

# Impacts environnementaux de l'intelligence artificielle dans le monde

Décembre 2025

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

Éditeur : Association Green IT

Date de publication : Octobre 2025

Version : 1.0

**Aut·eur·rices :**

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

**Contribut·eur·rices :**

- Estée Desanctis
- Jérôme Gascoin
- Frédéric Varlet, La girouette

**Revue critique interne :**

- Didier Babout
- Léo Meuris

**Mise en page, infographie et communication :**

- Xavier Prizé, Paradigmes
- Laure Alfonsi, Zeb & Web

**Contact :**

- Frédéric Bordage, GreenIT.fr
- [info@greenit.fr](mailto:info@greenit.fr) - 06 16 95 96 01

Lien permanent 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>

Citation : Bordage F., Alfonsi L., Derreumaux A., Impacts environnementaux et sanitaires de l'intelligence artificielle, octobre 2025

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

Résumé.....	5
<b>1. Introduction.....</b>	<b>6</b>
1.1. Pourquoi cette étude ?.....	6
1.2. Périmètre.....	6
1.3. Termes utilisés dans ce document.....	7
<b>2. Méthode.....</b>	<b>8</b>
2.1. Méthodologie de l'ACV.....	8
<b>3. Définition de l'objectif et du périmètre de l'étude.....</b>	<b>13</b>
3.1. Objectif de l'étude.....	13
3.2. Périmètre de l'étude.....	15
<b>4. Données utilisées dans le modèle ACV.....</b>	<b>30</b>
4.1. Données liées aux étapes du cycle de vie.....	30
4.2. Serveurs IA.....	31
4.3. Infrastructures IA.....	33
<b>5. Résultats.....</b>	<b>36</b>
5.1. Evaluation de la fabrication et mise à disposition d'un serveur IA (UF1).....	36
5.2. Evaluation d'un serveur IA utilisé pendant 1 an (UF2).....	42
5.3. Evaluation des impacts globaux de l'IA dans le monde (UF3).....	48
<b>6. Analyse de sensibilité.....</b>	<b>57</b>
6.1. Paramètres étudiés.....	57
6.2. Analyse de sensibilité sur la nature de l'électricité consommée.....	57
<b>7. Conclusion de l'étude.....</b>	<b>60</b>
7.1. Faits marquants.....	60
7.2. Recommandations.....	61
<b>Annexes.....</b>	<b>64</b>
Points d'amélioration.....	64
Acronymes.....	65
Glossaire.....	66
Liste des facteurs d'impacts utilisés.....	68
Détail du calcul sur le taux de remplissage des baies à 75%.....	69
Bibliographie.....	70

# Résumé

---

L'objectif de cette étude est d'évaluer, pour la première fois, les impacts environnementaux et sanitaires de l'intelligence artificielle dans le monde en 2025 et en 2030, à l'aide de méthodes standards.

Les méthodes standards utilisées sont l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) multicritères de l'ISO, le Product Environmental Footprint (PEF) de la Commission européenne, et le Référentiel de catégorie de produits (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 standards. Les résultats ont été normalisés et pondérés pour aboutir à un score environnemental unique.

Dans cette étude, nous ne cherchons pas à distinguer les différents types d'IA (générative, agentique, prédictive, etc.). L'évaluation se base principalement sur les ventes de composants GPU estimées à 9 millions d'unités en 2025 et 61 millions en 2030. Sur cette base, nous avons reconstitué l'infrastructure IA (serveurs, autres équipements informatiques, m<sup>2</sup> de data centers, etc.) en exploitation dans le monde.

Les principaux impacts environnementaux de l'IA sont : le potentiel de réchauffement global (31 %), l'épuisement des ressources abiotiques minérales, métalliques et fossiles (21 %), l'émissions de particules fines (18 %), l'eutrophisation des milieux aquatiques (17 %), et l'écotoxicité (7 %).

En 2025, l'IA mondiale représente jusqu'à 11 % du budget annuel soutenable de l'Union européenne<sup>1</sup>. Cette empreinte va être multipliée par presque 7 en 5 ans pour atteindre jusqu'à 62 % en 2030. Du côté des indicateurs sanitaires, les émissions de particules fines sont, quant à elles, responsables de l'augmentation des maladies pouvant entraîner la mort de 5 personnes par jour en 2025 et 34 en 2030.

La production de l'électricité consommée concentre jusqu'à 90 % des impacts. Mais la fabrication des serveurs peut être responsable de plus de 45 % de certains de ces impacts : par exemple pour l'épuisement des ressources abiotiques de type métaux et minéraux.

Les consommateurs sont fortement encouragés à utiliser les nouvelles fonctionnalités liées à l'IA, certains fournisseurs imposent même les usages : résumés automatiques de messages, retouche de photos, etc. C'est donc actuellement l'offre qui crée les impacts.

Plusieurs actions peuvent être entreprises pour tenter de contenir ces impacts :

---

<sup>1</sup> Budget calculé en additionnant les budgets annuels soutenables (voir [Consumption and Consumer Footprint: methodology and results](#), JRC, 2019, table 6 page 30) de 450 millions d'habitants de l'Union Européenne.

1. Créer un plan “sobriété IA” pour contenir l’offre
2. Sensibiliser le grand public pour limiter la demande
3. Créer une filière d’excellence IA frugale
4. Rendre obligatoire l’écoconception des IA hébergées en France

# 1. Introduction

---

Début 2025, la France a annoncé investir 103 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 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 à travers cette première étude portée par l'association Green IT.

## 1.1. Pourquoi cette étude ?

La finalité de cette étude est d'évaluer 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) multicritères. Il n'existe en effet aucune autre ACV sur ce périmètre.

## 1.2. Périmètre

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

Plus précisément, c'est l'infrastructure qui est évaluée, c'est-à-dire :

- 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.) ;
- et les centres informatiques qui hébergent ces équipements dédiés à l'IA.

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

### 1.3. Termes utilisés dans ce document

Si vous n'êtes pas familier 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 familier 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. Etapes 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<sub>2</sub>, de SO<sub>2</sub>, 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 (m<sup>2</sup>) 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 du chapitre 4.2.3.6.

- **Représentativité**

- temporelle : les données se rapportent majoritairement aux années 2024 et 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 (EcolInvent / NegaOctet.eu).

Dans l'ensemble, la qualité des données est jugée **suffisante** pour atteindre les objectifs de l'étude. Les limites identifiées ont été prises en compte lors de l'interprétation.

#### 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 ensuite bien interpréter les résultats. Mais vous pouvez commencer par lire le chapitre 5. "Résultats" et ensuite revenir ici si vous le souhaitez.

### 3.1. Objectif de l'étude

L'intelligence artificielle, notamment générative, a débarqué dans nos vies personnelles et professionnelles à une vitesse fulgurante. Nous manquons de données pour évaluer ses impacts positifs et négatifs sur l'environnement, l'économie et la santé des populations.

Il est essentiel de mener des études d'impacts pour 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.

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 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<sup>2</sup> et 14044:2006<sup>3</sup> ;
- Méthode PEF<sup>4</sup> du Joint Research Center (JRC) de la Commission européenne ;
- Référentiel de catégorie de produit (RCP) services numériques<sup>5</sup> de l'Ademe.

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 de 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 3 unités fonctionnelles étudiées.

Le comité de revue critique interne a réalisé une revue de la méthodologie 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 la structure des impacts environnementaux et sanitaires de l'intelligence artificielle.

---

<sup>2</sup> <https://www.iso.org/fr/standard/37456.html>

<sup>3</sup> <https://www.iso.org/fr/standard/38498.html>

<sup>4</sup> <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/EnvironmentalFootprint.html>

<sup>5</sup>

<https://librairie.ademe.fr/industrie-et-production-durable/6022-referentiel-par-categorie-de-produit-rcp-des-services-numeriques.html>

### 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 projection à 2030, en utilisant la méthode ACV décrite ci-dessus.

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 ici 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 ;
- Phase du cycle de vie considérée ;
- Impact environnemental quantifié, méthodes de caractérisation ;
- Types et sources des données ;
- Exigences de qualité des données.

### 3.2.1. Système de produit étudié



Légende : Illustration graphique des 3 systèmes étudiés

#### 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 de données, c'est-à-dire les infrastructures hors réseaux et terminaux utilisateurs, a été pris en compte.

Dans le détail :

- Les unités fonctionnelles UF1 et UF2 (voir [3.2.2](#)) prennent en compte l'ensemble des composants physiques nécessaires au fonctionnement d'un serveur IA type, à l'exception de l'infrastructure d'hébergement (bâtiments) et du matériel additionnel tel que les équipements réseaux, les baies de stockage, etc.
- L'unité fonctionnelle UF3 (voir [3.2.2](#)) prend en considération l'ensemble des équipements et infrastructures nécessaires à l'entraînement d'un modèle d'IA générative et à l'inférence. La partie relative au centre de données est donc couverte. En revanche, il est exclu l'infrastructure réseau entre les centres de données et les utilisateurs ainsi que 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.



### 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 : *la fourniture et l'utilisation d'une infrastructure technique permettant à l'ensemble des services d'intelligence artificielle dans le monde de répondre aux besoins de leurs utilisateurs.*

Nous avons défini 3 unités fonctionnelles :

1. Fabriquer, distribuer et gérer la fin de vie d'un serveur informatique dédié à l'IA (UF1)
2. Utiliser un serveur IA pendant 1 an (UF2)
3. Utiliser  $n$  serveurs IA pendant 1 an au sein d'une infrastructure adaptée (UF3)

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

- UF1 : Fabriquer, distribuer et gérer la fin de vie d'un serveur IA
- UF2 : Utiliser un serveur IA (UF1) à 67 % de capacité pendant 365 jours, 24 heures sur 24
- UF3 : Utiliser  $n$  serveurs IA (UF1) à 67 % de capacité pendant 365 jours, 24 heures sur 24, avec :
  - $n_{2025}$  = 1133 500 serveurs regroupant 9 068 000 GPU
  - $n_{2030}$  = 7 625 000 serveurs regroupant 61 000 000 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. Inclusion

L'étude prend en compte :

##### 1. Unité fonctionnelle 1 (UF1) : Fabriquer et mettre à disposition un serveur IA

Le serveur considéré dans cette étude est basé 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.



Légende : Serveur IA type utilisé dans notre étude. Pour illustration, un serveur [Asus ESC N8-E11](#) intégrant 8 GPU Nvidia H100 dans un châssis 7U.

Le serveur IA type que nous avons reconstitué intègre les composants suivants :

Composants	Quantités
GPU Tensor Core Nvidia H100 SXM	8
CPU Intel Xeon	2
Carte mère	1
Alimentation électrique	4
Alimentation électrique - backup	2
Mémoire vive (RAM DDR5 64Go DIMM)	32
Support de stockage (SSD TLC M.2 1To)	4
Châssis	1
U	7

Légende : Ensemble des composants constituant un serveur IA

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](#).

