



Intelligence artificielle, données, calculs : quelles infrastructures dans un monde décarboné ?

RAPPORT FINAL - OCTOBRE 2025



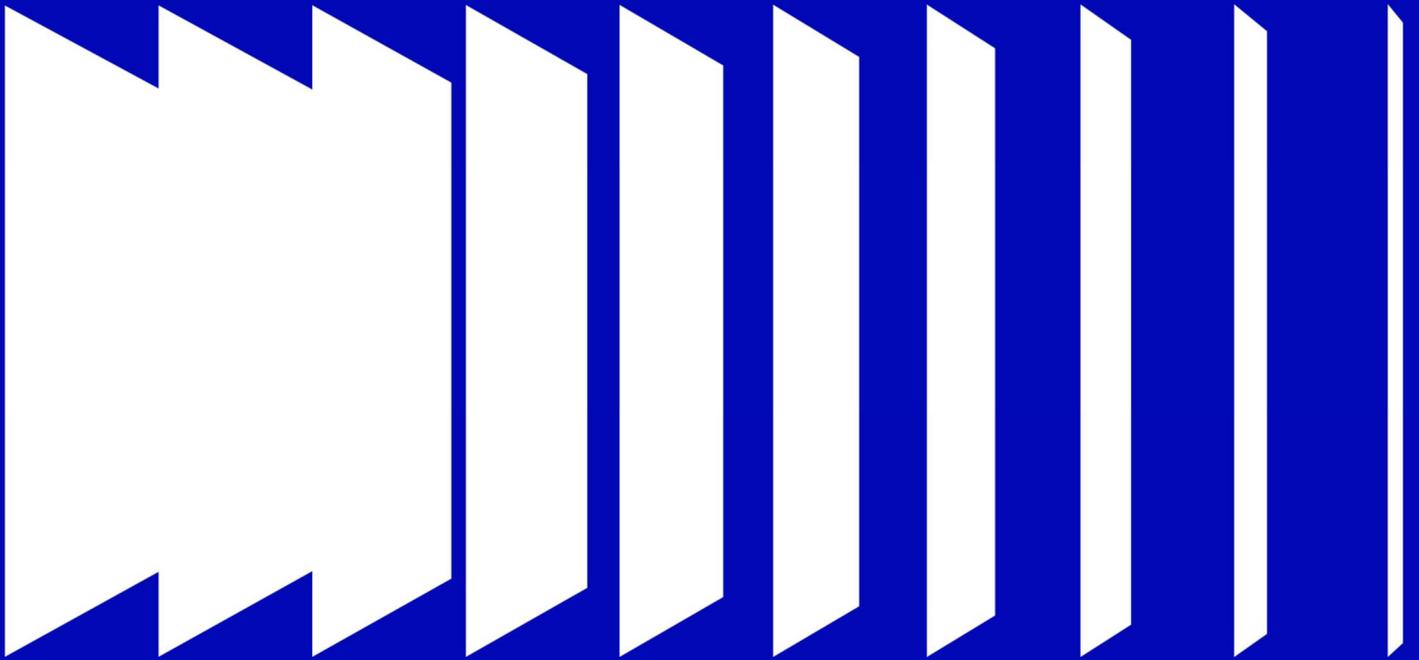
DANS LE CADRE DE NOTRE
PROGRAMME D'ACTION POUR 2027



Table des matières

Introduction	3
Annexe 1 - Monde – Filière centres de données – Taux de croissance historique de la consommation d'électricité	5
Annexe 2 – Monde – Filière centres de données – Consommation électrique : état des lieux.....	8
Annexe 3 – Monde – Filière centres de données – Consommation électrique : scénarios proposés	10
Annexe 4 – Monde – Filière centres de données – Emissions de gaz à effets de serre... 12	
Annexe 5 – Monde – Filière centres de données – Déclinaison d'objectifs : des émissions de gaz à effets de serre à la consommation électrique	14
Annexe 6 – Monde – Filière centres de données – Les émissions de gaz à effets de serre hors phase d'usage (fabrication etc)	16
Annexe 7 – Monde – Impact de l'IA sur la filière centres de données – Consommation électrique et émissions de gaz à effets de serre : approche bottom-up à partir de l'offre infrastructurelle	18
Annexe 8 – France – Filière centres de données - Consommation électrique et émissions de gaz à effets de serre : état des lieux	22
Annexe 9 – France – Filière centres de données - Consommation électrique et émissions de gaz à effets de serre : scénarios proposés	26
Annexe 10 – IA – Cas d'usage : l'assistant personnel de compte-rendu.....	40
Annexe 11 – IA – Description qualitative de niveaux d'impacts	42
Annexe 12 – Monde – Impact de l'IA sur les terminaux : une première approche conséquente	46
Annexe 13 – Monde – Impact de l'IA sur les réseaux : quelques éléments et pistes à creuser.....	51
Annexe 14 – IA – Approche par cas d'usages : critères retenus et description technologique	54
Annexe 15 – Typologie de centres de données.....	58
Annexe 16 – Europe – Filière centres de données - Consommation électrique	66
Références	68

Introduction



Ce document constitue les annexes du rapport principal « Intelligence artificielle, données, calculs : Quelles infrastructures dans un monde décarboné ? » (The Shift Project, 2025a).

