ÉTUDE / Rapport

Impacts environnementaux de l'intelligence artificielle dans le monde

Édition 2026 – Septembre

ASSOCIATION green it

Auteur·rices

Étude : Impacts environnementaux et sanitaires de l'intelligence artificielle dans le monde en 2025 et 2030

Éditeur : Association Green IT
Date de publication : Septembre 2026
Version : 2.0

Cette étude a été réalisée bénévolement, sans financement, par les expert.e.s indépendant.e.s membres de l'association Green IT.

Aut•eur•rices :

- Frédéric Bordage, GreenIT.fr
- Auban Derreumaux, Innov'iction
- Laure Alfonsi, Zeb & Web
- Jérôme Gascoin
- James Martin

Contribut•eur•rices :

- Laure Dupin
- Sylvain Chery

Revue critique interne :

- Romain Carbou

Mise en page, infographie et communication :

- Xavier Prizé, Consultant NR indépendant
- Laure Alfonsi, Zeb & Web
- Estée Desanctis

Contact : etudes@greenit.eco

Citation : Alfonsi L., Bordage F., Derreumaux A., Gascoin J., Martin J., Impacts environnementaux et sanitaires de l'intelligence artificielle dans le monde, 2ème édition, septembre 2026

Lien de l'étude :
https://greenit.eco/nos-etudes-et-essais/impacts-environnementaux-de-lia-dans-le-monde-en-2025/

Licence : cette étude est publiée sous licence Creative Commons CC-By-NC-ND 4.0.
https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.en

Sommaire

Résumé **4**

Nouveautés de l'édition 2026 ..... **5**
Ce qui ne change pas 5
Nouveautés et principaux changements 5

1. Introduction **6**
1.1. Pourquoi cette étude ? 6
1.2. Périmètre 6
1.3. Termes utilisés dans ce document 7

2. Méthode **8**
2.1. Méthodologie de l'ACV 8

3. Définition de l'objectif et du périmètre de l'étude **12**
3.1. Objectif de l'étude 12
3.2. Périmètre de l'étude 13

4. Données utilisées dans le modèle ACV **28**
4.1. Données liées aux étapes du cycle de vie 28
4.2. Serveurs IA 29
4.3. Infrastructures IA 31

5. Résultats **34**
5.1. Evaluation de la fabrication et de la mise à disposition d'un serveur IA (UF1, UF2, UF3) 34
5.2. Evaluation des impacts globaux de l'IA dans le monde (UF4 et UF5) 43

6. Conclusion de l'étude **51**
7.1. Faits marquants 51
7.2. Recommandations 53

Annexes **56**
Points d'amélioration 56
Acronymes 57
Indicateurs d'impacts 57
Glossaire 59
Liste des facteurs d'impacts utilisés 61
Détails de la composition des baies 62
Bibliographie 64

Résumé

Cette étude évalue pour la première fois les **impacts environnementaux et sanitaires de l'intelligence artificielle dans le monde en 2025 et en 2030**, à l'aide d'une approche scientifique rigoureuse basée sur les méthodes standards de référence : **Analyse du Cycle de Vie** (ACV) multicritères de l'ISO, **Product Environmental Footprint** (PEF) de la Commission européenne, et **Référentiel de catégorie de produit**s (RCP) Services Numériques de l'ADEME.

Toutes les étapes du cycle de vie - fabrication, distribution, utilisation, fin de vie - ont été prises en considération pour **16 indicateurs d'impacts environnementaux et sanitaires**. Les résultats sont normalisés et pondérés pour aboutir à un score environnemental unique.

Cette étude ne distingue pas les différents types d'intelligence artificielle : générative, agentique, prédictive, etc. Les impacts sont quantifiés en fonction des infrastructures physiques dédiées à l'IA : serveurs, racks, m2 de centre informatique, etc. Nous avons considéré **13 millions de serveurs IA en activité dans le monde en 2025 et 25 millions en 2030**.

L'empreinte de l'IA est constituée principalement de **4 impacts** : le **potentiel de réchauffement global (35 %)**, l'**eutrophisation des milieux aquatiques (23 %)**, l'**épuisement des ressources abiotiques minérales, métalliques et fossiles (19 %)**, et les **émissions de particules fines (15 %)**. La **production de l'électricité** est responsable **jusqu'à 96 % de ces impacts**. Mais la **fabrication** des équipements **peut atteindre 45** % de certains impacts tels que l'épuisement des ressources abiotiques.

En valeur absolue, les **émissions de gaz à effet de serre** (principal impact unitaire) de l'**IA mondiale** vont passer **de 99 à 636 millions de tonnes équivalent CO2** entre **2025 et 2030**. A l'horizon 2030, cela représentera l'équivalent de **86 millions de tours du monde en voiture thermique** et **1,4 fois le budget annuel soutenable** de l'**Union européenne**. Rapportés à un **individu**, **l'IA consommera 16 % de son budget annuel soutenable**. Cette situation n'est pas soutenable : si on ajoute les autres usages numériques, l'ensemble représente 56 % du budget annuel soutenable d'un européen.

Actuellement, l'offre crée les impacts. En effet, les **consommateurs** sont fortement **encouragés à utiliser gratuitement les nouvelles fonctionnalités liées à l'IA**. Il en va de même des salariés dans les entreprises. Certains acteurs imposent l'usage de l'IA dans leurs outils numériques du quotidien : résumés automatiques de messages ou des résultats de moteurs de recherche, retouche de photos, etc. L'offre crée donc la demande qui crée les impacts.

A titre individuel, les consommateurs peuvent tenter de réduire leurs impacts en mettant en œuvre quelques gestes clés détaillés dans ce rapport. Mais les **pouvoirs publics** doivent absolument prendre la mesure du problème pour **donner les moyens aux utilisateurs, comme aux entreprises**, d'**agir plus efficacement**.

Nous recommandons aux pouvoirs publics de :

1. Légiférer en faveur d'un **plan "sobriété IA"** pour contenir l'offre ;
2. **Donner aux citoyens les moyens d'agir** (marquage "IA" comme pour les OGM par exemple) ;
3. Créer une **filière d'excellence en IA frugale** et responsable ;
4. **Rendre obligatoire l'écoconception des IA hébergées en France** ;
5. **Taxer** (bonus-malus) les centres IA fonctionnant avec des **énergies fossiles**.

Nouveautés de l'édition 2026

Ce qui ne change pas

Par rapport à la première édition publiée fin 2025, le périmètre global de l'étude est exactement le même : l'**infrastructure IA mondiale** en 2025 et 2030.

Voir 1.2 Périmètre pour plus de détails sur le périmètre.

Nouveautés et principaux changements

Pour cette édition, nous avons surtout amélioré la précision et la fiabilité de l'étude, notamment en affinant un grand nombre de paramètres clés.

1. **Mise à jour des impacts GPU**. L'étude s'appuie sur la toute dernière ACV indépendante portant sur la fabrication d'un GPU H100 SXM 80GB de Nvidia. Voir 4.2 Serveurs IA.
2. **Plus de profils de serveurs IA, plus fins**. La première édition de cette étude s'appuyait sur un seul type de serveur IA. Pour cette deuxième édition, nous avons modélisé **3 serveurs IA : entrée de gamme, milieu de gamme, haut de gamme / haute performance**. Cela nous a permis de prendre en compte l'évolution des serveurs, l'augmentation de puissance des GPU et la densité augmentée des racks. Voir 4.2 Serveurs IA.
3. **Localisation des centres informatiques spécialisés IA, par maille géographique fine et mix électrique associé**. Dans la première édition de cette étude, nous avons confirmé que la production de l'électricité consommée par les serveurs IA est la première source d'impacts environnementaux et sanitaires. Nous avions utilisé un mix "monde" moyen sans tenir compte de la localisation des centres informatiques hébergeant les serveurs IA. Pour **cette seconde édition, nous avons tenu compte de leur localisation**, avec notamment, par ordre décroissant, plus de la moitié des DC IA aux USA, au moins 15 % en Chine et le reste dans d'autres pays.
4. **Questionnement du taux d'usage des serveurs (MFU)**. Dans la première édition de cette étude, le taux moyen d'utilisation d'un serveur IA communément admis **en 2025** était de **67 %**. **Nous avons challengé ce taux et obtenu un taux plus précis de 69 %**. Cette faible variation cache un long et fastidieux travail de fond de la part de l'équipe dédiée à cette étude. Le détail du calcul se trouve dans la partie 3.2.4.3
5. **Ajout d'équipements complétant le serveur IA dans la salle IT au sein du DC**. Nous avons ajouté des composants (cartes réseaux) à l'échelle des serveurs et nous avons affiné les calculs d'allocation des équipements périphériques (stockage, réseau), à partir de données du terrain.
6. **Mise à jour des stocks**. Nous avons mis à jour l'intégralité des stocks d'équipements en activité via les ventes et les parts de marché des différentes gammes de serveurs IA.

1. Introduction

Début 2025, la France a annoncé investir **109 milliards d'euros** dans un **plan Intelligence Artificielle (IA)** visant notamment à construire **35 nouveaux centres informatiques** dédiés.

Face au développement exponentiel des services basés sur les technologies de l'Intelligence Artificielle, et plus particulièrement de l'IA générative (IA gen), les **enjeux sociaux**, mais aussi **environnementaux et sanitaires** suscitent de plus en **plus d'attention et de préoccupations**.

Pionniers dans la quantification et la réduction des impacts environnementaux du numérique, nous avons souhaité **contribuer aux réflexions et au débat sur l'IA** en apportant des données quantitatives de qualité.

1.1. Pourquoi cette étude ?

La finalité de cette étude est de quantifier les impacts environnementaux et sanitaires de l'intelligence artificielle dans le monde, pour la première fois à l'aide de la méthode standard d'Analyse du Cycle de Vie (ACV) multicritère et des autres méthodes standard associées. Il n'existe en effet aucune autre ACV sur ce périmètre dans le monde.

1.2. Périmètre

L'étude porte sur les impacts environnementaux et sanitaires (16 impacts évalués, 15 restitués) de l'infrastructure matérielle soutenant l'intelligence artificielle dans le monde en 2025 et 2030.

Plus précisément, **sont pris en considération** :

- les **équipements informatiques** qui exécutent les modèles logiciels d'intelligence artificielle (entraînement et inférence) ;
- les **équipements informatiques** qui stockent les données associées (entraînement, inférences, résultats, etc.) ;
- les **équipements réseaux et de sécurité** ;
- et les **centres informatiques** qui hébergent ces équipements **dédiés à l'IA**.

Les **terminaux des utilisateurs** - smartphones, ordinateurs, etc. - **intégrant de l'IA** localement et / ou permettant de dialoguer avec des IA génératives (ChatGPT par exemple), agentiques (Perplexity par exemple), **ou d'autres types d'IA**, **ne sont pas pris en compte**.

Les **réseaux informatiques** permettant aux **terminaux utilisateurs d'échanger avec l'infrastructure étudiée** dans cette étude ne sont **pas pris en compte**. Les réseaux permettant à des IA de dialoguer entre elles sans intervention humaine ne sont pas prises en compte.

Cette étude ne **totalise donc pas tous les impacts environnementaux et sanitaires de l'IA** mais uniquement ceux qui ont lieu au sein des centres informatiques.

1.3. Termes utilisés dans ce document

Si vous n'êtes pas famili•er•ère avec l'Intelligence Artificielle et les Analyses du Cycle de Vie, nous vous conseillons de lire la liste des acronymes et le glossaire en Annexe de ce document.

2. Méthode

Cette partie présente la méthodologie d'Analyse du Cycle de Vie. Si vous êtes déjà famili.er.ère avec l'ACV et les ACV simplifiées de type screening ou qu'une connaissance approfondie de la méthodologie utilisée pour réaliser cette étude ne vous intéresse pas, vous pouvez aller directement au chapitre 3.

2.1. Méthodologie de l'ACV

2.1.1. Principes généraux de l'ACV

L'Analyse du Cycle de Vie (ACV) est une méthode utilisée depuis la fin des années 1990 pour évaluer les impacts environnementaux et sanitaires de produits, de services ou d'organisations.

L'ACV s'appuie sur les standards internationaux des séries ISO 14040:2006 et ISO 14044:2006.
Son usage est précisé par la méthode Environmental Footprint (EF) 3.1 de la Commission européenne.

Caractéristiques clés d'une ACV :

- **Multicritère** : plusieurs indicateurs environnementaux et sanitaires sont considérés systématiquement : potentiel de réchauffement global, épuisement des ressources abiotiques, création d'ozone photochimique, écotoxicité humaine, etc. La liste des indicateurs n'est pas fixe mais dépend des secteurs d'activité et des méthodes précisant l'ACV.
- **Cycle de vie** : intégration des impacts générés lors de toutes les étapes du cycle de vie des équipements, depuis l'extraction des ressources naturelles jusqu'à la production des déchets en passant par la consommation d'électricité en phase d'usage… L'ACV caractérise chacune de ces étapes par les impacts associés.
- **Quantitative** : chaque indicateur d'impact est quantifié puis normalisé. Cela permet de mettre sur une même échelle l'ensemble des externalités d'un produit ou d'un service pour, *in fine*, prendre des décisions sur une base objective.
- **Fonctionnelle** : l'objet d'étude est défini par la fonction qu'il remplit afin de pouvoir comparer différentes approches pour rendre cette fonction.
- **Attributionnelle** ou conséquentielle :
    - Attributionnelle : L'ACV attributionnelle se concentre sur les effets directs liés à un système. Elle décrit les impacts environnementaux potentiels qui peuvent être attribués à un système au cours de son cycle de vie, c'est-à-dire en amont le long de la chaîne d'approvisionnement et en aval après l'utilisation du système et la chaîne de valeur en fin de vie.
    - Conséquentielle : L'ACV conséquentielle identifie les conséquences et évalue les effets indirects liés à un système.

2.1.2. Approche méthodologique de l'ACV

2.1.2.1. Étapes de réalisation d'une ACV

Comme le présente la norme ISO 14040:2006, la réalisation d'une ACV suit 4 étapes interdépendantes :

1. Définition de l'objectif et du champs de l'étude ;
2. Analyse (collecte) de l'inventaire du cycle de vie (ICV) ;
3. Evaluation (calcul) des impacts sur le cycle de vie (AICV) ;
4. Interprétation des résultats de l'étude.

L'ACV est une technique itérative dans laquelle chaque phase (ou étape) utilise les résultats des autres, contribuant ainsi à l'intégrité et à la cohérence de l'étude et de ses résultats. Il s'agit d'une approche holistique et la transparence est donc cruciale pour garantir une interprétation appropriée des résultats obtenus.

2.1.2.2. Définition de l'objectif et du périmètre

La définition de l'objectif de l'étude doit décrire le but de l'étude et le processus décisionnel pour lequel elle fournira un soutien dans la prise de décision environnementale. L'objectif d'une ACV doit déterminer l'application envisagée, les raisons de la réalisation de l'étude, le public visé, c'est-à-dire les personnes auxquelles les résultats de l'étude sont censés être communiqués et si les résultats doivent être utilisés à des fins comparatives qui seront divulguées au public.

Le périmètre d'une ACV - y compris les limites du système, le niveau de détail, la qualité des données, les hypothèses formulées, les limites de l'étude, etc. - dépend du sujet et de l'utilisation prévue de l'étude. La profondeur et l'étendue d'un champ d'application peuvent varier considérablement selon l'objectif particulier poursuivi.

Une ACV a une approche structurée, relative à une unité fonctionnelle et/ou une unité déclarée. Toutes les analyses ultérieures sont donc liées à cette unité. Si une comparaison est nécessaire - uniquement des produits ou services remplissant la même fonction - il est nécessaire de choisir une unité fonctionnelle référée à la fonction que les produits ou services en question remplissent.

2.1.2.3. Analyse de l'inventaire du cycle de vie (AICV)

Collecte des données

Cette phase consiste en la collecte de données et de procédures de calcul pour quantifier les intrants et produits sortants pertinents du système étudié. Les données à inclure dans l'inventaire doivent être collectées pour chaque processus unitaire considéré dans les limites du système étudié.

Inventaire des flux élémentaires

Dans un ICV, les flux élémentaires doivent être comptabilisés à l'intérieur des frontières du système, c'est-à-dire les flux de matières et d'énergie provenant de l'environnement sans transformation préalable par l'Homme (par exemple, la consommation de pétrole, de charbon, etc.) ou qui pénètrent directement dans la nature (par exemple, les émissions atmosphériques de CO_2, de SO_2, etc.) sans autre transformation. Les flux élémentaires comprennent l'utilisation des ressources, les émissions

atmosphériques et les rejets dans l'eau et le sol associés au système. Les données collectées, qu'elles soient mesurées, calculées ou estimées, permettent de quantifier toutes les entrées et sorties de matière et d'énergie des différents processus.

Règles d'allocation et d'affectation

En réalité, peu de processus industriels produisent un seul résultat : les processus industriels produisent généralement plus d'un produit et/ou des produits intermédiaires ou leurs déchets sont recyclés. Dans ce cas, il faut appliquer des critères pour attribuer la charge environnementale aux différents produits, comme c'est le cas dans l'étude réalisée. Par exemple, un même mètre carré (m2) de salle informatique est partagé par plusieurs serveurs.

Qualité des données

La qualité des données utilisées dans cette ACV a été évaluée conformément aux exigences de la norme ISO 14044 et plus précisément dans son chapitre 3.2.7

- **Représentativité :**
    - temporelle : les données se rapportent majoritairement aux années 2025 et 2030.
    - géographique : les données reflètent l'usage de l'IA dans le monde.
    - technologique : les procédés décrits correspondent aux technologies réellement utilisées dans le système étudié.
- **Complétude** : les flux principaux du système sont couverts ; les lacunes résiduelles n'affectent pas significativement les résultats.
- **Cohérence** : l'ensemble des données a été traité selon des hypothèses et méthodes homogènes.
- **Exactitude** : des données primaires ont été privilégiées lorsqu'elles étaient disponibles ; les données secondaires proviennent de sources reconnues.
- **Sources** : données fournies par les acteurs du système et facteurs d'impacts issus de bases ACV fiables (EcoInvent / NegaOctet.eu).

2.1.2.4. Evaluation de l'impact du cycle de vie

Sélection, classification et caractérisation des impacts

Cette phase vise à évaluer l'importance des impacts environnementaux potentiels sur la base des résultats de l'inventaire. Ce processus implique la sélection de catégories d'impact (par exemple, le changement climatique) et l'attribution de données d'inventaire à ces catégories d'impact avec des indicateurs de catégorie d'impact (par exemple, le changement climatique dans 100 ans selon le modèle d'impact du GIEC) au moyen d'un facteur de caractérisation. Cette phase fournit des informations pour la phase d'interprétation.

Normalisation et pondération

Les résultats numériques des indicateurs peuvent également être éventuellement ordonnés, normalisés, regroupés et pondérés. Cette approche permet de faciliter l'interprétation mais aucun consensus scientifique n'existe sur une manière robuste d'effectuer une telle évaluation.

2.1.2.5. Interprétation des résultats du cycle de vie

L'interprétation est la phase finale de l'ACV. Elle porte à la fois sur l'inventaire et l'évaluation. L'interprétation consiste à faire ressortir les faits saillants de l'étude dans un langage intelligible par le commun des mortels. Elle sert de base pour des recommandations et la prise de décision conformément à l'objectif et du périmètre établis.

Analyse de sensibilité et incertitude

Lorsque le modèle est basé sur des données secondaires, qui sont souvent incertaines, une analyse de sensibilité permet de calculer / quantifier l'ordre de grandeur de la variation des résultats. Cela permet à la fois de déterminer une marge d'incertitude et de confirmer la sensibilité de certains paramètres.

3. Définition de l'objectif et du périmètre de l'étude

Ce chapitre présente tous les éléments pris en compte pour réaliser l'étude. Sa lecture est essentielle pour bien comprendre les résultats présentés. Vous pouvez cependant commencer par le chapitre 5. "Résultats", puis revenir ici si vous le souhaitez.

