

SAÉ S6 – DIAGRAMMES DE
VORONOÏ

PHASE 3 – ANALYSE DES RISQUES LIÉS AUX IA GÉNÉRATIVES

Thème : Environnement

Nom : Belaidouni

prénom : Fadela manel



Introduction	3
1. L'empreinte carbone : de l'entraînement à l'utilisation	3
1.1 Le coût énergétique de l'entraînement des modèles (LLM)	3
1.2 L'impact invisible de l'inférence (chaque requête utilisateur)	3
2. La consommation invisible des ressources physiques	4
2.1 La problématique de l'eau : le refroidissement des centres de données	4
2.2 Le cycle de vie du matériel : métaux rares et déchets électroniques	4
Métaux rares	4
Déchets électroniques	5
3. Limites des solutions actuelles et paradoxes	5
3.1 L'IA comme outil d'optimisation écologique	5
Conclusion	5
Les sources	6

Introduction

L'année 2022 a marqué un changement majeur dans l'histoire de l'informatique avec le lancement des intelligences artificielles génératives, des outils comme ChatGPT ou Midjourney. En moins d'un an, ces derniers avaient séduit **20%** de la population française qui ont commencé à les utiliser comme des assistants quotidiens pour des tâches simples ou complexes.

Au sein de notre société numérique, nous avons été demandé de développer avec des Intelligences artificielles, c'est vrai que le gain de productivité était indéniable, mais est-ce qu'on se rend compte de l'impact environnemental causé par ces LLM.

La problématique de cette analyse est donc la suivante : Alors que l'IA générative nous semble immatérielle, que se passe-t-il réellement derrière l'écran ? quel est le réel impact sur l'environnement ? l'empreinte carbone ? La consommation massive d'eau ?

1. L'empreinte carbone : de l'entraînement à l'utilisation

1.1 Le coût énergétique de l'entraînement des modèles (LLM)

L'entraînement initial d'un LLM nécessite une consommation massive des ressources sur une longue durée. Par exemple, entraîner GPT-3 a nécessité environ **1287 MW_b** d'électricité, émettant **502 tonnes de CO₂**. Ce bilan équivaut aux émissions de **112 voitures à essence** sur un an, ce qui est énorme. En 2023, l'entraînement de GPT-4 est encore plus énergivore : il aurait consommé autour de **50 GW_b (soit 50 000 MW_b)** d'énergie, soit l'équivalent de la consommation annuelle de **700 foyers américains** – un chiffre qui souligne une hausse exponentielle par rapport à GPT-3 (même si les détails exacts restent non confirmés par le fabricant, on se demande pourquoi).

1.2 L'impact invisible de l'inférence (chaque requête utilisateur)

Une fois le modèle déployé, la consommation énergétique se poursuit à chaque requête utilisateur. De manière surprenante, l'inférence peut englober davantage d'énergie cumulée que l'entraînement sur la durée de vie du modèle. Google estime ainsi que, pour l'ensemble de ses services d'IA, environ **60 %** de l'énergie totale est consommée lors de l'inférence contre **40 %** pour l'entraînement. Le fonctionnement quotidien de GPT-3 émettait **~8,4 tonnes de CO₂** par an (environ 50 livres de CO₂ par jour). Surtout, une seule requête complexe à un LLM de la taille de ChatGPT peut consommer jusqu'à **100 fois** plus d'énergie qu'une requête de recherche Web traditionnelle. Cela s'explique par le fait que la génération de texte engendre des milliards de calculs, alors qu'un moteur de recherche classique s'appuie sur des index pré-calculés. Essayons d'imaginer le nombre de requêtes faites chaque jour au sein de notre équipe, au sein de la société, au sein du monde, cela dépasse notre imagination.

2. La consommation invisible des ressources physiques

2.1 La problématique de l'eau : le refroidissement des centres de données

Vous vous souvenez sûrement des problèmes d'électricité que la France a connu il y a quelques années avec des centrales nucléaires qui ne fonctionnaient pas pour cause de maintenance ? Imaginez maintenant un problème similaire non pas pour une maintenance mais car il n'y a plus assez d'eau ?

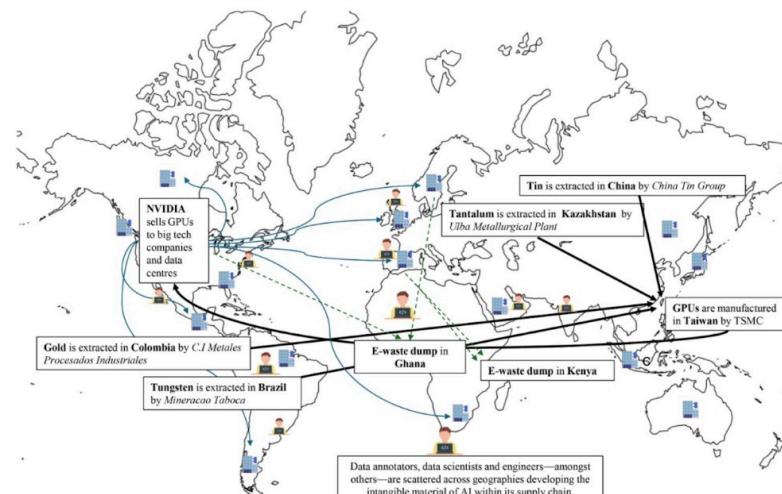
Cette problématique existe déjà car les rapports environnementaux de Microsoft et Google (très actifs sur l'IA générative) montrent une forte augmentation de l'usage d'eau pour le refroidissement de leurs datacenters. Dans son rapport, Microsoft a indiqué que la consommation d'eau des centres de données a augmenté de **34%** entre 2021 et 2022, plus de **6,4 milliards** de litres d'eau en 2022, soit l'équivalent de **2500** piscines olympiques. Google lui aussi avec une hausse de **20%** de sa consommation d'eau au cours de la même période. La raison de cet accroissement est liée au fait que les serveurs d'IA chauffent énormément et nécessitent de faire évaporer des quantités massives d'eau douce pour refroidir les circuits.

