



Aide au calcul d'empreinte carbone pour communication dans les productions scientifiques

janvier 2025

Table des matières

I Empreinte carbone	2
A Calcul numérique	2
B Campagnes	2
1 Avions	3
2 Bateaux	3
3 Voitures	4
4 Campagne Antarctique	4
5 Matériel	4
6 Missions spatiales	4
II Exemples de communication	5
A Dans une publication scientifique	5
B En conférence	6

I Empreinte carbone

A Calcul numérique

Obtenir le nombre d'heures effectuées pour un projet :

Type de calculateur	Empreinte Carbone [tCO2e/h.cœur]
<i>GENCI CPU</i>	1.2×10^{-6}
<i>GENCI GPU</i>	6.7×10^{-5}
<i>Mésocentre</i>	2.5×10^{-6}

TABLE 1 – Facteurs d'émission par type de calculateur.

Source :

Pour les Grands Equipements Nationaux de Calcul Intensif : <https://apps.labos1point5.org/documentation> (puis “Facteurs d’Émission (FE)”, puis tout à droite “Activités de recherche”), et <https://labos1point5.org/les-rapports/estimation-empreinte-calculation> (La valeur pour les CPU correspond à Joliot-Curie ROME ou Jean Zay, tandis que la valeur pour les GPU correspond à Jean Zay).

Pour les mésocentres, le chiffre vient du rapport MesoNET : <https://hal.science/hal-04728710>.

Pour faire l'estimation de l'empreinte carbone du calcul numérique, il faut distinguer les heures de calcul sur le mésocentre et sur les supercalculateurs. Ainsi, si les heures de calculs seront effectuées sur un supercalculateur, il faut utiliser les 2 premiers chiffres (distinction CPU/GPU). Sinon, il faut utiliser l'estimation faite par le rapport MesoNET.

Pour faire une estimation d'activité pour un projet, il est aussi possible sur Spirit (et Spirit-x) de taper la commande suivante, qui donne le nombre d'heures de calcul effectuées entre 2 dates :

```
sreport -t HourPer cluster AccountUtilizationByUser Users=username Start=2019-01-01 End=2025-01-01
```

Pour les supercalculateurs GENCI, il faut demander à son·a porteur·se de projet DARI de regarder sur www.edari.fr. À noter que le détail n'est pas toujours disponible par utilisateur·rice. L'empreinte carbone des heures consommées par le projet est également donnée par eDARI.

B Campagnes

Avec les différents projets auxquels nous avons eu accès, nous avons identifié l'utilisation récurrente des instruments et transports suivants. Cette liste n'est pas exhaustive, mais peut permettre d'identifier l'ordre de grandeur correspondant à ses besoins. N'hésitez pas à contacter l'équipe de Climactions si vous identifiez un besoin récurrent et que vous souhaitez l'ajouter à ce document.

1 Avions

Type d'avion	Facteurs d'émission [tCO2e/vol]
<i>King Air</i>	3
<i>HALO</i>	46
<i>ATR42</i>	15
<i>Piper</i>	1.3
<i>Falcon-20</i>	12

TABLE 2 – Facteurs d'émission pour les avions de campagnes. Le calcul a été réalisé en se basant sur la capacité du réservoir de chaque avion, en partant du principe qu'un vol correspondait à l'utilisation complète du réservoir.

2 Bateaux

Type de navire	Facteurs d'émission [tCO2e/jour]
<i>Marion Dufresne</i>	21
<i>Atalante</i>	31
<i>Thalassa</i>	19
<i>Pourquoi Pas</i>	47
<i>Antea</i>	9
<i>L'Europe</i>	9
<i>Thetys II</i>	7
<i>Thalia</i>	2
<i>Haliotis, Antédon II</i>	1.5
<i>Bateau de recherche - Meteor</i>	36
<i>Côtes de la Manche</i>	7

TABLE 3 – Facteurs d'émission pour les navires de campagnes. Source : FOF.

3 Voitures

Type de voiture	Facteurs d'émission [tCO2e/km]
<i>Voiture à essence</i>	0.0002
<i>Voiture diesel</i>	0.0002
<i>Voiture électrique</i>	0.00001

TABLE 4 – Facteurs d'émission pour les voitures. Source : Labos1.5.

4 Campagne Antarctique

Campagne Antarctique	Facteurs d'émission [tCO2e/personne/jour]
<i>Indifférencié (ordre de grandeur)</i>	2

TABLE 5 – Facteur d'émission pour les campagnes en Antarctique. Source : Bilan carbone de l'IPEV de 2022 : <https://institut-polaire.fr/wp-content/uploads/2021/03/communiquepresse-bilancarbone-25mars2021.pdf>.

5 Matériel

Type de sonde	Facteurs d'émission [tCO2e/sonde]
<i>Radiosonde à l'hélium</i>	0.5
<i>Radiosonde sans hélium (e.g. hydrogène)</i>	0.05
<i>Dropsonde</i>	0.2

TABLE 6 – Facteurs d'émission pour les sondes de campagnes. Source : ?

6 Missions spatiales

Lancement d'un satellite	Facteurs d'émission [tCO2e/kg de satellite]
<i>Lancement</i>	50

TABLE 7 – Facteur d'émission pour le lancement d'une nouvelle mission spatiale. La masse utilisée est celle du satellite. Source : Knödlseder et al., 2024, <https://www.nature.com/articles/s41550-024-02346-0>.

