

# Exemple de méthodologie de calcul d'empreinte carbone d'un laboratoire de recherche, le LMD

Document rédigé par Aymeric Spiga\*

21 mai 2021

*Avec l'aide des personnels du LMD : Antoine Bierjon (achats), Alexis Tantet (tutelles), Antony Delavois (calcul), Gaëlle Bruant (données administratives)*

## 1 Principe général

L'évaluation de l'empreinte carbone est à l'urgence climatique ce que le thermomètre est à la fièvre : un diagnostic préalable et un élément nécessaire, quoiqu'insuffisant, à la guérison.

L'empreinte carbone ici considérée est celle du Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD), unité mixte de recherche numéro 8539. Lorsque les agents sont cités, il s'agit d'une empreinte professionnelle et non privée. La démarche de calcul d'empreinte carbone du LMD a été réalisée par le groupe "LMD-Climactions" avec le soutien de la direction du LMD.

Le présent document s'inscrit dans l'obligation légale pour les institutions et les entreprises de plus de 500 personnes de réaliser un bilan de leur empreinte carbone. Notre laboratoire LMD, entité de 150 à 200 personnes employées dans plusieurs institutions tutelles distinctes qui sont partenaires du laboratoire, n'a pas *stricto sensu* cette obligation légale de réaliser son bilan d'empreinte carbone. Nous la faisons néanmoins nôtre car, suivant en cela l'approche du collectif Labos1point5 [2], nous sommes convaincus que les laboratoires restent le maillon essentiel pour tout diagnostic ou action touchant aux activités de recherche publique en France.

Il est important de préciser que nous présentons ici notre méthode employée au LMD pour parvenir à une évaluation d'empreinte carbone qui puisse être reproductible et suffisante en ordre de grandeur pour réfléchir à l'empreinte carbone du laboratoire et se projeter dans l'action concrète pour la transition environnementale. L'un des points centraux de tout bilan d'empreinte carbone est l'évaluation des incertitudes, qui sont souvent grandes – leur ordre de grandeur est environ 40-50%. La difficulté qui se pose également lors de la constitution d'un bilan d'empreinte carbone est que les facteurs de conversion quantitatifs peuvent être sujets à des débats de spécialistes. Nous avons donc pris le parti, parfois, de calculer la moyenne entre deux hypothèses de calcul d'"extrêmes raisonnables" et de propager l'écart entre ces valeurs dans l'incertitude. En d'autres termes, plutôt que de trancher le débat, nous l'avons représenté dans les incertitudes en attente de résolution plus fine.

Le présent document n'est ni une préconisation ni une approche prétendant se substituer à des personnes expertes dont l'évaluation de l'empreinte carbone et les problématiques associées serait infiniment meilleure. Au mieux, puisse ce document être source de réflexion et d'inspiration pour des laboratoires souhaitant évaluer leur empreinte carbone.

## 2 Déplacements

### 2.1 Missions

1. Les missions transport de notre laboratoire sont principalement réalisées sur crédits CNRS. L'administration du laboratoire nous a fourni une extraction de la base GESLAB pour les années N-1, N, N+1 (2018, 2019, 2020) qui nous a permis d'extraire les lignes de dépense de missions transport. Les gestionnaires ont pris l'habitude depuis quelques années, de manière suffisamment rigoureuse et régulière, rempli un libellé indiquant le nom de la personne missionnaire, la destination, le mode de transport.

---

\*Maître de conférences à la faculté des sciences de Sorbonne Université et membre junior de l'Institut Universitaire de France

2. Un traitement en Python des fichiers GESLAB a permis d’anonymiser (avec un biais non résolu sur les noms francisés à plusieurs orthographes) et de traiter les données (y compris un calcul approché de distance de Haversine en kilomètres, en utilisant le programme Geocoder pour obtenir les coordonnées).
3. Des corrections se sont avérées nécessaires, pour ajouter les missions Sorbonne Université (peu abondantes et correspondant à des lignes de crédit d’une seule personne – l’auteur du présent document et coordinateur du présent bilan d’empreinte – qui a donc pu fournir les informations) et proposer une correction extrapolée correspondant aux invitations de personnels extérieurs (seule la destination des missions étaient indiquées et, dans le cas d’invités, la destination est Paris ou Palaiseau).
4. L’empreinte est alors calculée avec un Radiative Forcing Index<sup>1</sup> (RFI) tel que donné par l’ADEME prenant en compte les traînées des avions (RFI~2.6 avec une incertitude de 70%). Un contrepoint est obtenu en réalisant en parallèle un traitement d’un fichier mis en forme pour l’outil GES1point5 [2] qui suppose un RFI omettant les traînées de condensation, en conformité avec les recommandations ministère (RFI~1 avec une incertitude de 10%). La valeur moyenne entre les deux valeurs est prise comme base pour le calcul de l’empreinte et les écarts entre les deux méthodes, ainsi que leurs incertitudes propres, sont propagés dans l’incertitude globale.