## 2. Unité fonctionnelle 2 (UF2) : utiliser un serveur IA pendant 1 an

L'UF2 (*Utiliser un serveur IA à 67 % de capacité pendant 365 jours 24 heures sur 24*) repose sur le même périmètre que l'UF1. Elle ajoute simplement la phase d'utilisation (consommation d'électricité) pendant 1 an à raison de 365 jours x 24 heures. Les inclusions et les exclusions sont les mêmes que pour l'UF1.

L'unité fonctionnelle 2 a les caractéristiques suivantes :

Composants	Quantités	Puissance unitaire (Watts)	Puissance totale (Watts)
GPU Tensor Core Nvidia H100 SXM	8	700	5 600
CPU Intel Xeon	2	350	700
Carte mère	1	100	100
Alimentation électrique	4	3 000	12 000
Alimentation électrique - backup	2	3 000	-
Mémoire vive (RAM DDR5 64Go DIMM)	32	10	320
Support de stockage (SSD TLC M.2 1To)	4	10	40

Châssis	1		
U	7		

Légende : Ensemble des composants constituant un serveur IA

### 3. Unité fonctionnelle 3 : utiliser $n$ serveurs IA pendant 1 an

L'UF3 (Utiliser  $n$  serveurs IA (UF1) à 67 % de capacité pendant 365 jours 24 heures sur 24) reprend l'UF2 à laquelle elle ajoute les équipements numériques et d'infrastructure permettant de faire fonctionner ces serveurs :

Equipements et infrastructures
Serveurs (UF2)
Baie de stockage (48 SSD 2 To QLC)
Commutateur (48 ports)
Rack 42U
m <sup>2</sup> 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](#).

### 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

**Nombre de serveurs IA.** Le nombre de serveurs IA est calculé en fonction du nombre de GPU vendus sur 3 ans avant 2025. Un serveur IA type possède en moyenne 8 GPU<sup>6</sup>.

Nombre de serveurs = nombre de GPU / 8

---

<sup>6</sup> [Etude Massed computed](#) consultée en juillet 2025.

**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<sup>7</sup>.

$$\text{Amortissement annuel} = \text{Total impacts fabrication} / \text{Durée de vie}$$

**Taux d'utilisation des serveurs.** Un serveur IA est utilisé en moyenne à 67 % de sa capacité maximale<sup>8</sup>. Ce taux permet d'évaluer plus finement la consommation électrique directe et indirecte (refroidissement via le PUE).

$$\text{Consommation électrique} = \text{Consommation électrique maximum théorique} * \text{Taux d'occupation des serveurs}$$

**PUE.** La performance énergétique (Power Usage Effectiveness - PUE) des centres informatiques hébergeant les serveurs est de 1,2<sup>9</sup>. Cela permet de calculer la consommation électrique totale du centre informatique à partir de la consommation électrique des salles informatiques.

$$\text{Consommation électrique totale du DC} = \text{Consommation électrique salle informatique} * \text{PUE}$$

**Localisation des centres informatiques.** Les centres informatiques hébergeant ces serveurs sont situés partout dans le monde. Cette variable globale permet de sélectionner le (ou les) mix électriques représentatifs de la région d'implantation des centres informatiques hébergeant les serveurs IA.

Dans cette version de l'étude, on considère un mix "monde".

---

<sup>7</sup> [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

<sup>8</sup> IEA, [Energy and AI](#), 2025, PDF consultée en juillet 2025. Selon [hypothèse de l'étude Shift Project](#), moyenne du taux d'utilisation en période d'entraînement (84%, p. 41) et celui en période d'inférence (50%, p. 54), par hypothèse de répartition 50/50 entre ces 2 usages. Ce résultat est cohérent avec la [déclaration d'ingénieur de Microsoft](#), indiquant une moyenne de 61% du taux d'utilisation.

<sup>9</sup> 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.

### 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)
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).
Ecotoxicity, freshwater	Ecotox	CTUe	Based on USEtox2.1 model (Fantke et al. 2017, Rosenbaum et al. 2008), adapted as in Saouter et al. (2018)
Eutrophication, freshwater	Euth_f	kg Peq	EUTREND model (Struijs et al., 2009) as implemented in ReCiPe 2008.
Eutrophication, marine	Euth_m	kg Neq	EUTREND model (Struijs et al., 2009) as implemented in ReCiPe 2008
Eutrophication, terrestrial	Euth_t	mol Neq	Accumulated Exceedance (Seppälä et al. 2006, Posch et al., 2008)
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)
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)
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).
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)
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)
Particulate matter	PM	Disease incidences	PM model (Fantke et al., 2016 in UNEP 2016)
Photochemical ozone formation, human health	POCP	kg NMVOCeq	LOTOS-EUROS model (Van Zelm et al., 2008) as applied in ReCiPe 2008.
Resource use, fossils	ADPf	MJ (EP)	van Oers et al., 2002 as in CML 2002 method, v.4.8
Resource use, mineral and metals	ADPe	kg Sbeq	van Oers et al., 2002 as in CML 2002 method, v.4.8
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 Artificialisation 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 d'Utilisation de l'eau douce (WU) a été conservé et ce 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 dérivé 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, représentant au minimum 90 % des résultats pondérés globaux pour l'ensemble des unités fonctionnelles :

#### UF1

Catégorie	Part des impacts
Epuisement des ressources (ADPe + ADPf)	33%
Réchauffement global (GWP)	25%
Écotoxicité (EcoTox)	20%
Particules fines (PM)	10%
Utilisation de l'eau (WU)	8%

Légende : Liste des principaux impacts associés à la fabrication, la distribution et la fin de vie d'un serveur IA. Ces 5 catégories d'impacts représentent plus de 95 % de l'empreinte environnementale de l'unité fonctionnelle.

#### UF2

Catégorie	Part des impacts
Réchauffement global (GWP)	32%
Epuisement des ressources (ADPe + ADPf)	21%
Particules fines (PM)	19%
Eutrophisation (Ep*)	19%
Écotoxicité (Ecotox)	6%

Légende : Liste des principaux impacts associés à la fabrication, la distribution, l'utilisation et fin de vie d'un serveur IA. Ces 5 catégories d'impacts représentent plus de 95 % de l'empreinte environnementale de l'unité fonctionnelle.

### UF3

Catégorie	Pondération
Réchauffement global (GWP)	31%
Epuisement des ressources (ADPe + ADPf)	21%
Particules fines (PM)	18%
Eutrophisation (Ep*)	18%
Écotoxicité (Ecotox)	7%

Légende : Liste des principaux impacts associés à la fabrication, la distribution, l'utilisation et fin de vie de  $n$  serveurs IA. Ces 5 catégories d'impacts représentent plus de 95 % de l'empreinte environnementale de l'unité fonctionnelle.

#### 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	Limite planétaires	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>

### 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 EcolInvent.

#### 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 suivantes :

- 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](#)

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 et Ecoinvent.

### 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 ne 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 : Asus, ES France, Nvidia pour les configurations matérielles, Nvidia et [Epoch.ai](#) 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'AI. Cet inventaire du cycle de vie (ICV) utilise la base de données NegaOctet.eu au 02/2025.

#### 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 02/2025.

#### 4.1.3. Phase d'utilisation

Les serveurs sont alimentés en électricité en basse tension. En raison du périmètre mondial, la donnée d'inventaire utilisée est le "mix électrique mondial, basse tension" de 2021 (donnée la plus récente issue de la base Ecoinvent 3.11).

#### 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 02/2025.

## 4.2. Serveurs IA

### 4.2.1 Composition d'un serveur IA

Un serveur IA type est composé ainsi :

Composants	Quantités
GPU - Tensor Core Nvidia H100 SXM	8
CPU - Intel Xeon	2
Carte mère	1
Alimentation électrique principale	4
Alimentation électrique <i>backup</i>	2
Mémoire vive - DDR5 64Gb DIMM	32
Stockage - SSD TLC M.2 1Tb	4
châssis - rack standard	1
Baie / rack - part d'une baie de 42U	7

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 algorithmiques adaptés aux techniques

d'apprentissage machine" (Machine Learning / ML) ou plus particulièrement l'"apprentissage profond" (Deep Learning / DL).

- Nombre d'équipements : 8
- Consommation électrique : la puissance électrique est fournie par le fabricant NVidia qui indique 700 W par GPU.

#### 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.
- Nombre d'équipements : 2
- Consommation électrique : la puissance électrique est fournie par le fabricant Intel qui indique 350 W par CPU, le modèle de référence étant de la famille Xeon Scalable de 5ème génération.

#### 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.
- Nombre d'équipements : 1
- Consommation 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 qui sont en cours de traitement par le système.
- Nombre d'équipements : 32
- Consommation électrique : la puissance électrique unitaire est de 10 W.

#### 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.
- Nombre d'équipements : 4
- Consommation électrique : la puissance électrique unitaire est de 10 W.

#### 4.2.3.6. Alimentation électrique (Power supply)

- Définition : l'alimentation fournit le courant électrique à l'ensemble des composants.



- Nombre d'équipements : 4 + 2 (4 principales et 2 pour assurer la résilience)
- Consommation électrique : la puissance électrique unitaire est de 3000 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 de 99 kg pour le modèle utilisé en référence (hors CPU, RAM et GPU).
- Nombre d'équipements : 7U
- 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. Infrastructures IA

#### 4.3.1 Composition d'un serveur 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
Commutateur - 48 ports	0,02	7	équipement
Rack - 42U	0,30	10	équipement
m² DC non IT	2,36	25	m²
PUE	1,20		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 m<sup>2</sup> : 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).
- Nombre d'équipements : nous avons considéré que chaque serveur IA bénéficie de 20 % des capacités d'une baie de stockage constituée de 48 supports SSD de 2 To chacun, soit une capacité de stockage par serveur IA de  $20\% * 48 * 2 \text{ To} = 19,2 \text{ To}$ .
- 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.
- Nombre d'équipements : nous avons considéré que chaque serveur IA bénéficie de 20 % des capacités d'un switch de 48 ports, soit une capacité réseau moyenne par serveur IA de  $20\% * 48 \text{ ports} = 9,6 \text{ ports}$ .
- 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.
- Nombre d'équipements : nous avons considéré que chaque baie de 42 U est remplie à 75 % (voir le [détail du calcul](#)) par des serveurs IA et qu'environ  $\frac{1}{3}$  de

baies supplémentaires hébergent les autres équipements type switch, stockage, etc.

