



DATA CENTERS

Mesurer l'impact pour mieux agir


Data4
SMART & SCALABLE DATA CENTERS

apl
Pioneering Data Centers

Les data centers sont inclus dans le scope 3 du bilan carbone pour un grand nombre d'acteurs du numérique. Pierre angulaire de notre monde digital, ces infrastructures ne sont pas neutres en carbone. Afin de réduire leur empreinte environnementale, il est important de limiter l'utilisation de l'énergie ainsi que de tous les matériaux utilisés pour les construire.

Pour ce faire, l'analyse du cycle de vie (ACV) se présente aujourd'hui comme la méthode d'évaluation la plus rigoureuse, la plus globale et la plus reconnue pour auditer l'ensemble des flux et des impacts environnementaux entourant la conception et la construction d'un data center.

Dans ce document, nous démontrons quels sont les impacts réels des data centers et des éléments qui les composent sur l'environnement et plus spécifiquement sur le changement climatique et les ressources.

Édito

La révolution numérique s'accélère, et avec elle, l'empreinte environnementale des infrastructures qui la soutiennent augmente mécaniquement. Les data centers, colonne vertébrale de notre économie numérique, sont aujourd'hui sous le feu des projecteurs : **comment concilier leur développement avec les impératifs écologiques ?**

Chez Data4 et APL Data Center, nous avons fait le choix d'étudier dans le détail toutes les composantes d'un data center. Car si la réduction de la consommation d'énergie ou l'utilisation de sources renouvelables est essentielle, cela s'avère insuffisant.

L'enjeu est plus vaste : nous souhaitons adopter une vision globale et scientifique de notre impact. C'est ici qu'intervient l'analyse du cycle de vie (ACV), une méthodologie rigoureuse qui permet d'évaluer, de manière exhaustive, les répercussions environnementales d'un data center, de sa construction à son exploitation, jusqu'à la fin de vie de ses équipements.



Linda Lescuyer,
Head of Environment & Sustainable
Innovation, Data4

Pourquoi cette approche est-elle cruciale ? Parce que derrière la consommation énergétique, d'autres facteurs souvent invisibles pèsent sur notre planète : extraction des métaux, consommation d'eau, menace sur la biodiversité, production des déchets électroniques, etc. Une prise de conscience s'impose, et surtout, des actions concrètes.

Ce livre blanc dévoile les résultats de l'ACV menée sur un data center de l'opérateur européen Data4, situé sur le campus de Marcoussis en Essonne, un data center mis en opération en 2023. Une analyse inédite et transparente qui éclaire les leviers d'action possibles pour repenser l'industrie et construire un numérique plus durable. Car mesurer, c'est savoir où agir.

Donnons corps à nos engagements en adoptant une approche fondée sur des données tangibles. Chez Data4 et APL Data Center, nous avons choisi de faire de l'ACV le socle de notre engagement environnemental.



Thomas Martin,
Deputy CTO, Head of Sustainability
& Innovation, APL Data Center

1 Introduction 6

2 L'analyse du cycle de vie (ACV) 8

2.1	Qu'est-ce que l'analyse du cycle de vie ?	9
2.2	Quels sont les indicateurs environnementaux ?	11
2.3	La finalité de l'ACV pour Data4 : une démarche d'éco-conception	12

3 Qu'est-ce qu'un data center ? 14

4 Analyse du cycle de vie du data center 18

4.1	Unité fonctionnelle	19
4.2	Périmètre considéré	20
4.3	Hypothèses émises	23
4.4	Indicateurs sélectionnés	24

5 Résultats de l'ACV du data center et propositions d'améliorations 26

5.1	Résultats globaux	27
5.1.1	Vision de l'impact sur tout le cycle de vie	27
5.1.2	Focus construction – Ventilation de l'impact par fonction	28
5.1.3	Focus phase d'exploitation	29
5.1.4	Focus phase de fin d'activité	30
5.2	Impacts du DC sous l'angle du changement climatique	32
5.2.1	Vision de l'impact selon le cycle de vie	32
5.2.2	Vision de l'impact par fonction	33
5.2.3	Actions d'amélioration	35
5.3	Impacts du DC sous l'angle de l'épuisement des ressources en eau	36
5.3.1	Vision de l'impact selon le cycle de vie	36
5.3.2	Vision de l'impact par fonction	38
5.3.3	Actions d'amélioration	40
5.4	Impacts du DC sous l'angle des ressources minérales et métalliques	40
5.4.1	Vision de l'impact selon le cycle de vie	40
5.4.2	Vision de l'impact par fonction	42
5.4.3	Actions d'amélioration	43

6 Conclusion 44

1

Introduction

L'objectif de ce livre blanc est de partager les résultats d'une analyse de cycle de vie (ACV) d'un data center de Data4, choisi pour être représentatif de la famille des data centers "hyperscalers" afin de permettre l'identification de l'impact relatif des différentes fonctions remplies par un data center.

Depuis 2020, Data4 a généralisé l'ACV pour tous ses projets de nouveaux data centers, disposant ainsi d'un nombre significatif d'études. Grâce à cette systématisation, Data4 a pu établir un « portrait-robot » des impacts environnementaux d'un data center hyperscaler et propose aujourd'hui de partager ses conclusions en publiant les résultats sur un data center représentatif.

Ce livre blanc dévoile les résultats de l'ACV menée sur le data center DC19 de l'opérateur européen Data4, situé sur le campus de Marcoussis en Essonne.

Ce document s'adresse à l'écosystème data centers, clients utilisateurs, fournisseurs, opérateurs, afin de les aider à comprendre et à identifier les causes des impacts environnementaux et de faciliter l'émergence de nouvelles solutions techniques.

- Dans un premier temps, nous verrons l'importance d'un outil comme l'analyse du cycle de vie pour comprendre les grands enjeux environnementaux avant de s'engager dans une démarche d'éco-conception.
- Dans un second temps nous détaillerons les différentes fonctions d'un data center.
- Puis, nous exposerons le cadre dans lequel l'analyse du data center, représentatif de sa catégorie, a été réalisée en précisant le périmètre et les hypothèses retenues.
- Enfin, nous présenterons les analyses de cette étude et les pistes d'amélioration envisagées pour réduire les impacts environnementaux et notamment ceux engagés par Data4.

2

L'Analyse du cycle de vie (ACV)

2.1	QU'EST-CE QUE L'ANALYSE DU CYCLE DE VIE ?	8
2.2	QUELS SONT LES INDICATEURS ENVIRONNEMENTAUX ?	10
2.3	LA FINALITÉ DE L'ACV POUR DATA4 : UNE DÉMARCHE D'ÉCO-CONCEPTION	11

2.1 Qu'est-ce que l'analyse du cycle de vie ?

L'analyse du cycle de vie (ACV) est une méthodologie utilisée pour évaluer les impacts environnementaux associés à toutes les étapes de la vie d'un produit ou d'un service, depuis l'extraction des matières premières jusqu'à son traitement en fin de vie.

Cette approche prend en compte les différentes phases du cycle de vie, telles que la production, la distribution, l'utilisation, et la gestion des déchets, en identifiant les intrants (énergie, matières premières) et les extrants (émissions, déchets) à chaque étape.

En fournissant une vue d'ensemble complète et détaillée, l'ACV permet d'évaluer non seulement les impacts directs, mais aussi les impacts indirects ou « cachés » - tout au long de la chaîne de valeur - d'un produit ou d'un service.

L'ACV repose sur trois principes fondamentaux :

- **Multi-étapes** : l'analyse tient compte de toutes les étapes du cycle de vie du produit, de l'extraction des matières premières jusqu'à la fin de vie, en agréant les impacts produits tout au long de la chaîne de valeur.
- **Multi-composants** : l'analyse prend en compte tous les composants et sous-ensembles du système défini.
- **Multi-indicateurs** : cette approche va au-delà de l'analyse des émissions de gaz à effet de serre (GES), l'ACV évalue les impacts sur plusieurs indicateurs, selon la méthode utilisée.

En effet, cette triple approche permet d'éviter les transferts d'impact entre étapes du cycle de vie, entre composants du système ou entre indicateurs d'impact. Autrement dit, à la manière des vases communicants, l'impact que l'on cherche à diminuer se déplace sur d'autres indicateurs ou étapes de cycles de vie du produit.

Pourquoi l'ACV est-elle pertinente pour les data centers ?

Les data centers consomment d'importantes quantités d'électricité pour alimenter les serveurs, les systèmes de refroidissement et les dispositifs de sécurité. De plus, la construction, l'exploitation et la fin de vie des bâtiments et des équipements technologiques génèrent des émissions de CO₂ et impliquent l'utilisation de ressources fossiles et minérales. L'ACV permet d'identifier les phases de vie les plus impactantes, de mesurer leur empreinte écologique globale, et d'aider à la mise en place de stratégies d'amélioration pour réduire les impacts négatifs.

L'analyse du cycle de vie (ACV) s'est rapidement imposée comme **LA méthode d'évaluation la plus rigoureuse, la plus exhaustive et la seule reconnue pour auditer l'ensemble des flux et des impacts environnementaux entourant la conception, la construction et l'exploitation d'un data center.**

Depuis 2020, Data4 a systématisé cette démarche ACV. Au moment de la réalisation de celle relative au DC19, Data4 disposait déjà de 9 ACV antérieures, permettant ainsi d'avoir une bonne compréhension globale et facilitant l'extrapolation des résultats à tous les data centers.

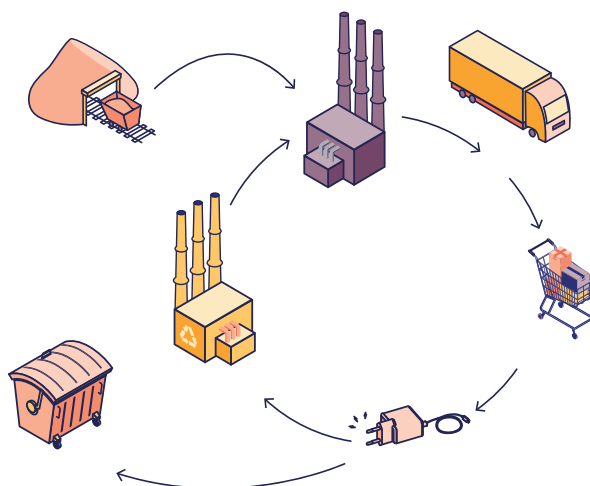


Figure1 – Les étapes du cycle de vie (source : MiNumEco, Mission Interministérielle Numérique Écoresponsable)

L'ACV permet :

- D'obtenir un « scanner » multi-dimensionnel considérant tous les impacts environnementaux d'un produit ou d'un service. Elle repose sur une triple approche : multi-étapes, multi-indicateurs, multi-composants
- D'identifier les enjeux environnementaux prioritaires sur lesquels travailler en vue de réduire l'impact environnemental du produit ou du service évalué.

Rappel du cadre normatif / référentiel

L'analyse du cycle de vie repose sur un ensemble de normes et référentiels généraux permettant de garantir une cohérence et robustesse dans les méthodologies :

- **Norme ISO 14040** : norme internationale qui définit les étapes essentielles de l'ACV, incluant la définition de l'objectif et du champ d'application, l'analyse de l'inventaire, l'évaluation des impacts et l'interprétation des résultats. Cette norme garantit que les analyses sont réalisées de manière cohérente et transparente, facilitant la comparaison des résultats et la prise de décisions informées en matière de gestion environnementale.
- **Norme ISO 14044** : cette norme complète la norme ISO 14040 en détaillant les exigences et les lignes directrices spécifiques pour la réalisation de l'ACV. Elle précise les étapes méthodologiques, y compris la collecte et l'évaluation des données d'inventaire, l'évaluation des impacts environnementaux, et l'interprétation des résultats. L'ISO 14044 met l'accent sur la rigueur et la transparence du processus, assurant que les ACV soient menées de manière cohérente et fiable, tout en permettant une évaluation critique et une amélioration continue des pratiques environnementales.

- **NF X30-264** : norme française qui fournit des spécifications supplémentaires pour la réalisation d'une ACV dans le contexte des normes ISO 14040 et ISO 14044. Elle est destinée à assurer une application rigoureuse et homogène de la méthodologie ACV en France, en apportant des précisions sur la conduite des études, l'interprétation des résultats, et la communication des conclusions.

- **Recommandation ITU-T L.1410** : référentiel élaboré par l'Union Internationale des Télécommunications (UIT), qui détaille les exigences et les lignes directrices spécifiques pour la réalisation d'une ACV des biens, réseaux et services des technologies de l'information et de la communication (TIC).

- **Référentiel par Catégorie de Produit (RCP) des services Cloud et data centers¹** (Janvier 2023, révisé en avril 2025) : référentiel français, publié par l'ADEME, qui fournit le cadre méthodologique à respecter pour réaliser l'ACV des services d'hébergement informatique selon leur degré d'intégration. Elle est destinée à assurer une homogénéité dans les ACV menées, en apportant des précisions sur l'unité fonctionnelle, le périmètre global, les indicateurs d'impact et les règles d'allocation.

Précurseur, Data4 a ainsi réalisé ses premières évaluations, préalablement à la publication du référentiel méthodologique de l'ADEME, raison pour laquelle l'ACV ci-après présentée n'est pas tout à fait alignée avec le RCP.