**Ordres de grandeur** La moitié de l’empreinte est réalisée par environ 15% des personnes voyageuses. 99% de l’empreinte est imputable aux voyages en avion, avec 82% de l’empreinte relative aux voyages extra-européens.

## 2.2 Déplacements domicile-travail

Nous avons tout d’abord, à la suite d’un travail collectif, conçu un questionnaire avant de nous référer simplement au questionnaire standardisé *framaforms* proposé par GES1point5. Le questionnaire auquel nous étions parvenus en local était similaire à celui de GES1point5, ce dernier comportant quelques points positifs supplémentaires en terme de précision et d’ergonomie.

Le sondage a été envoyé aux personnels du laboratoire par la direction. Le taux de réponse a été très bon (environ 65% de réponses). Nous avons ensuite fait traiter les résultats du sondage dans l’outil GES1point5<sup>2</sup> et reporté les résultats directement dans le bilan empreinte. Un programme Python a par ailleurs été réalisé, en parallèle, à des fins d’obtention de calculs et diagnostics illustratifs supplémentaires.

**Ordres de grandeur** Les trajets en voiture thermique donnent 87% de l’empreinte pour 25% des kilomètres.

## 3 Tutelles hébergeantes

Nous avons consulté les bilans d’empreinte carbone de trois tutelles hébergeantes du LMD : Sorbonne Université (2018), École Polytechnique (2019), École Normale Supérieure (2019). Nous supposons que le bilan de Sorbonne Université pour 2019 (non disponible) a peu différé du bilan 2018. Les trois bilans d’empreinte ne comprenait pas l’empreinte de l’activité de recherche des laboratoires.

Nous avons opéré une distinction assez grossière entre un poste que nous avons appelé *Bâtiment et énergie*, correspondant aux scopes 1 et 2 des bilans tutelles, et un poste que nous avons appelé *Achats et services* au scope 3 des bilans tutelles. Nous avons ensuite réalisé une mise à l’échelle linéaire (la fameuse “règle de trois”) des bilans de chaque tutelle étant donné d’une part, le nombre de personnels et d’autre part, la surface en m<sup>2</sup>, pour respectivement la tutelle considérée et le laboratoire. Les diagnostics selon les deux bases de calcul (personnels et surfaces) ont donné des résultats relativement concordants – écarts entre 10% et 15% qui ont été ajoutés dans les incertitudes héritées des bilans tutelles.

Considérer l’intégralité du Scope 3 comme versant dans le bilan empreinte du laboratoire est une hypothèse un peu large, bien que non dénuée d’une certaine réalité. Par exemple, une partie majoritaire de l’empreinte de Sorbonne Université est relative aux achats de services : construction, restauration, imprimerie, travaux/maintenance, produits informatiques et machines/équipements. Notre laboratoire bénéficie, dans son fonctionnement, de la plupart de ces services.

---

<sup>1</sup>Une ressource discutant des écarts possibles sur l’évaluation de l’empreinte de l’aérien peut par exemple être trouvée dans [1] (Figure 1).

<sup>2</sup>Point d’attention important : dans le formulaire de sondage, un collègue avait mis un nombre à virgule et cela avait donné une valeur aberrante de kilomètres. Il est donc important de vérifier le tableur des réponses au formulaire avant de le charger sur le site GES1point5.

**Ordres de grandeur** Notre tutelle universitaire a une empreinte d'environ 1 tCO<sub>2</sub>e par personne et nos deux tutelles "Grandes Écoles" ont une empreinte d'environ 3 tCO<sub>2</sub>e par personne. Cette différence reflète le coût par étudiant plus important dans ces dernières. L'empreinte liée à la surface est plus harmonisée entre université et grandes écoles : environ 0.03 tCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> pour la partie Scope 1+2 et environ 0.1 tCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> pour la totalité de l'empreinte carbone tutelle hébergeante.

## 4 Dispositifs de recherche

Nous rassemblons ici les grands équipements de recherche dont une partie de l'empreinte carbone est imputable à notre laboratoire qui les emploie pour réaliser ses recherches.

### 4.1 Clusters de calcul

Une partie non négligeable de nos recherches au Laboratoire de Météorologie Dynamique est basée sur des simulations numériques réalisées dans les grands centres de calcul nationaux.