- 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. m<sup>2</sup> 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 "m<sup>2</sup> DC non IT" regroupe tous les m<sup>2</sup> du centre informatique excepté ceux de la salle informatique, ainsi que tous les équipements installés dans ces m<sup>2</sup> "non IT".
- Nombre de m<sup>2</sup> : nous avons considéré que chaque baie de 42 U dispose de 8 m<sup>2</sup> DC non IT.
- Consommation électrique : pour prendre en compte la consommation électrique de ces équipements, nous avons considéré un PUE de 1,2<sup>10</sup> qui correspond à l'efficacité énergétique des centres informatiques récents dédiés à l'IA.

---

<sup>10</sup> 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.

## 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 3 unités fonctionnelles est présenté en détail avec un premier niveau d'analyse (interprétation des résultats). Pour rappel, nous avons évalué 3 unités fonctionnelles :

1. Fabriquer et mettre à disposition un serveur IA
2. Utiliser un serveur IA pendant 1 an
3. Utiliser n serveurs IA pendant 1 an

### 5.1. Evaluation de la fabrication et mise à disposition d'un serveur IA (UF1)

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.

#### 5.1.1. Impacts en valeur absolue

##### 5.1.1.1 - Résultats caractérisés

Indicateur	Valeur	Valeur	Unité
ADPe	0,26	2,58E-01	kg SB eq.
ADPf	124 550	1,25E+05	MJ EP
AP	49,24	4,92E+01	molc H+ eq
CTUe	134 890	1,35E+05	CTUe
CTUh-c	0,0000019	1,86E-06	CTUh
CTUH-nc	0,00009	9,48E-05	CTUh
EpF	0,03	2,87E-02	kg P eq
Epm	6,85	6,85E+00	kg N eq
Ept	66,36	6,64E+01	molc N eq
GWP	8 706	8,71E+03	kg CO2 eq.
IR	8 498	8,50E+03	kBq U235 eq
ODP	0,00282	2,82E-03	kg CFC-11 eq

PM	0,00027	2,75E-04	Disease incidence
POF	20,83	2,08E+01	kg NMVOC eq
WU	76 591	7,66E+04	m3 world eq

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

### 5.1.1.2 - Equivalences

Cette première unité fonctionnelle servant de brique technique au calcul de l'unité fonctionnelle 3, nous n'avons pas calculé d'équivalence pour cette première version de l'étude.

## 5.1.2. Résultats normalisés

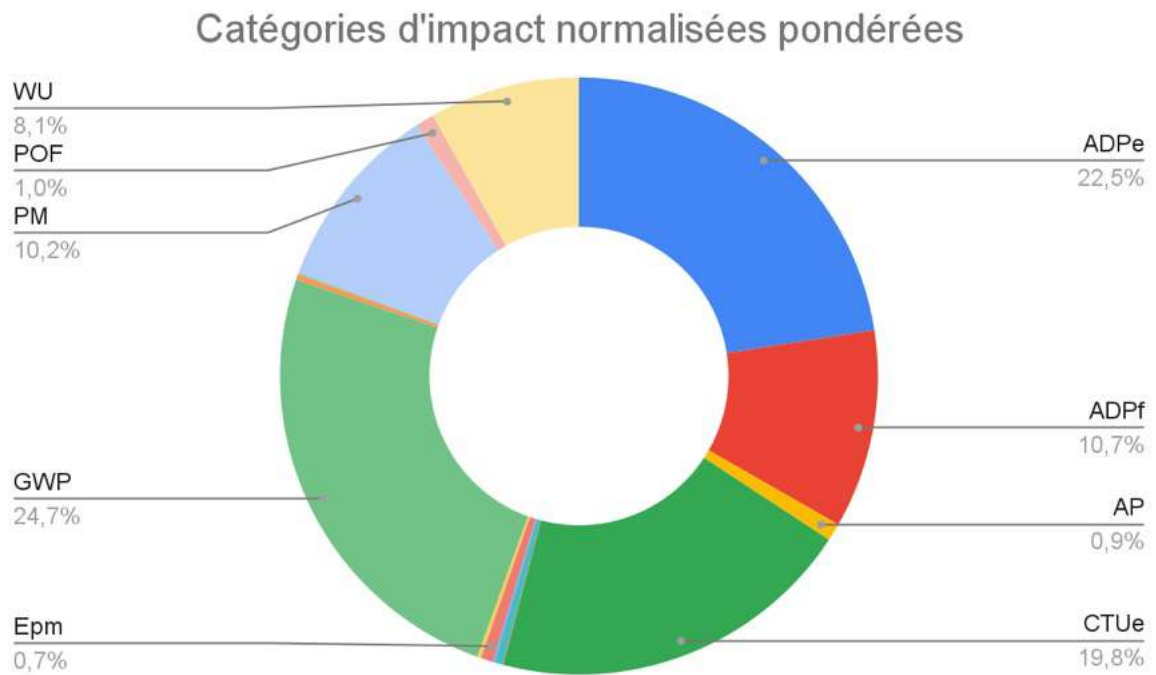
### 5.1.2.1 - Résultats

Les résultats normalisés sont exprimés en nombre de "budgets annuels soutenables".  
Les résultats pondérés sont ramenés sur une base 100.

Indicateur	Normalisation	Poids de chaque impacts	Catégorie
ADPe	8,07	23%	Epuisement des ressources
ADPf	3,84	11%	Epuisement des ressources
AP	0,34	0,9%	Acidification
CTUe	7,10	20%	Écotoxicité
CTUh-c	0,01	0,0%	Toxicité humaine
CTUH-nc	0,16	0,4%	Toxicité humaine
EpF	0,03	0,1%	Eutrophisation
Epm	0,24	0,7%	Eutrophisation
Ept	0,07	0,2%	Eutrophisation
GWP	8,84	25%	Réchauffement global
IR	0,11	0,3%	Radiations ionisantes
ODP	0,04	0,1%	Couche d'ozone
PM	3,66	10%	Particules fines
POF	0,35	1,0%	Formation d'ozone photochimique
WU	2,91	8%	Utilisation de l'eau

Légende tableau : Impacts associés à la fabrication et mise à disposition d'un serveur IA, hors utilisation et infrastructure.

Représentation graphique des résultats

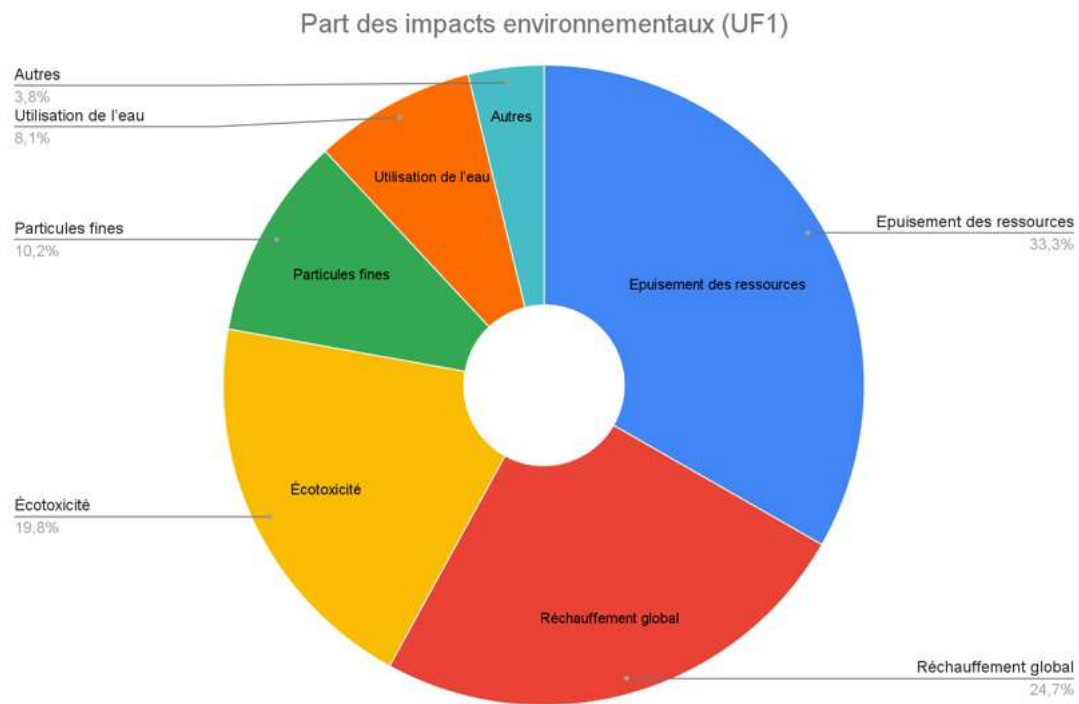


Légende : Part normalisée et pondérée des impacts par catégorie d'impacts

Sur la base de cette normalisation, nous présentons ci-dessous les résultats uniquement pour les principales catégories d'impacts (5 catégories totalisant 96 % des impacts).

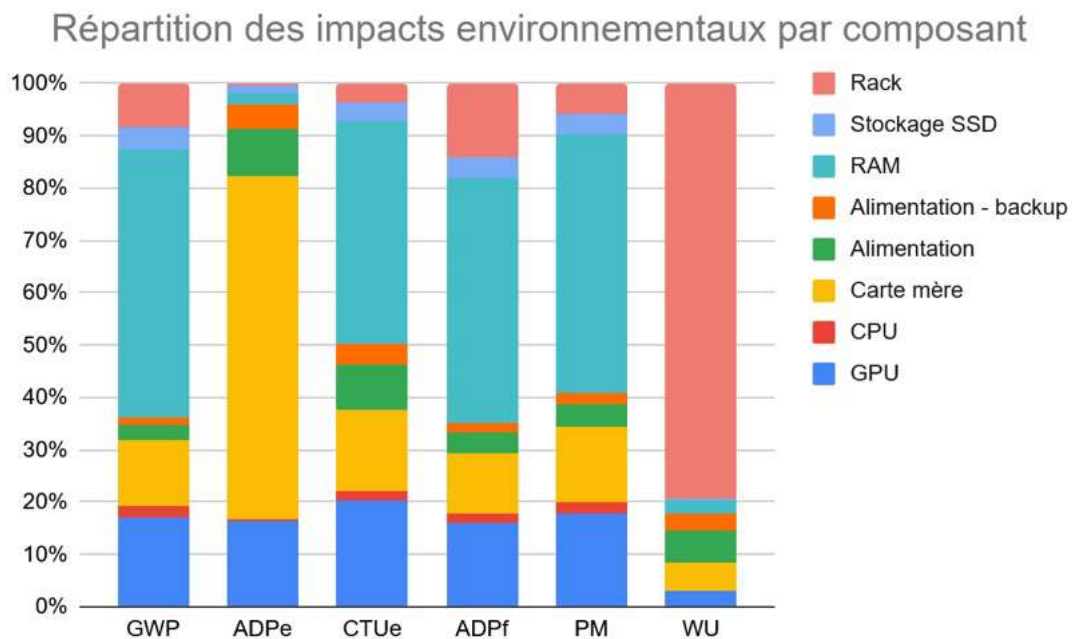
Catégorie	Part des impacts
Epuisement des ressources (ADPe + ADPf)	33%
Réchauffement global (GWP)	25%
Écotoxicité (EcoTox)	20%
Particules fines (PM)	10%
Utilisation de l'eau (WU)	8%
Autres	4%

Légende : Principaux impacts associés à la fabrication, la distribution et la fin de vie d'un serveur IA.