3.1. Objectif de l'étude

L'intelligence artificielle générative a débarqué dans nos vies personnelles et professionnelles avec un **taux d'adoption jamais observé dans le numérique**[1]. Nous manquons de données pour évaluer ses impacts positifs et négatifs sur l'environnement, l'économie et la santé des populations, à moyen et long terme.

Il est essentiel de mener des études d'impacts pour apporter une **meilleure compréhension des enjeux** et **permettre à la société civile de se positionner** sur cette technologie et, le cas échéant, d'**encadrer ses usages**.

Par ailleurs, il n'existait pas encore d'étude sur ce sujet répondant aux standards méthodologiques internationaux, européens et français, dans le périmètre choisi ici.

L'objectif de cette étude est triple :

1. **Comprendre la structure des impacts environnementaux et sanitaires de l'infrastructure IA** pour aider ses acteurs à identifier des bonnes pratiques d'écoconception ;
2. **Donner des repères quantitatifs aux acteurs de la société civile** (citoyens, décideurs politiques, institutions) pour les aider à arbitrer et, si nécessaire, encadrer les usages de l'intelligence artificielle ;
3. **Aider les entreprises à intégrer l'IA** dans leurs systèmes d'information et services numériques en ayant conscience des impacts environnementaux associés pour les pousser vers un usage raisonné et plus frugal de cette technologie.

3.1.1. Cadre

Ce travail s'appuie sur les normes et standards suivants :

- Analyse du Cycle de Vie (ACV) - standards internationaux ISO 14040:2006[2] et 14044:2006[3] ;
- Méthode PEF[4] du Joint Research Center (JRC) de la Commission européenne ;
- Référentiel de Catégorie de Produit (RCP) d'une service numérique[5] de l'Ademe.

[1] https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0305750X25003468
[2] https://www.iso.org/fr/standard/37456.html
[3] https://www.iso.org/fr/standard/38498.html
[4] https://eplca.jrc.ec.europa.eu/EnvironmentalFootprint.html
[5] https://librairie.ademe.fr/societe-et-politiques-publiques/9418-methodologie-d-evaluation-environnementale-basee-sur-l-analyse-du-cycle-de-vie-acv-pour-un-service-numerique.html
services-numeriques.html

Dans le cadre de cette étude, nous utilisons la **méthode d'ACV simplifiée type screening**.

3.1.2. Conduite de l'étude

Conformément au respect des standards ISO 14040 et 14044, l'étude est organisée selon les 4 étapes suivantes :

1. **Cadrage et définition du champ de l'étude** ;
2. **Collecte de données / inventaire ;**
3. **Evaluation (calcul des impacts) ;**
4. **Interprétation des résultats.**

La réalisation de cette étude a nécessité la **mise au point d'un modèle d'ACV sur mesure** pour faciliter le calcul successif des 5 unités fonctionnelles étudiées.

Le comité de revue critique interne a réalisé une revue de la méthodologie, des choix de modélisation, des calculs et des résultats.

3.1.3. Public visé

Cette étude s'adresse à **toutes les organisations, publiques et privées, personnes morales et physiques** qui souhaitent mieux appréhender les impacts environnementaux et sanitaires de l'intelligence artificielle.

3.1.4. Validité des résultats

Les résultats ne sont valables que pour la situation définie par les hypothèses décrites dans ce rapport. Les conclusions peuvent changer si ces conditions diffèrent. La pertinence et la fiabilité d'une utilisation par des tiers ou à des fins autres que celles mentionnées dans ce rapport ne peuvent donc être garanties par les auteurs de cette étude.

3.2. Périmètre de l'étude

Cette étude porte sur les **impacts environnementaux** et **sanitaires** de l'**intelligence artificielle dans le monde en 2025 et en 2030**.

Seuls les impacts directs sont comptabilisés. Les impacts indirects, positifs et négatifs (tels que les effets rebond directs ou indirects, la substitution, les changements structurels, etc.), ne sont pas pris en compte.

Il s'agit d'une **ACV attributionnelle simplifiée de type screening**.
Les paragraphes suivants fournissent des détails sur le périmètre de l'étude, c'est-à-dire :

- Unités fonctionnelles ;
- Limites du système : inclusion, exclusion, critère de coupure ;
- Représentativité géographique, temporelle et technologique ;
- Phases du cycle de vie considérées ;
- Impact environnemental quantifié, méthodes de caractérisation ;
- Types et sources des données ;
- Exigences de qualité des données.

3.2.1. Système de produit étudié

Nous réalisons dans cette étude deux types distincts d'ACV :

- **ACV de produits** qui décrivent **la mise à disposition d'un serveur** : UF1, UF2 et UF3
- **ACV de systèmes** qui décrivent **la mise à disposition et l'utilisation de l'ensemble des serveurs IA (UF1..3) pendant un an** dans le cadre d'une infrastructure mondiale dédiée : UF4 et UF5.

Les **trois ACV de produits** décrivent les **impacts d'un serveur IA** sur **3 différentes gammes** :

- Serveur bas de gamme : UF1
- Serveur milieu de gamme : UF2
- Serveur haut de gamme : UF3

UF 1 : Fabrication, distribution, gestion de la fin de vie d'un serveur entrée de gamme.	**UF2** : Fabrication, distribution, gestion de la fin de vie d'un serveur moyenne gamme.	**UF3** : Fabrication, distribution, gestion de la fin de vie d'un serveur haute performance.

Les **deux ACV système** quantifient les **impacts des infrastructures IA mondiales pendant un an** avec le **stock 2025 et 2030**. Elles prennent en compte l'**ensemble des infrastructures** composant les **centres informatiques** (*data center*). Elles **excluent** les **réseaux** et les **équipements terminaux utilisateur** (ordinateurs, écrans, smartphones, etc.).

2025	2030
UF4 : Utiliser *n* serveurs IA pendant 1 an au sein d'une infrastructure adaptée, stock 2025 (UF4).	**UF5** : Utiliser *n* serveurs IA pendant 1 an au sein d'une infrastructure adaptée, stock 2030 (UF5).

3.2.1.1. Frontières technologiques

Cette étude porte sur l'infrastructure permettant de faire fonctionner l'intelligence artificielle à l'échelle mondiale. Seul le périmètre des centres informatiques (*data center*), c'est-à-dire les infrastructures hors réseaux et terminaux utilisateurs, a été pris en compte.

Dans le détail :

- Les unités fonctionnelles UF1 à UF3 (voir 3.2.2) prennent en compte **l'ensemble des composants physiques nécessaires au fonctionnement d'un serveur IA**, à l'exception de l'infrastructure d'hébergement (bâtiments) et du matériel additionnel tel que les équipements réseaux, les baies de stockage, etc. Elles regroupent 3 types de serveurs IA :
  - UF1 : serveur d'entrée de gamme
  - UF2 : serveur milieu de gamme
  - UF3 : serveur haut de gamme
- Les unités fonctionnelles UF4 et UF5 (voir 3.2.2) prennent en considération **l'ensemble des équipements et infrastructures nécessaires au fonctionnement des IA** de tous types dans le monde. La partie relative aux centres informatiques (*data centers*) est donc couverte. En revanche, ces unités fonctionnelles n'englobent pas l'infrastructure réseau entre les centres informatiques et les utilisateurs ni les terminaux utilisateurs.

3.2.1.2. Limites temporelles

Cette étude porte sur l'ensemble des infrastructures dédiées à l'IA dans le monde en 2025 et 2030.

- L'année 2025 fait référence à **l'ensemble du stock en service au 31 décembre 2025**
- L'année 2030 fait référence à une projection sur **l'ensemble du stock en service au 31 décembre 2030**

3.2.1.3. Limites géographiques

Le périmètre géographique considéré dans cette étude est le monde.

3.2.2. Fonctions, unités fonctionnelles, et flux de référence

L'unité fonctionnelle est l'**unité de référence** utilisée pour **relier les entrées et les sorties** ainsi que les impacts environnementaux et sanitaires d'un ou plusieurs systèmes de produits.

La fonction étudiée est : **Fournir et utiliser l'infrastructure technique permettant à l'ensemble des services d'intelligence artificielle dans le monde de répondre aux besoins de leurs utilisateurs**.

Nous avons défini 5 unités fonctionnelles :

1. Fabriquer, distribuer et gérer la fin de vie d'un serveur IA entrée de gamme (UF1)
2. Fabriquer, distribuer et gérer la fin de vie d'un serveur IA moyenne gamme (UF2)
3. Fabriquer, distribuer et gérer la fin de vie d'un serveur IA haut de gamme (UF3)
4. Utiliser *n* serveurs IA pendant 1 an au sein d'une infrastructure adaptée (UF4), stock 2025
5. Utiliser *n* serveurs IA pendant 1 an au sein d'une infrastructure adaptée (UF5), stock 2030

Les flux de référence associés à chacune des unités fonctionnelles sont les suivants :

- UF1, UF2, UF3 : Fabriquer, distribuer et gérer la fin de vie d'un serveur IA.
- UF4 et UF5 : Utiliser *n* serveurs IA (UF1, UF2, UF3) à **69 % de capacité** pendant **365 jours**, **24 heures sur 24**, avec *n* =
    - **n2025 = 1 889 916 serveurs** regroupant **13 077 000 GPU**
        - 1 094 925 serveurs entrée de gamme regroupant 8 759 400 GPU
        - 284 409 serveurs milieu de gamme regroupant 2 275 270 GPU
        - 510 582 serveurs haut de gamme regroupant 2 042 330 GPU
    - **n2030 = 6 211 575 serveurs** regroupant **24 846 300 GPU**
        - 4 160 715 serveurs entrée de gamme regroupant 16 642 860 GPU
        - 1 080 753 serveurs milieu de gamme regroupant 4 323 012 GPU
        - 970 107 serveurs haut de gamme regroupant 3 880 428 GPU

3.2.3. Limites du système

3.2.3.1. Phases du cycle de vie considérées

Au cours de cette étude, nous considérons les phases de cycle de vie suivantes :

1. **Fabrication** : extraction des matières premières, transports en amont et procédés de fabrication des équipements informatiques ;
2. **Distribution** : distribution des équipements entre le fabricant et le site d'installation ;
3. **Utilisation** : production de l'électricité consommée par les équipements ;
4. **Fin de vie** : traitement en fin de vie des équipements.

3.2.3.2. Inclusions

L'étude prend en compte :

1. **Unités fonctionnelles 1, 2 et 3 : Fabriquer et mettre à disposition un serveur IA**

   UF1 : Pour la taille du serveur d'**entrée de gamme**, les caractéristiques sont basés sur la plateforme **HGX de Nvidia** intégrant *n* **GPU H100** du même fabricant. Le GPU Nvidia H100 est une unité de calcul haute performance commercialisée à partir de mars 2023 de la génération Hopper.

   Le **serveur de référence** de la marque **Nvidia** est le **DGX H100**. Mais le **niveau de détails** des **spécifications** ne **permettant pas de constituer un inventaire suffisamment précis**, nous avons opté pour la sélection d'un **modèle équivalent** chez **Asus**, le ESC-N8-E11.

Légende : Exemple de serveur IA type tels que ceux utilisés dans notre étude.
Pour illustration, un serveur Asus ESC N8-E11 intégrant 8 GPU Nvidia H100 dans un châssis 7U.

UF2 : Pour la taille du serveur de **milieu de gamme**, l'architecture de référence est basée sur des GPU Nvidia de **génération Blackwell**, sur la plateforme **NVIDIA HGX B200**. Pour constituer un inventaire précis nous avons opté pour une configuration représentative du parc : le **Supermicro** SYS-421GE-NBRT-LCC en version refroidissement par eau.

UF3 : Le serveur **haut de gamme**, toujours de génération Blackwell est beaucoup plus compact et puissant, doté de **GPU NVIDIA B300** il est représenté par le **Supermicro** SRS-GB300-NVL72-M1.

Les serveurs IA que nous avons reconstitués intègrent les composants suivants :

Composants des serveurs IA	Entrée (UF1)	Milieu (UF2)	Haut (UF3)
GPU (Unité)	8	8	4
CPU	2	2	2
Carte mère (m²)	0,35	0,35	0,35
Alim. électrique (Unité)	4	3	4
Alim. élec. backup (Unité)	2	3	2
Support mémoire vive (RAM DDR5)	32	32	32
Support de stockage (SSD)	4	8	4
Carte réseau (Unité)	9	9	5
Châssis (Kg)	10	5,5	3,25
U	7	4	1

Légende : Ensemble des composants constituant un serveur IA en 2025.

En complément, pour pouvoir calculer les UF4 et UF5 (utilisation de n serveurs IA pendant 1 an), nous nous sommes basés sur les puissances suivantes :

Puissance maximum théorique	Entrée (UF1)	Milieu (UF2)	Haut (UF3)
2025 (en Watts)	11 025	11 945	15 633
2030 (en Watts)	20 556	33 333	55 556

Légende : puissance maximum théorique par serveur IA.

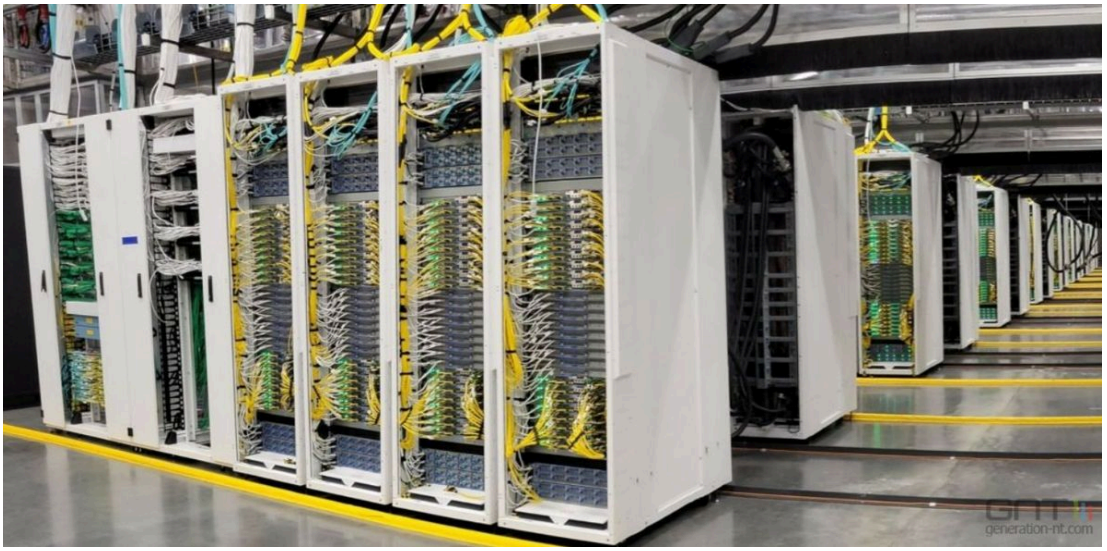
2. Unités fonctionnelles 4 et 5 : utiliser n serveurs IA pendant 1 an en 2025 et en 2030

Les UF 4 et 5 - Utiliser *n* serveurs IA à 69 % de capacité pendant 365 jours 24 heures sur 24 - reprennent les UF 1, 2 et 3 auxquelles elles ajoutent :

- les **équipements numériques supplémentaires** (baies de stockage, réseaux, etc.) ;
- la **consommation électrique** de tous les équipements numériques dont les serveurs ;
- l'**infrastructure** permettant de **faire fonctionner** ces **serveurs** : bâtiments, systèmes de refroidissement, système de distribution d'électricité, etc.
- la **consommation électrique** de cette **infrastructure**.

Composants des UF4 et UF5
Serveurs (UF1, UF2, UF3)
Baies de stockage
Equipements réseaux
Rack
m² DC non IT

Légende : Ensemble des composants numériques et physiques constituant l'infrastructure d'accueil d'un serveur IA.



Légende : Exemple d'infrastructure dédiée à l'hébergement de serveurs IA.
Centre informatique de Microsoft à Mount Pleasant dans le Wisconsin. Crédit photo : Génération NT.

En 2025, l'unité de calcul IA est un serveur (1U à 4U) à intégrer dans un rack standard.
En 2030, l'unité de calcul IA est un rack (ou baie) complet.

Contenu du rack	Nb de serveurs par rack 2025	Nb de serveurs par rack 2030	Nb de GPU par rack en 2025	Nb de GPU par rack 2030	Puissance par rack (W) 2025	Puissance par rack (W) 2030
Serveurs IA "haut"	18	18	72	72	198 450	1 000 000
Serveurs IA "milieu"	8	18	64	72	125 064	600 000
Serveurs IA "entrée"	4	18	32	72	47 780	370 000

Légende : Configuration d'un rack IA en 2025 et 2030.

3.2.3.3. Exclusion

Les flux suivants ont été exclus de l'étude :

- L'éclairage, le chauffage, l'assainissement et le nettoyage des installations produisant les équipements, en raison d'un manque de données ;
- Le transport du personnel, considéré en dehors des frontières ;
- La fabrication et la maintenance des outils de production, par manque de données ;
- La construction et la maintenance des infrastructures, faute de données ;
- Les flux des services administratifs, de gestion et de R&D, considérés hors des frontières ;
- La commercialisation des produits, considérée hors des frontières ;
- La restauration du personnel, considérée hors périmètre.

3.2.3.4. Critère de coupure

Généralement, la modélisation environnementale doit couvrir un pourcentage défini (supérieur ou égal à 95%) des équipements ou systèmes :

- La **masse des flux intermédiaires non pris en compte** doit être **inférieure ou égale à** 5% de la **masse des éléments du produit** de référence correspondant à l'unité fonctionnelle ;
- Les **flux énergétiques non pris en compte** doivent être **inférieurs ou égaux à** 5% de l'**énergie primaire totale utilisée pendant le cycle de vie** du produit de référence correspondant à l'unité fonctionnelle.

Cependant, pour les infrastructures d'intelligence artificielle, la vérification de ces règles de coupure est difficile. Dans le cadre de cette étude, toutes les informations disponibles ont été prises en considération, compte tenu des exclusions précisées ci-dessus concernant la portée de l'étude. L'évaluation environnementale nous permettra de savoir quelles parties du service considéré ont le plus d'impact et lesquelles feront l'objet d'une analyse de sensibilité.

3.2.4. Procédures d'attribution

3.2.4.1. Allocations générales

Hormis en fin de vie, aucune allocation générale n'a été réalisée. Des allocations spécifiques ont été effectuées pour certains appareils. Voir chapitre 4. "Données utilisées dans le modèle ACV" pour plus de détails.

3.2.4.2. Allocation pour la fin de vie

Dans cette étude, le **recyclage** et la **valorisation des matériaux** en **fin de cycle de vie** sont considérés en utilisant la **formule d'empreinte circulaire (CFF)**, telle qu'elle est appliquée par la base de données de fin de vie Ecosystem.

Deux approches ont été retenues, en proportion variables pour chaque équipement :

1. **Approche « sans bénéfices »**. Cette méthode suppose que le recyclage ou la valorisation énergétique des matériaux en fin de vie n'apporte aucun bénéfice lié à la substitution de matière vierge ou de sources d'énergie primaire.

2. **Approche « avec bénéfices ».** Cette méthode suppose que le recyclage ou la valorisation énergétique des matériaux en fin de vie apporte un bénéfice lié à la substitution de matière vierge ou de sources d'énergie primaire.

3.2.4.3. Allocations spécifiques et hypothèses

Durée de vie des serveurs IA

La durée de vie des serveurs (permettant d'amortir les impacts associés à leur fabrication) est de **3 ans**[6] [7]. En effet, nous considérons que les pratiques actuelles tendent à mettre au rebut toute l'unité, plutôt que de remplacer uniquement les composants défaillants, ceci pour des raisons purement économiques (sachant que les GPUs représentent le coût principal dans un serveur de ce type).

```
Amortissement annuel = Total impacts fabrication / Durée de vie
```

Taux d'utilisation des serveurs

Un serveur IA est utilisé en moyenne à **69 %** de sa **capacité maximale**[8]. Ce taux est reconstitué à partir :

- du taux de vacance des serveurs (serveurs non réservés), considéré à 0 ;
- du taux d'utilisation moyen, égal à 61 % :
  - pour ces serveurs, on considère une consommation électrique à 100 %, en tenant compte du MFU de 20 à 60 % (en effet, le MFU n'a pas d'incidence sur la consommation électrique) ;
  - pour les 39 % restants (serveurs non utilisés), un taux de consommation électrique de 20 %[9] en état de repos (idle) est appliqué.