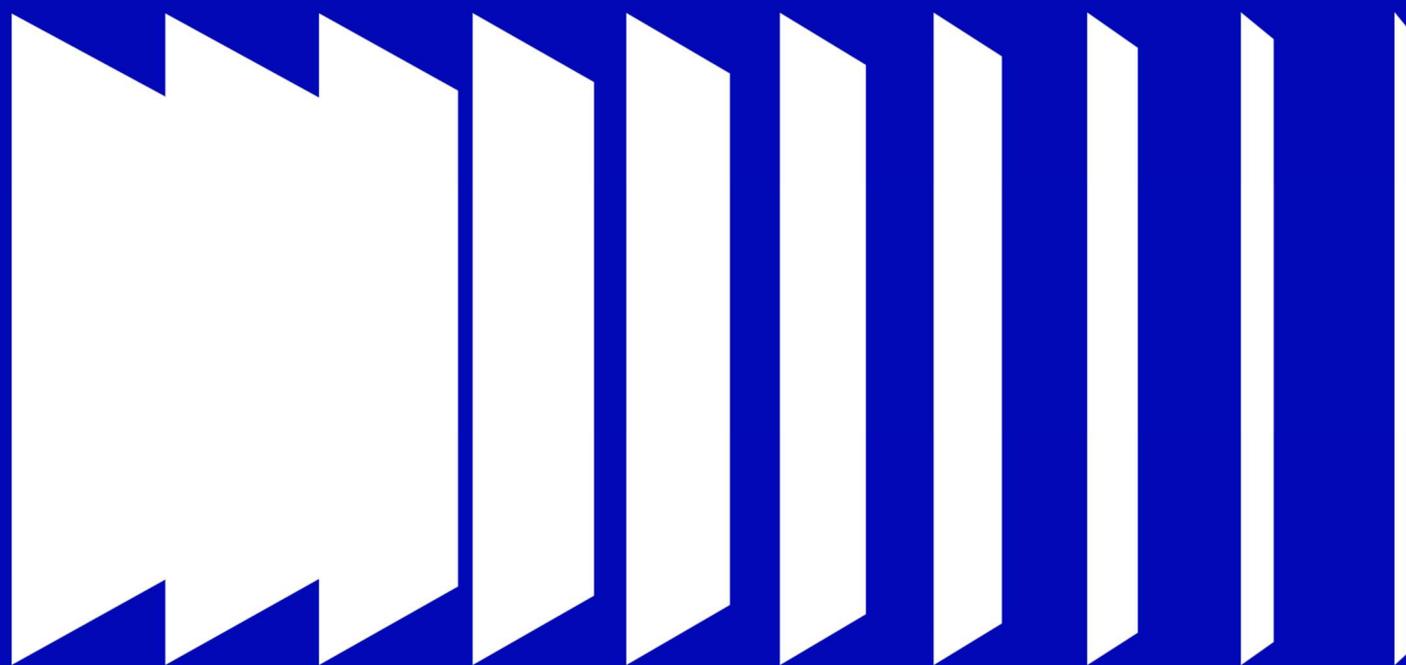
Il a pour objectif de revenir plus en détails sur les calculs réalisés (en gros, 1 annexe = 1 calcul).

Ce document se lit conjointement avec le rapport principal.

Y sont associés 6 fichiers excels :

- TheShiftProject_Monde_CentresDeDonnees_2025.xlsx : annexes 1 à 5
- TheShiftProject_Monde_IA_2025.xlsx : annexe 7
- TheShiftProject_France_EtatDesLieux_Elec_et_ConflitUsage_2025.xlsx
- TheShiftProject_France_2025.xlsx : annexes 8 et 9
- TheShiftProject_CasUsage_AssistantPersonnelCR_2025.xlsx : annexe 10
- TheShiftProject_AnalyseServeurs_2025.xlsx : annexe 6 : en cours de rédaction

Annexe 1 - Monde – Filière centres de données – Taux de croissance historique de la consommation d'électricité



A partir des consommations électriques en phase d'usage pour les centres de données dans le monde reportées dans (IEA, 2025) :