Légende : Répartition sur 100 % des principaux impacts totalisant 96 % des impacts.

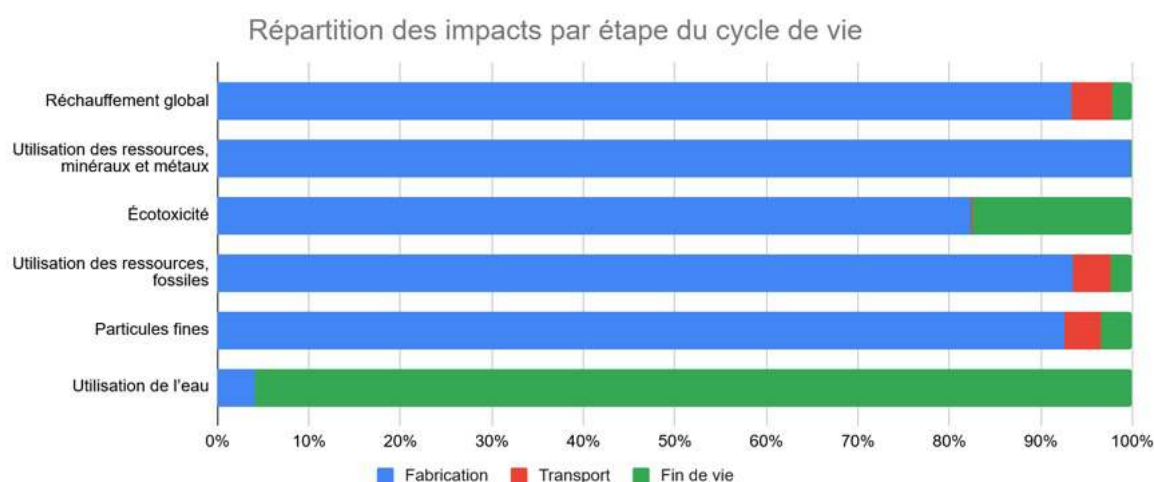
### 5.1.2.2 - Répartition par composants



Légende : Répartition des principaux impacts par composant.

Analyse : Contrairement aux idées reçues, la fabrication des 8 GPU n'arrive qu'en 2ème ou 3ème position, souvent au même niveau que la carte mère, mais loin derrière la mémoire vive.

### 5.1.2.3 - Répartition par étapes du cycle de vie



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

Analyse : La fabrication concentre les impacts, très loin devant les autres étapes du cycle de vie.

Limite : La base de données de facteurs d'impacts [NegaOctet.eu](https://nega-octet.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. L'éco-organisme Ecologic devrait bientôt publier une nouvelle étude qui permettra de refondre la partie fin de vie de [NegaOctet.eu](https://nega-octet.eu). Dans la mesure du possible, la prochaine version de cette ACV utilisera ces nouveaux facteurs d'impacts.

### 5.1.3. Comparaison avec la littérature

Pour garantir la solidité de nos résultats, nous avons comparé le coeur de notre serveur IA (GPU) avec deux études parues récemment sur le sujet :

- [Nvidia] [Product Carbon Footprint \(PCF\) Summary for NVIDIA HGX H100](#), Nvidia, 2025



- [Arxiv] More than Carbon: Cradle-to-Grave environmental impacts of GenAI training on the Nvidia A100 GPU ([PDF](#)), Sophia Falk et al., 2025

Comme le montre le tableau ci-dessous, les impacts du modèle de GPU utilisé pour notre étude sont très proches de ceux trouvés par ailleurs dans ces deux autres études indépendantes.

Impacts	Unité	cette étude	[Arxiv]	Ecart	[Nvidia]
	Modèle GPU	H100	A100		H100
ADPe	kg eq. SB	0,0053	0,0058	-9%	
ADPf	MJ EP	2 140	2 519	-15%	
GWP	kg eq. CO2	1 288	1088	18%	1312
PM	Diseases occurrence	5,53E-06	5,00E-06	11%	
WU	m3 world eq. deprived	53	70	-25%	

Légende : Comparaison des impacts d'un GPU selon 3 études indépendantes.

Nous n'avons malheureusement pas trouvé de modélisation des impacts d'un serveur IA complet. Nous nous sommes donc concentrés sur la définition d'un serveur type représentatif (cf. chapitre 4. "Données utilisées dans le modèle ACV").

## 5.2. Evaluation d'un serveur IA utilisé pendant 1 an (UF2)

Rappel de l'unité fonctionnelle et du flux de référence : Utiliser 1 serveur à 67 % de ses capacités pendant 365 jours, 24 heures sur 24.

### 5.2.1. Impacts en valeur absolue

#### 5.2.1.1 - Impacts caractérisés

Indicateur	Valeur	Valeur
ADPe	0,29	kg SB eq.
ADPf	482 579	MJ EP
AP	190,40	molc H+ eq
CTUe	132 129	CTUe
CTUh-c	0,0000063	CTUh
CTUH-nc	0,00034	CTUh
EpF	16,62	kg P eq
Epm	35,73	kg N eq
Ept	358,62	molc N eq
GWP	35 801	kg CO2 eq.

IR	2 903	kBq U235 eq
ODP	0,00117	kg CFC-11 eq
PM	0,00162	Disease incidence
POF	106,97	kg NMVOC eq
WU	34 272	m3 world eq

Légende : Impacts environnementaux et sanitaires associés à l'utilisation d'un serveur IA type pendant 1 an.

### 5.2.1.2 - Equivalences

Cette deuxième unité fonctionnelle servant de brique technique au calcul de l'unité fonctionnelle 3, nous n'avons pas calculé d'équivalence pour cette première version de l'étude.

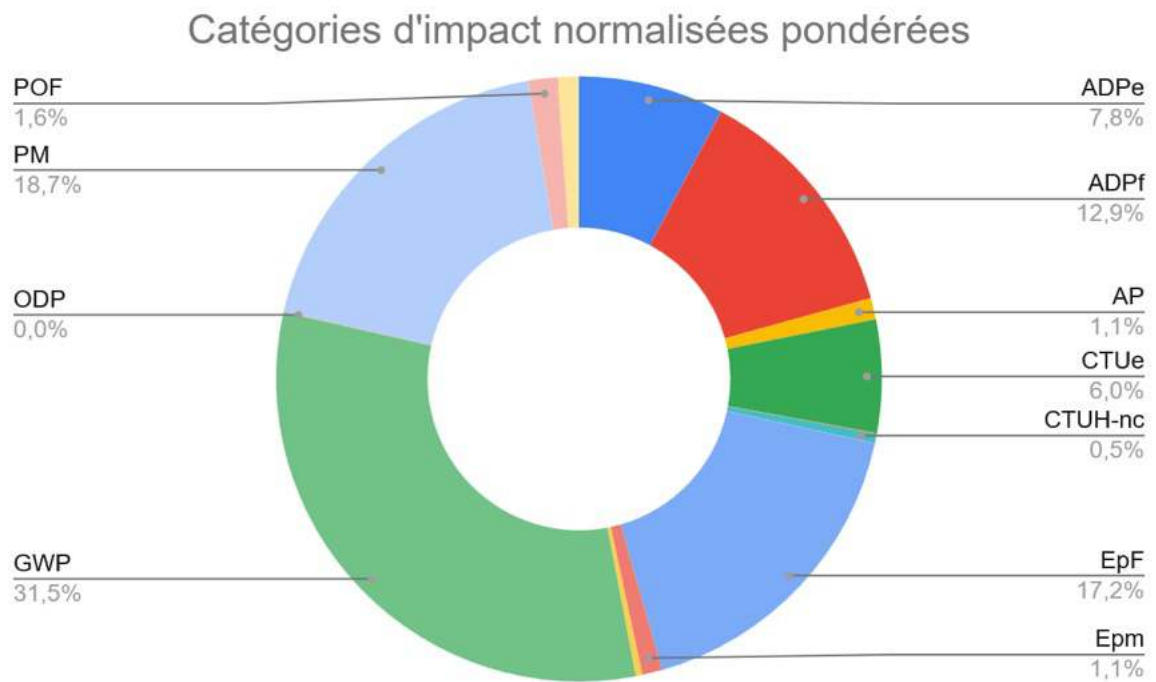
## 5.2.2. Résultats normalisés

### 5.2.2.1 - Impacts normalisés et répartition des impacts

Indicateur	Impacts normalisés	Poids de chaque indicateur	Catégorie
ADPe	8,96	8%	Epuisement des ressources
ADPf	14,89	13%	Epuisement des ressources
AP	1,31	1,1%	Acidification
CTUe	6,95	6%	Écotoxicité
CTUh-c	0,05	0,0%	Toxicité humaine
CTUH-nc	0,58	0,5%	Toxicité humaine
EpF	19,79	17%	Eutrophisation
Epm	1,23	1,1%	Eutrophisation
Ept	0,40	0,4%	Eutrophisation
GWP	36,35	32%	Réchauffement global
IR	0,04	0,0%	Radiations ionisantes
ODP	0,02	0,0%	Couche d'ozone
PM	21,57	19%	Particules fines
POF	1,81	1,6%	Formation d'ozone photochimique
WU	1,30	1,1%	Utilisation de l'eau

Légende tableau : Impacts associés à l'utilisation d'un serveur IA type pendant 1 an, hors infrastructure.