L'ensemble de ces paramètres permettent d'évaluer plus finement la consommation électrique directe et indirecte (via l'application du facteur PUE - Power Utilisation Efficiency).

```
Consommation électrique = Consommation électrique maximum théorique *
Taux d'utilisation des serveurs
```

Nombre de serveurs IA en 2025

Le nombre de serveurs IA est calculé en fonction du nombre de GPU dont le stock au 31/12/2025 est **reconstitué à partir des informations de livraison**[10], issues de rapports d'agences d'étude de marché, **sur 3 ans** (équivalent à la durée de vie), entre **2023** et **2025** :

```
Nombre de serveurs IA = nombre de GPU / nombre de GPU par serveur IA
```

Pour l'UF1 et l'UF2, "nombre de GPU par serveur IA" est égal à 8.
Pour l'UF3, "nombre de GPU par serveur IA" est égal à 4.

---

[6] Tom's Hardware: "Datacenter GPU service life can be surprisingly short – only one to three years is expected according to unnamed Google architect" consulté en septembre 2025

[7] From FLOPS to footprints, section 2.2.1

[8] From FLOPS to footprints pour le MFU et la consommation électrique associé, Article sur le taux d'utilisation des serveurs, le taux de vacance de l'étude McKinsey

[9] pour B200, au repos, la puissance indiquée est de 300W, sur le TDP indiqué à 1000/1200W (https://docs.nvidia.com/dgx/dgxb200-user-guide/power-capping.html). L'étude académique mesurant les consommations en état de repos corroborent cette tendance (https://arxiv.org/html/2604.04745v1#S3.F4)

[10] Articles du WCCFTECH (2025) sur les ventes et le GB200, de Lesswrong

Nombre de serveurs IA en 2030

Le nombre de puces IA en 2030 est calculé selon les **études prospectives du marché en 2030** qui **prévoit** une **croissance de 190% des ventes de GPU**. En parallèle, nos recherches sur l'évolution des configurations des serveurs et racks dédiés à l'IA nous ont amenés à prendre en compte de nouvelles caractéristiques pour chaque gamme, relativement à la puissance et au nombre de GPU par serveur et par rack.

```
Nombre de serveurs IA = nombre de GPU / (nombre de GPU par rack IA /
nombre de serveurs IA par rack)
```

PUE

La performance énergétique (Power Usage Effectiveness - PUE) des centres informatiques hébergeant les serveurs est de **1,2 en 2025** et **1,1 en 2030**[11]. Cela permet de calculer la consommation électrique totale du centre informatique à partir de la consommation électrique des équipements informatiques.

```
Consommation électrique totale du DC = ∑(Consommation électrique
équipements informatiques) * PUE
```

Localisation des centres informatiques

Les centres informatiques hébergeant l'infrastructure numérique dédiée à l'IA sont situés partout dans le monde. Nous avons reconstitué un "**mix électrique IA monde**" en sélectionnant les mix électriques représentatifs des régions d'implantation des centres informatiques hébergeant les serveurs IA.

Dans cette version de l'étude, on considère le "mix électrique IA monde" suivant :

Pays	Part des DC IA
États-Unis	56%
Chine	16%
Japon	6%
Allemagne	5%
Royaume-Uni	4%
Australie	3%
Canada	3%
Pays-Bas	2%
Singapour	2%
Irlande	2%
Mix élec. IA Monde	**100%**

Répartition établie en compilant plusieurs études, notamment Number of Data Centers by Country (Novembre 2025) et AI Compute Sovereignty: Infrastructure Control Across Territories, Cloud Providers, and Accelerators (Juin 2025, publication avril 2026).

[11] IEA, Energy and AI, 2025, PDF consultée en juillet 2025. Nous avons retenu un PUE de 1,2 et non de 1,14 cité par l'IEA pour les hyperscaler dédiés à l'IA car tous les serveurs IA ne sont pas hébergés dans ces centres informatiques à la pointe des technologies.

[12] Etude prospective sur l'évolution du marché à 2030, Rack power roadmap

3.2.5. Méthodologie LCIA et types d'impacts

3.2.5.1. Sélection, classification et caractérisation des impacts

Cette phase vise à évaluer l'importance des impacts potentiels à partir des résultats de l'inventaire. Ce processus implique la sélection de catégories d'impacts et l'association des données d'inventaire avec des catégories d'impacts et avec des indicateurs de catégorie d'impacts à travers un facteur de caractérisation.

Dans notre contexte, nous basons notre analyse sur les indicateurs proposés par la Commission européenne dans le cadre du Product Environmental Footprint (PEF), en utilisant sa dernière version : PEF 3.1.

Catégorie d'impacts	Acronyme	Unité	Méthode
Acidification	AD / AP	mol H+eq	Accumulated Exceedance (Seppälä et al. 2006, Posch et al., 2008)
Potentiel de réchauffement global Global Warming Potential	GWP	kg CO2 eq	Bern model - Global warming potential (GWP) over a 100-year time horizon based on IPCC 2021 (Forster et al., 2021).
Ecotoxicité eau douce Ecotoxicity, freshwater	Ecotox	CTUe	Based on USEtox2.1 model (Fantke et al. 2017, Rosenbaum et al. 2008), adapted as in Saouter et al. (2018)
Eutrophisation eau douce Eutrophication, freshwater	Euth_f	kg Peq	EUTREND model (Struijs et al., 2009) as implemented in ReCiPe 2008.
Eutrophisation marine Eutrophication, marine	Euth_m	kg Neq	EUTREND model (Struijs et al., 2009) as implemented in ReCiPe 2008
Eutrophisation terrestre Eutrophication, terrestrial	Euth_t	mol Neq	Accumulated Exceedance (Seppälä et al. 2006, Posch et al., 2008)
Toxicité pour les êtres humains (cancer) Human toxicity, cancer	HTOX_c	CTUh-c	Based on USEtox2.1 model (Fantke et al. 2017, Rosenbaum et al. 2008), as in Saouter et al. (2018)
Toxicité pour les êtres humains (non-cancer) Human toxicity, non-cancer	HTOX_nc	CTUh-nc	Based on USEtox2.1 model (Fantke et al. 2017, Rosenbaum et al. 2008), as in Saouter et al. (2018)
Rayonnements ionisants, santé humaine Ionising radiation, human health	IR	kBq U235	Human health effect model as developed by Dreicer et al. (1995) and published in Frischknecht et al. (2000).
Changement d'usage des sols Land use	LU	Dimensionless (pt)	Soil quality index based on LANCA model (De Laurentiis et al. 2019) and on the LANCA CF version 2.5 (Horn and Maier, 2018)
Appauvrissement de la couche d'ozone Ozone depletion	ODP	kg CFC-11eq	EDIP model based on the ODPs of the World Meteorological Organisation (WMO) over an infinite time horizon (WMO 2014 + integrations)
Particules fines Particulate matter	PM	Disease incidences	PM model (Fantke et al., 2016 in UNEP 2016)
Formation d'ozone photochimique Photochemical ozone formation, human health	POCP	kg NMVOCeq	LOTOS-EUROS model (Van Zelm et al., 2008) as applied in ReCiPe 2008.

Potentiel d'épuisement des ressources abiotiques fossiles Resource use, fossils	ADPf	MJ (EP)	van Oers et al., 2002 as in CML 2002 method, v.4.8
Potentiel d'épuisement des ressources abiotiques métalliques et minérales Resource use, mineral and metals	ADPe	kg Sbeq	van Oers et al., 2002 as in CML 2002 method, v.4.8
Tension sur l'eau douce Water use	WU	m3 world eq. deprived water	Available WAter REmaining (AWARE) model (Boulay et al., 2018; UNEP 2016)

Légende : Ensemble complet d'indicateurs d'impact recommandés dans la méthodologie PEF 3.1

L'indicateur **Changement d'usage des sols (LU) a été calculé mais n'est pas présenté** dans les résultats en raison de l'imprécision sur les sources de facteurs d'impacts. A noter également que l'indicateur de **Tension sur l'eau douce (WU) a été conservé** malgré la sous-estimation connue des bases d'impacts sur les trois premières étapes du cycle de vie et une probable surestimation sur la phase de fin de vie.

Afin d'être le plus compréhensible possible et de concentrer notre recommandation sur des sujets appropriés, il est largement admis de réduire le panel complet d'indicateurs à une sélection appropriée. Dans notre cas, le jeu d'indicateurs retenus dérive de la méthode de normalisation et de pondération. Nous avons sélectionné les indicateurs les plus pertinents sur la base des résultats normalisés et pondérés (voir chapitres 5.1.2., 5.2.2 et 5.2.3.).

Les indicateurs suivants ont été sélectionnés, car représentant au minimum 90 % des résultats pondérés globaux pour l'ensemble des unités fonctionnelles :

Indicateurs d'impacts	UF1	UF2	UF3	UF4	UF5
Epuisement des ressources (ADPe)	18%	15%	14%	2%	2%
Epuisement des ressources (ADPf)	11%	12%	13%	**17%**	**17%**
Réchauffement global (GWP)	26%	28%	28%	**35%**	**36%**
Écotoxicité (CTUe)	22%	23%	24%	3%	2%
Particules fines (PM)	11%	12%	12%	**15%**	**15%**
Eutrophisation (EpF)	0%	0%	0%	**23%**	**25%**
Autres	12%	10%	10%	5%	5%

Légende : Liste des principaux impacts associés à l'infrastructure IA mondiale.

3.2.5.2. Normalisation et pondération

Les résultats peuvent être ordonnés, normalisés, regroupés et pondérés. Cette approche permet de faciliter leur interprétation. Cependant, aucun consensus scientifique n'existe sur une manière robuste d'effectuer une telle évaluation.

Dans cette étude, nous utilisons les limites planétaires (méthode PBCI) comme facteur de normalisation et de pondération telles que fournies par le JRC dans la mise à jour (2023) de la méthode EF 3.1.

Catégorie d'impact	Unité	Limitesplanétaires	Budget annuel soutenable par individu
Acidification	mol H+eq	1 000 000 000 000	145
Climate change	kg CO2 eq	6 810 000 000 000	985
Ecotoxicity, freshwater	CTUe	131 000 000 000 000	19000
Eutrophication, freshwater	kg Peq	5 810 000 000	0,84
Eutrophication, marine	kg Neq	201 000 000 000	29
Eutrophication, terrestrial	mol Neq	6 130 000 000 000	887
Human toxicity, cancer	CTUh-c	962 000	0,00014
Human toxicity, non-cancer	CTUh-nc	4 100 000	0,00059
Ionising radiation, human health	kBq U235	527 000 000 000 000	76200
Land use	Dimensionless (pt)	12 700 000 000 000	1840
Ozone depletion	kg CFC-11eq	539 000 000	0,078
Particulate matter	Disease incidences	516 000	0,000075
Photochemical ozone formation, human health	kg NMVOCeq	407 000 000 000	59
Resource use, fossils	MJ (EP)	224 000 000 000 000	32400
Resource use, mineral and metals	kg Sbeq	219 000 000	0,032
Water use	m3 world eq. deprived water	182 000 000 000 000	26300

Légende : Limites planétaires rapportées à un européen pendant 1 an pour créer l'équivalent d'un "budget annuel soutenable" individuel.
Source : https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC113607 (table 6, page 29).

3.2.6. Type et source des données

Le calcul d'ACV nécessite deux types d'informations différentes :

- Des **données liées aux caractéristiques physiques du système considéré** (comme le nombre de GPU par serveur et la quantité d'électricité consommée par GPU par exemple).
- Des **données relatives aux impacts** du **cycle de vie** des **équipements informatiques** et des **flux d'énergie** entrant dans le système considéré. Ces données sont issues des bases de données de facteurs d'impacts NegaOctet.eu et EcoInvent.

Données relatives aux caractéristiques physiques

Pour reconstituer la réalité physique du système étudié, les caractéristiques des composants et le dimensionnement d'un serveur ont été collectés en priorité auprès des données constructeur ou de leur documentation à destination des concepteurs de ce type d'infrastructure. Les choix définitifs ont été élaborés sur base de recoupement de publications diverses : études académiques, forums et blogs spécialistes en infrastructure serveur.

Nous nous sommes notamment appuyés sur les données et sources suivantes :

UF1 :

- Asus (2025), ESC N8-E11/E11V 7U Rackmount Server - User Guide
- ES France (2025), Serveur HGX H100, 8 GPU, Intel Xeon : ESC N8-E11
- Nvidia (2025), Introduction to NVIDIA DGX H100/H200 Systems
- Supermicro (2026) : NVIDIA Blackwell Architecture Solutions

UF2 :

- Supermicro (2026) : SuperCluster B200
- Nvidia (2026), NVIDIA HGX B200

UF3 :

- Nvidia (2026), NVIDIA GB300 NVL72
- Supermicro (2026) : GB300 NVL72 SuperCluster

Une fois finie la reconstitution d'une unité de calcul, le serveur est complété par les équipements informatiques complémentaires sur base de règles de dimensionnement issues de l'état de l'art du secteur et reprises dans les études d'impacts de type d'infrastructure.

Données relatives aux impacts du cycle de vie

Les données sur les impacts du cycle de vie des équipements ou des flux d'énergie sont classées dans les catégories suivantes :

- **Données primaires** (également appelées « données spécifiques au site ») : données recueillies à partir de l'usine de fabrication réelle où des processus spécifiques au produit sont effectués, et données provenant d'autres parties du cycle de vie liées au système de produit spécifique à l'étude, par ex. les matériaux ou l'électricité fournis par un fournisseur sous contrat qui est en mesure de fournir des données sur les services réellement fournis, le transport qui a lieu sur la base de la consommation réelle de carburant et les émissions associées, etc.
- **Données secondaires** divisées en :
    - données secondaires sélectionnées - données provenant de sources de données couramment disponibles qui remplissent les caractéristiques de qualité des données prescrites pour la précision, l'exhaustivité et la représentativité,
    - données proxy – données provenant de sources de données couramment disponibles (qui ne remplissent pas toutes les caractéristiques de qualité des données des « données secondaires sélectionnées »).

Conformément aux objectifs et aux limites du système, aucune donnée spécifique n'a été privilégiée.

Cette étude repose sur des données secondaires provenant des bases NegaOctet.eu 1.2.1 et Ecoinvent 3.12.

3.2.7. Exigences de qualité des données

Conformément aux objectifs et aux limites du système, la qualité requise des données collectées suit les règles décrites ci-dessous :

- **Représentativité technologique** : représentative des technologies entre 2025 et 2030.
- **Représentativité géographique** : les données couvrent les usages à l'échelle planétaire.

- **Représentativité temporelle** : aucune donnée disponible publiquement date de plus de 3 ans.
- **Intégralité** : l'étude comprend tous les flux identifiés, sauf mention contraire.
- **Incertitude des paramètres** : les données associées aux configurations matérielles et aux ventes de GPU ont été recoupées avec des sources tierces : Supermicro, Asus et Nvidia pour les configurations matérielles, les résultats et annonces financières Nvidia pour les ventes de GPU, et Arvix et Nvidia pour les impacts d'un GPU.
- **Adéquation et cohérence méthodologique** : application uniforme de la méthodologie ISO 14040-44 pour la collecte de données pour toutes les composantes à l'étude.

3.2.8. Outil de modélisation ACV

L'évaluation de la fabrication et de l'utilisation de *n* serveurs IA pendant 1 an a été réalisée en compilant toutes les données des équipements dans un tableur.

3.2.9. Considérations relatives à la revue critique

La revue critique est une procédure permettant de certifier que l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) est conforme aux normes internationales et compléments nationaux pour répondre aux objectifs de l'étude.

Elle est réalisée principalement lorsque les résultats sont destinés à être communiqués au public ou lorsqu'il s'agit d'allégations comparatives.

Son objectif est de limiter les risques en termes de :

- Incohérence entre l'objectif, la collecte des données et les résultats de l'étude.
- Communication de conclusions non fondées.

Dans le contexte de notre étude, la revue critique vise aussi à :

- **Identifier les éléments importants** et les **limites de l'étude** afin qu'elle ne soit pas déformée et n'ait aucun biais dans la communication.
- **S'assurer de la pertinence** et de la **fiabilité** des informations données.
- **Garantir** que les **éléments** issus de cette étude sont **robustes**, dans les limites des données disponibles.

4. Données utilisées dans le modèle ACV

Cette partie détaille les sources de données, les principales règles d'allocations et les hypothèses de l'ACV. Elle permet de comprendre finement sur quelle base matérielle les résultats ont été calculés.

4.1. Données liées aux étapes du cycle de vie

4.1.1. Phase de fabrication

La fabrication comprend l'extraction des matières premières et des ressources énergétiques pour fabriquer les composants électroniques (GPU, CPU, carte mère) constituant les serveurs d'IA. Cet inventaire du cycle de vie (ICV) utilise la base de données NegaOctet.eu au 06/2026.

4.1.2. Phase de distribution

Cette étape du cycle de vie comprend le transport des équipements entre l'usine d'assemblage et le centre informatique hébergeant les serveurs de calculs et autres équipements. Cet inventaire du cycle de vie (ICV) utilise la base de données NegaOctet.eu au 06/2026.

4.1.3. Phase d'utilisation

Les serveurs sont alimentés en électricité en basse tension. Mais l'électricité est livrée aux centres informatiques principalement en haute tension pour éviter les pertes en ligne. Pour cette raison, nous avons utilisé des facteurs d'impact "haute tension" issus de la base de données Ecoinvent 3.12.

Catégorie	Plage de tension	Répartition	Exemples
Ultra-haute tension	345 kV à 500 kV	**15 à 20 %**	méga-campus IA gigawatt : Stargate, Colossus 2
Haute tension	115 kV à 345 kV	**40 à 45 %**	majorité des campus hyperscale IA 100-500 MW
MT élevée	34,5 kV à 138 kV	**20 à 25 %**	sites IA/colocation de taille moyenne, 10-100 MW
Moyenne tension	1 kV à 34,5 kV	**10 à 15 %**	petits sites IA/inference, lignes internes inter-sites
Basse tension	< 1 kV	**< 5 %**	uniquement micro-sites IA en périphérie/edge

Légende : Répartition de l'alimentation électrique des centres informatiques dédiés à l'IA par plage de tension.

4.1.4. Phase de fin de vie

La fin de vie comprend le démantèlement, la dépollution et le recyclage des équipements. Cet inventaire du cycle de vie (ICV) utilise la base de données NegaOctet.eu au 06/2026.

4.2. Serveurs IA

4.2.1 Composition d'un serveur IA

Un **serveur IA type** est composé ainsi :

Composants des serveurs IA	Entrée (UF1)	Milieu (UF2)	Haut (UF3)
GPU (Unité)	8	8	4
CPU	2	2	2
Carte mère (m²)	0,35	0,35	0,35
Alim. électrique (Unité)	4	3	4
Alim. élec. backup (Unité)	2	3	2
Support mémoire vive (RAM DDR5)	32	32	32
Support de stockage (SSD)	4	8	4
Carte réseau (Unité)	9	9	5
Châssis (Kg)	10	5,5	3,25
U	7	4	1

Légende : Liste des composants d'un serveur IA type.

4.2.2. Paramètres associés

Les paramètres considérés liés à ces dispositifs sont :

- **Nombre d'unités** : pour inventorier le stock d'appareils.
- **Durée de vie** : pour attribuer les impacts en fonction de la durée de vie des serveurs et autres équipements inclus dans le périmètre de l'étude.
- **Consommation électrique** : pour reconstituer la consommation électrique
    - des **serveurs** en se basant sur la consommation électriques des composants ;
    - des **services d'IA** dans le monde en se basant sur la consommation électrique des serveurs.

