

TD 2 – Bilan Carbone

Cette séance de 2h a pour but d'introduire la notion d'empreinte carbone et de proposer des outils permettant aux individus, collectifs et entreprises d'estimer cette empreinte.

1 Empreinte carbone individuelle

Dans un premier temps, vous devez vous rendre sur le site <https://nosgestesclimat.fr>. Cliquez sur "Passer le test".

Chaque étudiant doit faire l'exercice de construire l'estimation de son empreinte carbone. Vous pouvez poser les questions à votre binôme, à la manière d'une interview croisée.

Question 1 Lorsque le test est terminé, le site vous propose un "bilan". À quelle estimation d'empreinte carbone arrivez-vous individuellement ?

Question 2 Avec votre binôme, allez en particulier voir la partie "Comment agir" et discuter ensemble des pistes qui vous sont proposées : lesquelles vous paraissent acceptables pour vous ?

Question 3 Constatez également les postes qui vous paraissent importants mais sur lesquels vous pensez avoir peu de prise ? Pourquoi ?

On rappelle que l'objectif fixé par les accords de Paris est de 2TeqCO₂/an/personne.

Rappel (Vu en FIMI-ETRE-S2): L'équivalent CO₂

Les différents GES anthropiques ont un impact plus ou moins important sur le climat^a. Afin d'être comparés, les émissions des différents GES peuvent être exprimés en CO₂e (équivalent CO₂). Pour cela, le PRG (potentiel de réchauffement global) à 100 ans est l'indicateur classique retenu dans la plupart des rapports et traités internationaux. Par exemple, 1 kg de méthane (CH₄) réchauffera autant l'atmosphère que 28 à 30 kg de CO₂ au cours du siècle qui suit leur émission.

Désignation	Formule chimique	PRG à 100 ans ^b
Dioxyde de carbone	CO ₂	1
Méthane	CH ₄	28-30
Protoxyde d'azote	N ₂ O	265
Hexafluorure de soufre	SF ₆	23500

^aSource : <https://docs.datagir.ademe.fr/documentation/>

^b5ème rapport du GIEC (2013) Source : <https://www.bilans-ges.ademe.fr/fr/accueil/documentation-gene>

2 Empreinte carbone du numérique

Documents

- Étude Impact environnemental du numérique. <https://ecoresponsable.numerique.gouv.fr/actualites/actualisation-ademe-impact/>
- Numérique et environnement : Comment évaluer l'empreinte de la fabrication d'un serveur, au-delà des émissions de gaz à effet de serre ? <https://boavizta.org/blog/empreinte-de-la-fabrication-d-un-serveur/>