Représentation graphique des résultats

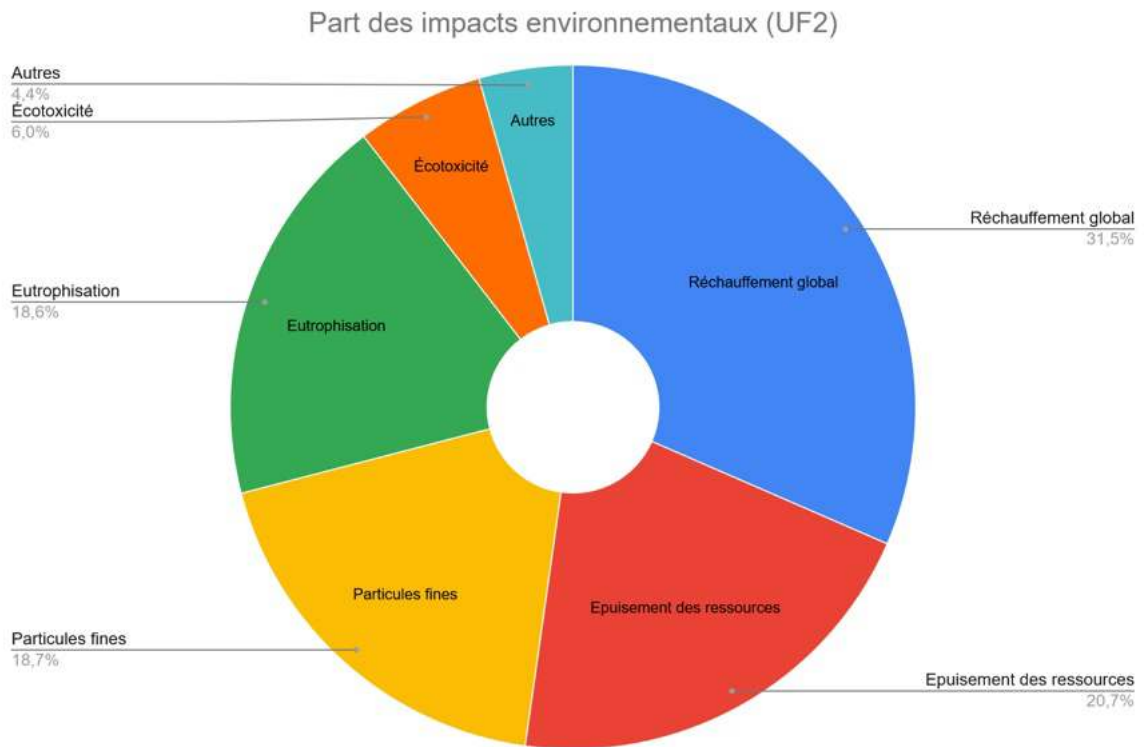


Légende : Répartition des impacts environnementaux et sanitaires associés à l'utilisation d'un serveur IA pendant 1 an.

Voici les résultats pour les 5 principales catégories d'impacts concentrant 96 % des impacts :

Impacts	Part des impacts dans l'empreinte environnementale de l'IA
Réchauffement global (GWP)	32%
Epuisement de ressources (ADPe+ADPf)	21%
Particules fines (PM)	19%
Eutrophisation (eau douce, marine, terrestre)	19%
Eco-toxicité	6%
Autres	4%

Légende : Répartition des impacts environnementaux et sanitaires associés à l'utilisation d'un serveur IA pendant 1 an - représentation des principaux impacts.

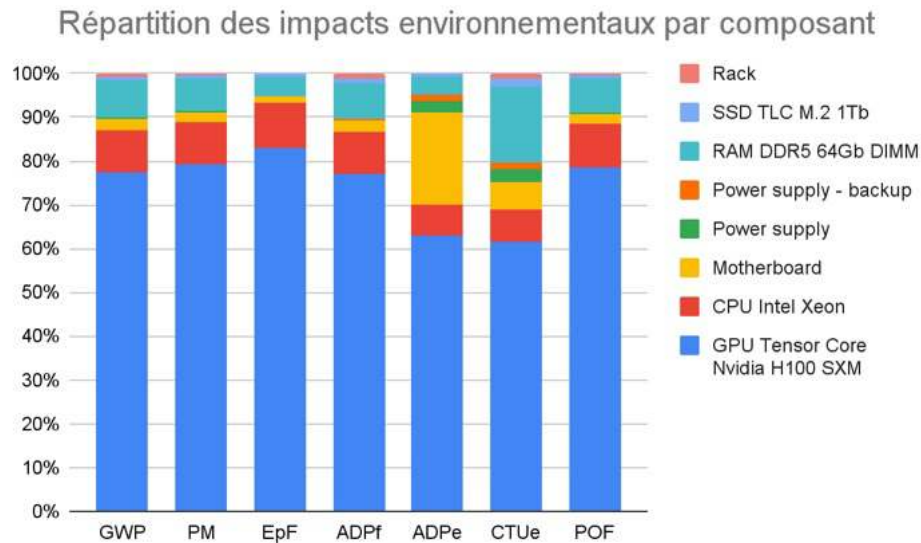


Légende : Part des impacts dans l'empreinte environnementale de l'IA - représentation graphique

Analyse : Lorsqu'on intègre les impacts associés à la production de l'électricité consommée sur la phase d'utilisation, on note que :

- les deux principaux impacts restent "l'épuisement des ressources" et le "réchauffement global", mais leurs proportions s'inversent ;
- L'eutrophisation apparaît (lié à la production de l'électricité) ;
- La part des émissions de particules fines augmente (liée à la combustion des énergies fossiles pour produire de l'électricité).

### 5.2.2.2 – Répartition par composants

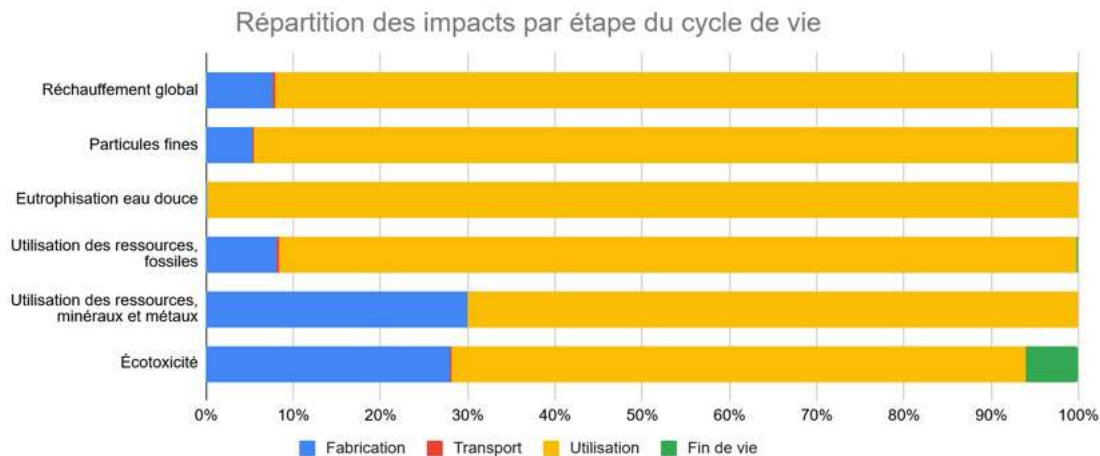


Légende : Répartition des impacts par composant du serveur IA.

Analyse : La production de l'électricité consommée par les GPU concentre l'essentiel des impacts. Le second bloc d'impacts est constitué par la carte mère, la mémoire vive et les CPU.

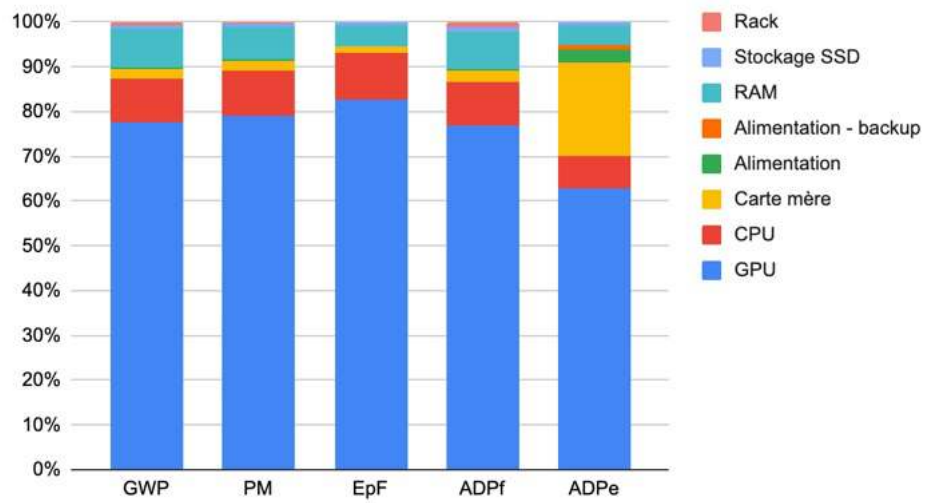
### 5.2.2.3 – Répartition par étapes du cycle de vie

Logiquement, compte tenu de la puissance électrique appelée par les serveurs IA, la phase d'utilisation écrase toutes les autres étapes du cycle de vie.



Légende : Les impacts associés à la production de l'électricité consommée pendant 1 an par le serveurs IA sont prédominants.

### Répartition des impacts environnementaux par composant



Légende : Le fonctionnement d'un serveur IA pendant 1 an montrent que les GPUs du serveurs concentrent entre 60 et 80% des impacts les plus significatifs.

## 5.3. Evaluation des impacts globaux de l'IA dans le monde (UF3)

Rappel de l'unité fonctionnelle et du flux de référence : Utiliser  $n$  serveurs à 67 % de leur capacité pendant 365 jours, 24 heures sur 24.

Avec  $n =$

Equipements et infrastructures	Quantité 2025	Quantité 2030
Serveurs IA	1 133 500	7 625 000
<i>dont GPU</i>	<i>9 068 000</i>	<i>61 000 000</i>
m² DC non IT	2 680 098	18 028 889

Légende : Flux de référence de l'unité fonctionnelle 3

### 5.3.1. Impacts en valeur absolue

#### 5.3.1.1 – Résultats bruts

Indicateur	Description	2025	2030	Unité
ADPe	Epuisement des ressources abiotiques (métaux et minéraux)	376	2 528	t. eq. SB
ADPf	Epuisement des ressources abiotiques fossiles	555	3 735	millions GJ EP
EpF	Eutrophisation des milieux aquatiques (eau douce)	19 123	128 637	t eq. P
GWP	Potentiel de réchauffement global	41	277	millions t. eq. CO2
PM	Particules fines	1 870	12 579	morts
WU	Utilisation de l'eau douce - cycle de l'eau	26 734	179 840	millions m3 eau

Légende : Principaux impacts environnementaux et sanitaires de l'intelligence artificielle dans le monde en 2025 et 2030. Pour faciliter la lecture, seuls les 6 indicateurs représentant plus de 88 % des impacts sont représentés.

Comme le montre le tableau ci-dessus, à l'échelle mondiale, les impacts augmentent de 50 % par an, soit x6,7 entre 2025 et 2030, ce qui révèle une tendance exponentielle. Si des progrès conséquents sont réalisés en matière de production d'électricité dans les 5 ans à venir, cette tendance pourrait être infléchie.