II Exemples de communication

A Dans une publication scientifique

Pour des observations spatiales (Léa Bonnefoy)

Acknowledgements : The work presented herein makes use of data from four Earth observation space missions : QuikSCAT, whose launch mass was 970 kg; ASCAT on the Metop-C satellite, whose launch mass was 3950 kg; OSCAT on Scatsat-1, whose launch mass was 377 kg; and AMSR2 aboard GCOM, whose launch mass was 2000 kg. Using a life-cycle emission factor of $50(\pm 10)$ tCO₂e.kg⁻¹ (Wilson 2019; Knöldlseder et al. 2022; Marc et al. 2024), these satellites have estimated carbon footprints of, respectively, 18500 tCO₂e, 197500 tCO₂e, 18850 tCO₂e, and 100000 tCO₂e, without accounting for other environmental impacts such as local pollution due to mining or ozone layer depletion caused by the launches. Since data from these satellites are not used only for research purposes but also for weather forecasting and private applications, it is difficult to estimate the impact per scientific paper. In any case, we wish to warn against unnecessary proliferation of infrastructures with such high environmental impact and for more sufficiency in both Earth and Planetary Science.

Pour des observations spatiales (Basile Poujol)

In the context of global warming, these new observations have the advantage to use already existing data and have a low carbon footprint, since geostationary satellite data is shared by a tremendous amount of users and is considered to have a negligible contribution to the carbon footprint of academic research (Odin et al., 2024). Moreover, after the launch of the next geostationary satellites in 2025, these new observations will provide measurements of vertical velocity profiles, that will be an interesting low-carbon alternative to the dropsonde-based aircraft observations.

Pour une campagne avec des avions (Félix Langot)

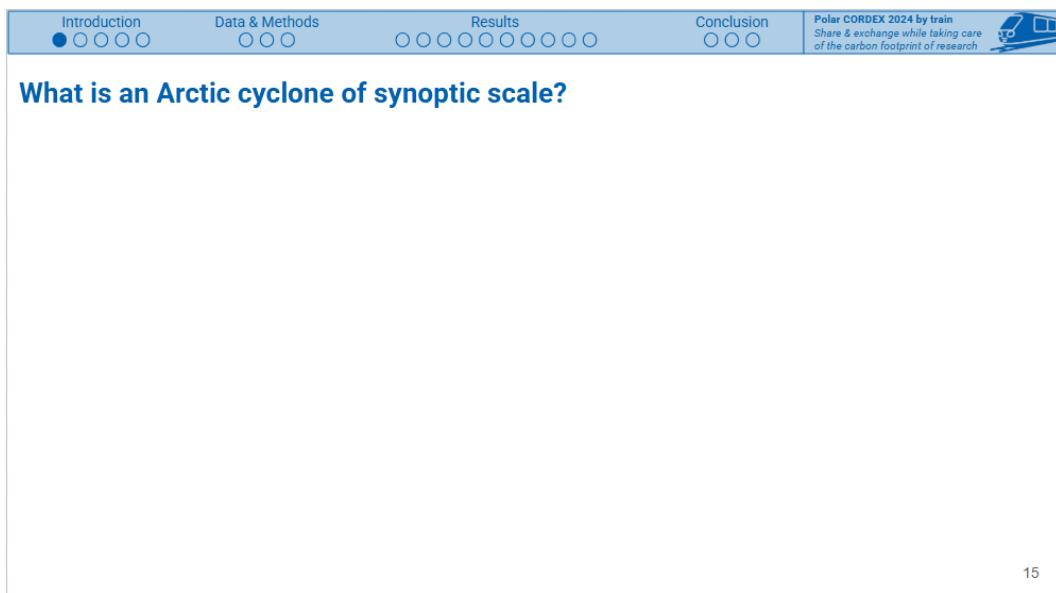
The full carbon footprint of the MAGIC2021 campaign is still being estimated. For this study, we compute an approximate value based on the highest emitters : aircraft flights. The Cessna from DLR has a 675HP turbine engine and flew for 27h22min, which according to Labos1point5 data equates to an emissions of 13 ± 1 tCO₂. The ATR42 from SAFIRE has a 3800HP turbine engine and flew for 25h22min, which equates to emissions of 32 ± 2 tCO₂. Therefore the total carbon footprint of aircraft flights associated to this paper is 45 ± 2 tCO₂. The balloon's carbon footprint is more complicated to estimate. Most recoveries were performed using a helicopter for which engine and flight time data were not part of the MAGIC2021 dataset, resulting in a lack of information. Additionally, the helium used to inflate campaign balloons is a potent greenhouse gas that is released in the high troposphere/lower stratosphere everytime a balloon is used. Working out the full carbon footprint of radiosoundings therefore requires converting released helium to CO₂ equivalent which has not yet been done for MAGIC2021. The carbon footprint of campaign measurements involved in the study presented here is therefore

not complete, and probably totals to more than 50 tCO₂. The campaign as a whole will have a higher carbon footprint still, as it includes the footprint of meals provided during the campaign, travels to Kiruna for every team, additional airborne measurements that were not used in this paper, as well as tools, clothes and instruments that were bought especially for MAGIC2021 . Also neglected here is the footprint of the data analysis and model simulations post-campaign, which are run using high performance computing facilities. Carbon footprint numbers given here are therefore neither representative of the whole campaign nor of the data analysis and modelling footprint, so it should be considered as a lower bound for the footprint of this paper only.

B En conférence

Il est possible d'ajouter sur la slide de fin par exemple quelques informations sur l'empreinte carbone. Cela peut être particulièrement pertinent dans le cadre d'une présentation sur une campagne ou un gros projet de calcul.

En bonus, vous pouvez aussi valoriser votre moyen de transport bas-carbone pour aller en conférence. Cela pourra peut-être inciter d'autres à faire de même la prochaine fois !



15

FIGURE 1 – Un exemple de communication sur l'empreinte carbone pour aller à la conférence.