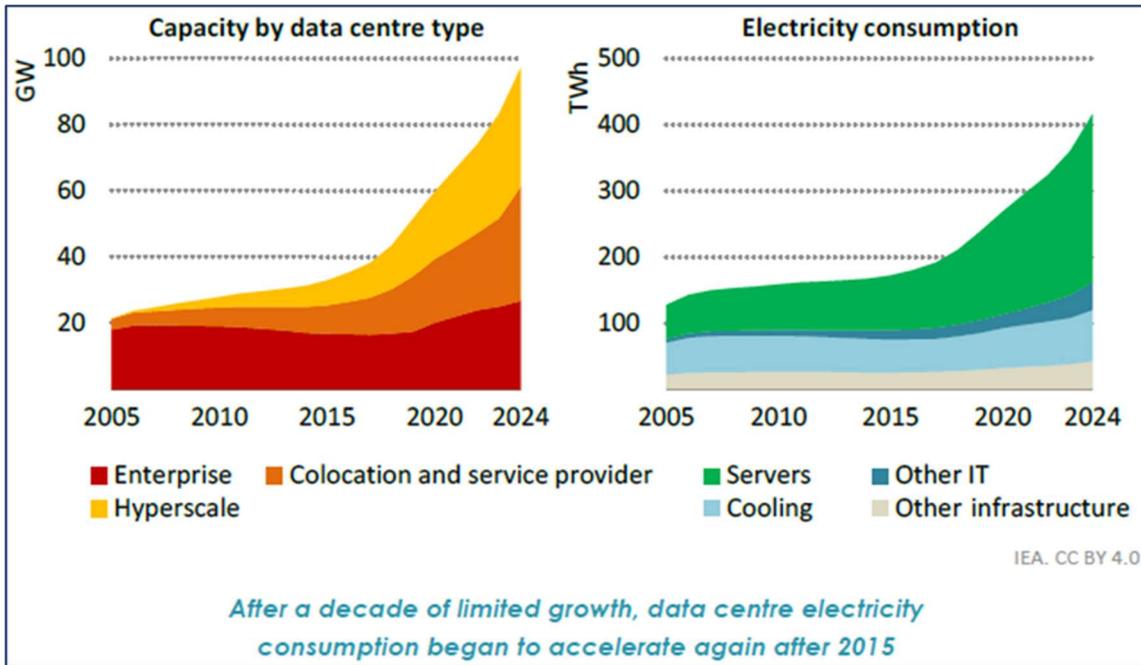
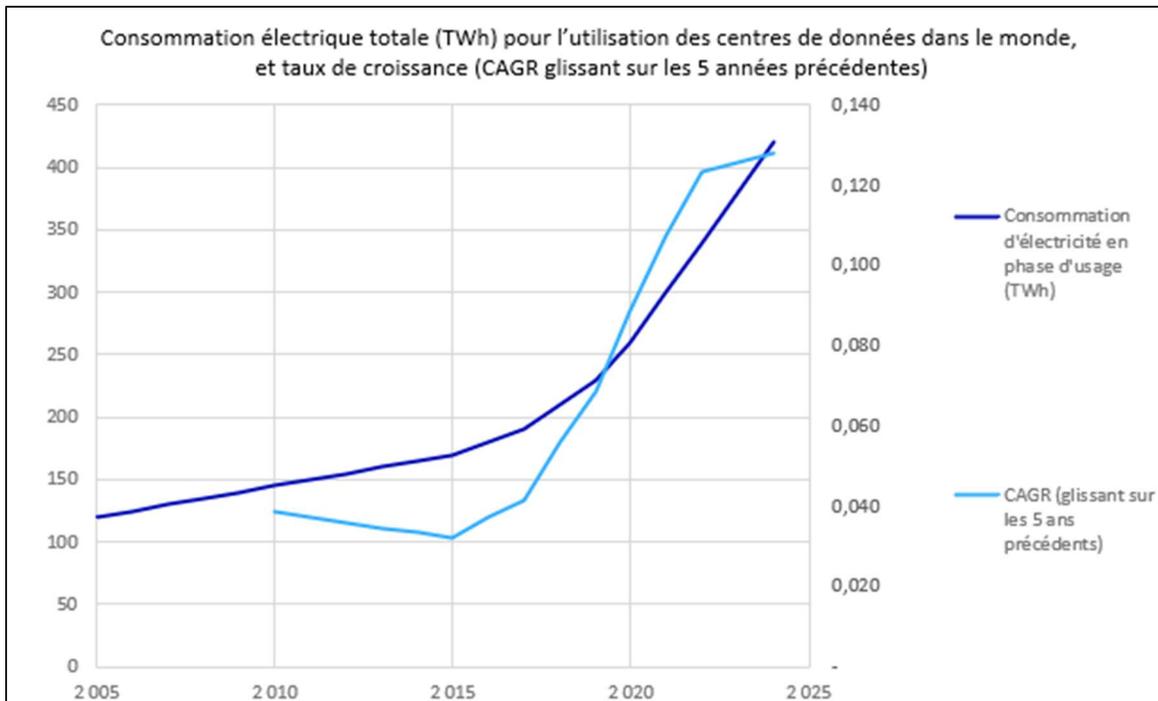


Figure 1 - Capacité électrique totale installée (GW) et consommation électrique totale (TWh) pour l'utilisation des centres de données¹. Source : (IEA, 2025)

On peut regarder l'évolution du taux de croissance historique, par exemple sur 5 ans glissants (cf. Excel (The Shift Project, 2025d)).