¹ <https://bibliothèque.ademe.fr/industrie-et-production-durable/6031-evaluation-environnementale-des-services-d-hebergement-informatique-en-centre-de-donnees-et-de-services-cloud.html>

2.2 Quels sont les indicateurs environnementaux ?

Selon la méthode de l'*Environmental Footprint 3.1*, élaborée par la Commission Européenne, l'ACV va au-delà de la « simple analyse » des émissions de gaz à effet de serre (GES), puisqu'elle prend en compte jusqu'à 16 indicateurs d'impact environnemental, tels que :



Figure 2 – Illustration des 16 indicateurs d'impact environnementaux de la méthode PEF (Product Environmental Footprint)

Par souci de pertinence, les résultats d'impacts d'un produit ou service ne sont jamais restitués sur l'ensemble de ces indicateurs. Une sélection d'indicateurs est réalisée à la suite d'une normalisation, puis une caractérisation des résultats pour faciliter la compréhension des résultats. Cette sélection prend en compte 6 à 7 indicateurs dont les impacts couvrent

80 % du score unique. Le score unique correspond à une agrégation d'indicateurs, normalisés et pondérés, sous une seule et même unité fictive, le point (Pt).

Pour cette ACV, 3 indicateurs seront plus particulièrement analysés, après avoir restitué une vision globale et multi-étape du cycle de vie.

2.3 La finalité de l'ACV pour Data4 : une démarche d'éco-conception

L'analyse du cycle de vie est utilisée comme outil d'éco-conception. D'après la norme NFX 30-264, l'éco-conception consiste à l'intégration systématique des aspects environnementaux dès la conception et lors du développement de produits ou de services, avec pour objectif la réduction des impacts environnementaux tout au long de leur cycle de vie à service rendu équivalent ou supérieur.

Ainsi, l'analyse du cycle de vie poursuit plusieurs objectifs :

1. Pour **comprendre** les enjeux d'un produit, grâce à l'évaluation en cycle de vie
2. Pour **comparer** des produits et des solutions d'amélioration et éviter les fausses bonnes idées
3. Pour **témoigner** de la démarche d'éco-conception et communiquer sur les performances avec des données quantitatives

Comme l'indique le schéma de la figure 3, l'ACV intervient à chaque étape d'une démarche d'éco-conception.

L'ACV est un outil d'éco-conception, elle permet de comprendre les enjeux, de comparer deux solutions techniques pour constater ou non l'amélioration de l'impact, et de valoriser la réduction d'impact auprès des différentes parties concernées, dans le respect des règles de la communication environnementale.

Data4 utilise l'ACV comme outil d'aide à la décision en phase de conception d'un data center, afin d'orienter ses choix technologiques, de choisir les meilleures propositions techniques en considérant l'ensemble de leur cycle de vie, et en limitant les transferts d'impacts que pourraient induire « de fausses bonnes idées ».

L'ACV permet également de mesurer la progression de la contribution de Data4 à la neutralité carbone d'ici 2030.

À RETENIR

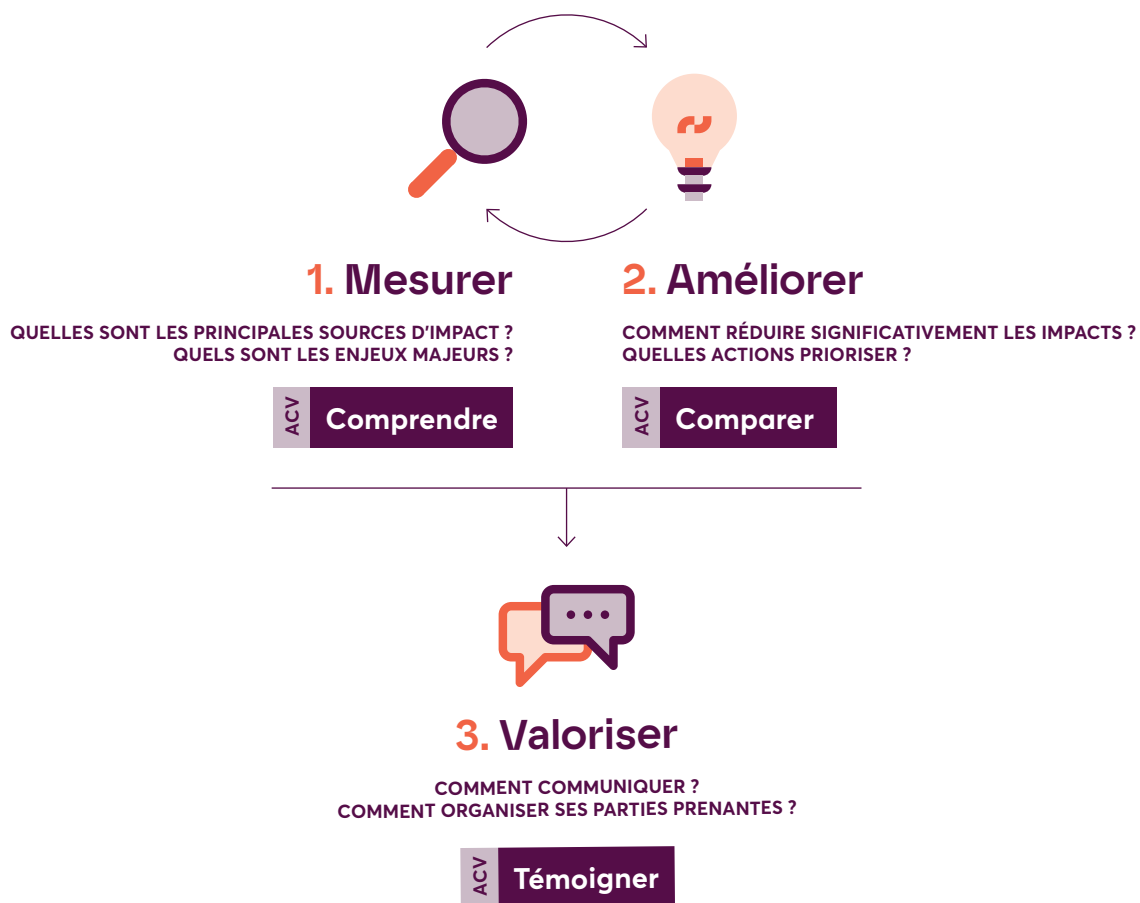


Figure 3 – Schéma d'une démarche d'éco-conception et lien avec l'ACV

3

Qu'est-ce
qu'un data
center ?

Les **data centers** sont définis par la norme EN 50600-1 comme des structures ou un groupe de structures, dédiés à l'hébergement, à l'interconnexion et à l'exploitation centralisés des équipements de télécommunication, des technologies de l'information et des réseaux fournissant des **services de stockage, de traitement et de transport de données** tout en s'appuyant sur des installations de distribution d'énergie, de contrôle de l'environnement et de sécurité afin d'assurer la disponibilité du service souhaité.

Hébergeant des volumes de données à la fois massifs et stratégiques, les data centers sont essentiels aux fonctions quotidiennes des entreprises et des consommateurs.

Les data centers sont des infrastructures hautement spécialisées. Chaque composant est conçu pour assurer la disponibilité, la performance, la sécurité et la fiabilité des services numériques.

Les data centers sont ainsi constitués de différentes fonctionnalités :

- Les équipements informatiques (principalement les serveurs),
- et toute une infrastructure associée, nécessaire à leur hébergement :
 - un bâtiment ;
 - un système d'alimentation électrique ;
 - un système de refroidissement ;
 - un système de secours énergétique ;

L'ACV permet d'agréger et d'analyser l'ensemble des impacts directs (Scope 1) et indirects (Scope 2) de tous les équipements et matériaux qui sont mis en œuvre pour construire, maintenir et opérer un data center.

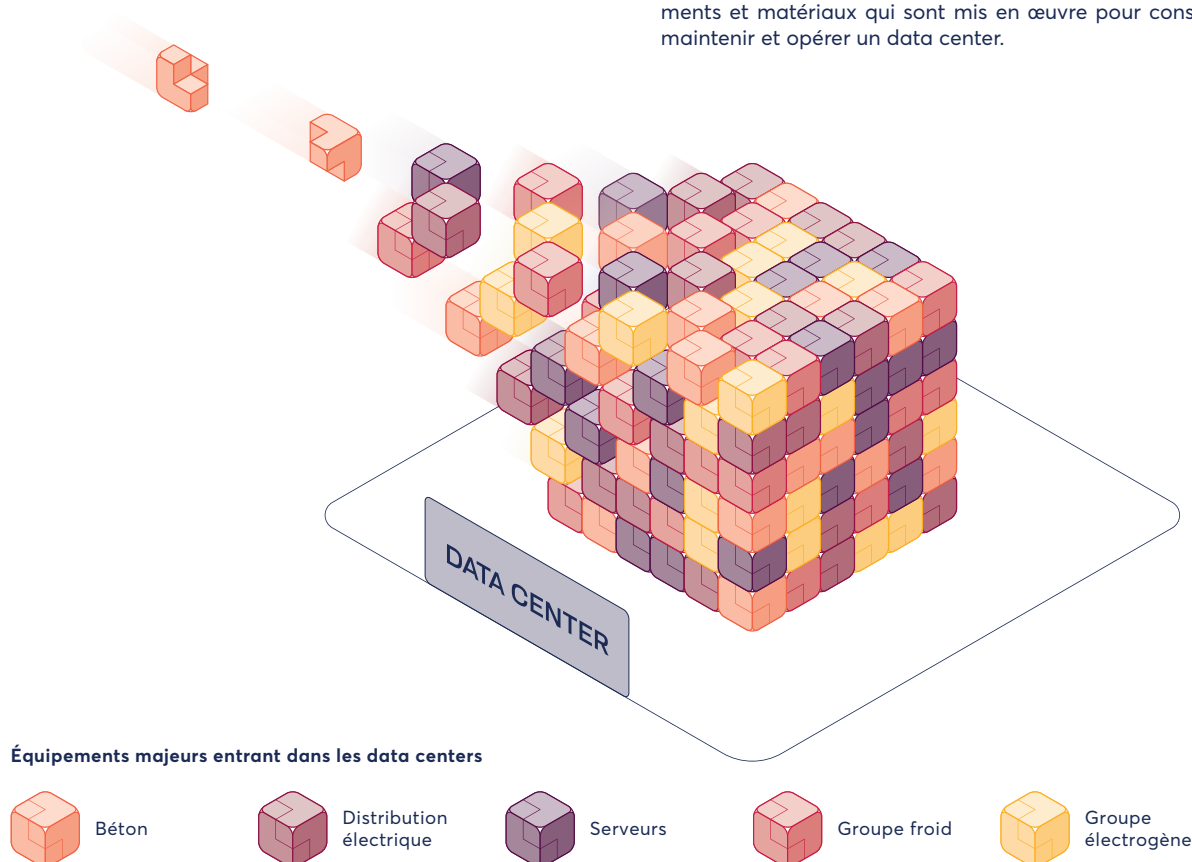


Figure 4 – Représentation simplifiée d'un data center

Détails du rôle de ces différentes fonctionnalités :

Les serveurs informatiques

Cœur névralgique d'un data center, les données sont abritées dans des « **immeubles** » de serveurs. En effet, pour optimiser l'espace, ces derniers sont installés à la verticale dans des racks. Ces équipements sont chargés **d'héberger des applications à base d'intelligence artificielle** et autres services et de les mettre à disposition des utilisateurs finaux à l'aide du réseau.

Pour pallier les éventuelles défaillances, ces ressources sont souvent dupliquées sur les serveurs d'un autre data center, en vue d'assurer une continuité de service aux utilisateurs finaux.

Du fait du périmètre de responsabilité de Data4, les serveurs informatiques ont été exclus du champ de l'ACV tant pour la fabrication que pour l'énergie qu'ils peuvent consommer en phase d'utilisation.

Un bâtiment sécurisé

Spécialiste de l'hébergement hyperscale, c'est-à-dire de plusieurs milliers de mètres carrés, Data4 conçoit et construit des bâtiments, reposant sur une infrastructure solide, entièrement dédiés à l'hébergement de salles informatiques.

Un bâtiment de type data center se compose de 3 types de salles : la salle informatique, les locaux techniques et les espaces de bureaux.

Pour assurer la sécurité des données hébergées, ces sites sont – parfois hautement – protégés afin de se prémunir contre les intrusions physiques et les actes malveillants (vols, coupures d'alimentation, incendies, etc.).

Un système de connectivité

La performance d'un data center dépend aussi de sa connectivité, c'est-à-dire de sa capacité à garantir d'une part, la connexion des équipements entre eux (serveurs, routeurs et commutateurs, baies de stockage) mais également la connexion des plateformes informatiques vers l'extérieur (via Internet ou des réseaux privés) afin de permettre aux utilisateurs finaux de se connecter au data center ou de tout simplement interconnecter plusieurs data centers entre eux.

Ainsi, une multitude de services de connectivité sont disponibles pour répondre aux besoins d'une architecture informatique hybride, sécurisée et efficace.

Un système d'alimentation électrique

Pour fonctionner de manière continue, 24 heures sur 24, 7 jours sur 7, il est essentiel d'alimenter un data center en énergie électrique. En effet, une interruption peut entraîner des pertes de données, des coupures de services voire des dégradations matérielles. Ainsi, l'approvisionnement en électricité d'un data center doit être stable, redondant et ininterrompu.

Le système de refroidissement²

Les équipements informatiques présents dans un data center, comme les serveurs, les baies de stockage et les commutateurs réseau, génèrent une quantité significative de chaleur. Or, un excès de température peut nuire au bon fonctionnement et à l'état général de ses appareils. La mise en place d'un **système de refroidissement** permet d'évacuer la chaleur et de maintenir une température optimale assurant la stabilité et la longévité des équipements. La gestion thermique est donc un facteur clé dans la conception et l'exploitation d'un data center.

Différentes technologies de refroidissement existent. Leur choix est réalisé en fonction de la configuration des locaux, de la taille du data center, des conditions climatiques et des exigences en matière d'efficacité énergétique, etc. Parmi les principales solutions, on trouve :

- le refroidissement par air
- le refroidissement liquide

L'efficacité du refroidissement a un impact direct sur la consommation énergétique du data center. L'indice utilisé pour évaluer cette efficacité est le **PUE (Power Usage Effectiveness)**³. Un PUE proche de 1 signifie que l'énergie dédiée pour le refroidissement est minime par rapport à celle consommée par les équipements informatiques. En ce sens, des solutions de refroidissement plus efficaces permettent non seulement de réduire l'empreinte carbone, mais aussi de diminuer les coûts opérationnels à long terme.

