



Décryptage de publications scientifiques sur l'empreinte environnementale des activités de recherche

N°6 - Algorithmes : quelle empreinte ?

[8 février 2024]

Par **Labos 1point5**

collectif de membres du monde académique, de toutes disciplines et sur tout le territoire, partageant un objectif commun : mieux comprendre et réduire l'impact des activités de recherche scientifique sur l'environnement, en particulier sur le climat.

Publication sélectionnée :

"Green Algorithms: Quantifying the Carbon Footprint of Computation", par Loïc Lanelongue, Jason Grealey et Michael Inouye, *Advanced Science*, 2021, Volume 8, Issue 12 [<https://doi.org/10.1002/adv.202100707>]

Présentation

Les activités humaines sont responsables d'un réchauffement climatique global, évalué aujourd'hui à 1,2°C au-dessus des moyennes pré-industrielles. Parmi ces activités, le calcul numérique (voir encadré [1]) a aujourd'hui une place importante. C'est le cas en particulier dans la recherche : en sciences du climat (prévisions climatiques), en cosmologie (simulations numériques), ou encore en biologie (décryptage génomique). C'est aussi le cas pour la société dans son ensemble (prévisions météorologiques quotidiennes, intelligence artificielle omniprésente), ce qui pose la question de l'impact environnemental du calcul numérique. L'article scientifique décrypté ici présente un outil permettant d'estimer l'empreinte carbone, c'est-à-dire les émissions de gaz à effet de serre (GES), du calcul numérique : l'outil *Green Algorithms*. L'objectif de l'article est de présenter l'outil et ses résultats, de sensibiliser sur l'impact environnemental du numérique et d'encourager le développement d'algorithmes ([1]) plus sobres. Dans ce décryptage sont analysés la méthodologie, les résultats et les limites de l'outil et de l'étude. Pour plus d'informations, voir l'outil *Green Algorithms* accessible en ligne [ici](#).

Méthodologie

► *Green Algorithms* permet d'estimer la **quantité d'équivalent carbone (CO₂e)** émise par l'exécution d'un algorithme informatique, et ce sur différents types d'appareils électroniques.

► La **méthodologie** de l'outil est simple et permet de décrire la plupart des calculs numériques. Les paramètres d'entrée utilisés sont en nombre limité et relativement faciles d'accès.

[1] Définitions :

1. **Algorithme** : ensemble de règles indiquant à l'ordinateur comment effectuer une tâche.
2. **Calcul numérique** : ensemble de calculs réalisés sur un système informatique.
3. **Heure.coeur** : nombre de processeurs (CPU, *central processing unit*) utilisés pour effectuer une simulation, multiplié par la durée en heure (1 heure.coeur correspond à 1 heure de calcul utilisant 1 CPU).

► L'**empreinte carbone** d'un algorithme est définie comme le produit de l'énergie nécessaire pour le faire tourner multipliée par l'intensité carbone de cette énergie (empreinte carbone associée à la production de l'énergie).

► La **quantité d'énergie nécessaire** est principalement dépendante des caractéristiques de l'appareil informatique utilisé : nombre de processeurs (CPU) et processeurs graphiques (GPU, *graphics processing unit*), besoin en mémoire, efficacité énergétique, temps de calcul.

► L'**intensité carbone** de l'énergie dépend quant à elle du lieu et de la méthode de production électrique (mix énergétique du pays).

► Un **paramètre utilisateur** permet de prendre en compte le fait qu'un algorithme est souvent lancé de nombreuses fois pour le tester.

Résultats

► *Green Algorithms* produit des **estimations réalistes** et cohérentes avec les résultats obtenus avec d'autres outils, comme dans le cas du traitement des langues, des prévisions météorologiques ou des simulations en physique des particules (voir encadrés [2] et [3]). Il est donc possible d'estimer l'empreinte carbone d'un algorithme à partir de quelques paramètres connus.

[2] Empreinte carbone des prévisions météorologiques :

1. Le Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (ECMWF, *italic en*) effectue chaque jour des prévisions, reprises par les instituts météorologiques nationaux.
2. Cela représente pour l'ECMWF entre 200 et 300 simulations par jour, réalisées sur des supercalculateurs en Grande-Bretagne.
3. Ces simulations émettent **entre 300 et 3 000 kgCO₂e** par jour d'après *Green Algorithms*, soit une moyenne du même ordre de grandeur qu'un aller-retour Paris-New York en avion.