### 5.3.1.2 – Equivalences

#### Impacts rapportés au budget annuel soutenable d'un européen

En 2025, les impacts de l'intelligence artificielle atteignent jusqu'à 9 % du budget annuel soutenable de l'Europe\*\*. Cela sera jusqu'à 62 % en 2030\*\*\*. Cf. tableau ci-dessous.

Indicateur	Description	2025	2030
ADPe	Epuisement des ressources abiotiques matière (métaux et minéraux)	11 742 802	78 993 261
ADPf	Epuisement des ressources abiotiques fossiles	17 136 573	115 276 904
CTUe	Toxicité pour la biodiversité (éco-toxicité)	9 190 614	61 824 821
EpF	Eutrophisation des milieux aquatiques (eau douce)	22 765 031	153 139 271
GWP	Potentiel de réchauffement global	41 824 781	281 353 292
PM	Particules fines	24 933 084	167 723 660
WU	Utilisation de l'eau douce – cycle de l'eau	1 016 510	6 838 012

Légende : Impacts environnementaux et sanitaires mondiaux de l'intelligence artificielle exprimés en nombre de budgets annuels soutenables d'un européen. \*\* GWP 2025 : 42 millions / 447 millions d'habitants en Europe. \*\*\* GWP 2030 : 281 millions / 447 millions d'habitants en Europe.

#### Impacts rapportés au budget annuel soutenable de la France

Dans 5 ans, les impacts de l'IA dans le monde seront jusqu'à 4 fois supérieurs au budget annuel soutenable de la France. cf. tableau ci-dessous.

Indicateur	Description	2025*	2030*
ADPe	Epuisement des ressources abiotiques matière (métaux et minéraux)	0,2	1,2
ADPf	Epuisement des ressources abiotiques fossiles	0,3	1,7
CTUe	Toxicité pour la biodiversité (éco-toxicité)	0,1	0,9
EpF	Eutrophisation des milieux aquatiques (eau douce)	0,3	2,3
GWP	Potentiel de réchauffement global	0,6	4,1
PM	Particules fines	0,4	2,5
WU	Utilisation de l'eau douce – cycle de l'eau	0,0	0,1

Légende : Impacts environnementaux et sanitaires mondiaux de l'intelligence artificielle exprimés en nombre de budgets annuels soutenables de la France. \* n fois le budget annuel soutenable de la France pour une population de 68 millions d'habitants.



### 5.3.2. Résultats normalisés

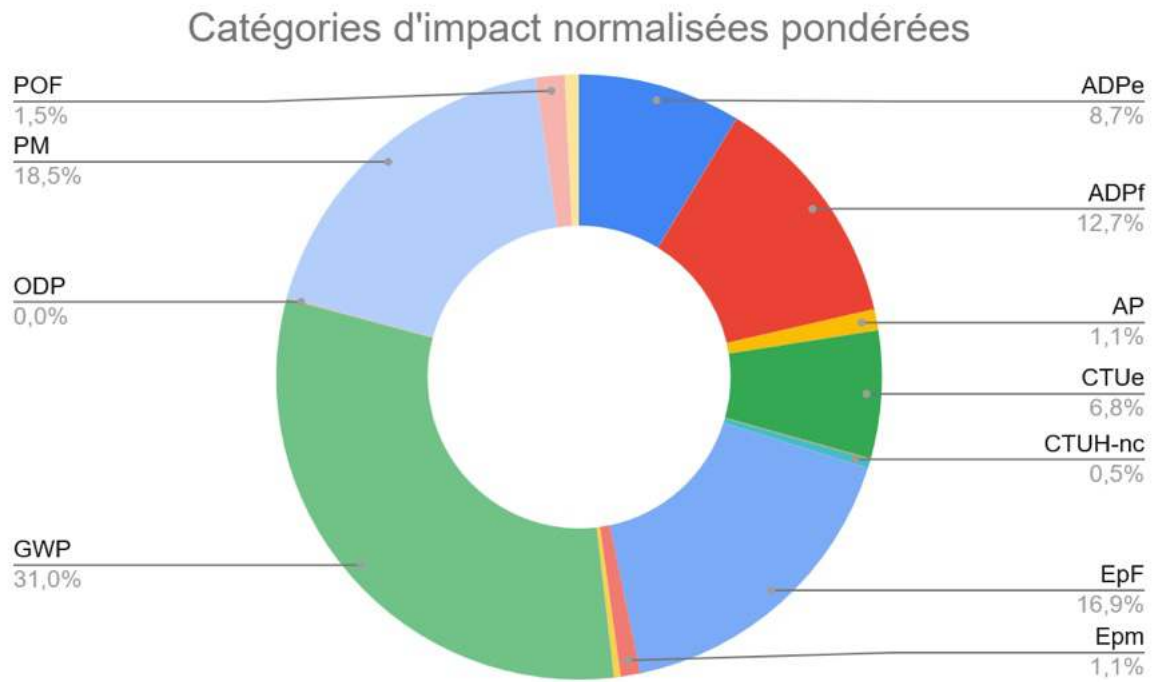
Comme le modèle de calcul est linéaire entre 2025 et 2030, la normalisation et la pondération aboutissent aux mêmes proportions, c'est pourquoi nous n'avons pas distingué 2025 et 2030 dans cette première version de l'étude. La normalisation a été réalisée avec la méthode du "budget annuel soutenable" ou PBCI (Planet Boundaries per Capita Indicator) qui consiste à rapporter les résultats caractérisés au budget annuel soutenable correspondant. Dans cette approche, contrairement à la méthode de normalisation et de pondération PEF 3.1, il n'est pas nécessaire de pondérer les résultats normalisés (car ils sont déjà pondérés).

#### 5.3.2.1 – Résultats normalisés ramenés à une base 100

Indicateur	Description	Poids
<b>ADPe</b>	Epuisement des ressources abiotiques (métaux et minéraux)	<b>9%</b>
<b>ADPf</b>	Epuisement des ressources abiotiques fossiles	<b>13%</b>
<b>AP</b>	Acidification	<b>1.1%</b>
<b>CTUe</b>	Toxicité pour la biodiversité (éco-toxicité)	<b>7%</b>
<b>CTUh-c</b>	Toxicité pour les êtres humains, cancers	<b>0,0%</b>
<b>CTUH-nc</b>	Toxicité pour les êtres humains, autre que cancers	<b>0,5%</b>
<b>EpF</b>	Eutrophisation des milieux aquatiques (eau douce)	<b>17%</b>
<b>Epm</b>	Eutrophisation des milieux aquatiques marins	<b>1,1%</b>
<b>Ept</b>	Eutrophisation terrestre	<b>0,3%</b>
<b>GWP</b>	Potentiel de réchauffement global	<b>31%</b>
<b>IR</b>	Rayonnements ionisants	<b>0,0%</b>
<b>ODP</b>	Réduction de la couche d'ozone	<b>0,0%</b>
<b>PM</b>	Particules fines	<b>18%</b>
<b>POF</b>	Création d'ozone photochimique	<b>1,5%</b>
<b>WU</b>	Utilisation de l'eau douce - cycle de l'eau	<b>0,8%</b>

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

Représentation graphique des résultats

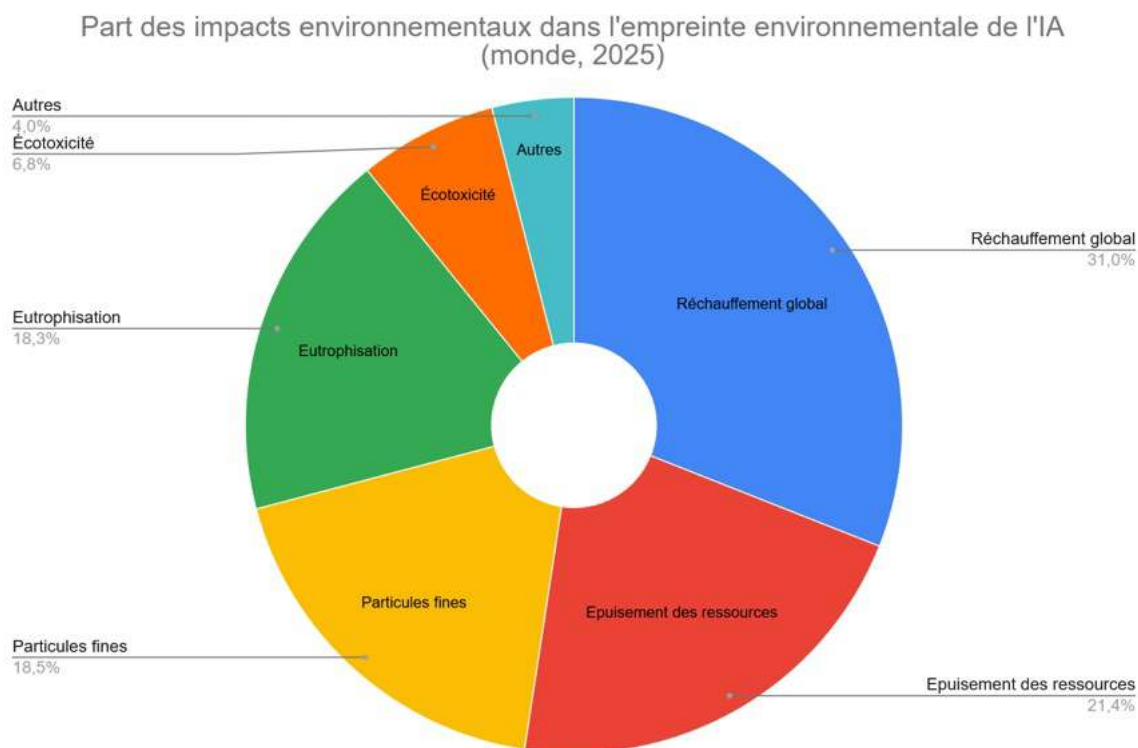


Légende : Répartition des impacts environnementaux et sanitaires associés à l'utilisation de  $n$  serveurs IA pendant 1 an.