Le système de secours énergétique

La mise en place d'un système de **redondance énergétique** ou de **secours énergétique** est indispensable pour garantir une alimentation continue, en cas de défaillance du réseau principal, et éviter la perte de données ou l'interruption de service.

Deux **systèmes complémentaires cohabitent** :

- **Les onduleurs** ou *Uninterruptible Power Supply* (UPS) couplés à des batteries, fournissent une alimentation temporaire ;
- **Les générateurs de secours** (diesel ou à gaz) fournissent une alimentation de secours pendant une longue période.

En cas de défaillance du réseau, les UPS se déclenchent instantanément. Les générateurs prennent le relais en cas de panne prolongée. Ainsi, la maintenance préventive régulière de ces équipements est cruciale pour s'assurer qu'ils fonctionnent correctement en cas de défaillance du réseau principal.

² <https://www.data4group.com/ressources/refroidissement-data-center/>

³ PUE = Energie utilisée par le data center dans son ensemble divisé par l'énergie utilisée uniquement par les équipements informatiques, pris isolément.

⁴ Haute disponibilité : assurer et garantir un fonctionnement continu des services ou applications grâce à la mise en œuvre de différentes actions / principes (tels que la réplication des données, la sauvegarde, la répartition de la charge, la redondance, etc) pour limiter l'indisponibilité d'un SI.

⁵ Latence : correspond au délai de transmission nécessaire pour envoyer des données d'un data center sur un terminal via les réseaux de communication.

Les data centers doivent répondre à 3 niveaux d'exigences complémentaires :

- **La résilience électrique et la résilience technique** pour permettre un fonctionnement sans interruption, 24 heures sur 24, 7 jours sur 7 ;
- **La sécurité physique et logique** pour garantir l'intégrité des équipements et données hébergées ;

- **La performance**, d'abord énergétique, désormais aussi environnementale.

Un data center doit être conçu pour fonctionner de manière optimale avec une **haute disponibilité**⁴, une **faible latence**⁵, un impact environnemental et des coûts opérationnels minimes.

4

Analyse du cycle de vie du data center

4.1	UNITÉ FONCTIONNELLE	13
4.2	PÉRIMÈTRE CONSIDÉRÉ	14
4.3	HYPOTHÈSES ÉMISES	17
4.4	INDICATEURS SÉLECTIONNÉS	18

Les premières ACV ont été réalisées par Data4 en 2020 sur l'un de ses data centers situé à Marcoussis, en Essonne. Depuis cette date, tous les projets de data centers sont analysés selon cette méthodologie au moment de la conception. Elle a permis d'établir des tendances sur les impacts environnementaux de cette typologie de bâtiments industriels.

Ce livre blanc a pour objectif de présenter et partager les résultats d'une ACV représentative, formalisée sur le data center du campus français.

Les caractéristiques techniques du data center :

- Surface totale : 4278 m²
- Surface informatique : 2025 m²
- Puissance électrique dédiée aux serveurs (dite puissance IT) : 5 MW IT, pour un usage projeté à 70 % (correspondant au taux de charge moyen).
- Une structure comprenant près de 5 200 m³ de béton et 500 tonnes d'acier, et 3 868 m² d'isolation et 5 880 m² de toits imperméabilisés.
- Une alimentation électrique principale redondée et la distribution avec des armoires électriques (8 tableaux généraux basse tension) et 30 268 mètres de câbles.
- Un système de refroidissement correspondant à 20 groupes froids dédiés aux salles informatiques et 3 complémentaires pour les locaux techniques.
- Un système de sauvegarde de l'énergie comprenant des batteries (2 800 kg) et quatre générateurs diesel.

Le présent chapitre décrit de manière non exhaustive le champ de l'étude pris en compte pour réaliser l'ACV du data center. Il est à noter que cette évaluation s'appuie sur :

- le logiciel open-source **openLCA** ;
- la base de données **Ecoinvent (version 3.8)**, mondialement reconnue pour sa couverture géographique et sectorielle élevée ;
- la méthode d'évaluation de l'impact du cycle de vie (**LCIA**) **Environmental Footprint 3.0**, fournie par la Commission européenne.

4.1 Unité fonctionnelle

Selon la norme ISO 14040-44, l'unité fonctionnelle correspond à la « performance quantifiée d'un système de produits destinée à être utilisée comme unité de référence dans une analyse du cycle de vie ». Autrement dit, elle permet de quantifier la fonction rendue par des produits ou des services étudiés par l'ACV : il s'agit du service rendu.

Ainsi, l'unité fonctionnelle retenue pour l'évaluation du data center :

Fournir les services d'hébergement permettant le fonctionnement des équipements informatiques physiques du data center situé en Essonne et d'une puissance de 5 MWIT, durant 20 ans soit l'ensemble de son cycle de vie.

4.2 Périmètre considéré

L'analyse tient compte de l'ensemble des étapes du cycle de vie d'un data center depuis l'extraction des matières premières jusqu'à sa démolition en fin de vie en passant par les phases de fabrication, distribution/transport, construction, exploitation et maintenance, traitement en fin de vie comme représenté sur la figure 5.

Cela inclut tous les équipements et matériels nécessaires au fonctionnement de l'infrastructure d'un data center, **mais exclut la fabrication et l'utilisation des équipements informatiques**, comme le recommande le « RCP services d'hébergement informatique des data centers et des services cloud ». Les émissions des activités de démolition sont également exclues du modèle.

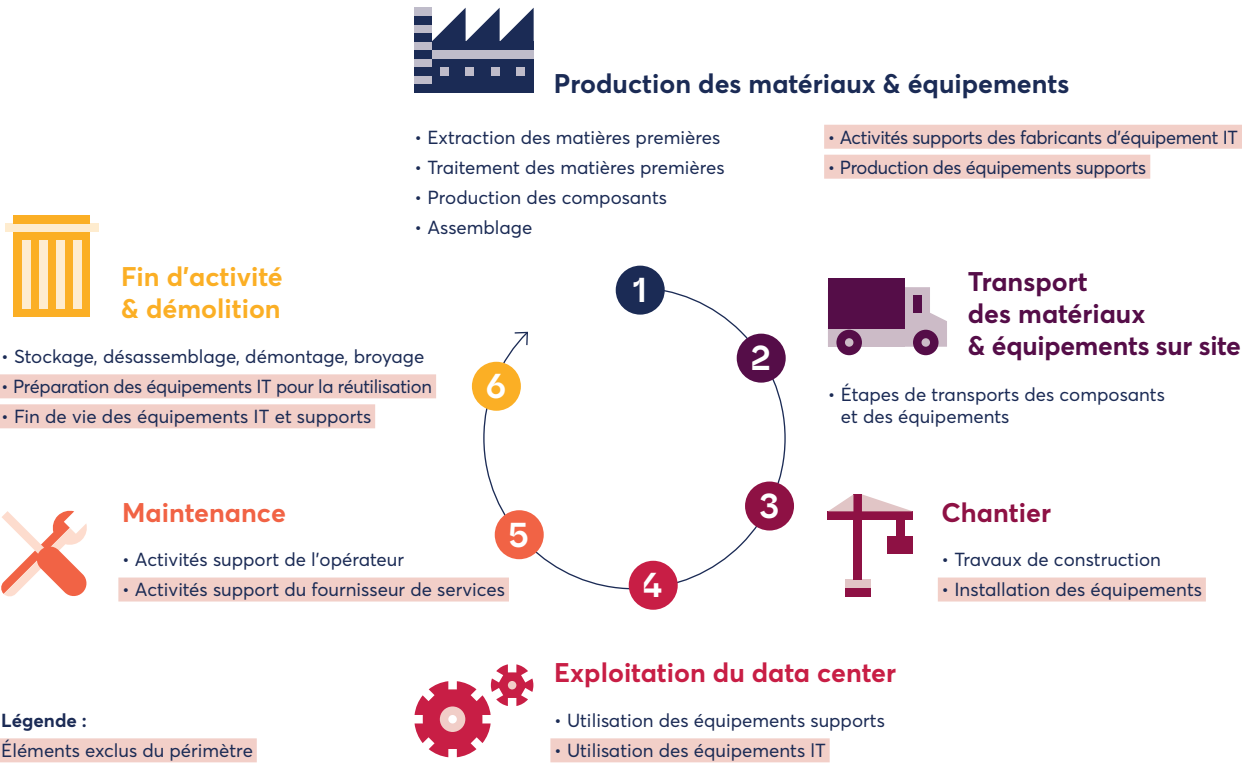


Figure 5 – Périmètre du système étudié par étape du cycle de vie

La figure 6 représente schématiquement les frontières du système et les grandes étapes prises en compte dans la modélisation. Les données utilisées pour l'étape de fabrication comprennent les étapes amont d'extraction des matières et de leur transformation.

La consommation directe d'énergie de l'étape de construction est modélisée par la combustion de diesel et la consommation d'électricité, selon le réseau utilisé dans le pays du data center.

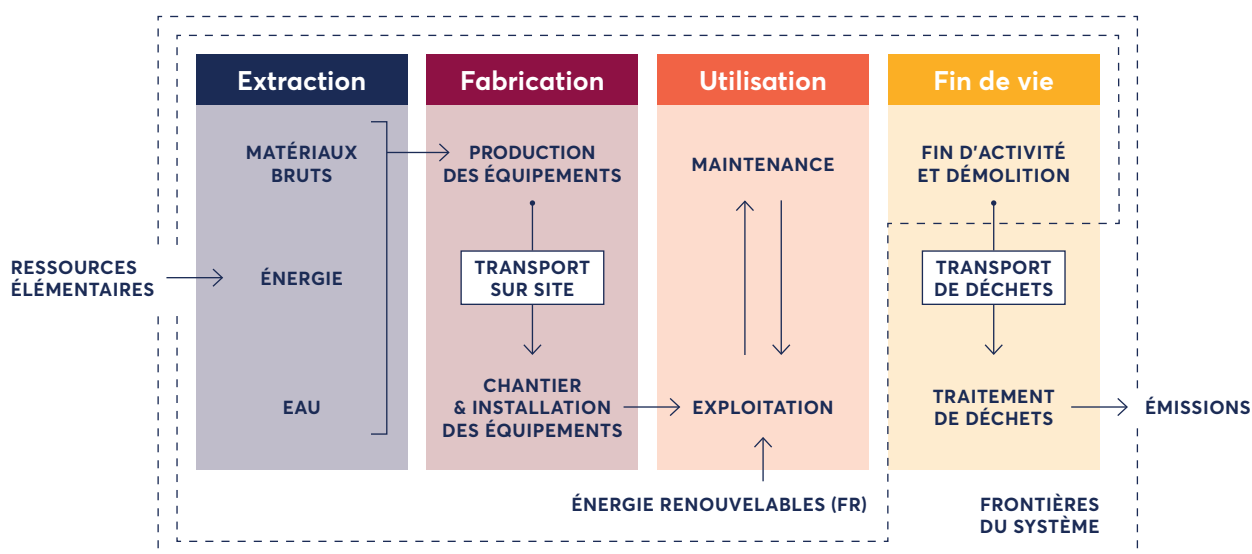


Figure 6 – Schéma des frontières du système étudié

Lors de la présentation des résultats, les étapes de cycles de vie seront présentées comme dans le Tableau 1 ci-dessous :

PHASES DU CYCLE DE VIE	DESCRIPTION
Production des équipements et matériaux	Extraction des matières premières et processus de fabrication des équipements.
Transport des équipements et matériaux sur site	Acheminement des matériaux et des équipements jusqu'au site de construction du data center, tous modes confondus (routier, maritime, etc.).
Chantier et installation	Travaux de construction, assemblage et installation des lots techniques (électricité, refroidissement, structure), jusqu'à la mise en service.
Exploitation	Fonctionnement du data center : Consommation énergétique des équipements techniques, en particulier des systèmes de refroidissement, Fuites de gaz frigorigènes, Combustion de fioul lors des essais de maintenance des groupes électrogènes.
Maintenance	Renouvellement des composants et équipements ayant perdu en efficacité au cours de la phase d'exploitation du data center pour maintenir sa performance énergétique et sa résilience.
Fin d'activité	Démantèlement des équipements techniques et déconstruction du bâtiment. Gestion des déchets, valorisation ou recyclage des matériaux et composants.

Tableau 1 – Synthèse des étapes du cycle de vie considérées

DATA CENTERS : MESURER L'IMPACT POUR MIEUX AGIR

Lors de la présentation des résultats, les fonctions du data center seront présentées comme dans le Tableau 2 ci-dessous :

FONCTIONS	SOUS-FONCTIONS	DESCRIPTION
Bâti DC	Fondations	Ensemble des structures physiques : fondations, gros œuvre, second œuvre, cloisonnements techniques, et enveloppe du bâtiment. Fournit le socle physique, la compartimentation et la sécurité passive des salles IT et des locaux techniques.
	Structure porteuse	
	Enveloppe	
	Aménagement intérieur	
Refroidissement IT	Production de froid	Ensemble des systèmes permettant l'évacuation de la chaleur produite par les équipements informatiques (hors périmètre), via des installations techniques dédiées. Cela comprend notamment : les groupes frigorifiques, les aéroréfrigérants, les CTA (centrales de traitement d'air), les circuits hydrauliques (pompes, tuyauterie, vannes, échangeurs) et les armoires de climatisation en salle.
	Distribution de froid	
Alimentation électrique	Conversion	Chaîne d'alimentation continue en électricité : transformateurs, tableaux HT/BT, PDU, câbles. Garantit la disponibilité et la qualité de l'alimentation pour les équipements critiques.
	Distribution	
Back-up énergétique	Stabilisation et protection de la tension	Ensemble des équipements assurant la continuité de service électrique en cas de défaillance de l'alimentation principale : groupes électrogènes, cuves à fioul, batteries, onduleurs (UPS).
	Alimentation de secours	
Chauffage, Ventilation, Climatisation (CVC) non IT	Ventilation et rafraichissement des locaux techniques	Ensemble des installations CVC dédiées au confort et à la sécurité, hors salles IT : ventilation des locaux techniques et de circulation, climatisation des locaux batteries et des bureaux, chauffage des zones de vie, désenfumage, etc.

