moyen de transport.

Répartition des kgCO₂e émis par les missions en 2019
par mode de transport
Total : 6 400 kgCO₂e

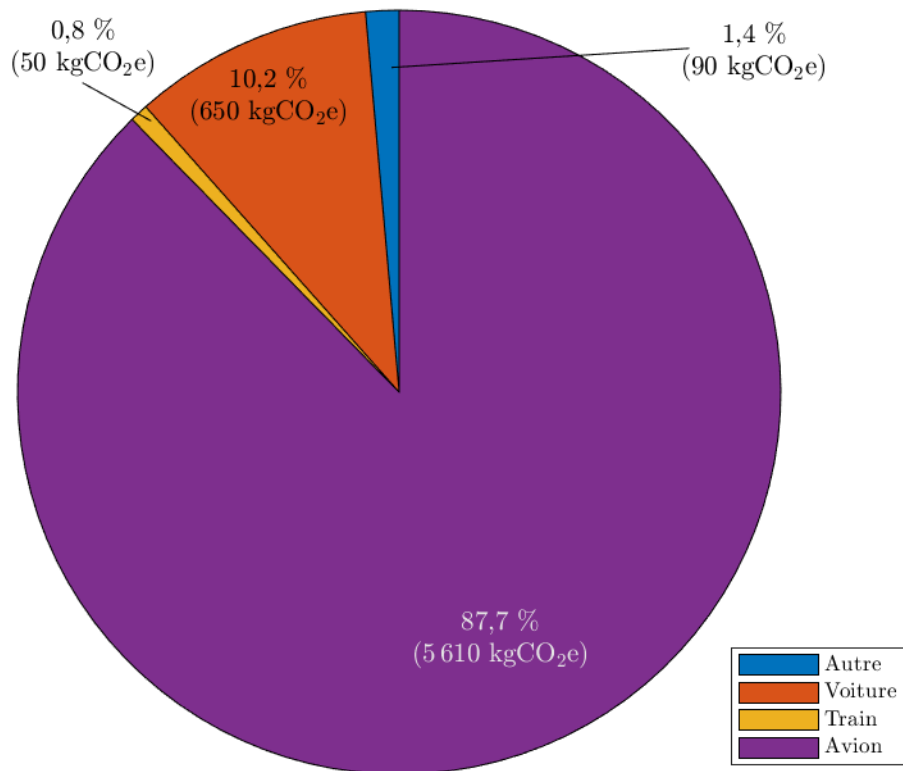


FIGURE 5 – Émissions dues aux missions, réparties par moyen de transport

Il en ressort que le train ne compte essentiellement pour rien (bien qu'il représente plus de 10 % du kilométrage effectué) ; *a contrario*, la voiture et, évidemment, l'avion monopolisent en pratique l'intégralité des émissions. Réduire les émissions dues aux missions revient donc, essentiellement, à réduire le kilométrage parcouru en avion.

Les deux figures suivantes montrent, pour chaque tranche de 500 km, le nombre de vols réalisés en 2018 (respectivement en 2019) dont la longueur correspond à la tranche.