Les 5 principales catégories d'impacts concentrant 96 % des impacts sont les suivantes :

Catégorie	Part des impacts
Réchauffement global (GWP)	31%
Epuisement des ressources (ADPe + ADPf)	21%
Particules fines (PM)	18%
Eutrophisation (eau douce, marine, terrestre)	18%
Écotoxicité (EcoTox)	7%
Autres	4%

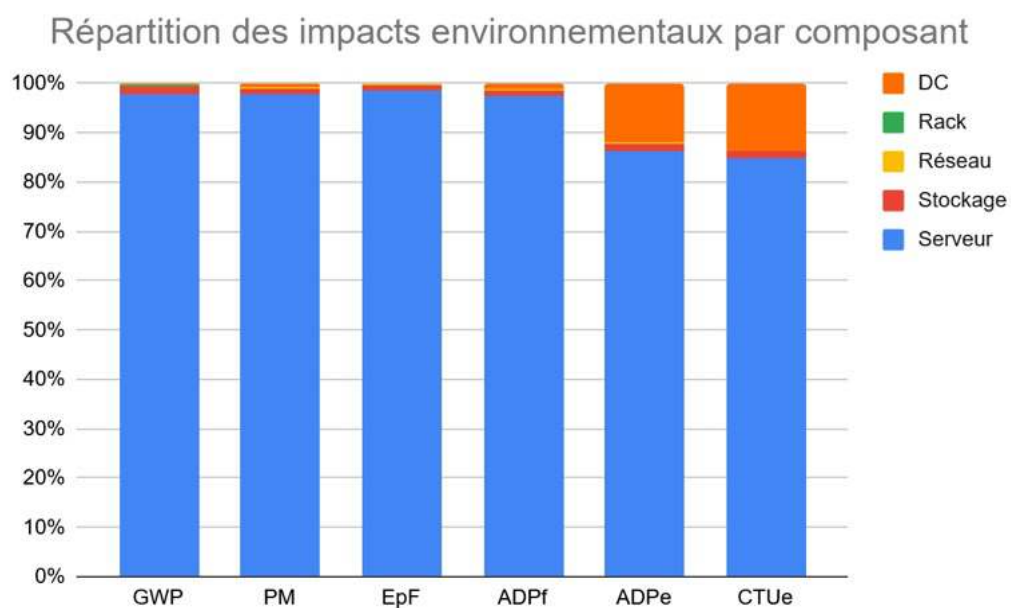
Légende : Répartition des principaux impacts environnementaux et sanitaires associés à l'utilisation de  $n$  serveurs IA pendant 1 an



Légende : Part des impacts environnementaux et sanitaires dans l'empreinte environnementale de l'IA au niveau mondial en 2025.

Analyse : La prise en compte de l'infrastructure d'accueil des serveurs IA ne modifie quasiment pas la répartition des impacts environnementaux et sanitaires, comparativement à l'UF2, ce que met d'autant plus en évidence l'analyse suivante.

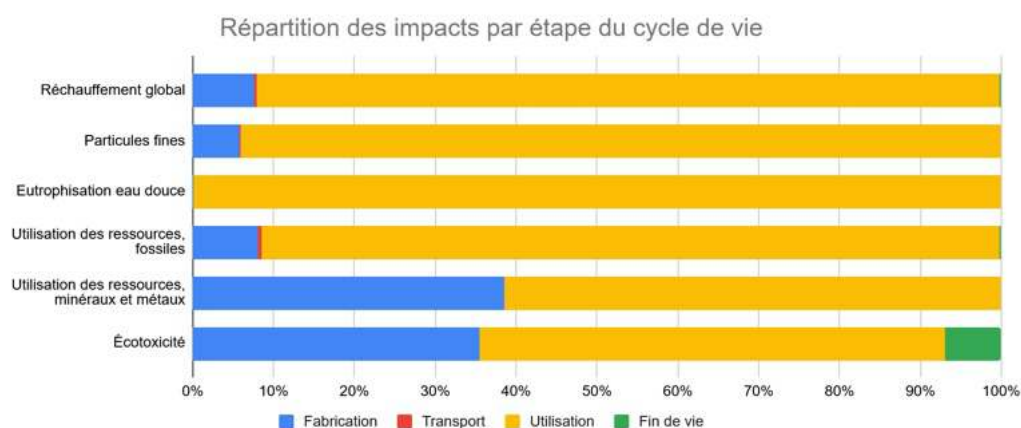
### 5.3.2.2 – Répartition par composants



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

Analyse : le schéma montre clairement que les serveurs IA concentrent les impacts. C'est dû à la fabrication des serveurs (notamment pour l'indicateur ADPe), mais surtout à la production de l'électricité consommée par les serveurs. Sachant que l'étude repose sur une hypothèse de PUE compris entre 1,1 et 1,2, le refroidissement des serveurs n'est pas une source importante d'impacts (en analyse relative).

### 5.3.2.3 – Répartition par étapes du cycle de vie



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

Analyse : L'utilisation est l'étape du cycle de vie qui concentre le plus d'impacts. C'est lié à la production de l'électricité consommée par les serveurs. Il faut cependant noter que des impacts conséquents ont aussi lieu lors de la fabrication, notamment en ce qui concerne l'épuisement des ressources abiotiques (ADPe et ADPf) qui culmine à 37% et l'écotoxicité (35%).

### 5.3.3. Comparaison avec la littérature

Afin de s'assurer de la validité de nos résultats, nous les avons comparés avec plusieurs études sur le même sujet.

#### 5.3.3.1 – Comparaison des inventaires

##### **Inventaire des m² de DC dédiés à l'IA**

Les m² de centre informatique dédiés à l'IA sont un bon indicateur technique en termes d'ordres de grandeur. Ils sont directement liés au nombre de GPU et donc de serveurs IA mis en production.

en m² dédiés à l'IA

Année	cette étude	<a href="#">Global DC Report 2025</a>	Ecart
2025	2 680 098	3 678 960	-27 %
2030	18 028 889	9 754 815	+85 %

Légende : Comparaison des m2 de centres informatiques dédiés à l'intelligence artificielle dans le monde recensés dans plusieurs études.

L'écart est peu significatif en 2025 (27 %) pour une étude de ce type. La comparaison des deux études confirme donc les ordres de grandeur.

L'écart pour 2030 est plus significatif, ce qui est logique puisqu'il s'agit de part et d'autre d'une projection (par essence sujette à plus d'aléas).

Ceci étant dit, les impacts associés aux m² DC représentent moins de 15 % des impacts de cette unité fonctionnelle (voir 5.3.2.2 – Répartition par composants).

## Consommation électrique

L'étude de The Shift Project détaille la consommation électrique.

	The Shift Project		Green IT	
	2025	2030	2025	2030
en TWh, PUE inclus				
Consommation électrique (TWh)	73	774	55	368

Légende : Comparaison des résultats des deux principales études françaises sur le sujet.

Analyse : Nous avons considéré que la consommation électrique des GPU était stable entre 2025 et 2030, c'est-à-dire que les GPU en activité en 2030 auront le même TDP que les GPU en fonctionnement en 2030. Le TDP que nous avons reconstitué est de 6,76 kW. The Shift Project estime de son côté que le TDP des GPU de 2030 (15 kW) sera nettement supérieur à celui des GPU de 2025 (10,2 kW). Le TDP retenu par The Shift Project est le TDP maximum théorique. De notre côté, nous avons préféré reconstituer un TDP opérationnel qui nous semble plus réaliste. Ces deux différences (TDP et évolution du TDP) expliquent l'écart important de consommation électrique entre nos deux études en 2030.

Les différences avec le Shift sont dus à 2 facteurs :

- en 2025 : nous avons reconstitué la puissance par unité de serveur à partir de ses composants, alors que le Shift est parti de la puissance max affichée par les serveurs Nvidia de type DGX H100 (10,2 kW)
- en 2030 : le facteur précédent est encore exacerbé par la prise en compte par le Shift d'une projection de l'augmentation des TDP, se basant sur la roadmap des produits NVIDIA (les GB300, sortis mi-2025, montent déjà à plus de 15kW pour l'équivalent de 8 GPU)

Partant de l'UF1 et 2 projeté en 2030, nous ne prenons pas en compte d'augmentation de puissance.

### 5.3.3.2 - Comparaison des émissions de GES

The Shift Project a publié l'étude "[Intelligence artificielle, données, calculs : quelles infrastructures dans un monde décarboné ?](#)" en octobre 2025. Cette étude porte sur le même périmètre que notre UF3 à l'exception que le think-tank n'a comptabilisé que les émissions de GES liées à la fabrication et à l'utilisation des serveurs. Comparé à notre étude, il manque donc l'impact des autres équipements numériques et des m2 de centre informatique. Il serait donc logique que leur étude aboutisse à un résultat légèrement inférieur au nôtre, ce qui est le cas.

Emissions de GES	en val. absolue		en val. absolue		en %		en %	
en MtCO2e	The Shift Project		Green IT		The Shift Project		Green IT	
	2025	2030	2025	2030	2025	2030	2025	2030
Fabrication	2	14	3	22	6%	5%	8%	8%
Utilisation	30	241	38	255	94%	95%	92%	92%
TOTAL	32	255	41	277				

Légende : Comparaison des résultats des deux principales études françaises sur le sujet.

L'analyse comparative des résultats des deux études aboutit à une répartition des impacts et à des ordres de grandeur en valeur absolue très proches.

## 6. Analyse de sensibilité

### 6.1. Paramètres étudiés

La phase d'utilisation étant la principale source d'impacts environnementaux, nous avons étudié deux scénarios liés au mix électrique :

- Scénario 1 : hébergement de tous les serveurs aux USA
- Scénario 2 : hébergement de tous les serveurs en France

### 6.2. Analyse de sensibilité sur la nature de l'électricité consommée

#### Impacts en micropoints (mPt) PEF

Indicateur	Description	Monde	USA	FR
ADPe	Epuisement des ressources abiotiques matière (métaux et minéraux)	1716	1690	1724
ADPf	Epuisement des ressources abiotiques fossiles	2479	2320	3023
AP	Acidification	220	107	56
CTUe	Toxicité pour la biodiversité (éco-toxicité)	1333	1085	788
CTUh-c	Toxicité pour les êtres humains, cancers	8	7	5
CTUh-nc	Toxicité pour les êtres humains, autre que cancers	97	60	86
EpF	Eutrophisation des milieux aquatiques (eau douce)	3291	3882	443
Epm	Eutrophisation des milieux aquatiques (mers et océans)	205	94	48
Ept	Eutrophisation terrestre	67	26	14
GWP	Potentiel de réchauffement global	6050	4411	1199
IR	Rayonnements ionisants	8	26	62
ODP	Réduction de la couche d'ozone	3	2	2
PM	Particules fines	3624	1158	827
POF	Création d'ozone photochimique	303	151	67
WU	Utilisation de l'eau douce - cycle de l'eau	147	125	135
	mPt PEF	<b>19551</b>	<b>15145</b>	<b>8480</b>
	Gains environnementaux	<b>0%</b>	<b>-23%</b>	<b>-57%</b>

Légende : Calculs des impacts environnementaux et sanitaire en mPt PEF

L'analyse en score unique environnemental (ecoscore) montre que le changement de nature d'électricité consommée pourrait, en théorie, contribuer à diviser par 2 les impacts globaux de l'intelligence artificielle dans le monde.