Tableau 2 – Synthèse des fonctions considérées

4.3 Hypothèses émises

Pour modéliser le data center, Data4 a fourni et utilisé des données spécifiques au data center. Plusieurs sources de données ont été utilisées en complément des données primaires :

- *Environmental Product Declaration* (EPD),
- Fiches techniques,
- Publications scientifiques,
- Base de données Ecoinvent.

PHASES DU CYCLE DE VIE	DESCRIPTION
Production des équipements et matériaux	• Plusieurs EPD utilisées et mises à disposition par les fournisseurs • Fondation du bâtiment : un mélange de béton alternatif à base de ciment CEM III/A utilisé • Production de gaz réfrigérants à faibles émissions de GES : modélisés selon la norme EN 15804 (conformément aux normes EPD) • Composants d'imperméabilité modélisés à l'aide de produits génériques d'imperméabilité au bitume • L'isolation des murs en laine minérale : la laine de roche a été considérée et modélisée à l'aide d'un processus générique • Densité du béton estimée : 2 400 kg/m³
Transport des équipements et matériaux sur site	• Les distances de transport ont été calculées en utilisant l'itinéraire le plus court disponible • La livraison du réfrigérant est incluse dans le transport du système de refroidissement concerné • Transport des câbles : une distance de transport de 1000 km entre le fabricant et le site de construction par camion diesel EURO 5 a été supposée
Chantier et installation	• Eau et énergie consommée en phase chantier
Exploitation	• Durée d'exploitation du data center considérée à 20 ans⁶ • Consommation d'électricité du data center hors IT : en moyenne 840 kW, soit 7 358 MWh par année • Mix d'énergies renouvelables utilisé, en majorité : le vent, l'hydroélectricité, l'énergie solaire, modèle retenu car il correspond à la politique d'achat d'électricité renouvelable mise en œuvre par Data4. • Consommation de diesel pour l'entretien et le fonctionnement des générateurs carburant, 25 848 litres par an • Consommation d'eau des humidificateurs : 14,26 litres par an • Fuite de réfrigérant : taux de 3 % par an au cours du cycle de vie
Maintenance	• Remplacement des batteries tous les 8 ans (hypothèse conservatrice pénalisante prenant en compte les pratiques opérationnelles sécurisantes) - 10 ans préconisée par le RCP (Référentiel par Catégorie de Produit)
Fin d'activité	• Les résidus produits par la démolition sont envoyés dans des filières de traitement des déchets • Activité de recyclage importante pour les métaux, le béton et les batteries : - Acier : 85 % recyclé - Béton armé : 20 % recyclé - Cuivre : 95 % recyclé - Batterie au plomb : 100 % recyclé - Aluminium : 95 % recyclé - Laine minérale : 40 % recyclé

Tableau 3 - Présentation des hypothèses mises en œuvre pour l'évaluation du data center

⁶ Cette étude est antérieure à la rédaction du RCP Datacenter & Cloud de l'ADEME qui suggère de considérer une durée de vie de 50 ans pour un data center.

4.4 Indicateurs sélectionnés

Les indicateurs calculés lors des ACV Data4 sont plus exhaustifs que les recommandations du Référentiel par Catégorie de Produit (RCP), comme le montre le tableau ci-dessous

	RECOMMANDATIONS DU RCP	SÉLECTION MISE EN ŒUVRE PAR DATA4
INDICATEURS ENVIRONNEMENTAUX À CONSIDÉRER	• Changement climatique • Épuisement des ressources minérales et métalliques • Acidification • Radiations ionisantes • Émissions de particules fines	• Changement climatique, • Épuisement des ressources minérales et métalliques • Épuisement des ressources fossiles • Acidification • Eutrophisation, eau douce • Formation d'ozone photochimique • Appauvrissement de la couche d'ozone • Épuisement des ressources en eau

Tableau 4 – Présentation des indicateurs sélectionnés par Data4

Pour la suite du Livre Blanc, trois indicateurs spécifiques vont être analysés car ils permettent de mettre en évidence des conclusions différentes et complémentaires.

INDICATEURS D'IMPACT	UNITÉ	TYPE DE SUBSTANCES IMPLIQUÉES	DESCRIPTION DU PHÉNOMÈNE
Changement climatique	Kg CO ₂ eq.	Gaz à effet de serre (dioxyde de carbone, méthane, ozone, protoxyde d'azote...) émis lors de la consommation de combustibles fossiles, élevage...	Initialement phénomène naturel, l'effet de serre est amplifié par les gaz à effets de serre qui bloquent et réfléchissent les rayons infrarouges émis par la Terre et provoquent un réchauffement climatique.
Epuisement des ressources minérales	Kg Sb	Métaux et terres rares	Prend en compte la consommation de ressources naturelles telles que le fer, l'aluminium, ... en tenant compte de la disponibilité de la ressource
Epuisement des ressources en eau	m ³ dépriv.	Eau	Consommation d'eau tenant compte des réserves disponibles selon le lieu de consommation

Tableau 5 – Description synthétique des différents indicateurs d'impacts retenus

Depuis 2020, tous les projets de data centers de Data4 sont analysés selon la méthodologie énoncée ci-dessus, permettant ainsi d'établir des tendances sur les impacts environnementaux de cette typologie de bâtiments industriels, qui sont présentées dans la partie suivante.

5

Résultats de l'ACV du data center et propositions d'améliorations

5.1	RÉSULTATS GLOBAUX	21
5.2	IMPACTS DU DC SOUS L'ANGLE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE	26
5.3	IMPACTS DU DC SOUS L'ANGLE DE L'ÉPUISEMENT DES RESSOURCES EN EAU	30
5.4	IMPACTS DU DC SOUS L'ANGLE DES RESSOURCES MINÉRALES ET MÉTALLIQUES	36

Dans cette partie, les résultats de l'évaluation⁷ du data center sont présentés et expliqués à l'échelle globale, puis détaillés sur trois indicateurs environnementaux spécifiques.

5.1 Résultats globaux

5.1.1 VISION DE L'IMPACT SUR TOUT LE CYCLE DE VIE

L'analyse des résultats met en évidence deux phases ayant un impact prépondérant sur l'ensemble du cycle de vie :

- La phase de construction du data center incluant la production des équipements et des matériaux et la phase chantier.
- La phase d'exploitation et de maintenance,

La Figure 7 montre que :

- 40 à 61 % des impacts environnementaux sont attachés à la phase d'exploitation sur une durée de vie de 20 ans,
- 31 et 60% des impacts environnementaux sont liés à la phase de fabrication des matériaux et équipements du data center.

Les impacts environnementaux associés au transport des équipements et matériaux jusqu'au site de construction, ainsi que la phase de chantier, ont un impact relatif marginal.

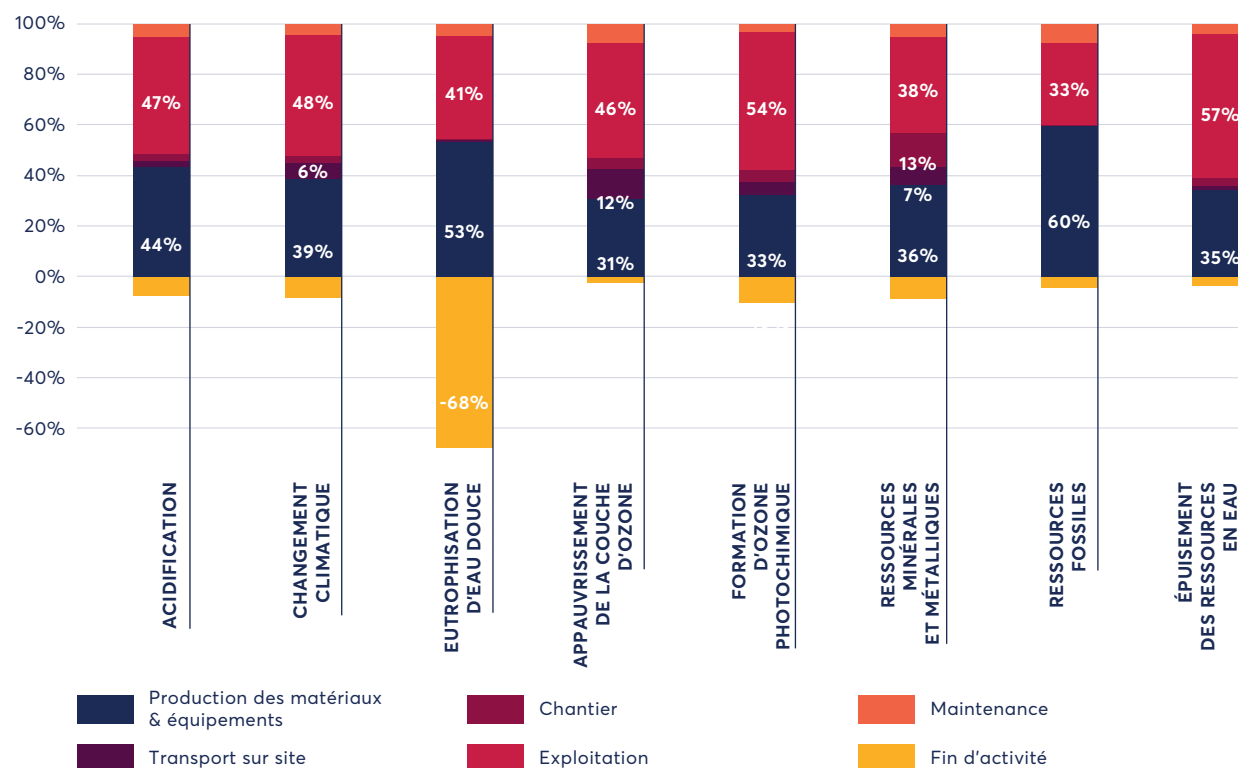


Figure 7 – Impacts du data center en multicritères par phase du cycle de vie

⁷ Cette évaluation n'a pas donné lieu à un processus de revue critique, comme préconisé par la norme ISO 14040-44, dans le cadre d'une communication grand public. Cependant, Data4 et APL Data Center entendent répondre et assumer tous commentaires apportés à ce livre blanc et se tiennent à disposition pour plus d'informations.

DATA CENTERS : MESURER L'IMPACT POUR MIEUX AGIR

À RETENIR

- L'impact environnemental global d'un data center sur son cycle de vie est lié en majorité à 2 étapes :
- La phase d'exploitation - 50 % des impacts en particulier les consommations d'énergie
 - La phase de production des matériaux & équipements - 40 % des impacts – en amont de la construction du data center

5.1.2 FOCUS CONSTRUCTION – VENTILATION DE L'IMPACT PAR FONCTION

Étant donné que le transport des équipements & matériaux, ainsi que la phase de chantier, présentent des contributions environnementales relativement faibles, notre analyse se focalise à présent sur la phase de production des équipements & matériaux .

Dans cette perspective, les sections suivantes se concentrent sur l'analyse détaillée de cette phase, en décomposant les impacts environnementaux selon les principales fonctions techniques du data center.

La ventilation des impacts de fabrication d'équipements & matériaux par grandes fonctionnalités du data center dans la Figure 8 – Impacts du data center en multicritères par fonction, permet d'identifier comme principaux contributeurs :

- Le bâti du data center correspondant à 17-47 % des impacts,
- Le système de back-up énergétique correspondant à 8-29 % des impacts,
- Le système d'alimentation électrique correspondant à 14-63 % des impacts.

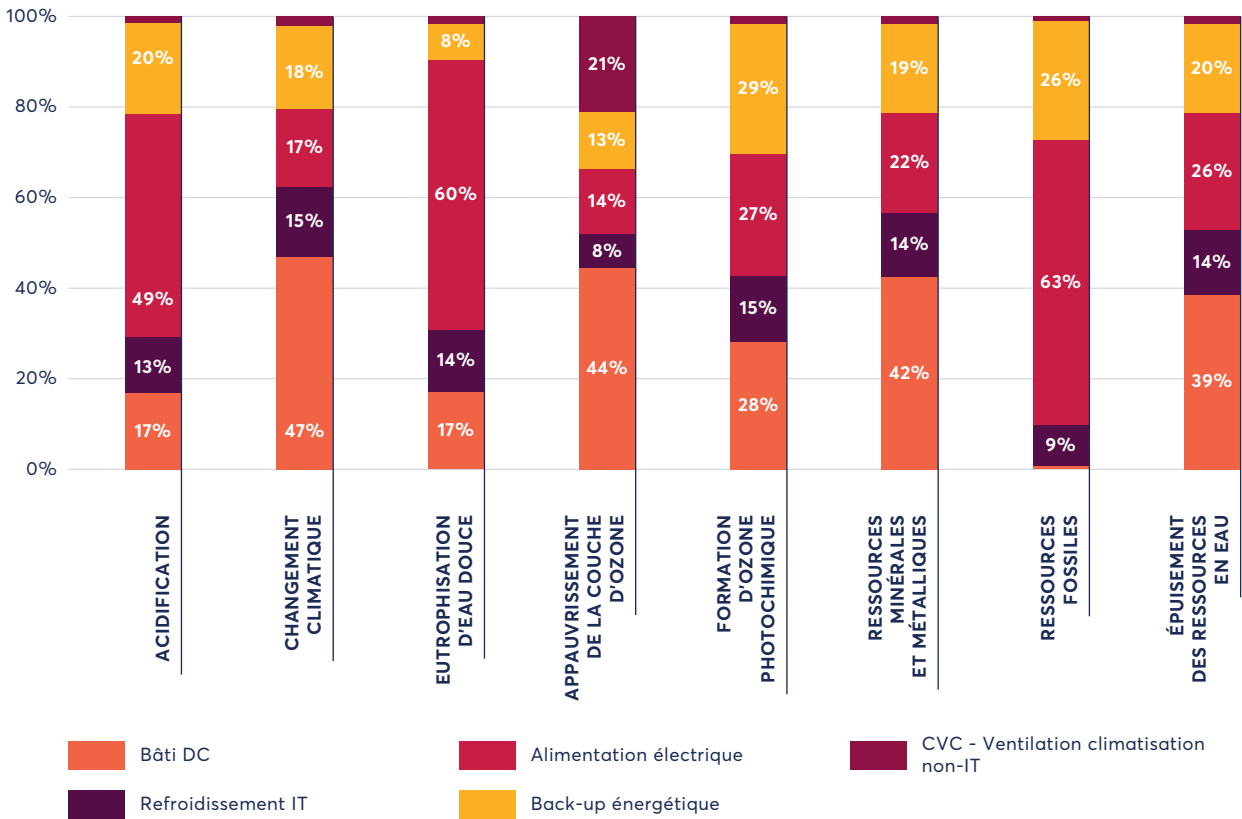


Figure 8 – Impacts du data center en multicritères par fonction

L'impact environnemental de fabrication des équipements & matériaux du data center provient principalement des sous-systèmes suivants :

- Le **bâti**, la structure d'hébergement, constitué d'une enveloppe en acier et béton principalement

- Le **système de secours énergétique**, constitué des onduleurs, des batteries et des groupes électrogènes

- Mais aussi le **système de distribution électrique**.