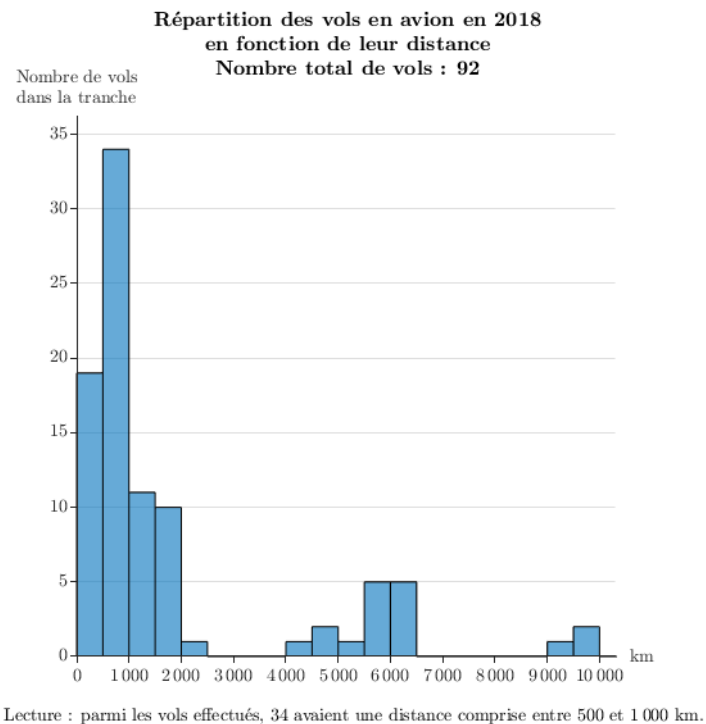


FIGURE 6 – Distribution des distances des vols réalisés en 2018

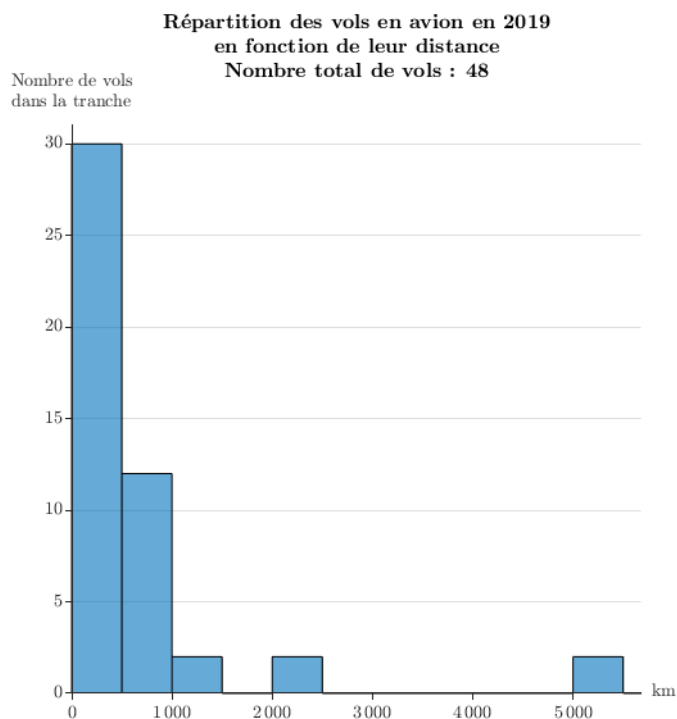


FIGURE 7 – Distribution des distances des vols réalisés en 2019

On peut noter que, en 2018, sur les 170 000 km réalisés en avion, 31 000 km (soit 18 %) le sont pour des vols de moins de 1 000 km. Pour 2019, ce sont 36 700 km qui ont été parcourus en avion, dont 19 400 km (53 %) pour des vols de moins de 1 000 km. Ces trajets peuvent être considérés en première approximation comme ceux où l'avion peut être remplacé par le train (non sans impliquer des changements d'habitude majeurs : au départ de Nice, tout trajet de 1 000 km en train nécessite de passer la journée dans les transports ; là où l'avion permet souvent de faire l'aller-retour dans la journée pour assister à une réunion, il faudrait par exemple compter trois jours pour se rendre à la même réunion en train). Si l'on reprend, pour fixer les idées, l'objectif de division par deux des émissions de GES par décennie, on voit que pour tenir cet objectif d'ici à 2030 sur le seul poste des missions :

- sur la base des missions de 2018, il faudrait renoncer purement et simplement à certains voyages lointains ;
- sur la base des missions de 2019, pour conserver tous les trajets lointains, il faudrait remplacer tous les vols de moins de 1 000 km (y compris ceux en correspondance vers un vol long courrier) par le train.

En supprimant les 10 % de vols les plus longs, on réduirait d'un peu plus de 30 % les émissions de GES associés (c'est vrai en 2018 comme en 2019). Plus généralement, la figure suivante montre, en fonction de x , quel pourcentage des émissions de GES dues aux vols aurait été épargné si les x % de vols les plus longs n'avaient pas eu lieu. Par exemple, en 2018, si les 20 % de vols les plus longs n'avaient pas eu lieu, les émissions de GES dues à l'avion auraient été réduites de près de 60 %.