4.2.3. Détails des composants

4.2.3.1. Microprocesseur dédié à l'IA (GPU)

- **Définition** : un GPU (Graphical Processing Unit) est un microprocesseur spécialisé dans les calculs graphiques et algorithmes adaptés aux techniques d'apprentissage machine (Machine Learning / ML) ou plus particulièrement l'apprentissage profond (Deep Learning / DL). Ce microprocesseur est accompagné de mémoire vive embarquée de très haute densité (HBM) et en grande quantité, ainsi que divers éléments électroniques pour gérer entre autres la puissance.
- **Puissance électrique** : celui-ci inclut le TDP, fourni par le fabricant de référence NVidia, ainsi que les éléments électroniques qui l'accompagnent. Pour équiper un serveur UF1, la puissance

d'un GPU s'élève à 1300 W, celle d'un GPU pour un serveur UF2 est de 1650 W et celle d'un GPU pour un serveur UF3 est de 2400 W.

4.2.3.2. Microprocesseur central (CPU)

- **Définition** : un CPU (Central Processing Unit) est le microprocesseur qui va réaliser les calculs nécessaires aux tâches vitales et conventionnelles du serveur.
- **Puissance électrique** : la puissance électrique est fournie par le fabricant Intel qui indique 500 W par CPU pour UF1 et 650 W par CPU pour UF2 et UF3.

4.2.3.3. Carte mère (Motherboard)

- **Définition** : la carte mère est l'élément physique (circuit imprimé) qui relie les différents composants en organisant les transferts de données et l'alimentation électrique.
- **Puissance électrique** : la puissance électrique est de 100 W.

4.2.3.4. Mémoire vive (RAM)

- **Définition** : la mémoire vive (ici de type **DDR5**) gère le stockage temporairement des données en cours de traitement par le Microprocesseur principal et en échange avec d'autres composants du système. **2 formes sont utilisées** : pour **UF1 et UF2**, il s'agit de barrettes de mémoire en format **DIMM**. Pour **UF3**, le format utilisé est **LPDDR**, plus rapide et bien plus efficient.
- **Puissance électrique** : la puissance électrique unitaire comprenant **128Go** de capacité est de **10 W** pour le format **DIMM** et **1,25 W** pour le format **LPDDR**.

4.2.3.5. Support de stockage (SSD)

- **Définition** : le support de stockage est responsable de la persistance de la donnée dans le système informatique.
- **Puissance électrique** : la puissance électrique unitaire est de **25 W**.

4.2.3.6. Alimentation électrique (Power supply)

- **Définition** : l'alimentation fournit le courant électrique à l'ensemble des composants.
- **Puissance électrique** : la puissance électrique unitaire est de **6600 W**.

4.2.3.7. Châssis

- **Définition** : le châssis est la structure métallique qui accueille les composants, sa taille se mesure en 'unité', chaque unité (U) mesurant 4,45 cm. Son poids est en moyenne de 10 kg pour le modèle utilisé en référence (hors CPU, RAM, GPU, cartes réseaux).
- **Puissance électrique** : une baie est une armoire métallique qui ne consomme pas d'électricité. Les pertes par effet Joule dans les câbles électriques ne sont pas considérées dans cette étude.

4.2.3.8. Cartes réseaux

- **Définition** : pour être connectés au réseau du centre de données, les serveurs incluent plusieurs interfaces réseau physiques de type ethernet. Les connecteurs peuvent être de cuivre (format RJ45), ou de plus en plus de fibre optique (format SFP ou équivalent pour les plus larges bandes passantes) pour assurer des transferts de volumes massifs à très hautes vitesses. Ces interfaces sont généralement combinées pour être interconnectées avec les autres serveurs du rack et ainsi les agréger pour maximiser la puissance de calcul avec des temps de latences les plus faibles.
- **Puissance électrique** : la puissance électrique unitaire est de **40 W**, **ou 60 W** pour les **interfaces cuivre**, et **5W** pour les **interfaces optiques**.

4.3. Infrastructures IA

4.3.1 Composition d'un Data center IA

Une infrastructure IA type est composée ainsi :

Composants	Unités	Durée de vie	Unité
Serveurs	1,00	3	Équipement
Baie de stockage - 48 SSD 2 To QLC	0,20	4	Équipement
Switch - 48 ports	0,02	7	Équipement
Rack - 42U	0,30	10	Équipement
m² DC non IT	2,36	25	m²
PUE (2025)	1,20		PUE
PUE (2030)	1,10		PUE

Légende : Liste des composants d'une infrastructure IA type.

4.3.2. Paramètres associés

Les paramètres considérés liés à ces dispositifs sont :

- **Nombre d'unités** : pour inventorier le stock d'appareils.
- **Durée de vie** : pour attribuer les impacts en fonction de la durée de vie des serveurs et autres équipements inclus dans le périmètre de l'étude.
- **Consommation électrique** : pour reconstituer la consommation électrique
    - d'un serveur en se basant sur la consommation électriques des composants ;
    - de l'IA dans le monde en se basant sur la consommation électrique des serveurs.
- **Nombre de m²** : proxy permettant de calculer les impacts associés au bâtiment et aux *facilities* : distribution de l'électricité, production et distribution de froid, etc.

4.3.3. Détails des composants

4.3.3.1. Baie de stockage

- **Définition** : une baie de stockage permet de stocker des données sur des supports de stockage tels que des disques durs (HDD) ou des mémoires NAND (SSD). Le modèle utilisé comme référence est le suivant : SuperStorage 2029P-E1CR48H
- **Nombre d'équipements** : nous avons considéré 2 racks de 14 baies de stockage soit 28 baies par grappe de 16 racks de serveurs.
- **Consommation électrique** : la consommation électrique d'une baie de stockage est fournie par la base NegaOctet.eu. Elle est de **2 523 kWh / an**.

4.3.3.2. Switch

- **Définition** : un switch est une "multiprise réseau" qui permet de relier l'ensemble des équipements informatiques entre eux afin qu'ils puissent échanger des données. Le modèle utilisé comme référence est le suivant : S5860-48SC, commutateur Ethernet L3 à 48 ports
- **Nombre d'équipements** : nous avons considéré 1 rack réseau, fournissant 500 ports chacun, soit 11 switchs, pour 2 racks serveurs.
- **Consommation électrique** : la consommation électrique d'un switch de ce type est fournie par la base NegaOctet.eu. Elle est de **4 424 kWh / an**.

4.3.3.3. Rack 42U

- **Définition** : une baie (*rack* en anglais) est une grande armoire métallique située dans la salle informatique du centre informatique et dans laquelle on range les équipements numériques dont les serveurs. Une baie fait 42 Unités (U) mesure environ 187 centimètres car chaque U mesure 4,45 centimètres. La profondeur retenue est de 80 centimètres. Le modèle de référence retenu est le suivant : APC NetShelter SX Advanced Rack, 42U 800mm 1295mm
- **Nombre d'équipements** : en plus des racks de baies de stockage et de switch, nous avons considéré, pour chaque type de serveur, un remplissage adapté : pour UF1, on compte 4 serveurs, 8 serveurs pour UF2, et 18 serveurs pour UF3.
- **Consommation électrique** : une baie est une armoire métallique qui ne consomme pas d'électricité. (les pertes par effet Joule dans les câbles électriques ne sont pas considérées dans cette étude).

4.3.3.4. m² DC non IT

- **Définition** : la salle informatique héberge les serveurs IA au sein d'un centre informatique. Ce bâtiment comprend d'autres parties dédiées notamment au refroidissement des serveurs (groupes froids, etc.), à l'électricité (onduleurs, groupes électrogènes, etc.). Cette notion de "m² DC non IT" regroupe tous les m² du centre informatique exceptés ceux de la salle informatique, ainsi que tous les équipements installés dans ces m² "non IT".

- **Nombre de m²** : nous avons considéré que chaque baie de 42 U dispose de 1,295x0,8 m d'emprise au sol et d'un facteur de 200m² par groupe de 1,6MW de puissance à refroidir pour les m² non IT.
- **Consommation électrique** : pour prendre en compte la consommation électrique de ces équipements, nous avons considéré un PUE de 1,2[12] pour 2025 qui correspond à l'efficacité énergétique des centres informatiques récents dédiés à l'IA, et 1,1[13] pour 2030 dû à la généralisation du refroidissement liquide et immersion.

[12] IEA, Energy and AI, 2025, PDF consultée en juillet 2025. Nous avons retenu un PUE de 1,2 et non de 1,14 cité par l'IEA pour les hyperscalers dédiés à l'IA car tous les serveurs IA ne sont pas hébergés dans ces centres informatiques à la pointe des technologies.

[13] Généralisation du refroidissement liquide, du à la densité de puissance par rack, qui implique une baisse du PUE https://www.moduledge.com/blog/liquid-cooling-data-center

5. Résultats

Cette partie présente les résultats de l'étude, c'est-à-dire l'**évaluation (quantification) des impacts environnementaux** et **sanitaires de l'intelligence artificielle** dans le monde en 2025 et 2030.

Le résultat de chacune des 5 unités fonctionnelles est présenté en détail avec un premier niveau d'analyse (interprétation des résultats). Pour rappel, nous avons évalué 5 unités fonctionnelles :

1. **Fabriquer**, distribuer et gérer la fin de vie d'un **serveur IA entrée de gamme** (**UF1**)
2. **Fabriquer**, distribuer et gérer la fin de vie d'un **serveur IA moyenne gamme** (**UF2**)
3. **Fabriquer**, distribuer et gérer la fin de vie d'un **serveur IA haute performance** (**UF3**)
4. **Utiliser** *n* serveurs IA pendant 1 an au sein d'une infrastructure adaptée (**UF4**), stock **2025**
5. **Utiliser** *n* serveurs IA pendant 1 an au sein d'une infrastructure adaptée (**UF5**), stock **2030**

5.1. Évaluation de la fabrication et de la mise à disposition d'un serveur IA (UF1, UF2, UF3)

Pour rappel, la mise à disposition d'un serveur IA comprend toutes les étapes du cycle de vie (fabrication, distribution, fin de vie) sauf l'utilisation. Elle ne prend pas en compte l'infrastructure (centre informatique et salle informatique) associée.

Dans cette partie du rapport, nous regroupons la présentation des résultats pour les trois unités fonctionnelles suivantes :

1. **Fabriquer**, distribuer et gérer la fin de vie d'un **serveur IA entrée de gamme** (**UF1**)
2. **Fabriquer**, distribuer et gérer la fin de vie d'un **serveur IA milieu de gamme** (**UF2**)
3. **Fabriquer**, distribuer et gérer la fin de vie d'un **serveur IA haute performance** (**UF3**)

5.1.1. Impacts en valeur absolue

5.1.1.1 - Résultats caractérisés

Impacts	Description	Entrée	Milieu	Haut	Unité
ADPe	Epuisement des ressources (métaux)	0,18	0,23	0,19	kg SB eq.
ADPf	Epuisement des ressources (fossiles)	**116 077**	**185 185**	**162 209**	**MJ EP**
AP	Acidification	50	80	70	molc H+ eq
CTUe	Écotoxicité	**134 163**	**216 796**	**189 998**	**CTUe**
CTUh-c	Toxicité humaine (cancer)	0,00018	0,00018	0,00009	CTUh
CTUH-nc	Toxicité humaine (non-cancer)	0,00011	0,00015	0,00012	CTUh
EpF	Eutrophisation (eau douce)	0,037	0,053	0,042	kg P eq
Epm	Eutrophisation (mer)	7	11	9	kg N eq
Ept	Eutrophisation (terre)	64	102	88	molc N eq
GWP	Réchauffement global	**8 341**	**13 555**	**11 938**	**kg CO2 eq.**
IR	Radiations ionisantes	10 703	19 860	18 163	kBq U235 eq

ODP	Destruction de la couche d'ozone	0,0031	0,0052	0,0046	kg CFC-11 eq
PM	Particules fines	0,00027	0,00044	0,00039	Disease incidence
POF	Formation d'ozone photochimique	20	32	28	kg NMVOC eq
WU	Risque de privation d'eau	29 484	37 322	28 623	m3 world eq

Légende : Impacts environnementaux et sanitaires associés à la fabrication et mise à disposition d'un serveur IA type.

Analyse : La quantité d'impacts engendrés par la fabrication varie selon la puissance du serveur (quantité de mémoire vive, capacité et nombre de GPU, etc.). Les **impacts** ont surtout lieu lors de la **fabrication de la mémoire vive (RAM)** et des **alimentations électriques** des serveurs.

5.1.2. Résultats normalisés et pondérés

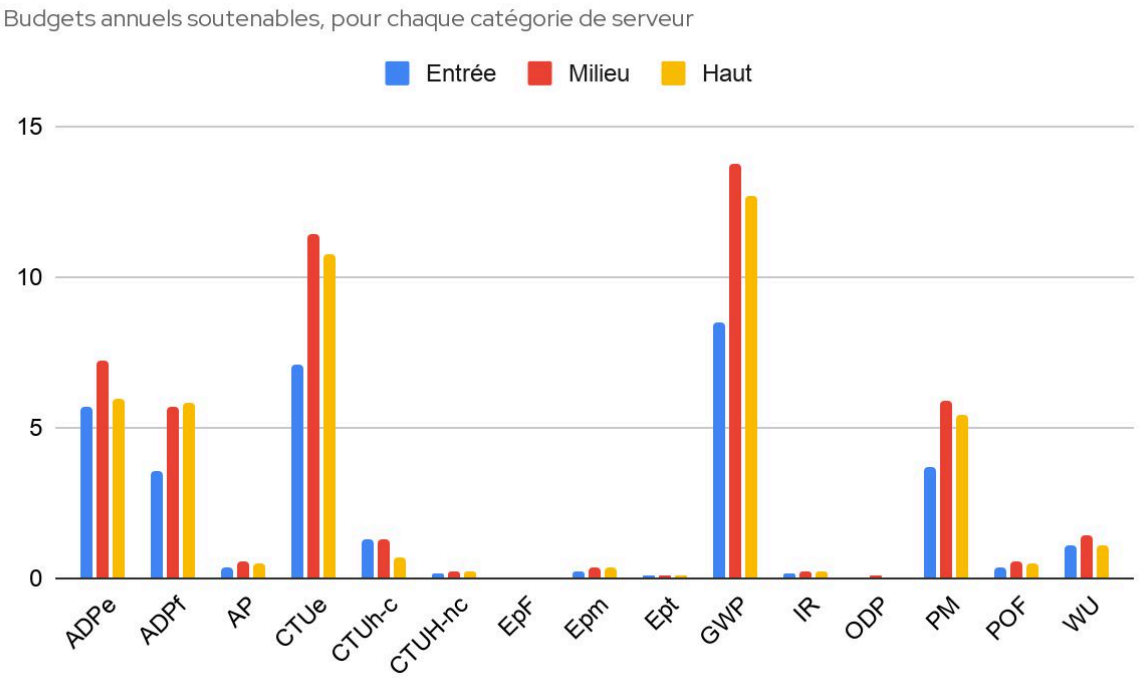
5.1.2.1 - Résultats normalisés

Les résultats normalisés sont **exprimés en nombre de "budgets annuels soutenables"**, c'est-à-dire la quantité d'impacts environnementaux et sanitaires qu'un individu peut cumuler pendant 1 an sans dépasser les limites planétaires.

Impacts	Description	Entrée	Milieu	Haut
ADPe	Epuisement des ressources (métaux)	**6**	**7**	**6**
ADPf	Epuisement des ressources (fossiles)	**4**	**6**	**6**
AP	Acidification	0	1	1
CTUe	Écotoxicité	**7**	**11**	**11**
CTUh-c	Toxicité humaine (cancer)	1	1	1
CTUH-nc	Toxicité humaine (non-cancer)	0	0	0
EpF	Eutrophisation (eau douce)	0	0	0
Epm	Eutrophisation (mer)	0	0	0
Ept	Eutrophisation (terre)	0	0	0
GWP	Réchauffement global	**8**	**14**	**13**
IR	Radiations ionisantes	0	0	0
ODP	Destruction de la couche d'ozone	0	0	0
PM	Particules fines	4	**6**	**5**
POF	Formation d'ozone photochimique	0	1	1
WU	Risque de privation d'eau	1	1	1

Légende : Impacts associés à la fabrication et mise à disposition d'un serveur IA, pour chaque catégorie, en nombre de budget(s) annuel(s) soutenable(s).

Analyse : la fabrication d'un serveur IA nécessite **jusqu'à l'équivalent de 14 budgets annuels soutenables individuels**, c'est-à-dire tous les impacts qu'un être humain peut avoir pendant un an sans dépasser les limites planétaires. **Multiplié par 4 millions de serveurs en activité en 2030**, cela représente presque l'**équivalent du budget annuel soutenable de la France** !



Légende : Comparaison des impacts associés à la fabrication et mise à disposition d'un serveur IA d'entrée, milieu et haut de gamme, hors utilisation et infrastructure.

Analyse : les **impacts sont équivalents** entre le **milieu et haut de gamme**. Le serveur haut de gamme bénéficie de ses 4 GPUs (contre 8 pour le milieu de gamme), ce qui explique un impact légèrement inférieur au milieu de gamme. Par contre, la différence est notable avec le modèle entrée de gamme sur les indicateurs les plus forts. **Les catégories milieu et haut de gamme peuvent atteindre 1,5 fois les impacts de l'entrée de gamme**.

5.1.2.1 - Résultats pondérés

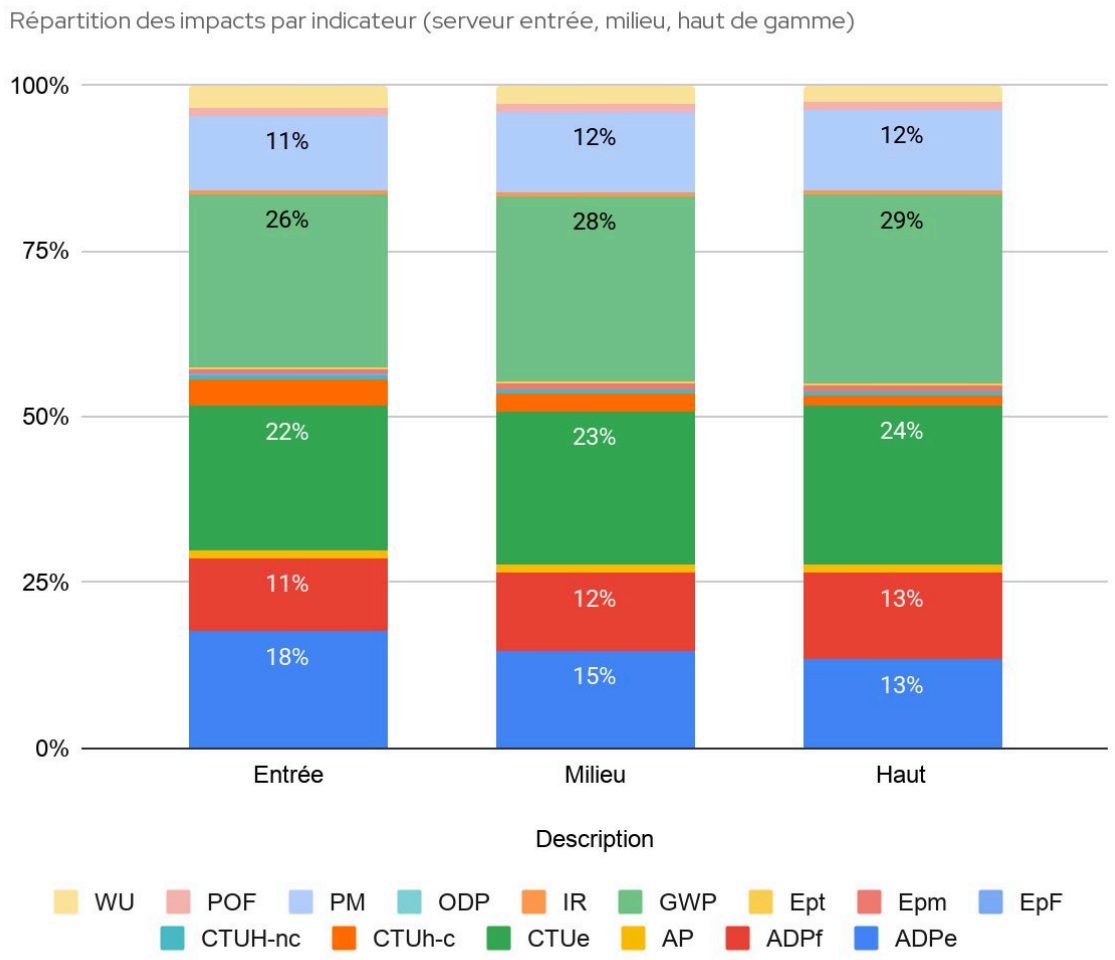
Les résultats normalisés sont pondérés (ramenés sur une base 100) pour faciliter la lecture des impacts auxquels ces trois unités fonctionnelles contribuent le plus.