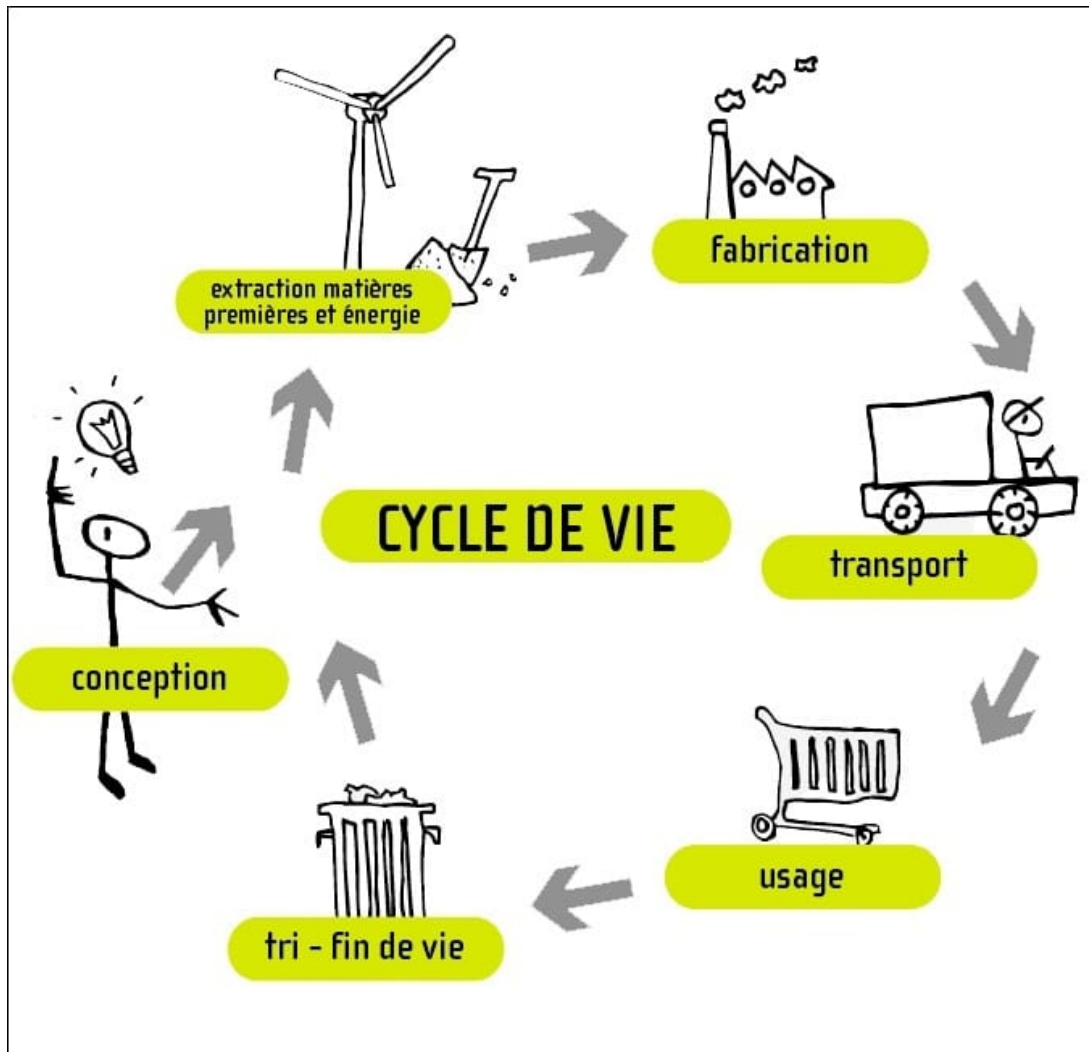


Figure 1: Une vision très schématique de l'Analyse de Cycle de Vie (voir <https://boavizta.org/blog/empreinte-de-la-fabrication-d-un-serveur>)

Question 4 En se basant sur le document de l'ADEME, expliquez en quoi consiste l'empreinte carbone du secteur du numérique. Parmi ces informations, y a-t-il quelque chose qui vous surprend ?

Question 5 Comparez votre empreinte carbone personnelle par celle de la fabrication des équipements ? Vous en pensez quoi ?

Question 6 L'analyse de cycle de vie (ACV) est très schématiquement représentée à la figure 1. Passez deux minutes en essayant de comprendre le cycle de vie des matériaux et en essayant de lui mettre une définition appropriée.

Question 7 L'ACV peut être étudiée sur plusieurs scopes. Dans le document accessible sur le site de Boavizta, relevez chacun de ceux-ci et donnez-en une définition.

Question 8 En utilisant la méthode de l'ACV, décrite dans le Blog de Boavizta, extrayez les différentes formules pour calculer l'empreinte carbone d'un serveur / ordinateur. Vous retrouverez des formules pour la fabrication du CPU, de la RAM, un composant de stockage SSD, un disque HDD, le bloc d'alimentation, le châssis (au format blade ou rack)

Question 9 En binôme, calculez l'impact environnementale des machines suivantes. Créez un fichier "tableur" dans lequel vous reporterez ces calculs pour les différents modèles considérés.