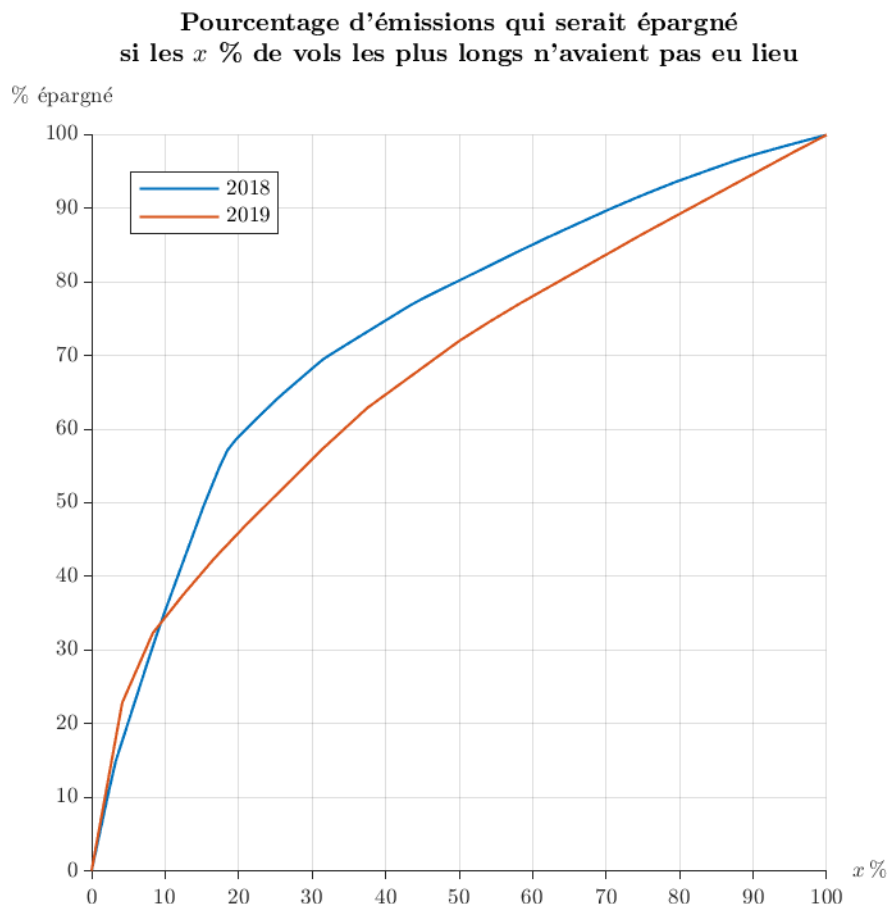


FIGURE 8 – Proportion des émissions due aux x % de vols les plus longs

2.3 Répartition des émissions dues aux fluides.

À titre d'information, la figure suivante montre comment se répartissent les émissions dues aux consommations des bâtiments. Pour chaque poste, la quantité de GES listée correspond à la part imputable à l'équipe. On retrouve le total de 3 200 kgCO₂e qui figure au bilan total.

Répartition des émissions dues aux consommations électriques et imputables à l'équipe en 2019
Total : 3 200 kgCO₂e

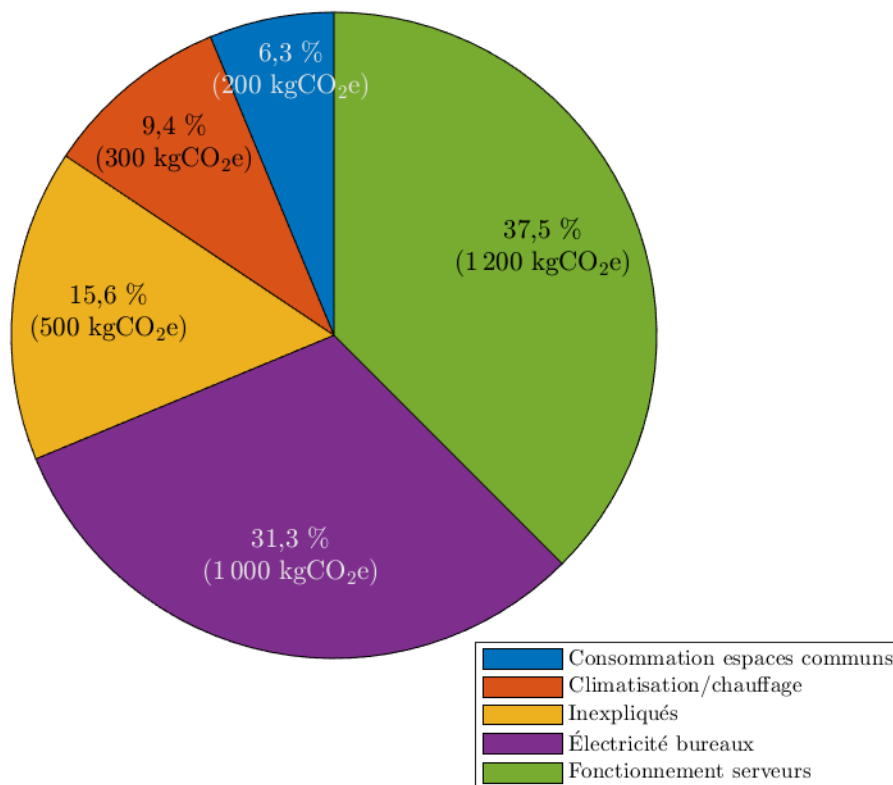


FIGURE 9 – Répartition des émissions dues aux bâtiments

Sous la dénomination « Consommation espaces communs », on trouve les consommations d'électricité et de chauffage/climatisation des poste de garde, cuisine et restaurant. Une part non-négligeable des émissions (près de 16 %) correspond à des consommations électriques observées dans la facture d'électricité globale du centre de recherche, mais qui ne sont pas rapportées par l'un des sous-compteurs dont on dispose. Afin d'agir dessus, il sera nécessaire d'expliquer à quoi correspondent ces consommations.