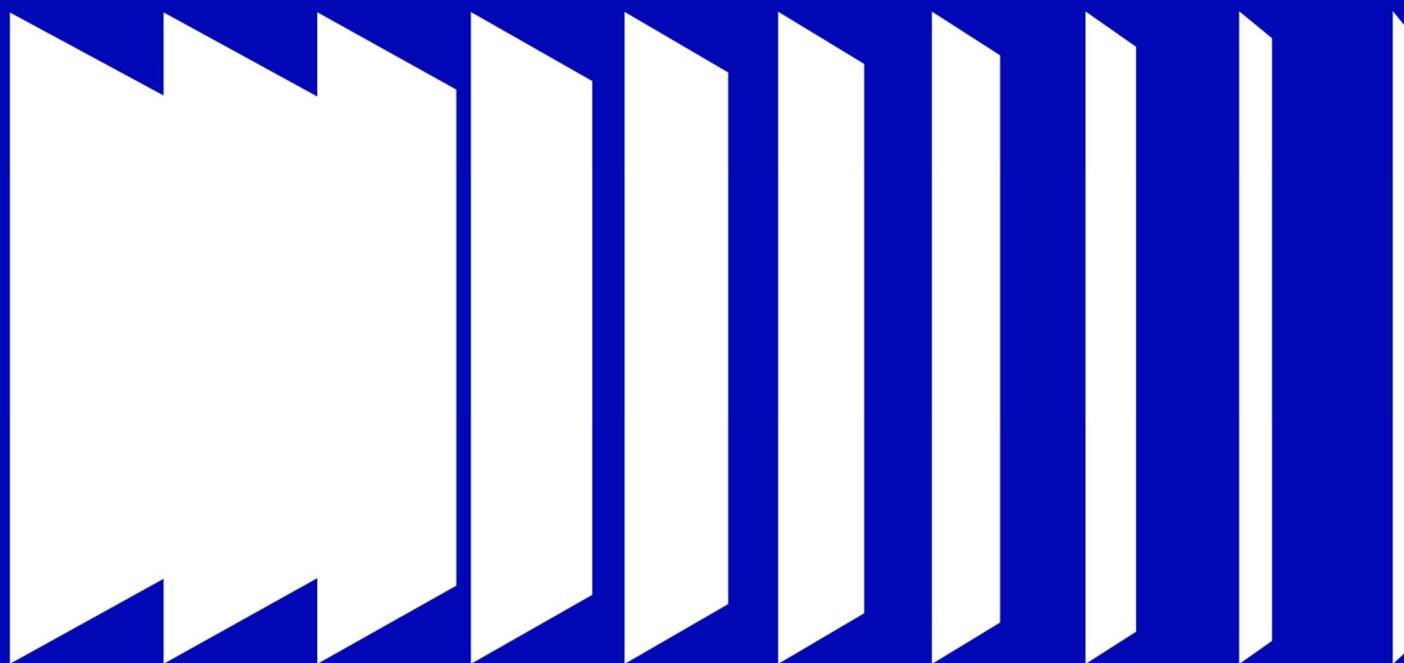


¹ Sans cryptomonnaies

On observe une augmentation de la consommation électrique (taux > 0) depuis deux décennies et notamment :

- Une première période de croissance modérée jusqu'en 2015 (taux entre 3,9 % et 3,2 %),
- Une accélération soutenue entre 2015 et 2020 (taux allant de 3,7 % à 8,9 %) avec le déploiement du cloud,
- Une intensification depuis lors (taux allant de 10,8 à 12,8 %).

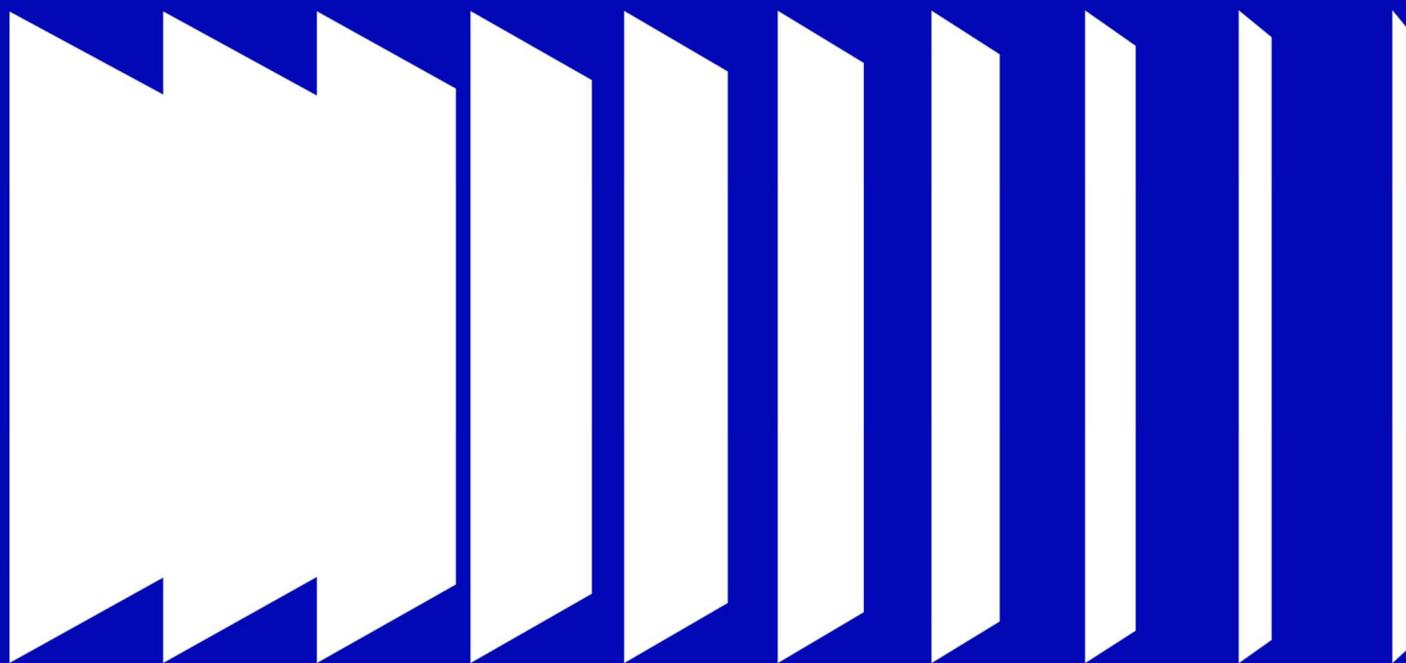
Annexe 2 – Monde – Filière
centres de données –
Consommation électrique : état
des lieux