2.2 Le cycle de vie du matériel : métaux rares et déchets électroniques

Métaux rares

L'infrastructure de l'IA dépend d'un grand nombre de matériaux, de produits de base et de ressources naturelles.

Pas d'IA sans serveurs, sans puces, et en particulier sans GPU. et ces puces nécessitent de l'électricité, de l'eau, des ressources pour être fabriquées.



Chaîne de valeur de l'IA – Ana Valvidia

La fabrication d'une IA commence loin d'un ordinateur. Comme le montre ce graphique qui illustre la chaîne de valeur internationale de l'IA, ça commence par l'extraction ou extrait des métaux rares partout dans le monde (étain en Chine, or en Colombie, tantale au Kazakhstan). Ensuite la fabrication ou ces métaux sont envoyés à Taiwan (chez TSMC) pour créer les puces. Après la conception ou ces puces (GPU) sont dessinées par l'américain **NVIDIA**, qui domine 85% du marché. Enfin l'utilisation ou les puces

finissent dans des centres de données mondiaux, mais leur durée de vie est courte : seulement **5 ans** en moyenne avant d'être remplacées.

Déchets électroniques

Les composants ultra-sophistiqués utilisés dans les data centers contiennent une énorme quantité de matériaux toxiques (plomb, cadmium, mercure). Seulement **22%** des déchets électroniques sont actuellement recyclés correctement. Le reste finit souvent dans des décharges principalement dans les pays du Sud, où des milliers de travailleurs touchent à mains nues les GPU venant de l'Occident, s'exposant à des contaminations très graves. Une étude publiée dans *Nature Computational Science* estime que l'IA générative pourrait générer jusqu'à **5 millions** de tonnes de déchets électroniques supplémentaires d'ici 2030, s'ajoutant aux **60 millions** de tonnes produites aujourd'hui.

3. Limites des solutions actuelles

3.1 L'IA comme outil d'optimisation écologique

Il faut préciser aussi que l'IA peut aider la planète. Elle peut traiter des tonnes de données très vite pour trouver les problèmes invisibles à l'œil nu et trouver des solutions. Par exemple, elle est utilisée aujourd'hui pour surveiller la pollution du sol ou détecter les fuites de gaz polluant dans les usines. Le Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE) estime que l'IA peut aider à lutter contre trois grandes urgences : le changement climatique, la disparition des espèces et la pollution. Mais l'IA a des aspects négatifs plus que positifs.

« Nous ignorons encore beaucoup de choses sur l'impact environnemental de l'IA, mais certaines des données dont nous disposons sont préoccupantes. », a déclaré Golestan (Sally) Radwan, directrice du numérique au PNUE.

Conclusion

Pour conclure, l'IA générative n'est pas immatérielle comme on l'imagine. Derrière chaque requête envoyée pour nos projets au sein de notre équipe, il y a une réalité physique : des serveurs qui chauffent, des litres d'eau qui s'évaporent pour refroidir et des métaux rares extraits à l'autre bout du monde. Si l'IA peut aider à optimiser certains secteurs, vu comment l'IA grandit vite, c'est compliqué de respecter la nature et de tenir nos promesses pour réduire la pollution.

La solution n'est pas d'interdire l'IA, mais d'arrêter de l'utiliser pour n'importe quoi et d'apprendre à être plus raisonnable. En tant que développeurs, notre rôle sera de choisir des outils plus légers pour répondre à un besoin, en essayant de consommer le moins d'énergie. L'IA ne pourra durer que si on apprend à l'utiliser avec intelligence.

Les sources

- ❖ L'IA Générative... du changement climatique !
 - <https://www.carbone4.com/ia-generative-du-changement-climatique>
- ❖ Les impacts de l'IA sur l'environnement
 - https://hal.inrae.fr/hal-05020408v1/file/EN-2025-03_08_Les-impacts-de-lIA-su-r-environnement_-F.-Garcia-et-S.-SCHBATH.pdf
- ❖ E-waste challenges of generative artificial intelligence
 - <https://www.nature.com/articles/s43588-024-00712-6>
- ❖ Nvidia Shipped 3.76 Million Data-center GPUs in 2023, According to Study
 - <https://www.hpcwire.com/2024/06/10/nvidia-shipped-3-76-million-data-center-gpus-in-2023-according-to-study/>
- ❖ The *supply chain capitalism of AI*: a call to (re)think algorithmic harms and resistance through environmental lens
 - <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/1369118X.2024.2420021#d1e235>
- ❖ Efficient self-attention with smart pruning for sustainable large language models
 - <https://www.nature.com/articles/s41598-025-92586-5#:~:text=LLMs%20require%20immense%20computational%20resources%2C,energy%20and%20water%20for%20cooling>
- ❖ Consommation énergétique des LLM : état des lieux et perspectives en 2025
 - <https://webjeje.eu/consommation-energetique-des-lm-etat-des-lieux-et-perspectives-en-2025/>
- ❖ La consommation d'eau liée à l'IA générative inquiète
 - <https://www.lemondeinformatique.fr/actualites/lire-la-consommation-d-eau-liee-a-l-ia-generative-inquiete-91508.html>