Impacts	Description	Entrée	Milieu	Haut
ADPe	Epuisement des ressources (métaux)	**18%**	**15%**	**13%**
ADPf	Epuisement des ressources (fossiles)	**11%**	**12%**	**13%**
AP	Acidification	1%	1%	1%
CTUe	Écotoxicité	**22%**	**23%**	**24%**
CTUh-c	Toxicité humaine (cancer)	4%	3%	2%
CTUH-nc	Toxicité humaine (non-cancer)	1%	1%	0%
EpF	Eutrophisation (eau douce)	0%	0%	0%
Epm	Eutrophisation (mer)	1%	1%	1%
Ept	Eutrophisation (terre)	0%	0%	0%
GWP	Réchauffement global	**26%**	**28%**	**29%**
IR	Radiations ionisantes	0%	1%	1%
ODP	Destruction de la couche d'ozone	0%	0%	0%

PM	Particules fines	**11%**	**12%**	**12%**
POF	Formation d'ozone photochimique	1%	1%	1%
WU	Risque de privation d'eau	3%	3%	2%

Légende : Impacts associés à la fabrication et mise à disposition
d'un serveur IA (entrée, milieu, haut de gamme), hors utilisation et infrastructure.

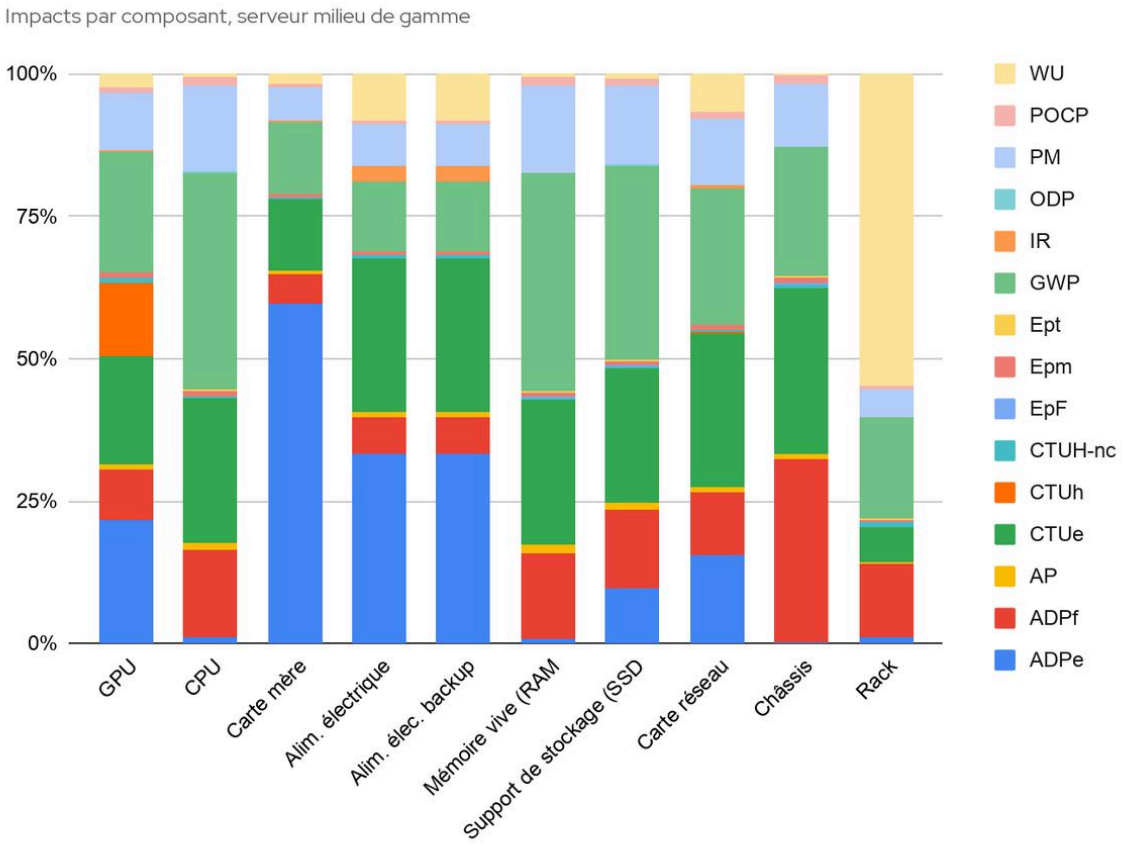
Représentation graphique des résultats :



Légende : Part normalisée et pondérée des impacts par catégorie d'impacts
pour les serveurs d'entrée, milieu et haut de gamme

5.1.2.2 - Répartition des impacts par composant

La répartition des impacts est fortement similaire sur les trois catégories de serveurs. Nous présentons ici le **serveur milieu de gamme**.



Légende : Répartition des impacts par composant, serveur milieu de gamme

Analyse : la **répartition** des impacts est **fortement similaire sur les 3 modèles** de serveurs.
Les indicateurs d'impacts qui ressortent le plus sont :

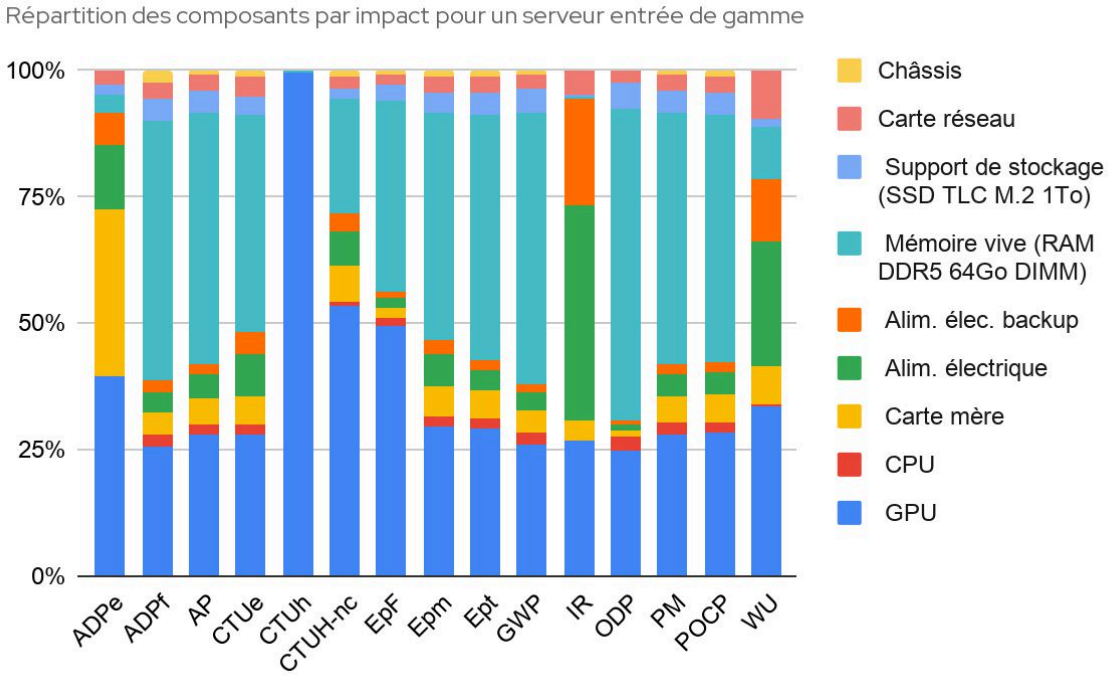
- les ressources abiotiques (minéraux et métaux) (ADPe) pour la **carte mère (60%)**, l'**alimentation électrique (33%)** et le **GPU (22%)** principalement
- les ressources abiotiques fossiles (ADPf) sur le **châssis (32%)**, la **RAM (15%)** et le **CPU (15%)**
- les émissions de gaz à effet de serre (GWP) sur la **RAM (38%)**, le **CPU (38%)**, le **stockage (34%)**
- l'écotoxicité de l'eau douce (CTUe) représente entre **20 et 30%** sauf pour le rack et la carte mère
- les particules fines (PM) représentent **10% à 15%** des impacts à l'exception du rack et de l'alimentation électrique.

On remarque aussi :

- la consommation d'eau douce (WU) pour la fabrication du rack et du châssis (acier), la carte réseau et l'alimentation électrique
- la toxicité humaine (CTUh) pour les GPU

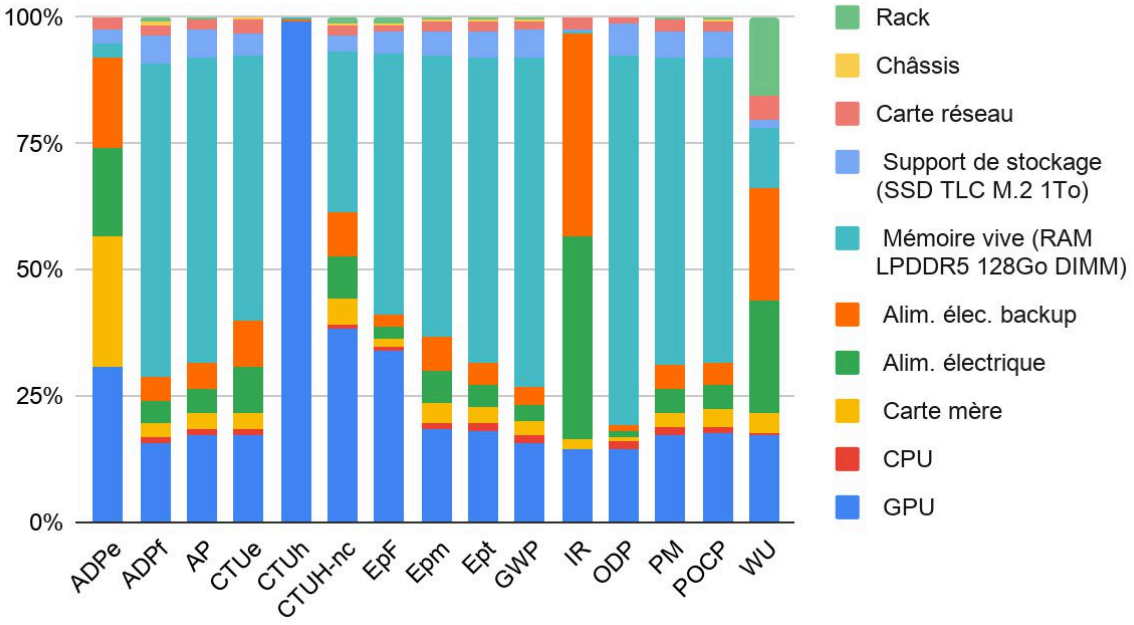
5.1.2.2 - Répartition des composants par impact

Les résultats de chaque catégorie de serveurs sont présentés ici répartis par composant, pour chaque indicateur d'impact.



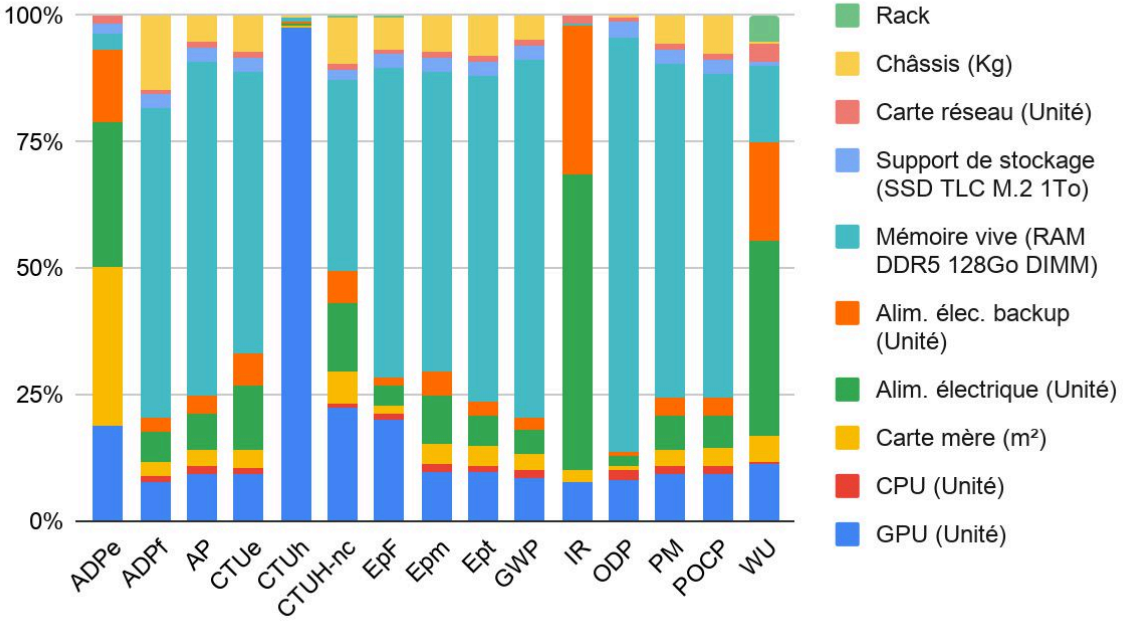
Légende : Répartition des composants par impact, serveur entrée de gamme

Répartition des composants par impact pour un serveur milieu de gamme



Légende : Répartition des composants par impact, serveur milieu de gamme

Répartition des composants par impact pour un serveur haut de gamme



Légende : Répartition des composants par impact, serveur haut de gamme

Analyse :

- Les **GPU ne sont pas le premier poste d'impact, c'est la RAM**, quelle que soit la gamme du serveur sauf les ressources en métaux et minéraux.
- On voit que les **équilibres évoluent selon la gamme** : si les GPU sont en seconde position derrière la mémoire vive (RAM) sur la plupart des indicateurs pour la catégorie entrée de gamme, ils reculent nettement sur le milieu et le haut de gamme. La RAM et l'alimentation électrique se démarquent et prennent une part plus importante.

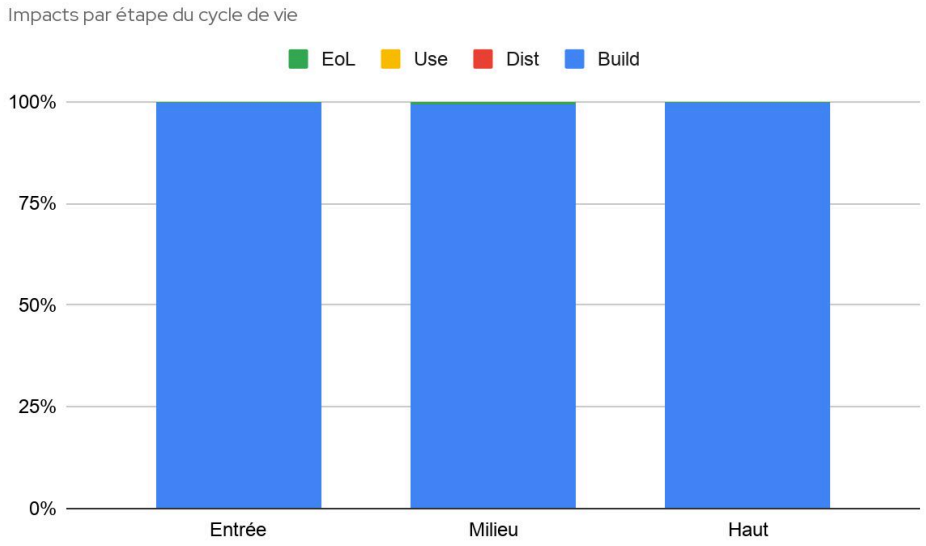
5.1.2.3 - Répartition par étapes du cycle de vie

Les résultats de chaque catégorie de serveurs sont présentés ici répartis par étape du cycle de vie. Pour rappel, nous n'incluons pas la phase d'utilisation pour les UF1 à 3 qui servent de briques pour calculer les UF4 et 5 (utilisation de n serveurs IA pendant 1 an).

	Build	Dist	Use	EoL
Entrée	**99,80%**	0,00%	0,00%	0,20%
Milieu	**99,91%**	0,04%	0,00%	0,58%
Haut	**99,88%**	0,01%	0,00%	0,12%

Légende : Répartition des impacts par étape du cycle de vie, pour chaque catégorie de serveur

Représentation graphique des résultats



Légende : Répartition des impacts par étape du cycle de vie.

Analyse : La répartition des impacts est fortement similaire entre les 3 modèles de serveurs. Assez classiquement, si on ne considère pas la phase d'utilisation, **c'est la phase de fabrication du serveur IA qui concentre les impacts**, très loin devant la distribution et la gestion de la fin de vie.

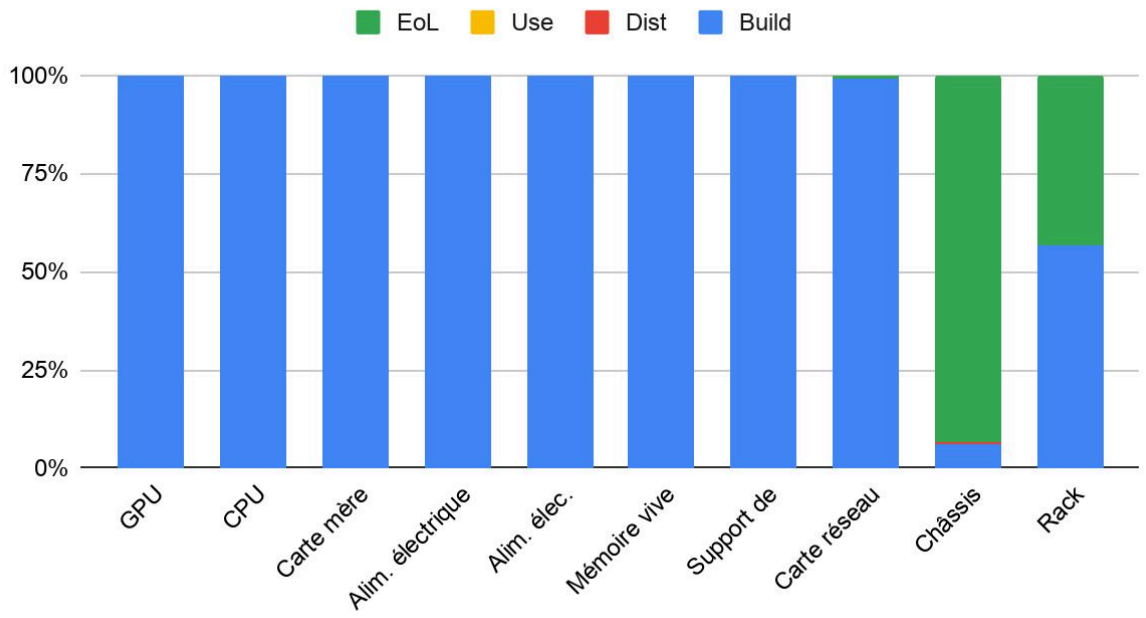
Limite : La base de données de facteurs d'impacts NegaOctet.eu s'appuie sur la seule ACV couvrant la fin de vie des EEE, produite par l'éco-organisme ERP (aujourd'hui dissout). Les contrôles de cohérence et la revue critique ont souligné le fait que les données d'ERP sur la fin de vie des EEE étaient peu

fiables et surestimées. Comme il n'existait aucun autre jeu de données homogène à l'époque de la création de NegaOctet.eu, ces données ont quand même été intégrées pour couvrir la fin de vie.