Voir onglet « 2 - Conso élec état des lieux » dans (The Shift Project, 2025d), valeurs utilisées dans « onglet « 0 - Réfs hors TSP »

Plus de détails rédigés dans cette annexe seront à venir

Annexe 3 – Monde – Filière
centres de données –
Consommation électrique :
scénarios proposés



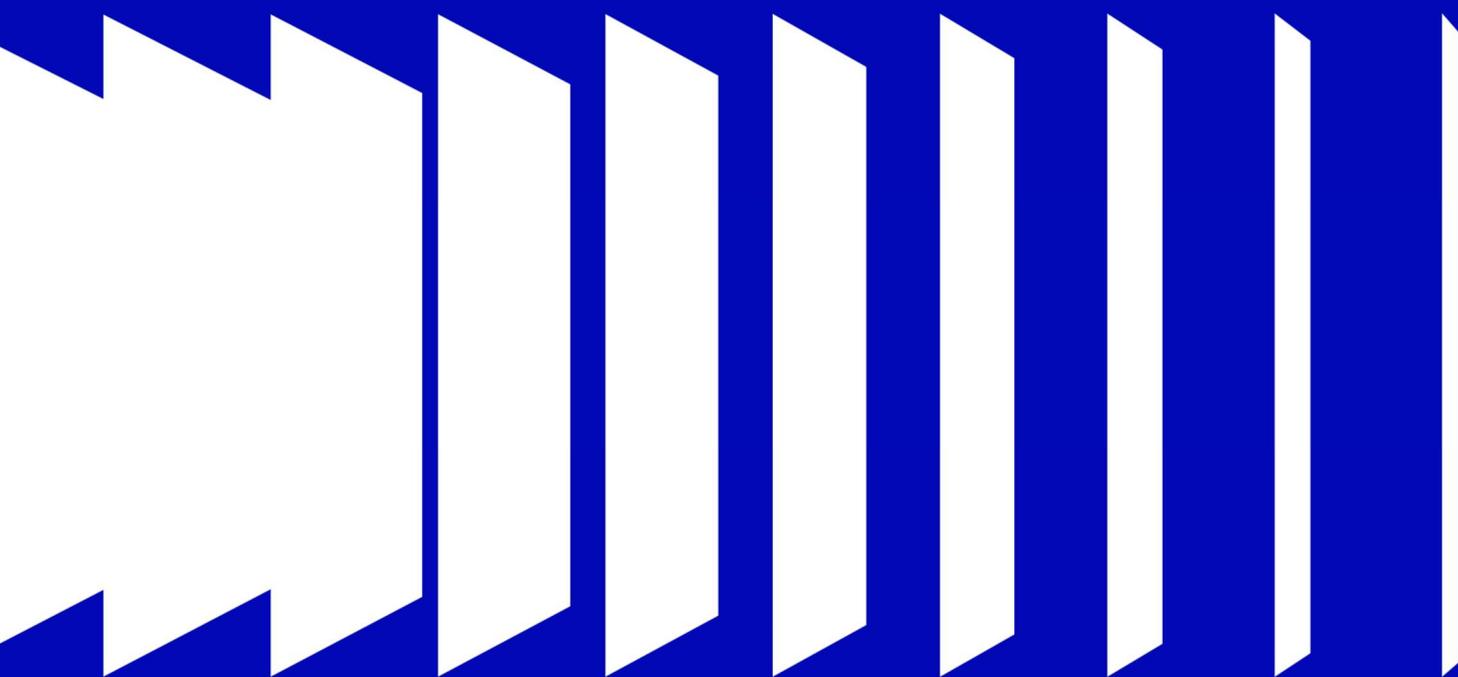
Voir onglet « 3--Conso élec TWh scénarios » dans (The Shift Project, 2025d).

Plus de détails rédigés dans cette annexe seront à venir

A noter en attendant, quelques scénarios de comparaison :

- Les quatre scénarios de l'AIE (Lift-off, Base, High Efficiency, Headwinds) projettent une consommation électrique des centres de données comprise (hors cryptomonnaies) entre 670 et 1265 TWh en 2030 (IEA, 2025).
- Schneider Electric explore également quatre scénarios (Abundance, Sustainable AI, Energy Crunch, Limits to Growth), avec une consommation projetée pour l'IA seule allant de 510 à 880 TWh en 2030 (Schneider Electric, 2024).
- Le Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) envisage une fourchette comprise entre 6,7 % et 12 % de la consommation électrique américaine attribuable aux centres de données en 2028 (LBNL et al., 2024).
- Deloitte propose deux scénarios prospectifs (Baseline, High Adoption) avec des consommations électriques de 705 et 970 TWh en 2030 (Deloitte, 2024).
- Enfin, DCByte publie également des corridors d'évolution qui montrent la diversité des trajectoires envisageables (DCByte, 2025).