Chaque année, nos équipes de recherche doivent envoyer des demandes d'heures de calcul (appels à projets DARI) à l'organisme national GENCI. Nous avons donc disposé d'un pointage relativement précis des heures de calcul demandées et utilisées pour l'année N. Nous avons ensuite utilisé les informations des centres de calcul et les évaluations du collectif ECOINFO pour obtenir une conversion des heures de calcul en consommation d'électricité en kWh. La part de la consommation dédiée au stockage a été prise en compte.

Le passage de kWh à tCO<sub>2</sub>e a été débattu car les diverses sources ne concordent pas sur l'empreinte carbone de l'électricité en France<sup>3</sup>. Il ne nous appartenait pas de trancher les désaccords méthodologiques, nous avons donc effectué deux calculs, avec respectivement le facteur de conversion de l'ADEME et le facteur de conversion de ECOINFO, puis nous avons effectué une moyenne et propagé les différences dans l'incertitude.

**Ordres de grandeur** 1000 heures de calcul en CPU correspondent à environ 30 kWh, soit une empreinte d'environ 3 kgCO<sub>2</sub>e.

### 4.2 Campagnes de terrain

Nous avons pointé les grandes campagnes de terrain dont nous avons connaissance dans notre laboratoire (ou typiques des campagnes menées chaque année) et nous avons tenté d'en évaluer l'empreinte soit avec les informations obtenues auprès des instituts mandatés pour ces campagnes terrain (par exemple l'IPEV pour les expéditions en Antarctique) soit avec les bilans d'empreinte carbone réalisés par les responsables des campagnes. L'incertitude de ce poste est particulièrement élevée. Les collègues du laboratoire LOCEAN ont partagé une méthodologie plus systématique dans le cas de leurs campagnes océanographiques.

**Ordres de grandeur** Une empreinte typique est 1 tCO<sub>2</sub>e par jour par personne participante.

## 5 Achats

Nous avons emprunté la méthode proposée par les collègues du Laboratoire Jean Perrin qui consiste à recenser les dépenses organisées par grands types via des codes NACRES et à faire correspondre à chaque code NACRES un facteur d'émission (en kgCO<sub>2</sub>e par euro dépensé) correspondant dans la base ADEME (France) ou CECA (USA). Le tableau de correspondance entre codes NACRES et facteur d'émission a été également complété par les collègues du laboratoire LOCEAN et les collègues du laboratoire LSCE, ces derniers ayant proposé pour la plupart des postes une correspondance alternative. Cela nous a permis de quantifier les incertitudes associées à l'interprétation des codes NACRES en terme de facteurs d'émission.

Nous avons basé nos calculs sur les dépenses du laboratoire sur crédits CNRS, catégorisées par code NACRES, qui représentent la grande majorité des dépenses de notre laboratoire. Nous avons ensuite pris le parti de séparer les codes NACRES en 5 grandes catégories (a) instruments et matériels scientifiques (b) matériel de bureau informatique (c) matériel de bureau hors informatique (d) restauration / événementiel (e) services. A ce jour, la base de correspondance entre codes NACRES et facteurs d'émission n'est que partiellement remplie car elle

---

<sup>3</sup>Il convient de noter ici que cette empreinte peut être très variable suivant le degré de décarbonation de l'électricité des nations. Par exemple, l'article [3] rapporte un poids énorme du calcul numérique dans l'empreinte d'un laboratoire australien en raison d'une électricité particulièrement carbonée de cette nation.

résulte pour le moment du travail des acteurs précités qui n'ont pu couvrir qu'une partie du grand catalogue de codes NACRES possibles. Nous avons donc, pour les cas où les facteurs d'émission étaient manquants, adopté une extrapolation catégorielle de ces facteurs basés sur les facteurs disponibles NACRES  $\leftrightarrow$  kgCO<sub>2e</sub>/€.

**Ordres de grandeur** Le facteur d'émission moyen pondéré pour les achats est environ 0.3 kgCO<sub>2e</sub>/€. Les instruments et matériels scientifiques représentent  $\sim$ 80% de l'empreinte des achats dans notre laboratoire.

## References

- [1] Didier Barret. Estimating, monitoring and minimizing the travel footprint associated with the development of the Athena X-ray Integral Field Unit. *Experimental Astronomy*, 49(3):183–216, June 2020.
- [2] Jérôme Mariette, Odile Blanchard, Olivier Berné, and Tamara Ben Ari. An open-source tool to assess the carbon footprint of research. *arXiv e-prints*, page arXiv:2101.10124, January 2021.
- [3] Adam R. H. Stevens, Sabine Bellstedt, Pascal J. Elahi, and Michael T. Murphy. The imperative to reduce carbon emissions in astronomy. *Nature Astronomy*, 4:843–851, September 2020.