Représentation des impacts par étape du cycle de vie pour chaque composant

La répartition des impacts par étape du cycle de vie de chaque composant est similaire d'une catégorie de serveur à l'autre. Nous représentons ici la catégorie milieu de gamme.

Impacts par étape du cycle de vie pour chaque composant d'un serveur milieu de gamme



Légende : Répartition des impacts par étape du cycle de vie, pour chaque composant d'un serveur milieu de gamme

Analyse : Seuls **le châssis** et **le rack partagent les impacts entre la fabrication et la fin de vie**. Avec les réserves évoquées plus haut. C'est dû notamment à la production et au recyclage de l'acier. Les impacts des autres composants se concentrent quasiment uniquement sur la fabrication.

5.2. Evaluation des impacts globaux de l'IA dans le monde (UF4 et UF5)

Rappel de l'unité fonctionnelle et du flux de référence :

```
Utiliser n serveurs IA (UF1, UF2, UF3)
à 68,8 % de leur capacité pendant 365 jours, 24 heures sur 24.
```

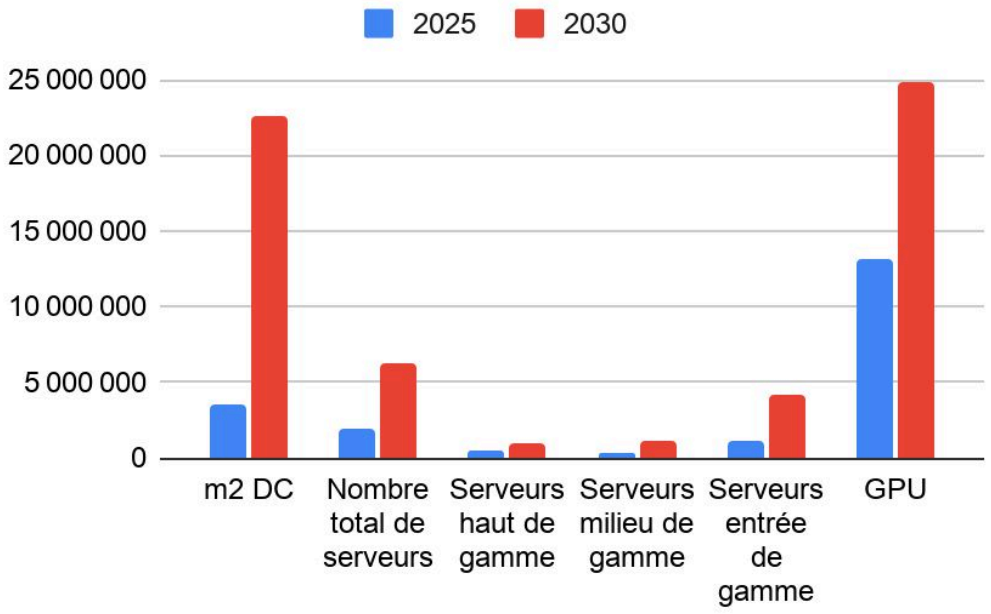
Avec n =

L'unité fonctionnelle est évaluée pour les années 2025 et 2030.

Inventaire	2025	2030	Evolution
GPU	13 077 000	24 846 300	x2
Serveurs entrée de gamme	1 094 925	4 160 715	x4
Serveurs milieu de gamme	284 409	1 080 753	x4
Serveurs haut de gamme	510 582	970 107	x2
Nombre total de serveurs	1 889 916	6 211 575	x3
m2 DC	3 483 966	22 533 412	x6
Consommation électrique (TWh / an)	174	1 169	x7

Légende : Flux de référence des unités fonctionnelles UF4 (2025) et UF5 (2030)
Pour être synthétiques, nous recensons ici uniquement l'inventaire des composants de l'infrastructure IA qui contribuent le plus aux impacts.

Représentation graphique :



Légende : Flux de référence de l'unité fonctionnelle 4, 2025 et 2030

Puissance maximum théorique	Entrée (UF1)	Milieu (UF2)	Haut (UF3)
2025 (en Watts)	11025	11945	15633
2030 (en Watts)	20 556	33 333	55 556
Évolution	x2	x3	x4

Quantité serveurs	Entrée (UF1)	Milieu (UF2)	Haut (UF3)
2025	1 094 925	284 409	510 582
2030	4 160 715	1 080 753	970 107
Évolution	x4	x4	x2

Analyse : Bien que le nombre total de GPU ne fasse que doubler sur la période 2025-2030, la **consommation électrique est multipliée par 7**. Cette augmentation spectaculaire est due à **deux paramètres** :

- d'une part, la **puissance moyenne** à l'échelle du **GPU** est **multipliée par 3**, passant de **700 Watts** en 2025 à plus de **2000 Watts** en 2030.
- d'autre part, les **racks** de serveurs **se densifient**, notamment avec le passage à du refroidissement à eau, permettant la densification du nombre de serveurs.

L'évolution de la surface des centres de données (m² DC) est directement liée à la puissance. En effet, au-delà de la surface nécessaire aux serveurs eux-mêmes, un volume supplémentaire est nécessaire selon la puissance des équipements, afin d'assurer leur refroidissement. **L'augmentation de la puissance des serveurs implique donc l'augmentation des m² de centres informatiques.**

5.2.1. Impacts en valeur absolue

Impacts	Description	2025	2030	Unité
ADPe	Epuisement des ressources (métaux)	212	919	tonnes SB eq.
ADPf	Epuisement des ressources (fossiles)	1 537 285 110	9 941 116 363	GJ EP
AP	Acidification	377 470 856	2 359 135 837	molc H+ eq
CTUe	Écotoxicité	353 431 581 047	1 907 936 035 480	CTUe
CTUh-c	Toxicité humaine (cancer)	111	424	CTUh
CTUH-nc	Toxicité humaine (non-cancer)	565	3 488	CTUh
EpF	Eutrophisation (eau douce)	55 588	374 301	tonnes P eq
Epm	Eutrophisation (mer)	80 181	516 057	tonnes N eq
Ept	Eutrophisation (terre)	747 011 071	4 800 628 615	molc N eq
GWP	Réchauffement global	99 037 692	635 654 102	tonnes CO2 eq.
IR	Radiations ionisantes	32 862 038 337	188 193 821 904	kBq U235 eq
ODP	Destruction de la couche d'ozone	4 786	19 843	kg CFC-11 eq
PM	Particules fines	3 217	20 639	Disease incidence
POF	Formation d'ozone photochimique	231 034 509	1 482 578 715	kg NMVOC eq
WU	Risque de privation d'eau	43 617 072 606	217 561 333 125	m3 world eq

Légende : Principaux impacts environnementaux et sanitaires de l'intelligence artificielle dans le monde en 2025 et 2030.

Comme le montre le tableau ci-dessus, à l'échelle mondiale, les **impacts sont multipliés par 7 entre 2025 et 2030 pour la majorité des indicateurs, ce qui révèle une tendance exponentielle**.

Notre étude s'appuie sur les ventes prévisionnelles de GPU dédiés aux centres de données. **On peut s'interroger sur notre capacité physique à atteindre de tels volumes** :

- à construire les centres de données permettant d'héberger l'ensemble des serveurs
- à assurer l'approvisionnement en électricité et en eau, localement, pour les faire fonctionner sans générer de conflit d'usage.

5.2.2. Résultats normalisés

5.2.2.1 - Résultats normalisés pondérés

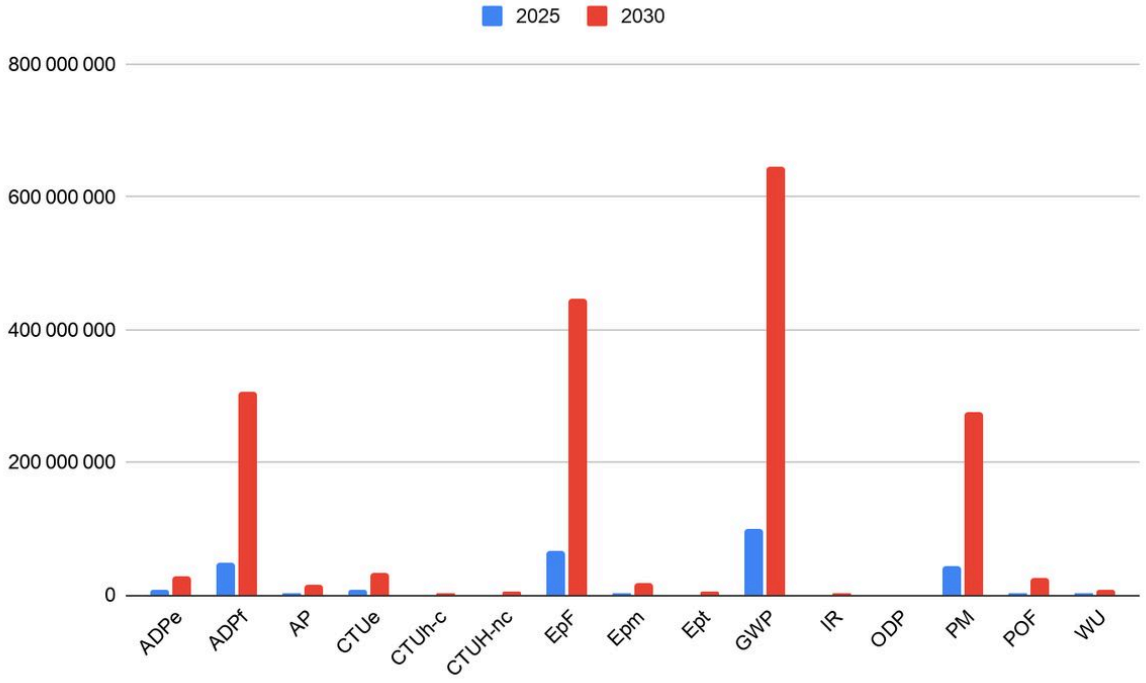
La normalisation a été réalisée avec la méthode du "budget annuel soutenable" ou PBCI (Planet Boundaries per Capita Indicator) qui consiste à rapporter les résultats caractérisés au budget annuel soutenable d'un européen.

Impacts	Description	2025	2030
ADPe	Epuisement des ressources (métaux)	6 642 995	28 735 063
ADPf	Epuisement des ressources (fossiles)	**47 725 758**	**307 085 368**
AP	Acidification	2 614 829	16 278 046
CTUe	Écotoxicité	8 584 205	32 320 925
CTUh-c	Toxicité humaine (cancer)	796 222	3 031 253
CTUH-nc	Toxicité humaine (non-cancer)	964 183	5 918 520
EpF	Eutrophisation (eau douce)	**66 389 750**	**445 597 227**
Epm	Eutrophisation (mer)	2 777 035	17 802 620
Ept	Eutrophisation (terre)	846 058	5 414 865
GWP	Réchauffement global	**100 939 707**	**645 518 604**
IR	Radiations ionisantes	432 222	2 469 773
ODP	Destruction de la couche d'ozone	61 453	254 447
PM	Particules fines	**43 073 473**	**275 276 575**
POF	Formation d'ozone photochimique	3 933 647	25 140 441
WU	Risque de privation d'eau	1 661 637	8 273 802

Légende : Impacts environnementaux et sanitaires mondiaux de l'intelligence artificielle exprimés en nombre de budgets annuels soutenables d'un européen en 2025 et 2030. Pour rappel, env. 450 millions d'habitants dans l'Union Européenne.

Analyse : Les impacts mondiaux de l'IA représentent l'équivalent de 22 % du budget annuel soutenable de l'UE en 2025. **À mix électrique constant, en 2030, l'IA mondiale représentera l'équivalent de 1,4 fois le budget annuel soutenable de l'UE, soit** l'**équivalent du budget annuel soutenable de 645 millions d'européens** ! Malheureusement, la situation va probablement empirer car la plupart des pays dans le monde devraient ouvrir, au moins à court terme, des centrales électriques à gaz ou charbon pour répondre au pic soudain de demande d'électricité généré par le développement de l'IA et des véhicules électriques.

Représentation graphique de l'évolution



Légende : Impacts environnementaux et sanitaires mondiaux de l'intelligence artificielle exprimés en nombre de budgets annuels soutenables d'un européen en 2025 et 2030

On voit une explosion des impacts sur l'ensemble des indicateurs, c'est d'autant plus flagrant sur :

- les émissions de gaz à effet de serre (GWP)
- l'eutrophisation de l'eau douce (EpF)
- les ressources abiotiques fossiles (ADPf)
- les particules fines (PM)

Là encore, la consommation d'électricité en phase d'utilisation joue un rôle important.

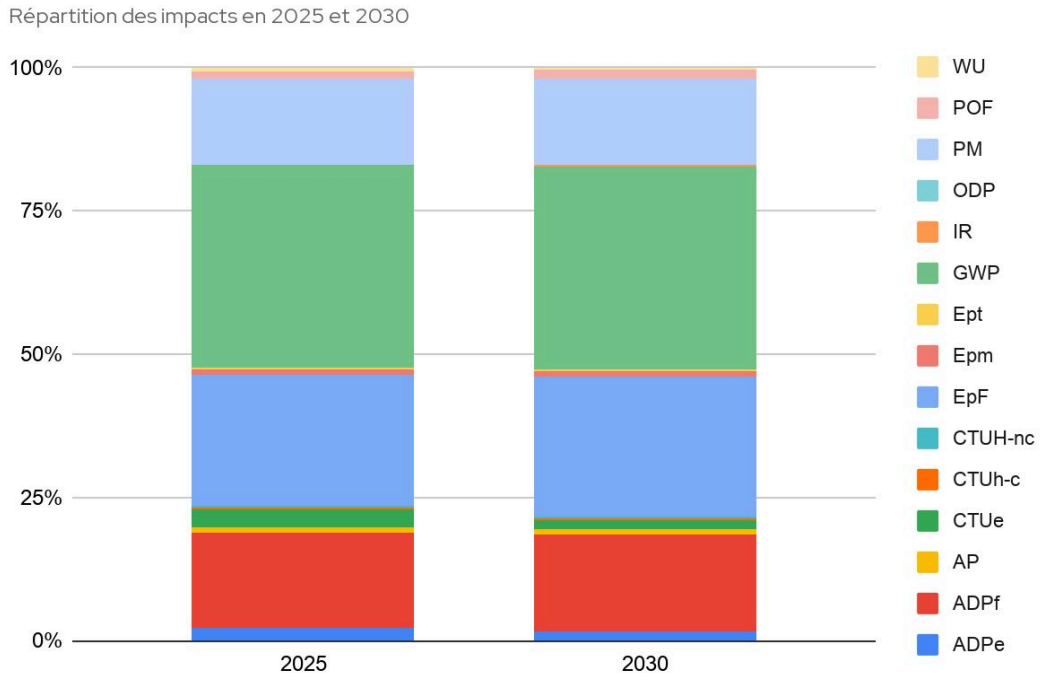
5.2.2.2 - Résultats normalisés ramenés à une base 100

Impacts	Description	2025	2030
ADPe	Epuisement des ressources (métaux)	2%	2%
ADPf	Epuisement des ressources (fossiles)	**17%**	**17%**
AP	Acidification	1%	1%
CTUe	Écotoxicité	3%	2%
CTUh-c	Toxicité humaine (cancer)	0%	0%
CTUH-nc	Toxicité humaine (non-cancer)	0%	0%
EpF	Eutrophisation (eau douce)	**23%**	**25%**
Epm	Eutrophisation (mer)	1%	1%
Ept	Eutrophisation (terre)	0%	0%
GWP	Réchauffement global	**35%**	**36%**
IR	Radiations ionisantes	0%	0%

ODP	Destruction de la couche d'ozone	0%	0%
PM	Particules fines	**15%**	**15%**
POF	Formation d'ozone photochimique	1%	1%
WU	Risque de privation d'eau	1%	0%

Légende : Impacts environnementaux et sanitaires de l'intelligence artificielle dans le monde, résultats normalisés et pondérés.

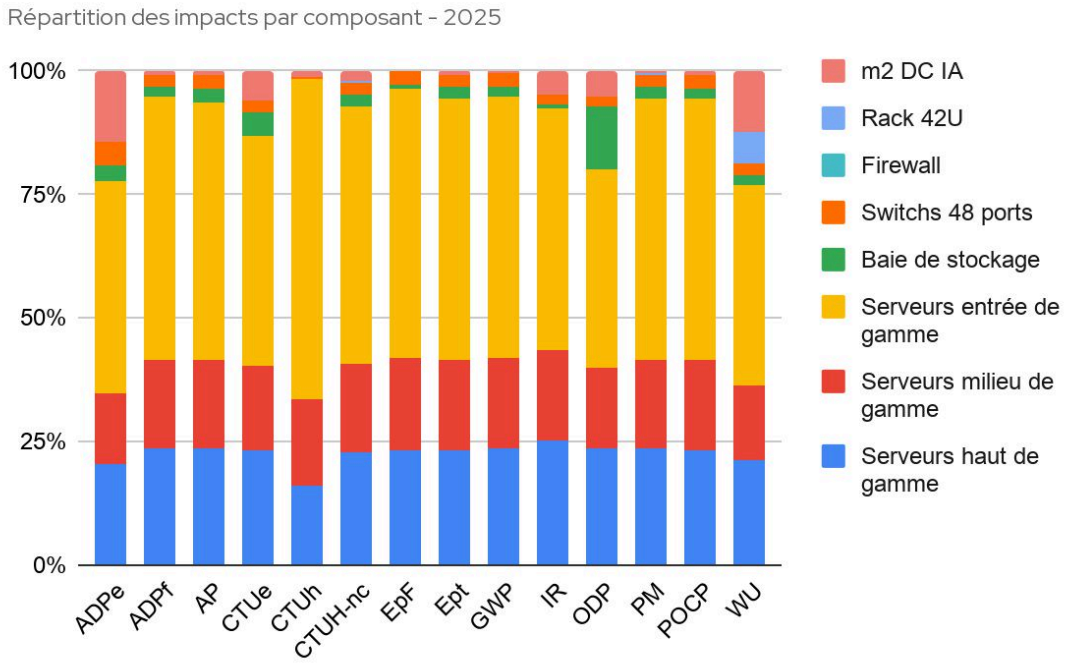
5.2.2.3 Représentation graphique des résultats



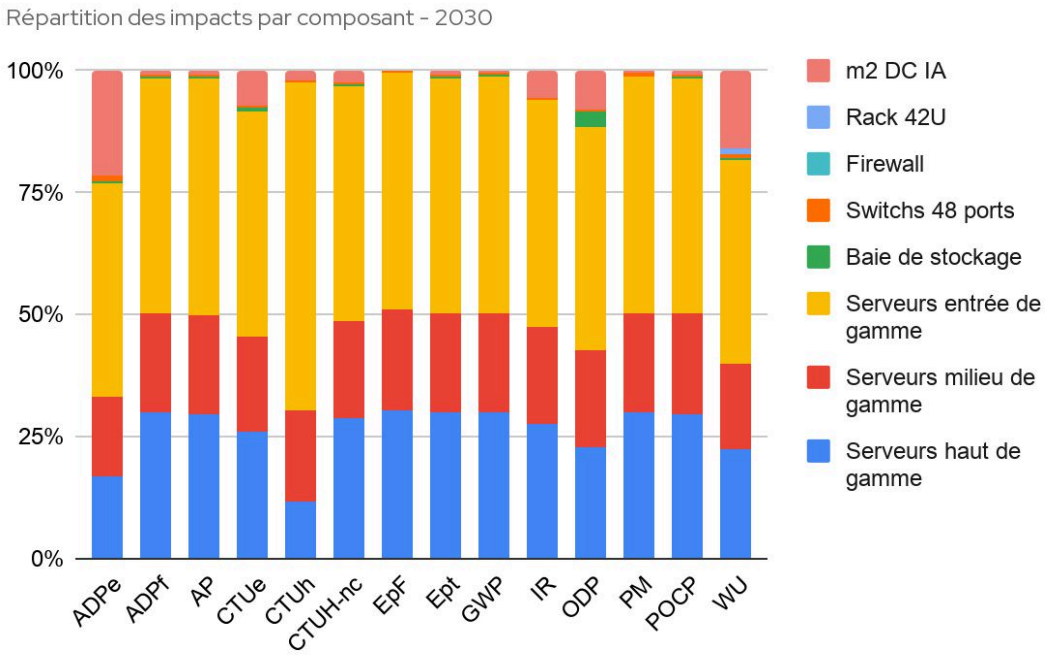
Légende : Répartition des impacts environnementaux et sanitaires associés à l'utilisation de *n* serveurs IA pendant 1 an, en 2025 et 2030

Analyse : **La structure des impacts environnementaux reste assez proche entre 2025 et 2030.**
On observe néanmoins une **réduction de la part des ressources en minéraux et métaux**, du fait de la **consommation d'électricité plus importante** augmentant la part des impacts de la **phase d'utilisation**, réduisant donc la part des impacts de la phase fabrication.
Et une **augmentation des impacts liés à l'utilisation** : eutrophisation (EpF), émissions de gaz à effet de serre (GWP), ressources fossiles (ADPf).