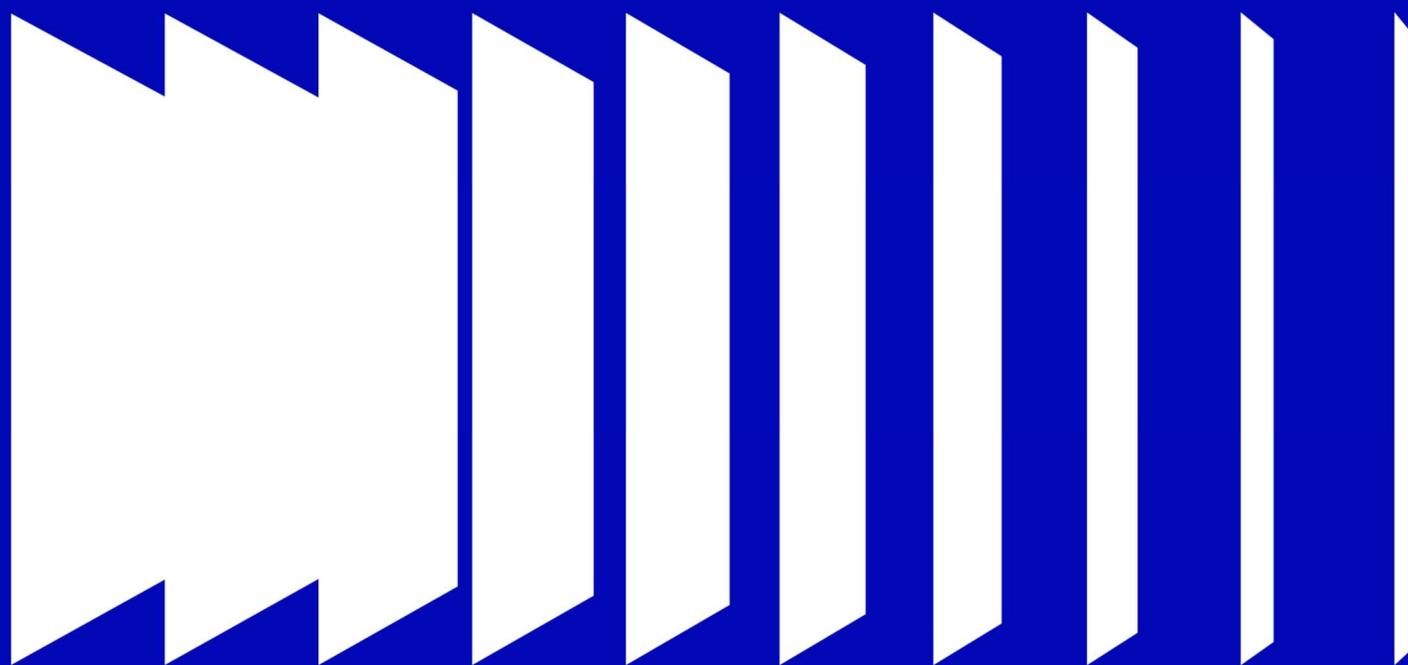
Annexe 4 – Monde – Filière centres de données – Emissions de gaz à effets de serre



Voir onglet « 4 -- Emissions GES scénarios » dans (The Shift Project, 2025d).

Plus de détails rédigés dans cette annexe seront à venir

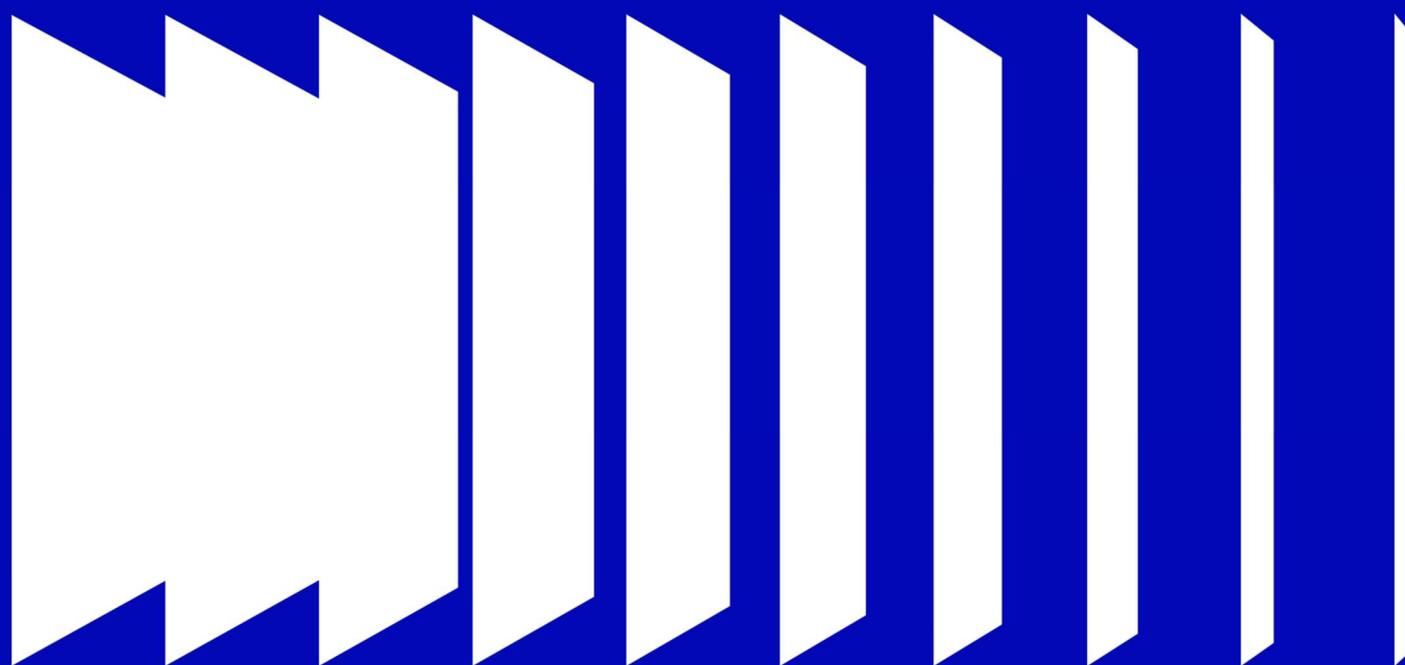
Annexe 5 – Monde – Filière
centres de données –
Déclinaison d'objectifs : des
émissions de gaz à effets de
serre à la consommation
électrique