Les systèmes de refroidissement, bien que responsables en grande partie des impacts d'exploitation, représentent un impact de fabrication moins significatif.

En raison d'interprétations similaires entre plusieurs indicateurs et à des fins de simplification, ce livre blanc détaillera ensuite plus particulièrement la contribution du data center à trois indicateurs environnementaux afin d'assurer une vision complémentaire et exhaustive des enjeux environnementaux significatifs d'un data center à savoir :

- Le changement climatique,
- L'épuisement des ressources métalliques et minérales,
- L'épuisement des ressources en eau.



Le changement climatique

Le changement climatique (communément appelé empreinte carbone) est l'indicateur environnemental le plus suivi. Il correspond au potentiel de réchauffement de la planète provoqué par la concentration de gaz à effet de serre qui bloquent et réfléchissent les rayons infrarouges émis par la Terre dans l'atmosphère. Il est mesuré en kilogrammes CO₂ équivalent.

Pourquoi suivre cet indicateur dans le cadre d'un data center ?

Tout au long de son cycle de vie (extraction des matières premières, production des équipements, chantier, exploitation, fin d'activité), un data center consomme des ressources qui sont extraites, transformées, assemblées, transportées, utilisées avant d'être détruites. Chacune de ces étapes nécessite de la consommation d'énergie et occasionne des émissions de gaz à effet de serre dans l'environnement participant ainsi au réchauffement planétaire.



L'épuisement des ressources métalliques et minérales

L'épuisement des ressources minérales est l'indicateur correspondant à la pression exercée sur les réserves de ressources naturelles non renouvelables (fer, aluminium, cuivre, silice...) par leur consommation. L'impact sur cet indicateur est lié à l'augmentation de l'extraction de ressources pour la fabrication des matériaux et équipements. Il est mesuré en kilogrammes d'antimoine (Sb) équivalent.

Pourquoi suivre cet indicateur dans le cadre d'un data center ?

Les data centers concentrent un nombre important d'appareils électroniques (équipements de refroidissement et réseaux, câbles et batteries), tous constitués de métaux, parfois rares et de ressources épuisables.



L'épuisement des ressources en eau

L'indicateur d'épuisement des ressources en eau évalue la consommation d'eau en prenant en compte un facteur de rareté de l'eau douce disponible selon le lieu de consommation. Il est mesuré en m³ d'eau équivalent.

Pourquoi suivre cet indicateur dans le cadre d'un data center ?

Cette ressource vitale est de plus en plus en tension du fait des activités humaines. Or, l'eau est souvent au cœur des processus de transformation des matériaux, de nettoyage des équipements mais aussi des processus d'humidification et de refroidissement de certains data centers.

Le tableau 5 (page 24) résume les indicateurs d'impact présentés dans ce livre blanc et la description du phénomène associé à chacun.

DATA CENTERS : MESURER L'IMPACT POUR MIEUX AGIR

5.1.3 FOCUS PHASE D'EXPLOITATION

La phase d'exploitation est l'origine principale des impacts environnementaux du data center sur la quasi-totalité des indicateurs étudiés (exception faite de l'épuisement des ressources minérales et métalliques).

La ventilation des impacts d'exploitation dans la Figure 9 permet d'identifier comme principaux contributeurs :

- La consommation d'énergie (hors IT) représente 45 à 93 % des impacts,

- Le système de back-up énergétique correspondant à la consommation de carburant pour les essais mensuels des groupes électrogènes, représente 1 % à 42 % des impacts,
- La maintenance des équipements correspondant au remplacement des batteries après 8 ans d'utilisation et la compensation des pertes de fluide frigorigène par les groupes froids, représente 5 à 18 % des impacts.



Figure 9 – Impacts du data center en multicritères par fonction

En phase d'exploitation, les impacts environnementaux sont donc principalement liés à la consommation d'électricité associée aux équipements techniques.

Celle-ci est généralement caractérisée par l'indicateur PUE (Power Usage Effectiveness), qui est un ratio entre l'énergie totale consommée par le data center, rapportée à l'énergie utile consommée par les équipements informatiques (IT).

Pour le data center, la puissance électrique moyenne consommée est de 4,34 MW⁸ et le bilan de puissance prévoit une répartition entre :

- 3,0 MW pour les équipements IT (serveurs),
- 1,34 MW pour les systèmes de support,

Soit un PUE de 1,43.

Les fonctions les plus consommatrices sont les suivantes :

POSTE (HORS IT)	PART DE CONSOMMATION HORS IT ESTIMÉE	ÉQUIV. MW POUR DATA CENTER	PART DU TOTAL SITE (POUR DATA CENTER)
Refroidissement IT	65–75 %	0,55–0,63 MW	12–15 %
Alimentation électrique IT (pertes des onduleurs, transfos, distribution)	20–25 %	0,17–0,21 MW	4–5 %
Autres (CVC non-IT et autres auxiliaires : éclairage des locaux, systèmes de sûreté/contrôle d'accès)	5–10 %	0,04–0,08 MW	1–2 %

Tableau 6 – Fonctions les plus consommatrices d'énergie

À RETENIR

L'impact environnemental d'exploitation du data center provient principalement de la consommation énergétique des équipements de l'environnement technique, et en particulier :

- Le **système de refroidissement IT** : groupes froids, CTA, pompes, armoires de climatisation
- Les pertes des équipements du **système de distribution électrique** : onduleurs, transformateurs, tableaux de distribution...

5.1.4 FOCUS PHASE DE FIN D'ACTIVITE

La phase de fin d'activité du data center contribue, quant à elle, à réduire les impacts environnementaux nets de l'infrastructure⁹.

En ACV, cette réduction s'explique par les crédits environnementaux dits « impacts évités », associés au recyclage et au réemploi des matériaux métalliques et de construction, qui permettent d'éviter la production de matières vierges en fin de vie.

Cette « valeur négative » vient compenser partiellement les impacts générés en amont, sur l'ensemble des indicateurs étudiés. Ces impacts positifs étant temporellement très éloignés, ils sont donc par nature très incertains, et nous avons choisi de les exclure de l'analyse à suivre.

⁸ En s'appuyant sur une hypothèse de besoin en puissance correspondant à un taux de charge informatique du data center de 70%.

⁹ Sur la figure 7, les valeurs affichées sont exprimées en pourcentage du total des impacts générés par le data center, hors prise en compte des réductions liées à la fin d'activité.

5.2 Impacts du DC sous l'angle du changement climatique



5.2.1 VISION DE L'IMPACT SELON LE CYCLE DE VIE

L'empreinte carbone nette totale du data center sur 20 ans est de 12 613 538 kg CO₂ eq, soit l'équivalent des émissions de près de 289 Européens sur la même période¹⁰.

D'après le Tableau 7, les deux phases du cycle de vie les plus impactantes sur le changement climatique sont :

- **La phase d'exploitation est l'étape la plus contributrice avec 6 591 792 kg CO₂ eq, soit 48 % des émissions totales** : dû à la consommation d'électricité des équipements de production ou de distribution de froid nécessaires au fonctionnement d'un data center, et dans une moindre mesure aux pertes dans la distribution électrique. Le calcul tient compte du mix énergétique renouvelable français (68 %), modèle retenu car il correspond à la politique d'achat d'électricité renouvelable mise en œuvre par Data4.

En addition, l'usage de carburant lors des maintenances des groupes électrogènes, contribue à hauteur de 23 %.

- **La phase de production des équipements et des matériaux constitue la deuxième source d'impact la plus significative, représentant 5 352 830 kg de CO₂, soit 39 % des émissions totales.**

Cet impact est principalement attribuable à la fabrication des matériaux destinés à la structure et aux fondations du data center, qui concentrent à eux seuls 47 % des émissions liées à la phase de production.

En effet, le béton, les métaux et autres matériaux de construction génèrent de fortes émissions de gaz à effet de serre au cours de leur extraction et leur transformation. Les équipements de refroidissement, et les équipements de secours et d'alimentation électrique constituent chacun 16 à 18 % de l'impact de production, en particulier pour la fabrication de gros équipements (groupes froids, groupes électrogènes, onduleurs, tableaux électriques).

PHASE	IMPACT SUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE (KG CO ₂ EQ)	POURCENTAGE DE CONTRIBUTION
Production des matériaux & équipements	5 352 830	39 %
Transport sur site	869 047	6 %
Chantier	370 245	3 %
Exploitation	6 591 792	48 %
Maintenance	570 482	4 %
Fin d'activité	-1 140 858	-8 %
Total (brut)	13 754 397	100 %

Tableau 7 – Impacts du data center sur le changement climatique par phase du cycle de vie

¹⁰ Source : Considérant la consommation d'électricité annuelle d'un Européen moyen était de 5990 kWh en 2023 avec un facteur carbone de 207 kgCO₂eq/MWh (base de données EAA Europa)

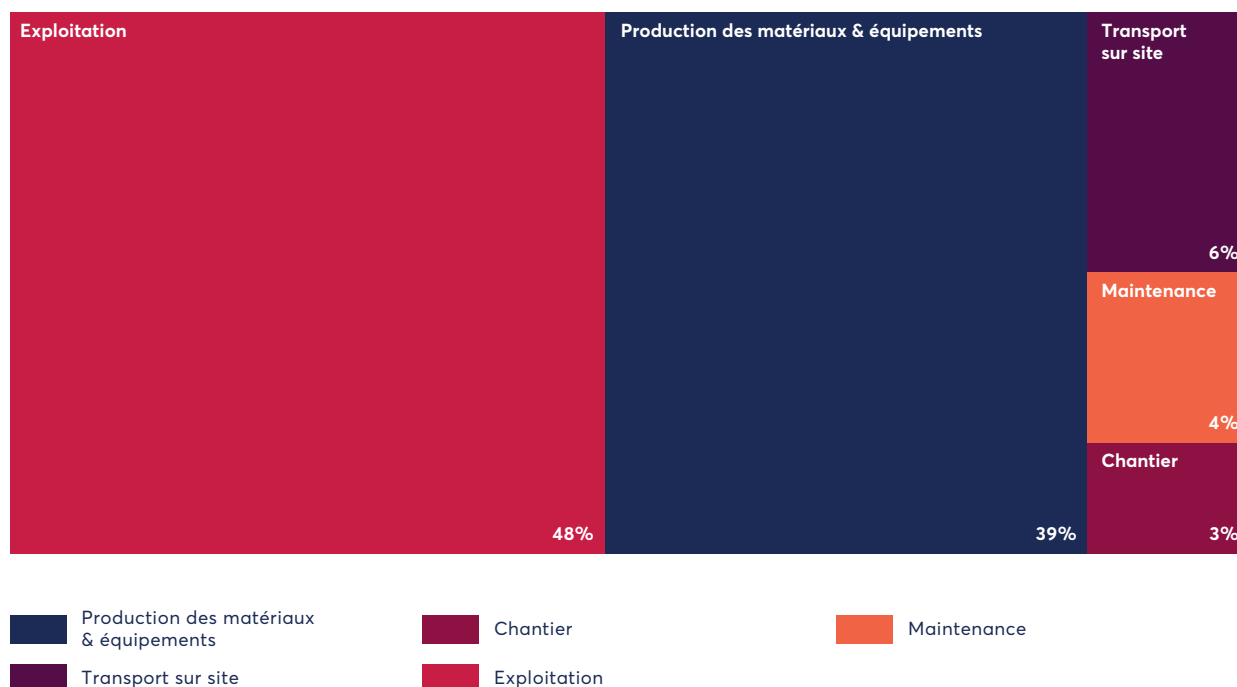


Figure 10 – Impacts du data center sur le changement climatique par phase du cycle de vie

5.2.2 VISION DE L'IMPACT PAR FONCTION

D'après le Tableau 8, les impacts sur le changement climatique proviennent essentiellement de quatre fonctions :

1. Les matériaux du **bâtiment du data center** contribuent à **47 % de l'impact total**. Ce poste est fortement influencé par la **structure porteuse** (32 %) et les **fondations** (11 %), qui mobilisent d'importantes quantités de matériaux à fort impact carbone, tels que le **béton armé** et l'**acier**.
2. Le **système de back-up énergétique** (générateurs, onduleurs, batteries) représente **18 %** des émissions de gaz à effet de serre. Ce résultat s'explique par l'utilisation de matériaux fortement transformés et donc consommateurs d'énergie en phase de fabrication pour les groupes électrogènes, onduleurs et batteries.
3. L'**alimentation électrique** représente **17%** des émissions, principalement du fait des matériaux entrant dans la fabrication des tableaux électriques de distribution.
4. De manière similaire, les impacts liés au **refroidissement IT** représentent **16 % des émissions de la phase de production**. Cette contribution est principalement liée à l'extraction et à la transformation des matériaux nécessaires à la fabrication des équipements de production de froid (groupes froids), qui comptent pour 6 % des émissions, ainsi qu'à celle des nombreux dispositifs de distribution de froid — tels que les armoires de climatisation, les centrales de traitement d'air (CTA) et les fanwalls — responsables de 10 % des émissions.