5.2.2.4 - Répartition par composants



Légende : Répartition des impacts de l'intelligence artificielle dans le monde en fonction des composants techniques en 2025



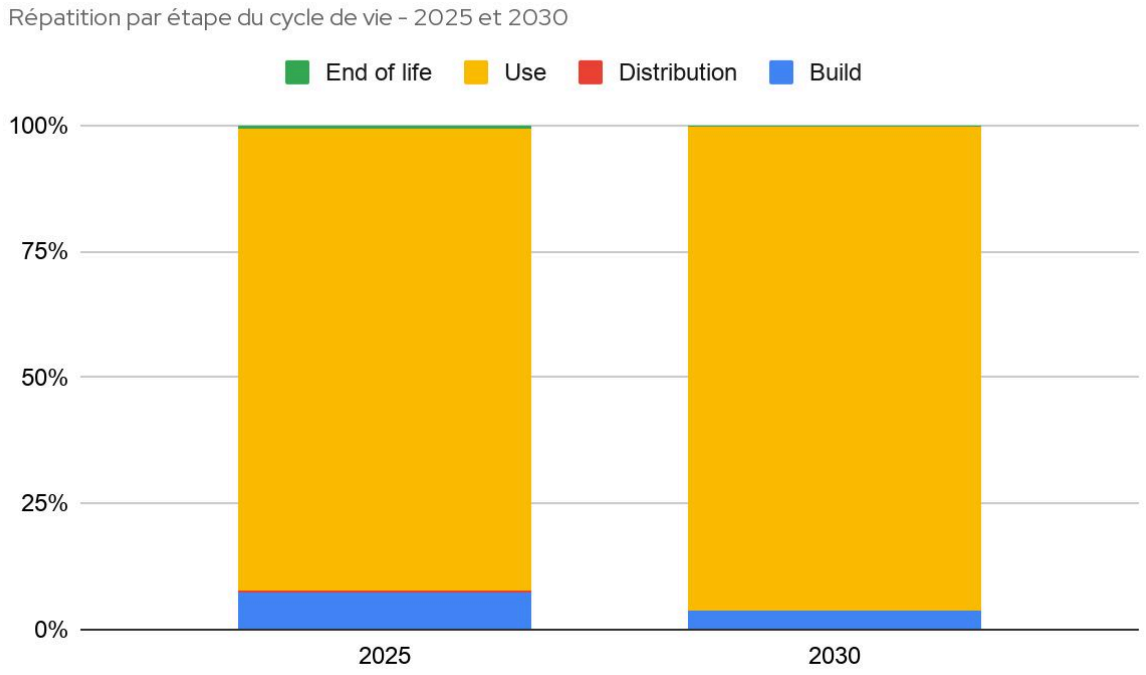
Légende : Répartition des impacts de l'intelligence artificielle dans le monde en fonction des composants techniques en 2030

Analyse : Les **serveurs IA concentrent plus de 80% des impacts, très loin devant les autres équipements informatiques et les centres informatiques** qui les hébergent (même en incluant les groupes froids, onduleurs, groupes électrogènes, etc.). Sachant que l'efficacité énergétique des DC IA est déjà très optimisée (PUE inférieur à 1,2), **la seule solution efficace à court terme pour réduire les impacts de l'IA** n'est pas de construire de nouveaux DC IA dits "plus écologiques", mais bien de **réduire la consommation d'IA par les utilisateurs** (entreprises et particuliers). Toute solution technologique mise en avant ne permettra pas de traiter le problème dans son ampleur.

5.2.2.5 - Répartition par étapes du cycle de vie

Répartition des impacts	2025	2030
Build	7%	4%
Distribution	0%	0%
Use	92%	96%
End of life	1%	0%

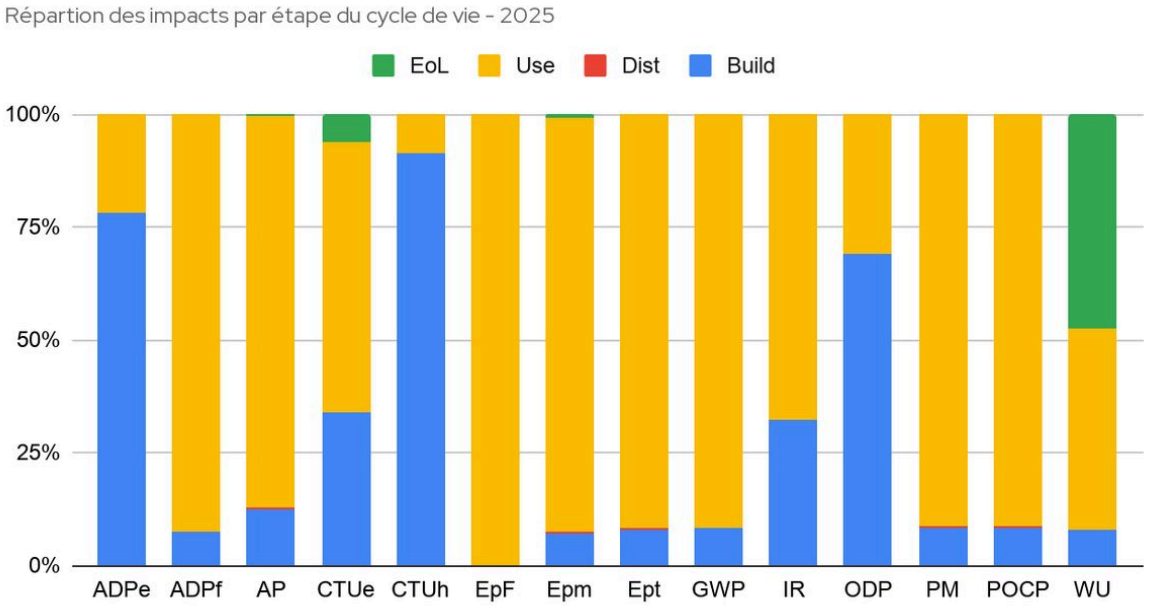
Légende : Tableau de répartition des impacts environnementaux et sanitaires de l'intelligence artificielle dans le monde en fonction des étapes du cycle de vie en 2025 et 2030



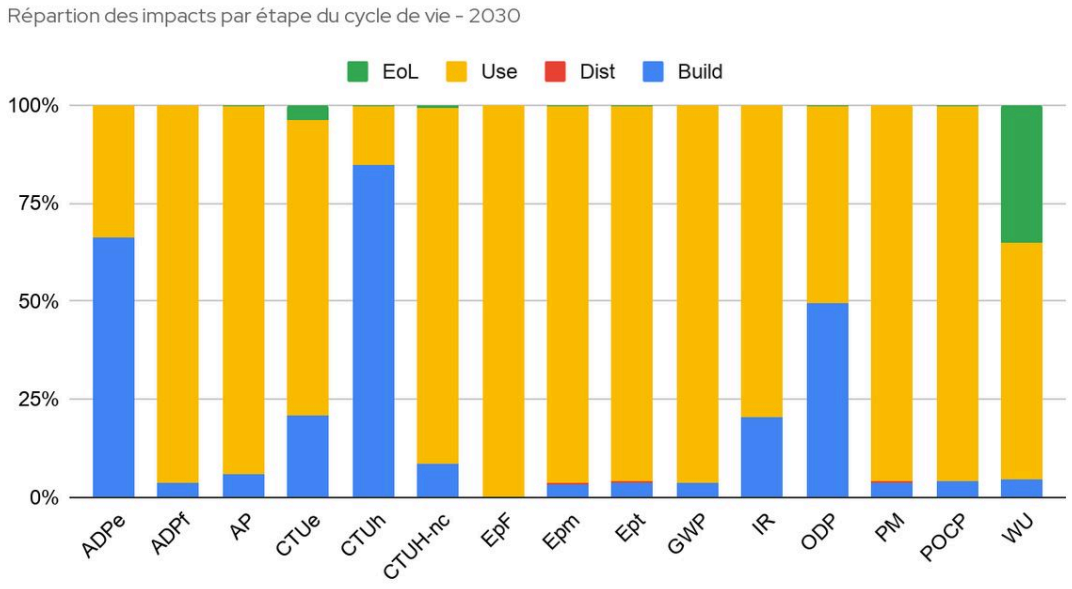
Légende : Répartition des impacts environnementaux et sanitaires de l'intelligence artificielle dans le monde en fonction des étapes du cycle de vie en 2025 et 2030

Analyse : **la phase d'utilisation concentre l'essentiel des impacts et sa part progresse**. La multiplication de la consommation électrique par un facteur 7 "tasse" les impacts associés à la fabrication des serveurs. Cette étape du cycle de vie passe de 8% à 4% des impacts entre 2025 et 2030.

La **fabrication** reste cependant la **principale source** pour l'**épuisement des ressources abiotiques** (métaux et minéraux), l'**augmentation des cancers** (CTUh-c), le la contribution au "**trou dans la couche d'ozone**" (ODP).



Légende : Répartition des impacts environnementaux et sanitaires de l'intelligence artificielle dans le monde en fonction des étapes du cycle de vie, par indicateur, en 202



Légende : Répartition des impacts environnementaux et sanitaires de l'intelligence artificielle dans le monde en fonction des étapes du cycle de vie, par indicateur, en 2030

6. Conclusion de l'étude

6.1. Faits marquants

Nous compilons ici les résultats les plus marquants de l'étude.

Consommation électrique x7

Alors que notre étude de l'année dernière tablait sur une consommation électrique des GPUs multipliée par 4 entre 2025 et 2030, cette nouvelle analyse dévoile une augmentation de la consommation électrique totale de l'IA multipliée par 7 entre 2025 et 2030.

Cette explosion s'explique par :

- **x2 : nombre de GPUs** déployés dans le monde (nous passerons approximativement de 13 à 25 millions)
- **x3 : puissance moyenne appelée par chaque GPU**, passant d'environ 700 à 2000 Watts, 2025-2030

x6 : augmentation de surface de centre informatique nécessaire pour abriter tous les nouveaux serveurs IA dans les centres de données entre 2025 et 2030.

Cette augmentation est directement liée aux besoins croissants de refroidissement eux-mêmes liés à la puissance de chaque GPU. Heureusement, les centres informatiques ont très peu d'impacts comparé à la consommation électrique des équipements qu'ils hébergent. Ils doivent cependant rester un point de vigilance quant à l'artificialisation des sols.

x7 : augmentation des impacts environnementaux et sanitaires de l'IA entre 2025 et 2030

La consommation électrique étant la principale source d'impacts de l'IA, la majorité des impacts augmente proportionnellement à la hausse de la consommation électrique.

6.1.1. Inventaire

Durée de vie d'un GPU très courte

La durée de vie d'un GPU est jusqu'à 3 fois plus courte que celle du CPU d'un serveur traditionnel. Cette courte durée de vie augmente mécaniquement les impacts associés à la phase de fabrication.

Consommation électrique d'un GPU jusqu'à 4 fois supérieure à celle d'un CPU

La puissance électrique d'un GPU est jusqu'à 4 fois supérieure à celle d'un CPU de serveur traditionnel (environ 450 Vs 2000 Watts), les impacts associés à la production de l'électricité finissent par tasser ceux associés à la fabrication des serveurs IA.

6.1.2. Impacts

5 crises environnementales et sanitaires sur 16

Sur les 16 crises environnementales et sanitaires observées, l'IA contribue principalement à 6 d'entre-elles :

1. Epuisement des ressources minérales et métalliques (ADPe)
2. Epuisement des ressources fossiles (ADPf)
3. Potentiel de réchauffement global (GWP)
4. Émissions de particules fines (PM)
5. Eutrophisation des milieux aquatiques - eau douce (EpF)

Deux tiers des impacts de l'IA ne sont pas des émissions de GES

Les émissions de GES représentent **environ 35 %** des impacts de l'intelligence artificielle dans le monde en 2025 et 2030. S'il s'agit du principal impact environnemental individuel, il ne doit pas masquer les autres impacts qui totalisent près des deux tiers de l'empreinte. Il s'agit notamment de l'**eutrophisation** (**environ 25 %** des impacts), de l'épuisement des **ressources abiotiques minérales, métalliques et fossiles** (**un peu moins de 20 %**), et des **émissions de particules fines** (15 %).

Zoom sur les principaux impacts

- **Potentiel de réchauffement global** (GWP). Induit par les émissions de GES, il représentera **35 % des impacts de l'IA dans le monde en 2030**. Il se traduit par un changement des climats locaux, des déplacements de population, et contribue au processus d'acidification.
- **Eutrophisation (eau douce)** : C'est le second impact environnemental **(environ 25 % sur la période observée) associé à l'IA**. Principalement lié à l'extraction du charbon, il se caractérise par l'asphyxie des milieux aquatiques par la prolifération d'algues.
- **Épuisement des ressources** : L'épuisement des ressources abiotiques minérales, métalliques et fossiles totalise **un peu moins de 20 %**. Il est principalement dû à la fabrication des serveurs pour les métaux et minéraux et à la production d'électricité pour les ressources fossiles.

Jusqu'à 96 % des impacts liés à la production de l'électricité

Si la fabrication (build) totalise 7 % des impacts en 2025, elle baisse à 4 % en 2030. La production de l'électricité utilisée par l'infrastructure IA mondiale (use) totalise de 92% des impacts en 2025 jusqu'à 96 % en 2030.

Zoom sur les particules fines : jusqu'à 20 600 nouveaux cas de maladies en 2030

Si on zoome sur les émissions des particules fines de 2,5 µm (PM), elles contribuent à une augmentation du taux de maladies, pouvant conduire jusqu'au décès, à hauteur de 3 217 nouveaux cas en 2025 et jusqu'à 20 639 en 2030. Ces émissions de particules fines sont essentiellement liées aux phases de fabrication (extraction des métaux et transformation en composants électroniques) et à la production de l'électricité par combustion d'énergies fossiles.

6.1.3. Impacts en 2025 et 2030

Jusqu'à 12 fois plus d'impacts entre 2025 et 2030

Sauf à ce que les fabricants de GPU parviennent à faire chuter drastiquement la consommation électrique de leurs GPU pour un même nombre de traitements, on observe une croissance exponentielle des impacts qui est associée à la consommation électrique de chaque GPU et surtout à l'augmentation du nombre de GPU mis en exploitation. Dans le contexte technique actuel, les impacts environnementaux de l'IA devraient être multipliés par 6 à 7 entre 2025 et 2030.

Impacts	2025	2030	Evolution
En mPt PEF	10 344 891	65 258 705	x6,3
PBCI (nombre de budgets annuels soutenables)	101 124 035	702 215 884	x6,9

Légende : Impacts en absolue rapportée à leur gravité (méthode EcoScore PEF 3.1 et PBCI cumulé). La méthode PBCI exprime la quantité d'impacts en nombre de budgets annuels soutenables.

GES : 1,4 fois le budget annuel soutenable de l'Europe en 2030

Alors que les émissions de GES associées à l'IA représentaient déjà l'équivalent de 22 % du budget annuel soutenable de l'Union Européenne en 2025, dans 5 ans (2030), elles représenteront l'équivalent de 1,4 fois le budget annuel soutenable de l'Union européenne (645 millions d'européens). Un budget GES annuel soutenable est défini par la quantité d'émissions de GES possibles sans déclencher de réchauffement global, soit 985 kg équivalent CO2 par an et par terrien selon la Commission européenne.

6.2. Recommandations

Les résultats de cette nouvelle version de l'étude et la croissance des impacts nous incitent à pointer du doigt l'urgence de mettre en place un plan d'actions visant à encadrer le déploiement de l'IA.

A court terme, la seule façon de réduire efficacement ces impacts est donc de réduire l'offre pour éviter un basculement du modèle économique actuel (offre) vers un modèle économique de la demande, en cours de mise en place par la création de nouvelles dépendances de la part des utilisateurs. Il devient urgent de conditionner le déploiement de produits et services dédiés à l'IA, principalement l'IA générative, à la valeur associée.

Voici quelques recommandations pour réduire les impacts environnementaux et sanitaires de l'intelligence artificielle :

1. Élaborer une **trajectoire de déploiement de l'IA**, notamment générative
2. **Étendre les études** existantes aux **unités fonctionnelles complètes**
3. Créer un **plan "sobriété IA"** pour contenir l'offre
4. **Sensibiliser le grand public** pour contenir la demande
5. Créer une **filière d'excellence IA frugale**
6. Rendre obligatoire l'écoconception des solutions exploitant l'IA générative et ses évolutions **hébergée en France** et **en Europe**.
7. **Taxer** (bonus-malus) les **centres IA fonctionnant avec des énergies fossile**s, notamment ceux dotés de moyens de production d'électricité à partir de gaz (BHM, ou behind the meter)
8. **Etudier les impacts** de l'usages des **nouveaux moyens de refroidissement à base d'huiles** et autres **produits synthétiques**, et en encadrer l'usage en cohérence avec nos **exigences environnementales**

6.2.1. Recommandation n°1 : Élaborer une trajectoire de déploiement de l'IA

Notre étude s'appuie sur les prévisions de croissance du marché des serveurs dédiés à l'IA d'ici à 2030 : il nous apparaît essentiel de confronter ces prévisions de marché avec la réalité physique. L'évaluation de la consommation électrique et la surface de centres de données associés nous interrogent : sommes-nous réellement en capacité d'approvisionner un tel volume ? Et ce, sans générer des conflits d'usages critiques pour les populations ? A-t-on réellement besoin d'une telle capacité, et pour quel projet de société ? Il semble évident de mener de manière prioritaire des études approfondies pour construire une trajectoire de déploiement de l'IA viable et souhaitable.

6.2.2. Recommandation n°2 : Étendre les études existantes aux unités fonctionnelles complètes

A l'heure à laquelle nous écrivons ces lignes, il n'existe **pas encore d'étude complète qui prenne en compte l'ensemble de l'infrastructure numérique permettant de "faire de l'IA"**. Notre étude ne couvre par exemple que le *backend*. Il faudrait donc **ajouter les tiers "utilisateurs" et "réseaux"** pour **avoir une vision complète des impacts**, de leur structure et de leur répartition. L'extension aux utilisateurs et aux réseaux nécessite que nous disposions des données d'inventaires de tous les principaux fournisseurs d'IA quant au nombre de "*prompts*" effectués, par catégories d'IA : prédictives, génératives, agentiques, etc. Leur coopération est donc indispensable.