Voir onglet « 5 – Déclinaison d’obj GES à TWh » dans (The Shift Project, 2025d).

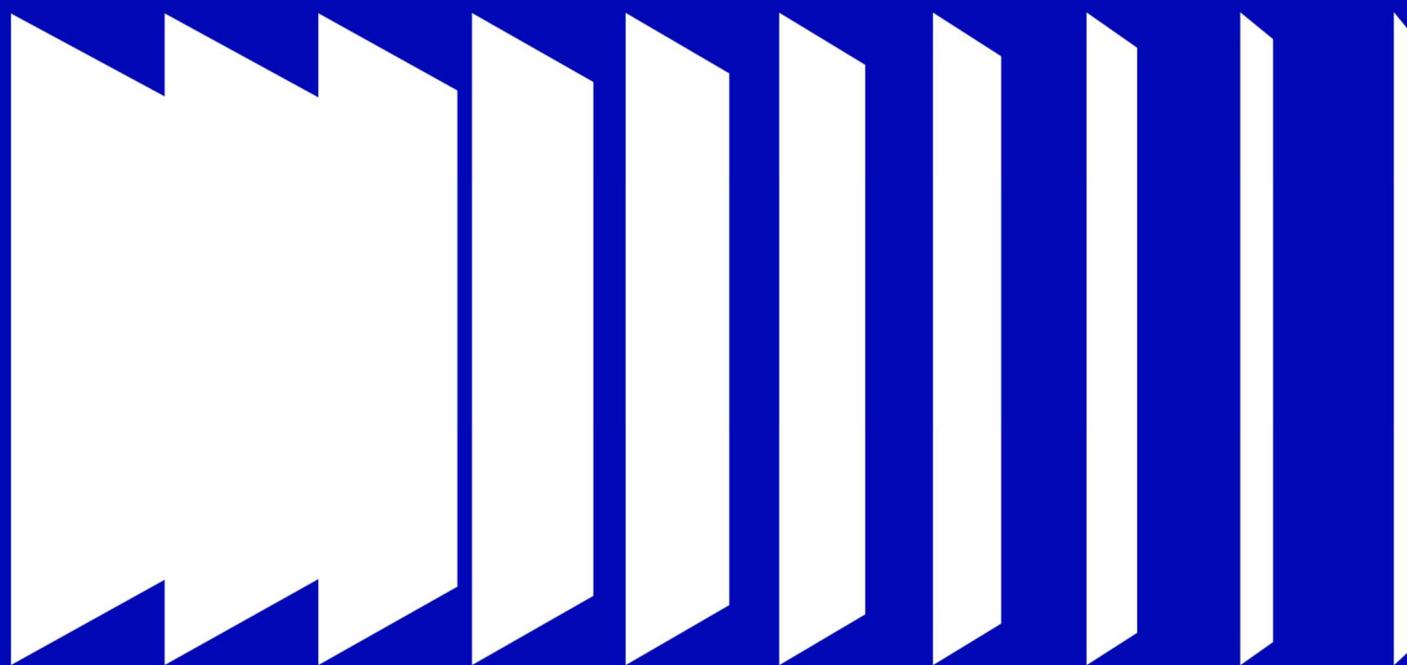
Plus de détails rédigés dans cette annexe seront à venir

Annexe 6 – Monde – Filière
centres de données – Les
émissions de gaz à effets de
serre hors phase d’usage
(fabrication etc.)



A venir

Annexe 7 – Monde – Impact de
l'IA sur la filière centres de
données – Consommation
électrique et émissions de gaz à
effets de serre : approche
bottom-up à partir de l'offre
infrastructurelle



Lien fichier Excel associé : (The Shift Project, 2025e)

Nous avons souhaité étudier l’impact potentiel de l’effet d’offre lié aux investissements massifs annoncés pour les infrastructures dédiées à l’IA. Il s’agissait de répondre à la question suivante : “Quel serait l’impact généré si toutes les infrastructures dédiées à l’IA étaient pleinement utilisées ?”.