Les émissions dues à la consommation d'électricité des bureaux (1 000 kgCO₂e) recouvrent à la fois l'éclairage, l'utilisation des équipements informatiques individuels (ordinateurs et écrans) et d'autres usages électriques (imprimantes multi-fonctions, frigos et micro-ondes dans les espaces de détente, etc.). Une estimation conservatrice est que la moitié au moins de ces 1 000 kgCO₂e provient de l'usage des équipements informatiques. Il est intéressant de mettre cette estimation en regard des émissions dues à l'énergie grise des équipements de l'équipe, qui figure au bilan global (également 1 000 kgCO₂e) : entre la moitié et les deux tiers des émissions de ceux-ci en 2019 sont le fait de leur énergie grise.

Enfin, on voit qu'une part importante des émissions est due au seul fonctionnement des serveurs (serveurs de stockage et cluster de calcul) hébergés par le centre de recherche. S'il est vrai que le poste des émissions dues aux bâtiments représente une part relativement faible du total des émissions de l'équipe, il peut néanmoins sembler intéressant d'avoir une réflexion collective sur ces serveurs qui représentent à eux seuls plus d'un tiers de ce poste.

3 Conclusion

Ce bilan, réalisé sur une équipe pilote, a été conduit en poursuivant deux objectifs. D'une part, étudier la faisabilité pratique d'un tel bilan et repérer les points pouvant faire l'objet d'un traitement relativement automatique, en vue de le généraliser aux autres équipes. D'autre part, donner à voir ce que représentent les émissions d'une équipe et comment elles se répartissent, afin d'amorcer une discussion (tant au niveau des individus qui composent cette équipe que de l'institution dans son ensemble) sur la stratégie à mettre en place pour les réduire.

Concernant le premier point, on a vu que l'évaluation des émissions dues aux missions peut être faite essentiellement automatiquement en utilisant les données du portail informatique du marché. Lister les équipements informatiques peut aussi se faire de manière semi-automatisée et, quitte à renseigner une fois pour toute une base de données avec les émissions à imputer à chaque type d'équipement, il est concevable d'obtenir à peu de frais une estimation de ce poste. Concernant les trajets pendulaires et les repas, les membres de l'équipe sont nécessairement mis à contribution pour renseigner leurs habitudes. Nous avons mis au point un formulaire très rapide à remplir, qui permet de collecter facilement ces informations et dont on déduit immédiatement le bilan des émissions. Restent les émissions dues aux bâtiments, pour lesquelles il est nécessaire de rassembler de nombreuses données et où la méthodologie utilisée est la plus susceptible de varier d'une équipe de recherche à l'autre. Notons tout de même que le chiffre obtenu en considérant la consommation totale de gaz et d'électricité des bâtiments rapportée au nombre de personnes dans l'équipe donne une bonne estimation.

Concernant le second point, nous recommandons de ne considérer les données chiffrées présentées dans ce rapport que comme une illustration, et non pas comme un bilan qui se voudrait représentatif de n'importe quelle équipe de recherche, même en se limitant aux équipes de recherche de l'Inria. En effet, la situation géographique du centre de recherche par rapport aux bassins d'habitation, l'existence ou non d'infrastructures de transport en commun, le climat de la région d'implantation, les infrastructures de chauffage et de refroidissement déployées sur le site, etc. sont autant de facteurs qui peuvent faire varier les grandes masses d'une équipe à l'autre. Nous invitons donc chaque équipe à réaliser son propre bilan pour établir une base de discussion en son sein. À ce sujet, notons que l'exercice était simplifié par le fait que l'équipe considérée n'avait que l'Inria pour tutelle. Dans le cas d'une équipe

commune, il faudrait également recenser les missions et les équipements effectués sur des lignes budgétaires correspondant aux autres tutelles. Il n'y a pas de raison de penser que ce soit plus dur à automatiser qu'à l'Inria, mais faute d'outil automatique déjà présent, cela pourrait se révéler laborieux pour une équipe qui aurait trois ou quatre tutelles. Nous terminons donc ce rapport en recommandant à chaque institution de recherche de se doter rapidement d'outils automatiques pour extraire ces informations. Comme on l'a vu, la baisse des émissions de GES dans les proportions recommandées par les experts du climat risque de se révéler particulièrement ardue et d'impliquer des changements d'habitude majeurs. Nous ne saurions trop presser les institutions de recherche à engager rapidement une réflexion collective à ce sujet.