6.2.3. Recommandation n°3 : Créer un plan "sobriété IA" pour contenir l'offre

Aujourd'hui, c'est l'offre des fournisseurs d'IA qui crée progressivement la demande. Il est donc nécessaire d'**encadrer l'offre pour maîtriser la demande**. Nous disposons d'ors et déjà des outils méthodologiques pour évaluer les gains nets apportés par l'IA, via une ACV comparative multicritères par exemple. Il est donc possible de **déployer des mécanismes dissuasifs pour les IA "inutiles"** ou aux impacts nets trop importants et des mécanismes incitatifs pour les IA "utiles" et / ou "au bilan environnemental net positif".
Créer un plan de sobriété IA ne s'oppose pas à des enjeux géopolitiques : il s'agit au contraire pour la France et l'Europe de **choisir sur quelle IA elle veut se positionne**r et **orienter ses moyens sur ces filières** où elle pourra **se démarquer par son excellence**.

6.2.4. Recommandation n°4 : Sensibiliser le grand public pour contenir la demande

La sensibilisation des utilisateurs peut passer par deux dispositifs complémentaires :

a. **Renforcer la mise en œuvre des articles 1 à 3 de la loi REEN** pour mieux informer et former de l'école primaire au bac+5.
b. **Mener une campagne d'information grand public**, par exemple : "l'IA c'est comme les antibiotiques, ce n'est pas automatique."

6.2.5. Recommandation n°5 : Créer une filière d'excellence IA frugale

En complément de la maîtrise de l'offre et de la demande, il est possible d'**améliorer le bilan environnemental des IA "utiles"** en **généralisant** la pratique de l'**écoconception**. Cette généralisation peut s'effectuer en **rendant obligatoire la formation à l'écoconception des IA** en formation initiale, par exemple en ajoutant ce champ de compétences à l'article 3 de la loi REEN.

6.2.6. Recommandation n°6 : Rendre obligatoire l'écoconception des solutions exploitant l'IA générative hébergées en France et en Europe

Rendre obligatoire l'écoconception des solutions exploitant l'IA Gen hébergées en France et en Europe en fixant, par exemple, un **seuil maximum de score unique environnemental à ne pas dépasser** et en incitant à **développer et utiliser des modèles spécialisés**. L'ensemble de ces méthodologies existent et fonctionnent. Le cadre global est défini par le PEF. Il ne manque que la volonté politique de mettre en œuvre ces mesures.

6.2.7 Recommandation n°7 : Taxer (bonus-malus) les centres IA fonctionnant avec des énergies fossiles, notamment ceux dotés de moyens de production d'électricité à partir de gaz (BHM, ou behind the meter)

L'exemple actuel des États-Unis où la prolifération rapide des c**entres de données dotés de leur propre source de production d'électricité** avec des générateurs à gaz, doit nous inciter à la plus grande vigilance. En effet, certains estiment qu'ils pourraient entraîner une a**ugmentation d'au moins 20 % des émissions GES des États-Unis**[14] ! Il faut donc **encadrer strictement ce type de projet**, par exemple en taxant strictement les centres de données ayant recours au gaz naturel - pour éviter que quelques acteurs privés fassent subir les mêmes effets à l'ensemble des citoyens français et européens.

6.2.8 Recommandation n°8 : Étudier les impacts de l'usages des nouveaux moyens de refroidissement à base de substances chimiques, et en encadrer l'usage en cohérence avec nos exigences environnementales

Avec l'essor de l'intelligence artificielle et la construction de nouveaux centres de données répondant à son besoin, de nouvelles techniques de refroidissement moins gourmandes en énergie se développement. Ces techniques, si elles semblent plus efficaces sur le plan énergétique, font appel à de grandes quantités de substances chimiques. Leurs **impacts sur l'environnement ne sont pas connus**. Une **quantification de leurs impacts** et un **encadrement de leur déploiement** est nécessaire pour **prévenir d'autres conséquences environnementales** de l'IA.

[14] Day M. et Chediak M., août 2026, Data Center Gas Plants to Boost US Power Emissions by 20%, Bloomberg

Annexes

Points d'amélioration

Nous listons ici les points d'amélioration identifiés et qui seront intégrés aux prochaines moutures de l'étude :

Amélioration de la représentativité et de la robustesse de l'étude

1. Evolution de la modélisation, pour passer d'une approche GPU, puis serveur, puis rack pour aller vers les dernières tendances du marché, à savoir la composition par "pod", qui rassemble plusieurs racks complets spécifiant le nombre de GPUs, CPUs etc. à l'échelle du pod, voire du rack .
2. La prise en compte des nouvelles solutions de refroidissement, par eau ou par immersion, ainsi que la densité de puissance remettant en question la conception même du bâtiment et des éléments composant le "non-IT" (refroidissement, distribution, etc.)
3. Localisation plus fine des centres informatiques hébergeant les serveurs IA. Même si cette 2ème édition de l'étude a considérablement progressé sur ce point, nous essaierons d'affiner encore la localisation des centres informatiques dédiés à l'IA pour affiner le "mix électrique IA monde".
4. La prise en compte de la production d'électricité au sein des centres de données si celle-ci tend à se développer.
5. Ajout des tiers réseaux et utilisateurs. L'IA ne fonctionne pas sans les réseaux qui relient les serveurs aux utilisateurs via leurs terminaux (smartphones, ordinateurs, etc.). Dans les prochaines moutures de l'étude nous tenterons de prendre en compte ces 2 tiers supplémentaires.
6. Calcul d'autres indicateurs de flux tels que MIPS, WEEE, et WUE.

Complétion des unités fonctionnelles

7. Calcul des impacts à l'échelle d'une inférence et d'un entraînement, mais aussi selon le format de génération - génération de texte, génération d'image, génération de vidéo, réalisation d'un acte complexe par un agent, etc. - nous tenterons de présenter les résultats en fonction de ces usages.

Acronymes

Acronyme	Signification
ACV	Analyse du Cycle de Vie
ADEME	Agence de la transition écologique (France)
GES	Gaz à Effet de Serre
GPU	Graphic Processor Unit / Processeur Graphique
IA	Intelligence Artificielle
IAGen	Intelligence Artificielle Générative
ICV	Inventaire du Cycle de Vie
ICT	Information and Communication Technology / Technologies de l'Information et de la Communication
ISO	International Organization for Standardization / Organisation internationale de normalisation
IT	Information Technology / Technologies de l'Information
LLM	Large Language Model
PEF	Product Environmental Footprint

Indicateurs d'impacts

Impacts	Description	Unité
ADPe	Epuisement des ressources (métaux)	kg SB eq.
ADPf	Epuisement des ressources (fossiles)	MJ EP
AP	Acidification	molc H+ eq
CTUe	Écotoxicité	CTUe
CTUh-c	Toxicité humaine (cancer)	CTUh
CTUH-nc	Toxicité humaine (non-cancer)	CTUh
EpF	Eutrophisation (eau douce)	kg P eq
Epm	Eutrophisation (mer)	kg N eq
Ept	Eutrophisation (terre)	molc N eq
GWP	Réchauffement global	kg CO2 eq.
IR	Radiations ionisantes	kBq U235 eq
ODP	Destruction de la couche d'ozone	kg CFC-11 eq
PM	Particules fines	Disease incidence
POF	Formation d'ozone photochimique	kg NMVOC eq
WU	Risque de privation d'eau	m3 world eq

Glossaire

Analyse de sensibilité : Type d'analyse faisant partie de la phase d'interprétation des impacts dans une analyse du cycle de vie. Elle consiste à faire varier un paramètre (quantité, durée de vie, masse, etc.) pour étudier l'influence sur les résultats. Cela permet de déterminer quels sont les paramètres dimensionnants et d'estimer l'incertitude sur les résultats et de renforcer la fiabilité de l'étude dans son ensemble.

Analyse du Cycle de Vie (ACV) : Méthode d'évaluation normalisée permettant de réaliser un bilan environnemental multicritère et multi-étape d'un système (produit, service, entreprise ou procédé) sur l'ensemble de son cycle de vie (conception, fabrication, utilisation, fin de vie, etc.).

Energie finale : L'énergie dite « finale » est celle qui est utilisée à la satisfaction des besoins de l'homme. La consommation d'énergie finale est égale à la consommation d'énergie primaire moins toutes les pertes d'énergie au long de la chaîne industrielle

Energie primaire : L'énergie primaire désigne les différentes sources d'énergie disponibles dans la nature avant transformation.

Gaz à effet de serre (GES) : Tout gaz contribuant à l'effet de serre, par absorption du rayonnement infrarouge. Par exemple, le dioxyde de carbone, le méthane, l'eau, etc.

Hyperscaler : Centre informatique à grande échelle spécialisé dans la fourniture de grandes quantités de puissance de calcul et de capacité de stockage aux organisations et aux individus du monde entier.

Intelligence Artificielle (IA) : Ensemble des techniques visant à réaliser des machines et des programmes informatiques capables de simuler des capacités de l'intelligence humaine (création, raisonnement, apprentissage, etc.).

Intelligence Artificielle Générative (IAGen) : Forme d'intelligence artificielle capable de générer des contenus multimédias de multiples formes (textes, images, musique, vidéos, ...).

Large Langage Model (LLM) : Forme d'intelligence artificielle générative prenant la forme d'agents conversationnels, générant du langage naturel à partir de requêtes textuelles, nommées prompts.

Mix électrique : Le mix électrique représente la composition de sources d'énergies primaires, renouvelables et non renouvelables utilisées dans la production de l'électricité dans une région géographique donnée.

Serveur configuré pour l'IA : Unité de serveur conventionnel, préparé pour accueillir des unités de processeur graphique et une grande quantité de mémoires, utilisés de manière intensive dans les traitements spécifiques pour les algorithmes complexes utilisés dans les techniques d'intelligence artificielle. Ce type d'unité est également adapté pour fournir une puissance supérieure nécessaire.

Tonne éq. CO_2: L'émission en équivalent CO_2 est la quantité émise de dioxyde de carbone (CO_2) qui provoquerait le même forçage radiatif intégré, pour un horizon temporel donné, qu'une quantité émise d'un seul ou de plusieurs gaz à effet de serre. (source : GIEC)

Liste des facteurs d'impacts utilisés

ID	UF1, UF2, UF3
Arvix	GPU
NEGA-0145	CPU
NEGA-0052	Carte mère
CODDE-0751	PSU
NEGA-0106	RAM
NEGA-0125	SSD
NEGA-0806	Interface Réseau
NEGA-0599	Rack

ID	UF4 et UF5
UF1	Serveur IA high
UF2	Serveur IA mid
UF3	Serveur IA low
NEGA-0230	Storage rack / 48 SSD 2 To QLC
NEGA-0197	Switchs 48 ports
NEGA-0598	Firewall
NEGA-0599	Rack 42U
NEGA-0873	m² DC non IT
Ecoinvent V3.12 (2026)	Electricité

Tous ces facteurs d'impacts sont issus de la base NegaOctet.eu à l'exception des facteurs d'impacts suivants :

- Electricité, mix monde, qui provient de Ecoinvent 3.12 ;
- Serveur type IA, modélisé par Frédéric Bordage et Auban Derreumaux.

Détails de la composition des baies

Pour chaque type de serveur IA, nous avons composé une baie (ou rack) différente. Pour cela, nous nous sommes appuyés sur les retours d'expert Cloud (anonyme) que nous avons corroborés avec les fiches produits correspondantes.

Baie pour serveurs IA "entrée"

Le modèle de référence est le suivant : DGX SuperPOD de Nvidia[15].

De facteur 7U, avec refroidissement à air, la baie (rack en anglais) qu'il compose peut en contenir 4 pour une puissance totale théorique inférieure à 60 kW, la limite pour appliquer une solution de refroidissement à air.

Pour une baie de capacité 42U :

- occupation de la baie : 7 x 4 = 21 U
- puissance théorique par baie : 4 x 12 kW = 48 kW
- taux de remplissage, hors équipements annexes (réseau, distribution de l'alimentation, refroidissement intra-baie) : 50 %

Baie pour serveurs IA "milieu"

Le modèle de référence est le suivant : Supermicro Supercluster GB200[16]
De facteur 4U, avec refroidissement à eau, la baie qu'il compose peut en contenir 8 pour une puissance totale théorique inférieure à 130 kW.

Pour une baie de capacité 42 U :

- occupation de la baie : 4 x 8 = 32 U
- puissance théorique par baie : 8 x 16 kW = 128 kW
- taux de remplissage, hors équipements annexes (réseau, distribution de l'alimentation, refroidissement intra-baie) : 76 %

Baie pour serveurs IA "haut"

Le modèle de référence est le suivant : Supermicro Supercluster GB300[17]
De facteur 1U, avec refroidissement à eau, la baie qu'il compose peut en contenir 18 pour une puissance totale théorique inférieure à 200 k.

Pour une baie de capacité 42 U :

- occupation de la baie : 1 x 18 = 18 U
- puissance théorique par baie : 18 x 11 kW = 198 kW
- taux de remplissage, hors équipements annexes (réseau, distribution de l'alimentation, refroidissement intra-baie) : 43 %

---

[15] Nvidia DGX SuperPOD data center design

[16] Supermicro Supercluster GB200

[17] Supermicro Supercluster GB300

Bibliographie

- Ademe (2023), Référentiel par Catégorie de Produit (RCP) des services numériques
- Falk S. et al.Arxiv (2025), More than Carbon: Cradle-to-Grave environmental impacts of GenAI training on the Nvidia A100 GPU, Sophia Falk et al.
- Alex C. Newkirk et al, (2025), Empirically-calibrated H100 node power models for accurate AI training energy estimation
- Asus (2025), ESC N8-E11/E11V 7U Rackmount Server - User Guide
- Brown W., Filho D., (2025) CoreWeave Leads the Charge in AI Infrastructure Efficiency, with up to 20% Higher GPU Cluster Performance than Alternative Solutions
- D. C. (2024), Estimates of GPU or equivalent resources of large AI players
- EMBER (2025), Global Electricity Review 2025
- ES France (2025), Serveur IA avec NVIDIA HGX H100, 8 GPU, Intel Xeon : ESC N8-E11
- Falk S. et al.Arxiv (2025), More than Carbon: Cradle-to-Grave environmental impacts of GenAI training on the Nvidia A100 GPU, Sophia Falk et al.
- Falk S., Kluge Correa N., Luccioni S., Biber-Freudenberger L., van Wynsberghe A., (2025) From FLOPs to Footprints: The Resource Cost of Artificial Intelligence
- IEA (2025), World Energy Outlook Special Report Energy and AI
- IEA (2026), Key Questions on Energy and AI, Paris
- Insee (2026), Population au 1er janvier
- Insee (2025), Démographie en Europe
- ISO (2006), 14040:2006 Management environnemental, Analyse du cycle de vie, Principes et cadre
- ISO (2006), 14044:2006 Management environnemental, Analyse du cycle de vie, Exigences et lignes directrices
- Jay Hawkins Z., Lehdonvirta V., Wu B., (2025) AI Compute Sovereignty: Infrastructure Control Across Territories, Cloud Providers, and Accelerators
- JRC (2021), Environmental Footprint 3.1
- JRC (2019), Consumption and Consumer Footprint: methodology and results
- Kersh M., (2026) Complete Guide to NVIDIA B200 vs GB200 Deployment: Power, Cooling, and ROI Analysis
- Knight Franck (2025), Global Data Centres Report
- Laurent A., (2026) NVIDIA HGX Platform: Data Center Physical Requirements Guide
- Lees-Perasso E. et al, (2026) Analyses de cycle de vie de GPU pour l'intelligence artificielle
- Leichter R. (2026) Number of Data Centers by Country
- Massed Compute (2025), What are the GPU-to-server ratios for various data center applications such as HPC, AI, and graphics rendering?
- Nurul Hani M., Woen Ean L.,Abdul Malek M., Hua Chua K.,Najah Ahmed A., (2024) Étude de cas ACV charbon-électricité (Malaisie), Water Science & Technology

- Nvidia (2025), Product Carbon Footprint (PCF) Summary for NVIDIA HGX H100
- Nvidia (2025), Introduction to NVIDIA DGX H100/H200 Systems
- OMGPU (2024), NVIDIA H100 atteindra 3,5 millions d'unités d'ici 2024 et augmentera la consommation électrique
- Ritchie H., (2026) How much electricity does AI consume?
- Sala S., Cerutti A.K., Pant R., (2018) Publications Office of the European Union (2018), Development of a weighting approach for the Environmental Footprint,Sala S., Cerutti A.K., Pant R., ISBN 978-92-7968042-7, EUR 28562, doi 10.2760/945290
- Vercellino R., Willard J., Campos G., da Silva Pereira W., Hull O., Selensky M., Mueller J. (2026) Measurement of Generative AI Workload Power Profiles for Whole-Facility Data Center Infrastructure Planning https://arxiv.org/abs/2604.07345
- Reibl et al., (2024) *Dynamic life cycle assessment of European electricity generation*, *Energy Conversion and Management*
- Tom's Hardware (2024), Datacenter GPU service life can be surprisingly short — only one to three years is expected according to unnamed Google architect
- UNECE, (2022) *Carbon Neutrality in the UNECE Region: Integrated Life-cycle Assessment of Electricity Generation Options*
- WCCFTECH (2025), https://wccftech.com/nvidia-has-sold-over-three-million-blackwell-ai-gpus-in-this-year/ et https://wccftech.com/nvidia-ship-150k-200k-blackwell-gb200-ai-servers-q4-2024-500-550k-units-q1-2025/

Nous soutenir

Cette étude a été pilotée et réalisée entièrement bénévolement par les membres de l'association Green IT. L'association est uniquement financée par les dons,les adhésions et les appels à projet auxquels elle répond. Pour poursuivre nos actions (études, plaidoyer, sensibilisation du grand public, développement de ressources et outils libres...), nous avons besoin de votre soutien !

Je fais un don

L'association Green IT est reconnue d'intérêt général, ce qui vous permet de déduire 66% du montant de votre don de vos impôts en tant que particulie et 60% en tant qu'entreprise.

Je rejoins l'association

Les membres de l'assocation donnent de leur temps et de leurs compétences dans ses projets de sensibilisation du grand public, de réalisation d'études et de plaidoyer. L'adhésion est ouverte uniquement aux personnes physiques et morales.

Nos outils et référentiels

Estimer les impacts environnementaux du numérique

- **EcoIndex** - Estimer les impacts environnementaux du numérique - Site - Chrome / Firefox
- **EcoIndexApp** - Automatiser l'évaluation les impacts et la génération de déclaration - GitHub

Valoriser sa démarche d'écoconception

- **Badge** - Afficher le score EcoIndex sur son site - GitHub
- **Déclaration environnementale** - Générer et intégrer la déclaration sur son site - Site

Évaluer les impacts environnementaux de l'IA

- **Calculette IA** - Estimer les impacts environnementaux du numérique - Site
- **AI Footprint** - Évaluation des sessions de code avec l'IA - Site

Réduire les impacts environnementaux de l'IA

- **MCP GreenIT** - Intégrer les bonnes pratiques du RWEB dans ses outils IA - Site
- **AI Assisted SustainableIT** - Installer des skills d'écoconception & d'écocode - GitHub

Adopter des pratiques plus écoresponsables

- **RWEB -** Référentiel d'écoconception web - Site - GitHub
- **RWP** - Référentiel d'écoconception pour WordPress - Site - GitHub
- **RMOB** - Les bonnes pratiques pour le développement mobile (iOS et Android) - GitHub
- **REIPRO** - Référentiel d'écoconception pour l'intégration des progiciels métier - Site - GitHub
- **RIAG** - Référentiel d'écoconception pour l'IA générative - Site - GitHub
- **RGIT** - Référentiel de bonnes pratiques Green IT - Document

Nos dernières études

- **Numérique Responsable, un levier stratégique de souveraineté numérique pour la France et l'Europe** (Avril 2026) - Site
- **Impacts environnementaux de l'IA dans le monde** (Octobre 2025) - Site
- **État des réserves mondiales de métaux** (Octobre 2025) - Site
- **Impacts environnementaux du numérique dans le monde** (Janvier 2025) - Site

Accéder à toutes les études précédentes (héritées du collectif Green IT)