DATA CENTERS : MESURER L'IMPACT POUR MIEUX AGIR

FONCTION	SOUS-FONCTION	IMPACT SUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE (KG CO ₂ EQ)	POURCENTAGE DE CONTRIBUTION
Bâti DC	Fondations	577 143	10,8 %
	Structure porteuse	1 715 145	32,0 %
	Enveloppe	122 265	2,3 %
	Aménagement intérieur	97 373	1,8 %
	Total	2 511 925	46,9 %
Refroidissement IT	Production de froid	297 304	5,6 %
	Distribution de froid	531 554	9,9 %
	Total	828 857	15,5 %
Alimentation électrique IT	Conversion	176 981	3,3 %
	Distribution	744 732	13,9 %
	Total	921 713	17,2 %
Back-up énergétique	Groupes électrogènes/ Onduleurs/Batteries	982 813	18,4 %
CVC - Ventilation & climatisation non-IT	Ventilation LT	36 021	0,7 %
	Traitement d'air (hors IT)	71 500	1,3 %
	Total	107 521	2,0 %
Total		5 352 830	100 %

Tableau 8 – Impacts du data center sur le changement climatique par fonction

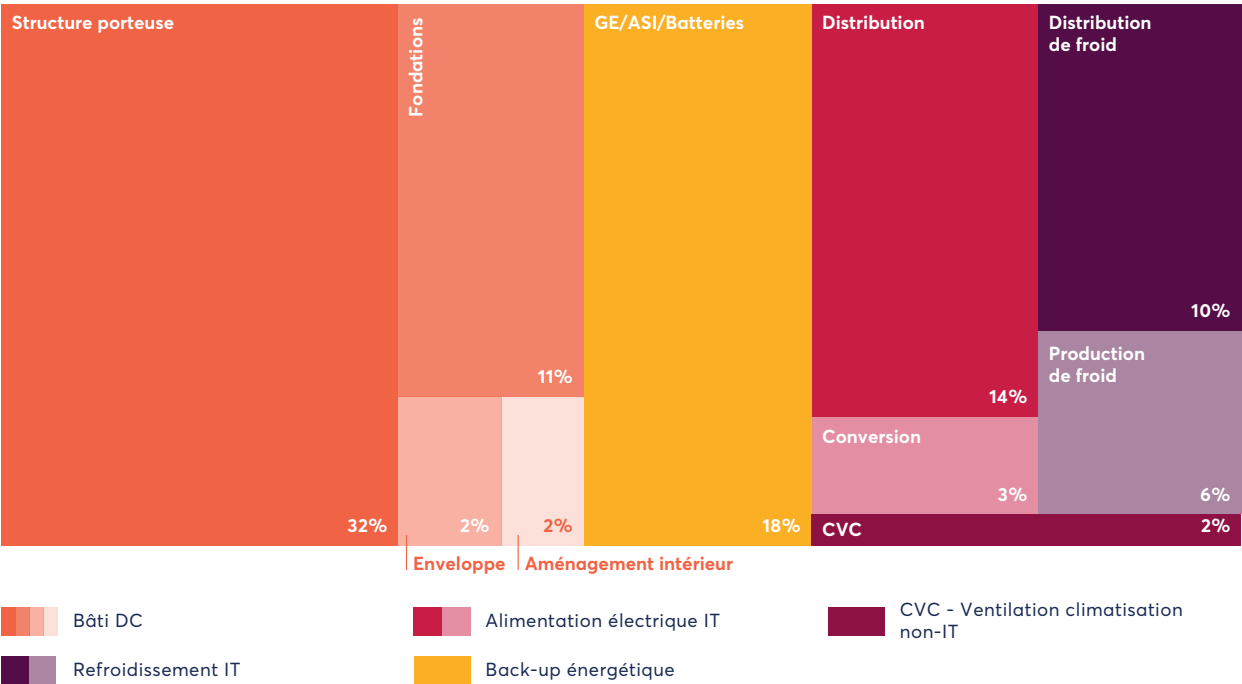


Figure 11 – Impacts du data center sur le changement climatique par fonction

PRODUCTION

L'étape de production des équipements et matériaux contribue à hauteur de **39 % à l'impact du data center sur le changement climatique**, soit 5 352 830 kg.CO₂ eq.

Parmi ces 39 % d'impact :

- 43 % sont liés à la fabrication de la structure du bâtiment
- 8 % sont liés à la fabrication des éléments de backup
- 17 % sont liés à la fabrication de l'alimentation électrique et distribution
- 16 % sont liés à la fabrication des équipements de refroidissement

À titre de comparaison, la construction du data center d'une capacité de 5 MW, génère un impact carbone équivalent à la fabrication de quatre avions de ligne de type Airbus A320 (estimée à 1 320 000 kgCO₂eq par appareil⁹).

EXPLOITATION

La phase d'exploitation du data center représente **48 % de l'impact total sur le changement climatique, soit 7 162 274 kgCO₂ eq.** Parmi ces émissions, 68 % sont directement liées à la production d'électricité issue de sources renouvelables, consommée par les équipements techniques du data center.

La consommation d'électricité annuelle d'un européen moyen était de 5990 kWh en 2023¹⁰ avec un facteur carbone de 207 kgCO₂eq/MWh¹¹, soit des émissions annuelles de 1240 kgCO₂eq/personne.an. L'exploitation hors-IT du data center (de capacité 5 MW IT) sur 20 ans a donc une empreinte carbone équivalente à la **consommation électrique de 289 européens sur la même période.**

⁹ Vivalda, P.; Fioriti, M. Stream Life Cycle Assessment Model for Aircraft Preliminary Design. Aerospace 2024, 11, 113. <https://doi.org/10.3390/aerospace11020113>

¹⁰ Source : <https://ember-energy.org/data/yearly-electricity-data/>

¹¹ Source : <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/greenhouse-gas-emission-intensity-of-1?>



5.2.3

ACTIONS D'AMÉLIORATION

Pour réduire l'impact sur le changement climatique pendant la phase d'exploitation :

- **Amélioration de l'efficacité énergétique** : réduction du Power Usage Effectiveness (PUE) de 9 % entre 2021 et 2024, grâce à un pilotage en temps réel de la consommation électrique, une gestion optimisée des températures dans les salles informatiques et l'optimisation des technologies de refroidissement, notamment via le "free chilling" (refroidissement à l'air extérieur).
- **Réutilisation de la chaleur fatale** : lancement d'un projet pilote de data center bio-circulaire à Marcoussis (Essonne), en partenariat avec l'Université Paris-Saclay, pour réutiliser la chaleur produite dans la culture d'algues transformées ensuite en biomasse pour la bioénergie et l'agro-industrie. Le taux de valorisation de la chaleur escompté dépasse 20 %, soit mieux que les standards traditionnels.

- **Approvisionnement en énergie renouvelable** : renforcement des Power Purchase Agreements (PPA) pour garantir un approvisionnement en électricité renouvelable, contribuant à la stabilité du réseau et à la réduction de l'empreinte carbone liée à l'énergie consommée.
- **Utilisation de carburant bas carbone pour les groupes électrogènes** : adoption du carburant HVO (Hydrotreated Vegetable Oil) pour les groupes électrogènes, permettant de réduire de 70 % les émissions globales de gaz à effet de serre (GES) par rapport au fioul conventionnel.
- **Réduction de l'impact des fluides frigorigènes** : remplacement progressif des anciens fluides à fort Potentiel de Réchauffement Global (PRG) par des fluides à faible PRG dans les refroidisseurs ; 5 data centers concernés en 2024.
- **Réduction de l'impact des équipements électriques** : installation d'un tableau de distribution moyenne tension sans SF₆ (gaz à effet de serre très puissant) dans le data center 8.2 de Milan, réduisant de 70 % les émissions de CO₂ liées à cet équipement.

DATA CENTERS : MESURER L'IMPACT POUR MIEUX AGIR

Pour réduire l'impact sur le changement climatique pendant la construction :

- **Construction bas carbone** : utilisation généralisée de béton bas-carbone pour les fondations et dalles creuses préfabriquées, permettant de diminuer de 50 % les besoins en béton et de réduire de 13 % l'empreinte carbone de chaque nouveau MW IT construit depuis 2022. Objectif : -38 % d'empreinte carbone par MW IT construit d'ici 2030.
- **Réduction de l'utilisation de ressources et du transport** : utilisation de structures préfabriquées, légères et locales, limitant la distance de transport à 30 km, ce qui permet de réduire significativement l'empreinte carbone liée à la logistique.
- **Réemploi de matériaux et composants** : réutilisation de matériaux de chantier de seconde main ou de certains composants IT ou électriques pour limiter l'empreinte carbone de la construction.

- **Éco-conception systématique** : intégration de plus de 50 options et solutions d'éco-conception dans tous les nouveaux projets de data centers, conformément à 56 exigences techniques durables.
- **Certification environnementale BREEAM** : poursuite de la certification BREEAM pour les nouveaux projets.
- **Compensation carbone** : investissement dans des certificats Label Bas Carbone pour compenser les émissions résiduelles des scopes 1 & 2, et partenariat avec Igloo France Cellulose pour compenser les émissions du scope 3 via l'utilisation de ouate de cellulose (isolant biosourcé à 90 % de papier recyclé).

5.3 Impacts du DC sous l'angle de l'épuisement des ressources en eau



5.3.1 VISION DE L'IMPACT SELON LE CYCLE DE VIE

Comme l'indique le Tableau 9, la **phase d'exploitation du data center contribue à 57 % de l'impact de l'épuisement des ressources en eau**, soit 3 719 482,10 m³ dépriv (mètres cubes d'épuisement de l'eau par kilogramme). Cette consommation d'eau est directement liée à l'usage de l'eau dans la construction et l'exploitation des moyens de production d'énergie. Ici l'impact est attribué au mix énergétique renouvelable français, utilisé pour alimenter les équipements électriques du data center, modèle retenu car il correspond à la politique d'achat d'électricité renouvelable mise en œuvre par Data4.

PHASE	ÉPUISEMENT DES RESSOURCES EN EAU (M3 DÉPRIV.)	POURCENTAGE DE CONTRIBUTION
Production des matériaux & équipements	2 262 618	35 %
Transport sur site	63 522	1 %
Chantier	213 154	3 %
Exploitation	3 719 482	57 %
Maintenance	236 160	4 %
Fin d'activité	-227 829	-4 %

Tableau 9 – Impacts du data center sur l'épuisement des ressources en eau par phase de cycle de vie

En France en 2021, la production d'énergies renouvelables repose sur l'hydroélectricité (48 %), l'éolien (30 %) et le photovoltaïque (12 %).

78 % de l'épuisement de la ressource en eau occasionné par la consommation électrique est dû aux installations photovoltaïques (51 %) et à l'hydroélectricité (27 %).

La consommation d'eau de la production d'énergie photovoltaïque a lieu très majoritairement au moment de la **production de cellules en silicium**. Concernant la production d'énergie hydroélectrique, bien que l'eau ne soit pas directement consommée, sa **rétenction par un barrage** implique qu'un certain volume d'eau est en permanence soustrait au cycle naturel de disponibilité.

On estime que 0.04 à 0.1 litres d'eau s'évaporent en moyenne pour chaque kilowattheure produit.

Un enseignement clé de cette étude réside dans la faible contribution de la consommation directe d'eau du data center. En effet, cette consommation représente **moins de 0,1 % de l'impact total de la consommation d'eau**, ce qui souligne que **les usages indirects de l'eau — notamment liés à la production d'électricité — sont largement plus significatifs.**

La deuxième phase la plus contributrice est celle de la production des matériaux et équipements du data center, représentant 35 % de l'impact total.

Cette étape englobe l'extraction et la transformation des matériaux de construction ainsi que des métaux utilisés dans les équipements électroniques, des **processus particulièrement intensifs en eau**, ce qui en fait un levier important d'optimisation environnementale.