► L'outil permet de **faciliter les estimations** et leur inter-comparaison. Par exemple, l'empreinte carbone d'une heure.cœur de calcul à l'Université Grenoble Alpes est estimée à 4,7 gCO₂e par Berthoud *et al.*¹ et à 6,7 gCO₂e par *Green Algorithms*, soit un ordre de grandeur similaire.

► Il permet également des **arbitrages facilités** entre plusieurs algorithmes : arbitrage entre d'une part le temps de calcul ou sa précision, et d'autre part l'empreinte carbone associée. Cela est utile par exemple dans le cas d'un budget carbone alloué à un laboratoire de recherche.

[3] Empreinte carbone du traitement des langues :

1. L'algorithme *Bidirectional Encoder Representations from Transformers* (BERT) est le modèle de langage de référence pour le traitement des langues. Il est utilisé en particulier par Google.
2. De nombreux scientifiques ré-entraînent ce modèle sur des domaines spécifiques à leur discipline de recherche.
3. Un tel entraînement prend généralement plus de 3 jours et correspond à environ **750 kgCO₂e** d'après *Green Algorithms*.

Limites de l'étude

► Le périmètre est ici limité à l'**utilisation de l'algorithme** (comme pour beaucoup d'études sur l'impact environnemental du numérique). La fabrication de l'appareil, de l'infrastructure et les ressources nécessaires, ne sont pas prises en compte. La maintenance de l'appareil et sa fin de vie ne sont pas non plus prises en compte.

► En France, la **fabrication** d'un appareil numérique représente pourtant environ **75 %** de

¹ Voir le rapport « *Estimation de l'empreinte carbone d'une heure.cœur de calcul* », Françoise Berthoud *et al.*, 2020 (à noter que le périmètre des deux estimations sont proches mais pas totalement identiques).

l’empreinte carbone totale liée au numérique². L’analyse de cycle de vie aurait permis ici une estimation plus précise en prenant en compte un périmètre plus large.

► L’outil se limite à l’estimation de l’**empreinte carbone** : seules les émissions de GES sont prises en compte. D’autres indicateurs environnementaux sont pourtant pertinents, comme l’épuisement des ressources non renouvelables, la consommation d’eau et l’écotoxicité humaine, aquatique et terrestre.

► Les auteur.es recommandent le recours à la **compensation carbone** pour contrebalancer les émissions, mais des études récentes montrent que cela ne permet pas de lutter efficacement contre le changement climatique³.

► L’utilisation des algorithmes, et notre dépendance au numérique en général, ont aussi d’autres **impacts environnementaux et so-**

2 D’après le rapport « [Évaluation de l’impact environnemental du numérique en France et analyse prospective](#) », ADEME, 2022.

3 Voir l’article "[Forest carbon offsets are failing](#)", Julia P. G. Jones et Simon L. Lewis, *Science*, 2023.

ciaux non mentionnés ici : effets rebonds liés à l’optimisation des algorithmes (plus le temps de calcul est rapide, plus le nombre de simulations possibles augmente), impacts sociaux et sociétaux, etc.

► Plusieurs publications récentes se penchent sur les **conséquences du développement numérique** de manière plus large et s’intéressent à ces impacts sociaux et environnementaux. Pour poursuivre la lecture, voir notamment l’article « [Pourquoi et comment démanteler le numérique ?](#) » par Romain Couillet et Grégoire Poissonnier.

► Pour finir, il est nécessaire de questionner aussi l’**utilité sociale** de ces algorithmes. L’empreinte carbone des prévisions météorologiques peut paraître élevée (voir encadré [2]), mais elles profitent à l’ensemble de la population et peuvent s’avérer cruciales pour la production alimentaire et la prévention des risques climatiques. Au contraire, d’autres algorithmes font l’objet de critiques sociales plus vives (*deepfake*, etc.), alors même que leur empreinte carbone n’est pas évoquée dans les débats.

Réalisation

Marion Avet, Jean-François Bonnet, Mathieu Bouffard, Floriane Clément, Brice Douet, Françoise Immel, Julien Milli

Charte graphique et relecture : Estelle Carciofi

Contacts

Marion Avet : marion.abet@inrae.fr (cheffe de projet du GDR *Labos 1point5*)

Julien Milli : julien.milli@univ-grenoble-alpes.fr (Université Grenoble Alpes, Grenoble)