4 Annexe : données brutes et facteurs de conversion utilisés

Le présent rapport est déposé sur la plateforme d'archive ouverte [HAL](#). L'ensemble des données (missions, matériel informatique, impressions, repas et trajets pendulaires) ainsi qu'un script montrant comment les exploiter pour obtenir les résultats présentés sont joints au dépôt HAL.

La méthodologie utilisée pour collecter les données à partir des outils métiers de l'Inria, ainsi qu'un certain nombre de scripts d'aide à la collecte et au traitement sont disponibles sur [Gitlab](#) (accès actuellement limité aux personnels de l'Inria).

4.1 Énergie des bâtiments

Pour l'estimation de l'énergie consommée par les bâtiments, les valeurs à l'échelle globale du centre de recherche en 2019 sont les suivantes.

Description	Valeur
Consommation électrique totale du centre de recherche	2 710 290 kWh
Consommation de gaz naturelle du centre de recherche	4 975 m ³
Effectif total recensé sur site	566 personnes
dont occupants du bâtiment de l'équipe considérée	105 personnes
dont membres de l'équipe considérée	11 personnes

Concernant le système de climatisation/chauffage mutualisé, les données utiles sont les suivantes.

Description	Surface (m2)
Surface totale couverte par les pompes à chaleurs	11 042 m2
dont bâtiment de l'équipe considérée	2 283 m2
et dont cuisine + restaurant + poste de garde	1 035 m2

Les consommations électriques liées à des équipements mutualisés ou d'usage communautaire sont les suivantes.

Description	Consommation (kWh)
Système de pompe à chaleur	251 068
Serveurs (alimentation)	608 374
Serveurs (refroidissement)	419 731
Consommation électrique non catégorisée	414 543
Conso. électrique cuisine + restaurant + poste de garde	178 139
Courant stabilisé poste de garde	3 988

Enfin, les consommations électriques propres au bâtiment de l'équipe considérée sont les suivantes.

Description	Consommation (kWh)
Courant stabilisé dans le bâtiment de l'équipe	41 374
Courant non stabilisé dans le bâtiment de l'équipe	111 315

4.2 Moyens de transport

Pour les missions et les trajets domicile-travail, nous avons utilisé les formules suivantes pour calculer les émissions (en kgCO₂e) d'un passager pour un trajet de longueur L (exprimé en kilomètres). Pour les véhicules personnels, N le nombre total de personnes dans le véhicule et C désigne la consommation de carburant (exprimée en L/100 km). En particulier, C vaut 0 pour un véhicule électrique. Pour une voiture, si C n'est pas connue, la valeur par défaut considérée est 8 L/100 km.

Moyen de transport	Formule	Référence
Bus	0,154 * L	
Voiture/Moto/Scooter	0,031 * C * L / N	
Train	0,00891 * L	Base carbone
Vélo/Marche	0	
Bateau	0,979 * L	Base carbone
Métro/RER	0,0057 * L	Base carbone
Avion	32 + 0,111 * L	Modèle de Gaël Guennebaud

4.3 Repas

Pour les repas, nous avons retenu un poids moyen en CO2 de quelques repas-type. Lorsque les agents annonçaient prendre des repas carnés, mais sans préciser dans quelle proportion ceux-ci étaient constitués de ruminants, nous avons considéré que 40 % des repas carnés étaient à base de ruminants. Nous avons considéré qu'une année complète était composée de 208 jours travaillés (chiffre obtenu en comptant 5 jours par semaines, avec 52 semaines par an, du total duquel on retire les jours fériés ainsi que les jours de congé et RTT dont dispose les agents à l'Inria).

Type de repas	kgCO2e	Référence
Repas à base de bœuf, veau, agneau	6,29	Base carbone
Repas à base de volaille, porc	1,35	Base carbone
Repas à base de poisson	1,35	
Repas végétarien	0,51	Base carbone

4.4 Autres

Pour finir, voici quelques facteurs utilisés pour les calculs, et qui ne rentrent pas dans une des catégories précédemment abordées.

Bilan carbone d'une équipe de recherche à l'Inria

Objet	kgCO2e	Référence
kWh d'électricité en France	0,0607	Base carbone
m3 de gaz naturel	2,53	Base carbone
téléphone portable (équipement)	30	
feuille de papier	0,0127	PaperCut