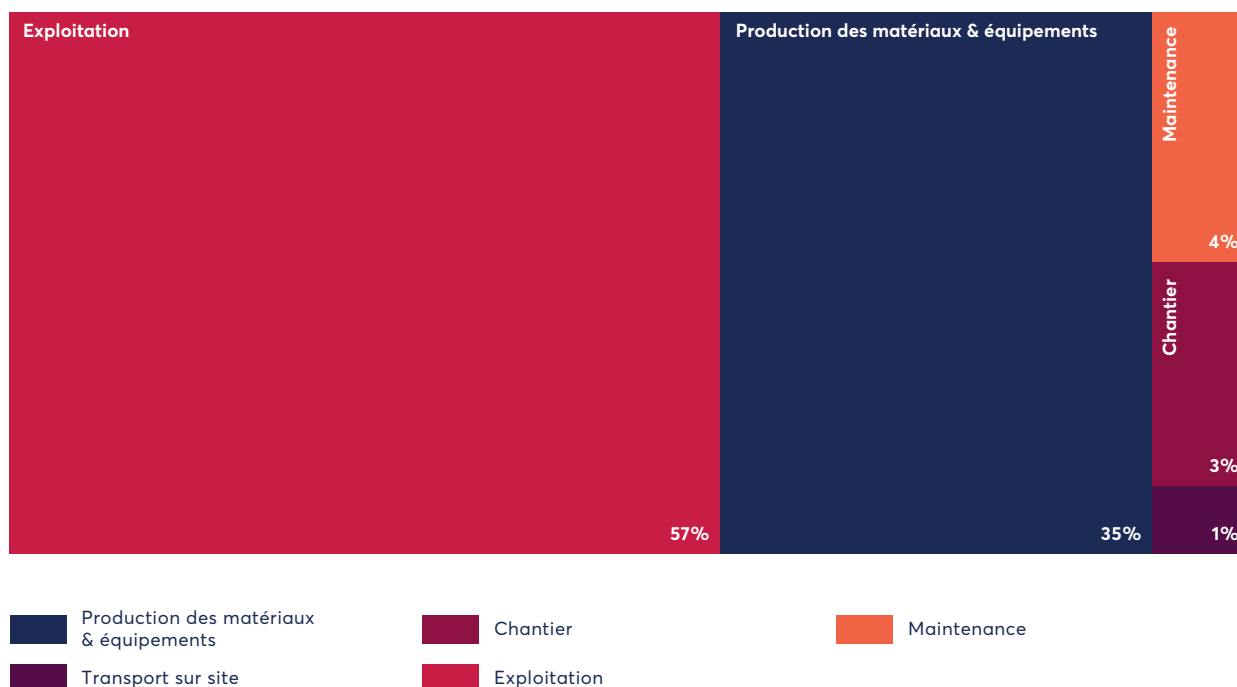


Figure 12 – Impacts du data center sur l'épuisement des ressources en eau par phase du cycle de vie

DATA CENTERS : MESURER L'IMPACT POUR MIEUX AGIR

5.3.2 VISION DE L'IMPACT PAR FONCTION

D'après le Tableau 10, les consommations en eau proviennent de quatre fonctions essentiellement :

- 1. Le **bâti DC** à hauteur de 39 % correspondant aux matériaux (béton, acier) nécessaires à l'édification de la structure porteuse.

La production de l'acier mobilise une quantité considérable d'eau, utilisée pour le refroidissement des installations à haute température (hauts-fourneaux, laminoirs, convertisseurs), mais aussi pour des opérations industrielles telles que l'extinction du coke, le lavage des gaz, la granulation des laitiers et le décalaminage des brames.

La production du béton (mélange de sable, graviers et de ciment) nécessite une grande quantité d'eau pour réagir avec le ciment.

L'eau est également utilisée dans les centrales thermiques pour faire tourner les turbines à vapeur.

- 2. L'**alimentation électrique IT** à hauteur de 26 % dont la contribution est associée au besoin en cuivre présent dans les câbles d'alimentation, les transformateurs et dans les tableaux électriques.

La fabrication du cuivre mobilise d'importantes quantités d'eau tout au long de son cycle de production. L'extraction minière, le broyage, la flottation et le raffinage sont autant d'étapes intensives en eau, nécessaires pour isoler le métal à partir de minerais faiblement concentrés. Ces procédés, souvent réalisés dans des régions soumises à un stress hydrique, accentuent la pression sur les ressources locales.

- 3. Le **back-up énergétique** à hauteur de 20 % du fait de la production d'équipement électriques dont les onduleurs, et les batteries qui contiennent aussi des métaux dont les procédés requièrent de l'eau.
- 4. Le **refroidissement IT** à hauteur de 14 % : cette empreinte est principalement liée à l'**extraction du cuivre mais aussi l'utilisation du fer** dans la fabrication de l'acier. Ces procédés industriels sont particulièrement consommateurs d'eau, ce qui explique leur poids dans l'analyse du cycle de vie.

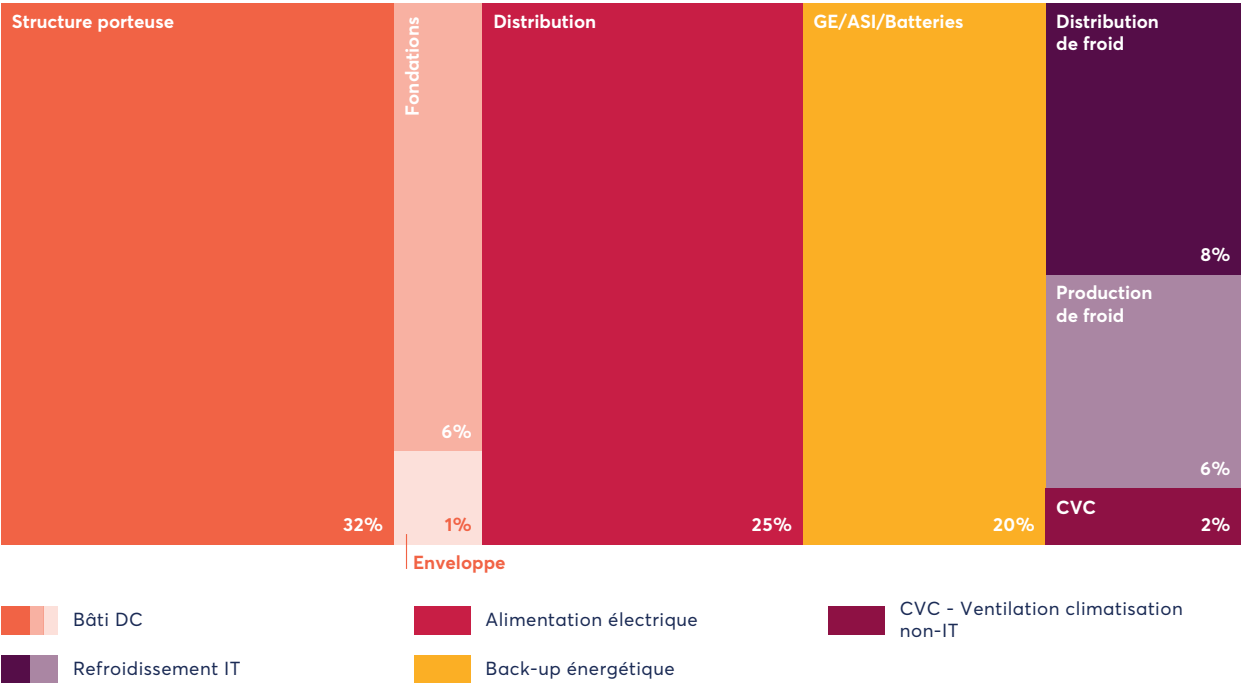


Figure 13 – Impacts du data center sur l'épuisement des ressources en eau par fonction

FONCTION	SOUS-FONCTION	ÉPUISEMENT DES RESSOURCES EN EAU (M³ DÉPRIV.)	POURCENTAGE DE CONTRIBUTION
Bâti DC	Fondations	134 654	6,0 %
	Structure porteuse	715 921	31,6 %
	Enveloppe	27 429	1,2 %
	Aménagement intérieur	727	0,0 %
	Total	878 731	38,8 %
Refroidissement IT	Production de froid	141 376	6,3 %
	Distribution de froid	179 134	7,9 %
	Total	320 510	14,2 %
Alimentation électrique IT	Conversion	11 819	0,5 %
	Distribution	572 191	25,3 %
	Total	584 010	25,8 %
Back-up énergétique	Groupes électrogènes/ Onduleurs/Batteries	442 376	19,5 %
CVC - Ventilation & climatisation non-IT	Ventilation LT	12 881	0,6 %
	Traitement d'air (hors IT)	24 111	1,1 %
	Total	36 992	1,7 %
Total (brut)		2 262 618	100 %

Tableau 10 – Impacts du data center sur l'épuisement des ressources en eau par fonction

EXPLOITATION

La phase opérationnelle du data center sur une durée de 20 ans est responsable de **57 % de son impact sur l'épuisement des ressources en eau**, soit 3 695 328 m³ dépriv. Ce prélèvement est le fait des volumes d'eau mobilisés **par les procédés de production d'électricité**.

Comparativement, la consommation d'eau directement par le data center est très limitée et représente 0.1 % des volumes prélevés.

Ainsi, bien que la consommation directe d'eau du data center soit négligeable, les impacts indirects liés à l'énergie consommée, sont loin d'être marginaux.

En 20 ans d'exploitation, le data center DC 19 génèrera une consommation d'eau équivalente à 3 422 Français¹² sur la même période.

Si l'on s'intéresse à la consommation directe d'eau par le data center sur cette même période, celle-ci est équivalente à la consommation de 11 à 12 Français.

PRODUCTION

L'étape de production des matériaux et équipements, nécessaire à la construction du data center, contribue à **36 % de l'épuisement des ressources en eau**, soit 2 262 618 m³ dépriv., du fait de la fabrication de la structure porteuse du bâtiment (acier et béton) et des équipements techniques (extraction de matériaux pour la production du cuivre ou de l'acier et énergie du processus de fabrication).

¹² Un Français moyen consomme en moyenne 54 m³ d'eau potable par an (<https://www.notre-environnement.gouv.fr/themes/societe/le-mode-de-vie-des-menages-ressources/article/consommation-domestique-en-eau-potable>)



5.3.3 ACTIONS D'AMÉLIORATION

Pour optimiser la structure et matériaux du bâtiments :

- Utiliser du béton bas carbone : **Data4 a adopté dès 2023 des dalles préfabriquées bas carbone** qui, grâce à leur conception alvéolaire et leur fabrication optimisée, réduisent les besoins en béton de 50 %, permettant ainsi une baisse globale non seulement sur l'empreinte carbone liée à la construction mais, aussi sur l'épuisement des ressources en eau. En effet, cette innovation permet d'utiliser moins de ciment et donc moins d'eau indirectement.

Pour optimiser la consommation d'eau en phase d'exploitation d'un data center :

- **Data4 n'utilise pas de tours de refroidissement ni de systèmes de refroidissement adiabatique**, connus pour leur consommation d'eau, ce qui permet au groupe d'atteindre une efficacité élevée dans l'utilisation de l'eau (WUE). En 2024, notre WUE était de 0,039 litre/kWh IT à l'échelle du groupe, contre 0,061 litre/kWh IT en 2021 (le WUE moyen dans l'industrie se situant en moyenne autour d'1L/kWh IT).
- **Data4 prévoit d'explorer des solutions innovantes visant à réduire encore l'usage des eaux propres** à la consommation en les substituant par des eaux grises, des eaux de pluie ou des eaux usées industrielles.

5.4 Impacts du DC sous l'angle des ressources minérales et métalliques



5.4.1 VISION DE L'IMPACT SELON LE CYCLE DE VIE

L'épuisement des ressources minérales et métalliques totales du data center est de 1 820 kg Sb eq. D'après le Tableau 11, les deux phases du cycle de vie les plus impactantes sont :

- La phase de production des matériaux de construction et équipements est l'étape la plus contributrice avec 1 090 kg Sb eq, soit 60 % de l'impact global : dû majoritairement à la fabrication des équipements nécessaires à la distribution de l'alimentation électrique (63 % de l'impact) et aux systèmes de back-up énergétique (26 % de l'impact).

Le cuivre, les terres rares et les métaux critiques sont des ressources limitées, qui interviennent dans les infrastructures électriques comme les câbles, les onduleurs et les batteries. L'aluminium, l'étain et l'argent, présents dans plusieurs composants, sont des métaux dont l'extraction a une empreinte forte sur cet indicateur.

- La phase d'exploitation est le deuxième contributeur avec 594 kg Sb eq, soit 32 % de l'impact global : Cet impact est indirectement lié à la consommation de ressources nécessaires à la fabrication des équipements de production et de distribution de l'énergie du réseau électrique public.

PHASE	ÉPUISEMENT DES RESSOURCES MINÉRALES ET MÉTALLIQUES (KG SB EQ)	POURCENTAGE DE CONTRIBUTION
Production des matériaux & équipements	1 090	60 %
Transport sur site	3	0 %
Chantier	2	0 %
Exploitation	594	33 %
Maintenance	131	7 %
Fin d'activité	-75	-4 %
Total	1 820	100 %

Tableau 11 – Impacts du data center sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques par phase de cycle de vie

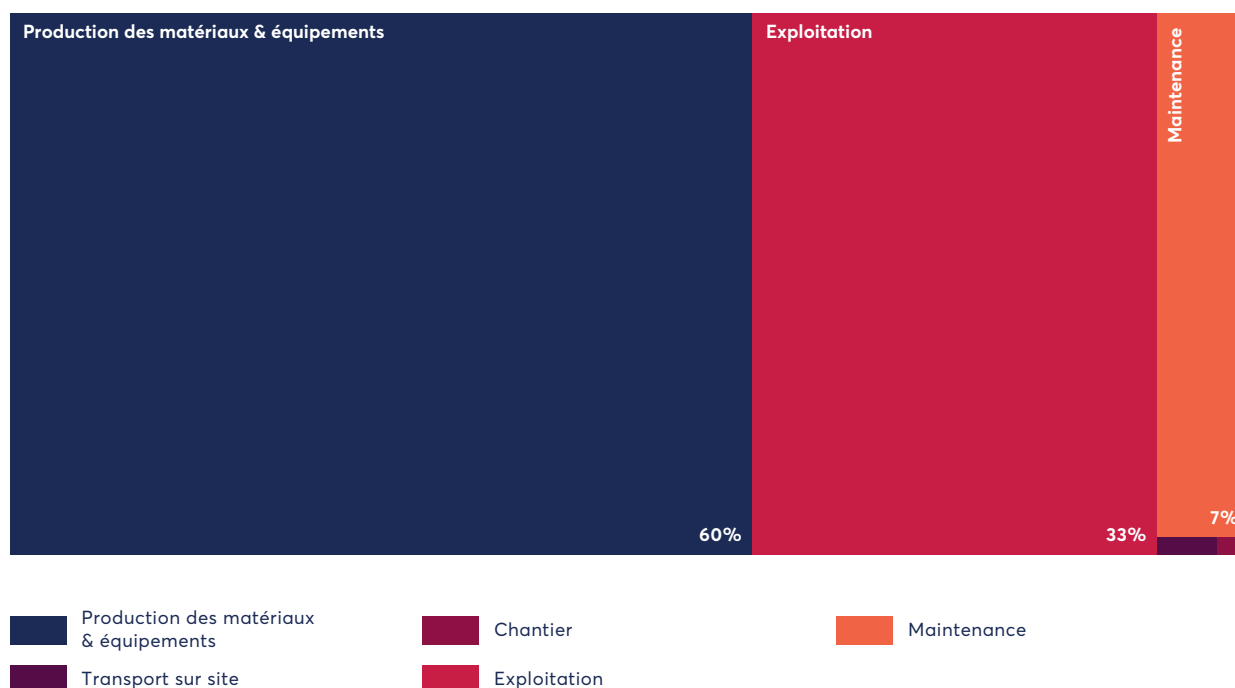


Figure 14 – Impacts du data center sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques par phase du cycle de vie

DATA CENTERS : MESURER L'IMPACT POUR MIEUX AGIR

5.3.2 VISION DE L'IMPACT PAR FONCTION

D'après le Tableau 12, les effets liés à l'épuisement des ressources minérales et métalliques se manifestent essentiellement au niveau de trois fonctions :

- 1. L'**alimentation électrique IT**, représentant 63 % de l'impact : les câbles puis les tableaux de distribution sont les plus influents sur l'épuisement des ressources minières en raison de l'usage majeur de métaux critiques : cuivre et aluminium.
- 2. Le **back-up énergétique**, représentant 26 % de l'impact : les onduleurs qui contiennent du cuivre, et les batteries classiquement fabriquées à partir d'une technologie plomb, ont un fort impact sur l'épuisement des ressources. Cet impact s'explique par l'extraction de minerais de cuivre, de galène et d'antimoine ; des ressources considérées comme critiques en raison de leur rareté.