Le gain moyen est de l'ordre de 75 à 80 % pour la majorité des indicateurs, avec cependant une augmentation significative (x6,4) des rayonnements ionisants.

Ce scénario reste cependant théorique car la France n'est pas (et ne sera jamais) en capacité d'accueillir toutes les infrastructures IA du monde entier. En revanche, inciter les principaux acteurs de l'IA à recourir massivement à de l'électricité produite à partir d'une énergie primaire renouvelable et / ou nucléaire est un *"quick-win"*.

En termes de sensibilité, cette analyse montre que le modèle est particulièrement sensible à la situation géographique des centres informatiques hébergeant les serveurs d'intelligence artificielle. La prochaine version de l'étude prendra donc en considération cette sensibilité avec un calcul plus fin d'un mix électrique plus représentatif du poids de chaque zone d'implantation.

### Répartition des impacts

Indicateur	Description	Monde	USA	FR
ADPe	Epuisement des ressources abiotiques matière (métaux et minéraux)	9%	11%	20%
ADPf	Epuisement des ressources abiotiques fossiles	13%	15%	36%
AP	Acidification	1%	1%	1%
CTUe	Toxicité pour la biodiversité (éco-toxicité)	7%	7%	9%
CTUh-c	Toxicité pour les êtres humains, cancers	0%	0%	0%
CTUH-nc	Toxicité pour les êtres humains, autre que cancers	0%	0%	1%
EpF	Eutrophisation des milieux aquatiques (eau douce)	17%	26%	5%
Epm	Eutrophisation des milieux aquatiques (mers et océans)	1%	1%	1%
Ept	Eutrophisation terrestre	0%	0%	0%
GWP	Potentiel de réchauffement global	31%	29%	14%
IR	Rayonnements ionisants	0%	0%	1%
ODP	Réduction de la couche d'ozone	0%	0%	0%
PM	Particules fines	18%	8%	10%
POF	Création d'ozone photochimique	2%	1%	1%
WU	Utilisation de l'eau douce - cycle de l'eau	1%	1%	2%

Légende : Analyse de la répartition des impacts selon le mix électrique

Comme le montre le tableau ci-dessus, la part relative des impacts varie de façon conséquente selon le pays où l'on se situe.

Dans les scénarios "monde" et "USA", le profil d'impact est celui d'un mix électrique principalement produit à partir d'énergies primaires fossiles. Il se traduit par une part significative des émissions de GES à l'origine du potentiel de réchauffement global (GWP).

Dans le scénario "France", les impacts environnementaux et sanitaires de la production d'électricité via une centrale nucléaire ressortent plus fort : les émissions de GES sont divisées par 2 par rapport au scénario initial, ce qui fait ressortir l'épuisement des ressources abiotiques qui double par jeu de vases communicants.

L'analyse de ces 2 scénarios doit inciter les acteurs de l'IA à recourir massivement à l'électricité produite à partir d'énergies primaires renouvelables.

## 7. Conclusion de l'étude

---

### 7.1. Faits marquants

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

#### 7.1.1. 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 se traduit par une augmentation des impacts associés à la phase de fabrication.

##### **Consommation électrique jusqu'à 4 fois supérieure**

Cependant, comme la consommation électrique d'un GPU est proportionnellement au moins 4 fois supérieure à celle d'un CPU de serveur traditionnel, les impacts associés à la production de l'électricité finissent par tasser ceux associés à la fabrication des serveurs IA.

##### **80% des centres informatique sont obsolètes face aux besoins de l'IA**

La concentration de puissance informatique au sein des serveurs IA et des clusters de serveurs IA est telle que la vaste majorité des centres informatiques existants sont incapables de fournir suffisamment d'électricité et de refroidissement.

#### 7.1.2. Impacts

##### **70 % des impacts de l'IA ne sont pas des émissions de GES**

Les émissions de GES représentent environ 30 % 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 majeurs qui totalisent 70 % de l'empreinte. Il s'agit notamment de l'épuisement des ressources abiotiques minérales, métalliques et fossiles (21,4%), des émissions de particules fines (18,5%), de l'eutrophisation (18,3%) et de l'écotoxicité (6,8%).

**Rejets de particules fines : 5 décès potentiels par jour en 2025 et jusqu'à 34 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 à un décès à hauteur de 5 nouveaux décès potentiels par jour en 2025 et jusqu'à 34 en 2030. Ces émissions de particules fines sont essentiellement liées aux phases de fabrication (extraction des métaux et transformation en composants électroniques) et d'utilisation de l'IA (production de l'électricité par combustion d'énergies fossiles).

### 7.1.3. Evolution des impacts entre 2025 et 2030

#### **Jusqu'à 7 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 environ 7 entre 2025 et 2030.

#### **GES : 62 % du budget annuel soutenable de l'Europe en 2030**

Dans 5 ans (2030), les émissions mondiales de GES dues à l'IA représenteront l'équivalent de 281 millions de budget annuels soutenables, soit 62 % du budget annuel soutenable de l'Union européenne. Un budget GES annuel soutenable est défini par la quantité d'émissions de GES possibles sans déclencher de réchauffement global, soit 985 kg équivalent CO<sub>2</sub> par an et par terrien selon la Commission européenne.

## 7.2. Recommandations

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.

Fort des constats faits dans la partie précédente, voici quelques recommandations pour réduire les impacts environnementaux et sanitaires de l'intelligence artificielle :

1. Etendre les études existantes aux unités fonctionnelles complètes
2. Créer un plan "sobriété IA" pour contenir l'offre
3. Sensibiliser le grand public pour contenir la demande
4. Créer une filière d'excellence IA frugale
5. Rendre obligatoire l'écoconception des IA hébergées en France

### 7.2.1. Etendre 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 : prédictive, génératives, agentiques, etc. Leur coopération est donc indispensable.

### 7.2.2. 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".

### 7.2.3. 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 : "l'IA c'est comme les antibiotiques, ce n'est pas automatique."

### 7.2.4. 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.

### 7.2.5. Rendre obligatoire l'écoconception des IA hébergées en France

Rendre obligatoire l'écoconception des IA hébergées en France 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.

# 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. Inventaire plus fin. La prochaine édition de cette étude prendra en considération 2 à 5 types de serveurs IA afin de mieux refléter leur hétérogénéité. La constitution de ces serveurs (composants) sera affinée.
2. Evolution du TDP des GPU. La prochaine version de cette étude intégrera l'évolution (augmentation) du TDP des GPU pour 2030.
3. Localisation plus fine des centres informatiques hébergeant les serveurs IA. Il est techniquement possible d'identifier, au moins en partie, les principales zones géographiques hébergeant la part la plus significative des serveurs IA.
4. kWh électrique plus représentatif. Il est techniquement possible de créer un mix électrique spécifique reposant sur la répartition des DC IA dans le monde en fonction des zones géographiques (cf. point ci-dessus).
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.

### Amélioration des unités fonctionnelles

7. Calcul des impacts d'un prompt. S'il est possible de connaître la répartition des requêtes des utilisateurs en fonction de leurs types - 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



## 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 des 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 (texte, images, musique, vidéos, ...).

**Large Language 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. CO2** : L'émission en équivalent CO2 est la quantité émise de dioxyde de carbone (CO2) 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	Composants UF1 et UF2
NEGA-0079	GPU
NEGA-0145	CPU
NEGA-0052	Carte mère
CODDE-0751	PSU
NEGA-0106	RAM
NEGA-0125	SSD
NEGA-0599	Rack
Ecoinvent V3.11 (2021)	Electricité

ID	Composants UF3
FB-2025-HGX H100	Serveurs
NEGA-0230	Storage rack / 48 SSD 2 To QLC
NEGA-0197	Switchs 48 ports
NEGA-0598	Firewall
NEGA-0599	Rack 42U
NEGA-0873	m <sup>2</sup> DC non IT
Ecoinvent V3.11 (2021)	Electricité

Tous ces facteurs d'impacts sont issus de la base [NegaOctet.eu](https://negaoctet.eu) à l'exception des facteurs d'impacts suivants :

- Electricité, mix monde, qui provient de Ecoinvent 3.11 ;
- Serveur type IA, modélisé par Frédéric Bordage.

## Détail du calcul sur le taux de remplissage des baies à 75%

### Cas représentatif : NVIDIA DGX H100 (déploiement « DGX SuperPOD » / racks AI)

- Le **DGX H100** est un système 8U (spécification NVIDIA). Source : [Sunbird DCIM+1](#)
- NVIDIA recommande fréquemment des **configurations à 4 systèmes DGX H100 par rack** (adaptées au budget puissance/refroidissement). Dans leurs guides DGX SuperPOD on retrouve des topologies à **4 DGX H100 / rack**. sources : [NVIDIA Docs+1](#)
- Chaque DGX H100 a une **consommation maximale  $\approx 10.2$  kW** (valeur utilisée dans les guides / analyses). Cela explique pourquoi on met typiquement 4 systèmes par rack plutôt que 5 ou 6 (limite électrique/thermique). Sources : [newsletter.semianalysis.com+1](#)

### Calcul du taux de remplissage en U pour ce cas

- 1 rack = **42 U**.
- $4 \times \text{DGX H100} \times 8 \text{ U} = \mathbf{32 \text{ U occupés}}$ .
- **Taux de remplissage** =  $32 / 42 = 0,7619 \approx 76.2 \%$ .
- Remarque pratique : on laisse souvent  $\sim 1\text{--}2$  U pour PDU / câblage / gestion → taux « effectif » parfois un peu inférieur. C'est pourquoi nous avons retenu 75 % de taux de remplissage.

## Bibliographie

Ademe (2023), [Référentiel par Catégorie de Produit \(RCP\) des services numériques](#)

Arxiv (2025), [More than Carbon: Cradle-to-Grave environmental impacts of GenAI training on the Nvidia A100 GPU](#), Sophia Falk et al.

Asus (2025), [ESC N8-E11/E11V 7U Rackmount Server - User Guide](#)

ES France (2025), [Serveur IA avec NVIDIA HGX H100, 8 GPU, Intel Xeon : ESC N8-E11](#)

IEA (2025), [World Energy Outlook Special Report Energy and AI](#)

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](#)

JRC (2021), [Environmental Footprint](#) 3.1

JRC (2019), [Consumption and Consumer Footprint: methodology and results](#)

Knight Franck (2025), [Global Data Centres Report](#)

Massed Compute (2025), [What are the GPU-to-server ratios for various data center applications such as HPC, AI, and graphics rendering?](#)

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](#)

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

The Shift Project (2025), [Intelligence artificielle, données, calculs : quelles infrastructures dans un monde décarboné ?](#)

Tom's Hardware (2024), [Datacenter GPU service life can be surprisingly short – only one to three years is expected according to unnamed Google architect](#)