Workload Scenario	Form Factor	CPU Cores	RAM	Storage
Web Server (websites, APIs)	1U Rack (pizza box)	16 cores	64 GB (2× 32)	2 × 1 TB NVMe SSD
Database Server (OLTP databases)	2U Rack server	48 cores	512 GB (16× 32)	8 × 3.2 TB NVMe SSD (RAID10 ≈ 12.8 TB usable)
Storage Server (backup / object storage)	4U Storage rack	12 cores	128 GB (4× 32)	24 × 16 TB HDD + 2 × 2 TB NVMe SSD cache
Virtualization Host (VM cluster)	Blade server	64 cores	1 TB (16× 64)	4 × 3.2 TB NVMe SSD (≈ 12.8 TB)
AI / Machine Learning Training	4U GPU server	64 cores	1 TB (16× 64)	4 × 2 TB NVMe SSD (≈ 8 TB)
HPC Compute Node (scientific computing)	1U Rack node	128 cores	512 GB (16× 32)	1 × 1 TB NVMe SSD
Developer Light workload	Laptop	16 cores	32 GB (2× 16)	1 × 1 TB NVMe SSD

Question 10 En analysant l'impact de chaque cas, pouvez-vous en déduire la différence entre les différentes utilisations de chaque scénario ? Vous en pensez quoi ?

3 Intelligence artificielle et impact environnemental du numérique

Documents

- Impact environnemental de l'intelligence artificielle
<https://www.greenit.fr/2025/10/21/quels-sont-les-impacts-environnementaux-et-sanitaires-de-l>
- Article sur la consommation énergétique de l'IA générative
<https://www.polytechnique-insights.com/tribunes/energie/ia-generative-la-consommation-energet>

Question 11 Distinguez les deux phases principales dans le cycle de vie d'un modèle d'IA.

Question 12 Pourquoi l'entraînement des modèles d'IA peut-il avoir un impact environnemental important ?

Question 13 Quels sont les impacts de l'utilisation de l'IA cité dans l'article de GreenIT ? Donnez des valeurs significatives pour chacun.

Question 14 On estime qu'une requête vers un système d'IA générative consomme plus d'énergie qu'une requête classique sur un moteur de recherche. Expliquez pourquoi une requête vers un outil comme ChatGPT est plus coûteuse en ressources qu'une requête vers Google Search.

De nombreuses tentatives d'estimation de la consommation sont publiées. Même si il ne s'agit que d'estimation, les ordres de grandeur sont assez spectaculaires et devraient nous alerter en tant qu'utilisateurs ou futurs contributeurs. A titre d'exemple, nous considérons l'estimation donnée dans [1] dont on trouvera un résumé ici :

<https://www.ie.edu/insights/articles/from-cloud-to-cup-how-much-water-does-your-chatgpt-drink/>

Question 15 Imaginons une entreprise d'une centaine d'employé·e·s, qui encourage ses employés à utiliser une IA couramment à raison de 100 requêtes par jour et par employé·e. À quelle consommation d'eau (par employé) cela correspond-il ?

Question 16 Allez maintenant voir les chiffres de consommation d'eau pour la métropole du Grand Lyon, ici : https://www.grandlyon.com/fileadmin/user_upload/media/pdf/eau/rapports/20241218_eau_rapport_annuel_2023.pdf.
Comparez.

Question 17 Pensez-vous que les outils d'IA générative comme ChatGPT représentent une opportunité pour améliorer l'efficacité du travail numérique ou un risque d'augmentation de l'empreinte carbone du numérique ?

4 Réduire l'empreinte environnementale du numérique

Question 18 Expliquez ce que l'on entend par sobriété numérique. Pourquoi ce concept devient-il central dans la réduction de l'empreinte environnementale du numérique ?

Question 19 Dans le cycle de vie d'un équipement numérique, quelle phase a le plus d'impact environnemental ?

Question 20 En vous basant sur le référentiel d'écoconception des services numériques, proposez trois bonnes pratiques permettant de réduire l'impact environnemental :

- au niveau du matériel
- au niveau du logiciel
- au niveau de l'usage

Question 21 Certains experts parlent d'effet rebond dans le domaine du numérique. Recherchez ce que signifie cet effet et expliquez comment il peut s'appliquer aux technologies numériques. Donnez un exemple.

Bibliography

[1] LI, Pengfei ; YANG, Jianyi ; ISLAM, Mohammad A. ; REN, Shaolei: Making AI Less 'Thirsty'. In: *Commun. ACM* 68 (2025), Juni, Nr. 7, 54–61. <http://dx.doi.org/10.1145/3724499>. – DOI 10.1145/3724499. – ISSN 0001–0782