- 3. Le **refroidissement IT**, représente 9 % de l'impact : une nouvelle fois les équipements de production de froid intègrent des matériaux comme le cuivre qui sont des matériaux non renouvelables et surexploités.

Globalement, les ressources nécessaires à la production des équipements d'un data center sont limitées et souvent importées.

FONCTION	SOUS-FONCTION	ÉPUISEMENT DES RESSOURCES MINÉRALES ET MÉTALLIQUES (KG SB EQ)	POURCENTAGE DE CONTRIBUTION
Bâti DC	Fondations	2	0,2 %
	Structure porteuse	5	0,5 %
	Enveloppe	2	0,2 %
	Aménagement intérieur	1	0,1 %
	Total	10	0,9 %
Refroidissement IT	Production de froid	83	7,6 %
	Distribution de froid	14	1,3 %
	Total	97	8,9 %
Alimentation électrique IT	Conversion	1	0,1 %
	Distribution	687	63,1 %
	Total	688	63,2 %
Back-up énergétique	Groupe électrogènes/ Onduleurs/Batteries	285	26,1 %
CVC - Ventilation & climatisation non-IT	Ventilation LT	8	0,8 %
	Traitement d'air (hors IT)	2	0,2 %
	Total	10	1,0 %
Total		1090	100 %

Tableau 12 – Impacts du data center DC19 sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques par fonction

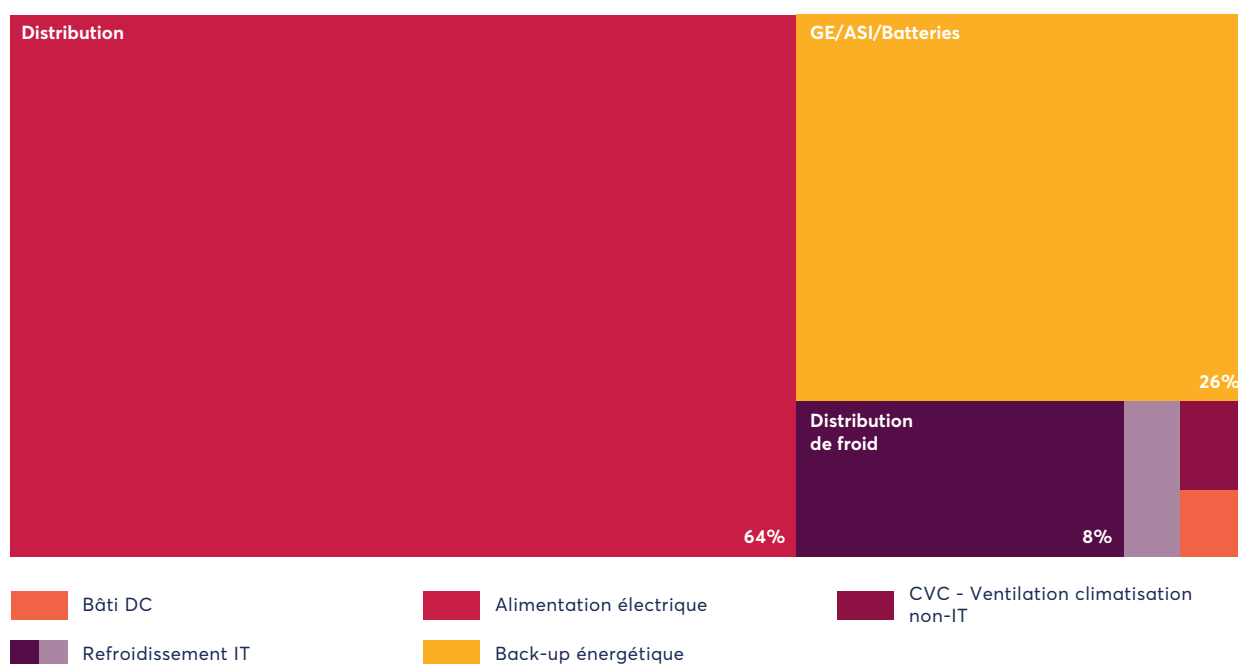


Figure 15 – Impacts du data center sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques par fonction



5.3.3 ACTIONS D'AMÉLIORATION

Pour limiter la consommation de ressources dans la structure et les équipements électriques :

- **Data4 a mis en place une nouvelle politique d'achats responsables** qui invite nos principaux fournisseurs à fournir des déclarations environnementales de produits (EPD) pour les équipements tels que les onduleurs, groupes froids, groupes électrogènes et CDUs¹⁴.
- **Choisir des transformateurs, onduleurs, batteries avec FDES/EPD (fiches d'impact environnemental) et allonger leur durée de vie**, permet de réduire leurs fréquences de remplacement et réduire ainsi la consommation de nouvelles ressources.
- **Data4 garantie que chaque kWh d'énergie est issu d'une source renouvelable**, soit par le biais de certificats d'origine, soit par le biais de contrats d'achat d'énergie (PPA).
- Depuis 2024, Data4 conclut des PPA (Power Purchase Agreement) avec des leaders européens de l'énergie renouvelable.

À RETENIR

PRODUCTION

L'étape de production des matériaux et équipements du data center contribue à **60 % de son impact sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques**, soit 1 090 kg Sb eq. Les fonctions les plus contributrices sont l'alimentation électrique à hauteur de 63 % ; et le back-up énergétique pour 26 %, car les équipements de ces systèmes contiennent des métaux rares souvent déjà largement exploités.

L'impact sur l'épuisement des ressources abiotiques de la production des matériaux et équipements de ce data center représente l'équivalent de construction de 12,4 km de rails¹³.

EXPLOITATION

La phase d'exploitation du data center contribue à **33 % de son impact sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques**, soit 594 kg Sb eq., en raison de la fabrication des équipements de production et de distribution du réseau électrique.

6

Conclusion

Conscient des enjeux environnementaux de son secteur, Data4 a décidé de s'engager dans cette démarche globale et analytique dès 2020 pour comprendre l'impact environnemental réel de ses data centers en Europe, grâce à la réalisation d'analyses du cycle de vie avec la société APL Data Center.

Véritable outil d'aide à la décision, l'ACV est la méthode d'évaluation privilégiée pour la conception de nos data centers et le choix de toutes les nouvelles technologies. En effet, l'analyse du cycle de vie est un outil d'éco-conception puissant puisqu'il permet non seulement de comprendre les enjeux environnementaux d'un produit ou d'un service, mais également de guider nos choix et notre prise de décision dans une démarche d'éco-conception. Bien que l'impact zéro n'existe pas, notre objectif est de réduire au maximum nos impacts et d'éviter les émissions de substances (dans l'eau et dans l'air) tout au long de notre chaîne de valeur en vue de tendre vers le Zéro émission nette.

Les analyses du cycle de vie que nous avons réalisées depuis 2020 nous ont permis de cibler et de comprendre les enjeux liés aux data centers. En considérant le cycle de vie d'un data center (hors fabrication et utilisation des serveurs), les résultats ont montré que les phases de construction et d'exploitation sont celles qui contribuent à l'impact sur tous les indicateurs environnementaux et notamment le changement climatique, l'épuisement des ressources en eau et l'épuisement de ressources minérales et fossiles.

Ces impacts sont directement liés non seulement à la fabrication de matériaux de construction de l'infrastructure (matériaux de construction comme le béton et l'acier) et des équipements électriques (utilisation de cuivre et autres métaux), mais aussi à

la consommation d'électricité nécessaire à l'exploitation du data center en France. La production de ces matières et de cette énergie nécessite beaucoup d'eau et de ressources minérales, métalliques et fossiles. De plus, ces procédés de fabrication rejettent des gaz à effet de serre dans l'environnement, aggravant le phénomène de réchauffement climatique.

L'analyse de cycle de vie est un outil puissant qui doit permettre de mieux comprendre où et comment agir pour réduire l'impact de nos activités industrielles.

En guise de conclusion, nous souhaitons partager ce que nous pensons être les indicateurs clés pour l'industrie du data center et proposer des valeurs extrapolables à toutes les infrastructures data centers de la famille des « hyperscalers » afin d'encourager les démarches d'écoconception.

Grâce à l'analyse du cycle de vie, Data4 mesure systématiquement les progrès de réduction d'impact environnemental. Ainsi, **engagé dans la démarche d'éco-conception de ses data centers, Data4 projette de réduire de 38 % l'empreinte carbone de chaque nouveau MW IT construit d'ici 2030, un exemple pour les acteurs de l'industrie digitale.**

Le Livre blanc constitue aussi un outil pour communiquer en toute transparence sur les impacts réels de l'activité, et ainsi contribuer à orienter les politiques publiques vers des actions générant un bénéfice tangible.

Dans cette étude, l'analyse environnementale du cycle de vie a permis d'identifier les grands enjeux environnementaux du secteur. Envisager l'étude avec une approche sociale, via une ACV sociale, permettrait d'inclure également les enjeux sociaux.

INDICATEUR	VALEUR POUR LA CONSTRUCTION D'1 MW IT (À AMORTIR SUR LA DURÉE DE VIE DU DC)	VALEUR POUR 1 ANNÉE D'EXPLOITATION ET PAR MW IT
Changement climatique (kg CO ₂ eq)	1 318 424	65 918
Épuisement des ressources en eau (m ³ dépriv.)	507 859	37 195 avec moins de 1 % consommée directement par le data center
Ressources minérales & métalliques (kg Sb eq)	219	5,9

Tableau 13 – Impacts associés à 1 MW de data center en construction et en exploitation sur une année

DATA CENTERS : MESURER L'IMPACT POUR MIEUX AGIR

LISTE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 – Les étapes du cycle de vie (source : MiNumEco, Mission Interministérielle Numérique Écoresponsable)	9
Figure 2 – Illustration des 16 indicateurs d'impact environnementaux de la méthode PEF (Product Environmental Footprint)	11
Figure 3 – Schéma d'une démarche d'éco-conception et lien avec l'ACV	13
Figure 4 – Représentation simplifiée d'un data center	15
Figure 5 – Périmètre du système étudié par étape du cycle de vie	20
Figure 6 – Schéma des frontières du système étudié	21
Figure 7 – Impacts du data center en multicritères par phase du cycle de vie	27
Figure 8 – Impacts du data center en multicritères par fonction	28
Figure 9 – Impacts du data center en multicritères par fonction	30
Figure 10 – Impacts du data center sur le changement climatique par phase du cycle de vie	33
Figure 11 – Impacts du data center sur le changement climatique par fonction	34
Figure 12 – Impacts du data center sur l'épuisement des ressources en eau par phase du cycle de vie	37
Figure 13 – Impacts du data center sur l'épuisement des ressources en eau par fonction	38
Figure 14 – Impacts du data center sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques par phase du cycle de vie	41
Figure 15 – Impacts du data center sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques par fonction	43

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 – Synthèse des étapes du cycle de vie considérées	21
Tableau 2 – Synthèse des fonctions considérées	22
Tableau 3 – Présentation des hypothèses mises en œuvre pour l'évaluation du data center	23
Tableau 4 – Présentation des indicateurs sélectionnés par Data4	24
Tableau 5 – Description synthétique des différents indicateurs d'impacts retenus	25
Tableau 6 – Fonctions les plus consommatrices d'énergie	31
Tableau 7 – Impacts du data center sur le changement climatique par phase du cycle de vie	32
Tableau 8 – Impacts du data center sur le changement climatique par fonction	34
Tableau 9 – Impacts du data center sur l'épuisement des ressources en eau par phase de cycle de vie	36
Tableau 10 – Impacts du data center sur l'épuisement des ressources en eau par fonction	39
Tableau 11 – Impacts du data center sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques par phase de cycle de vie	41
Tableau 12 – Impacts du data center DC19 sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques par fonction	42
Tableau 13 – Impacts associés à 1 MW de data center en construction et en exploitation sur une année	45