Objectifs de la modélisation

Ce calcul a pour objectif de traduire les trajectoires en termes d’énergie et d’émissions de gaz à effets de serre de l’ensemble des accélérateurs d’IA de 2025 à 2030, en incluant : l’énergie et les émissions de gaz à effets de serre à l’usage, et l’empreinte en gaz à effets de serre embarqués à la phase de fabrication, en anticipant les évolutions techniques et les gains d’optimisations.

Ces travaux visent à :

- Produire une modélisation prospective transparente de l’évolution de la consommation électrique des accélérateurs dédiés à l’IA ;
- Mettre en perspective les résultats produits dans la littérature ;
- Mettre en lumière les facteurs et variables desquelles dépendent les résultats finaux au premier ordre, afin d’éclairer la comparaison des différentes estimations.

Les premiers éléments d’analyses issus de ce travail sont les suivants :

- La variable dimensionnante de la modélisation est avant tout le nombre d’accélérateurs dédiés à l’IA en utilisation à une année N. C’est également l’une des données présentant le plus fort niveau d’incertitude quant à son nombre actuel et ses projections à 5 ans, tant les principaux constructeurs restent opaques sur les données de production et de durée de vie du matériel.
- Il existe un vide dans la littérature concernant la disponibilité de données fiables d’impacts sur le cycle de vie relativement aux accélérateurs et serveurs dédiés à l’IA. Même si des données commencent à exister, il demeure une opacité sur les méthodes de calcul. De plus, les spécificités et la complexité de la chaîne de valeur pour la fabrication ou la fin de vie des équipements numériques concernés ne sont pas exhaustivement intégrées dans les logiciels d’ACV aujourd’hui.
- La structure et les variables de la modélisation sont disponibles dans un tableur associés à ce rapport : (The Shift Project, 2025e)

$$Empreinte\ Carbone_{Acc\acute{e}l\acute{e}r\acute{e}a\text{t}\acute{e}u\text{r}\acute{s}\ IA} = Consommation\ \acute{e}lectrique_{Acc\acute{e}l\acute{e}r\acute{e}a\text{t}\acute{e}u\text{r}\acute{s}\ IA} \times Facteur\ d'\acute{e}mission_{Mix\ \acute{e}lectrique\ monde} + Empreinte\ Carbone_{Fabrication\ acc\acute{e}l\acute{e}r\acute{e}a\text{t}\acute{e}u\text{r}\acute{s}\ d'IA}$$

$$Empreinte\ Carbone_{Acc\acute{e}l\acute{e}r\acute{e}a\text{t}\acute{e}u\text{r}\acute{s}\ IA} = n_{acc}(\tau)(TDP_{acc} \times Overhead_{Serveurs\ acc} \times H \times (UR \times r_{calcul} + (1 - UR) \times r_{idle}) \times PUE \times FE_{\acute{e}lec} + \frac{(F_{acc} + \frac{F_{Serveurs\ acc}}{n_{Serveurs\ acc}})}{\tau})$$

Variable	Description
n_acc(τ)	Nombre d'accélérateurs d'IA sur le marché considérant τ années de durée de vie (unités)
TDP	Thermal Design Power : Transfert thermique vers l'extérieur dont doit pouvoir bénéficier un accélérateur d'IA moyen pour fonctionner correctement (kW)

Overhead_serveuracc	Puissance énergétique sollicitée par le serveur d'IA pour une unité de puissance demandée dans l'accélérateur d'IA : désigne le ratio d'utilisation d'électricité par le serveur d'IA autour d'un ou plusieurs accélérateur d'IA (ratio)
H	Nombre d'heures dans une année
UR	Taux d'utilisation temporel moyen d'un accélérateur d'IA, fonction du nombre et de la durée moyenne des inférences et/ou des calculs qu'on lui fait porter (ratio)
R_calcul	Ratio sur le TDP donnant une consommation électrique lorsque l'accélérateur réalise une tâche d'IA (inférence ou entraînement) (ratio)
R_idle	Ratio sur le TDP donnant une consommation électrique lorsque l'accélérateur ne réalise pas de calcul (ratio)
FE	Facteur d'émission du mix électrique dans la zone géographique (kgCO ₂ e/kWh=MtCO ₂ e/TWh)
PUE	Power Usage Effectiveness : indicateur d'efficacité énergétique d'un centre de données hyperscale (ratio)
F_acc	Empreinte moyenne d'un accélérateur d'IA incluant les étapes de fabrication, transport et fin de vie (kgCO ₂ e)
F_serveur	Empreinte carbone moyenne d'un serveur dédié à l'IA, hors accélérateurs, incluant les étapes de fabrication, transport et fin de vie (kgCO ₂ e)
τ	Durée de vie estimée d'un accélérateur d'IA utilisé au maximum de ces capacités dans un centre de données hyperscale (années)
N_acc/serveuracc	Nombre de slots destinés à accueillir des accélérateurs dans un serveur d'IA (unités)

Limites de la modélisation

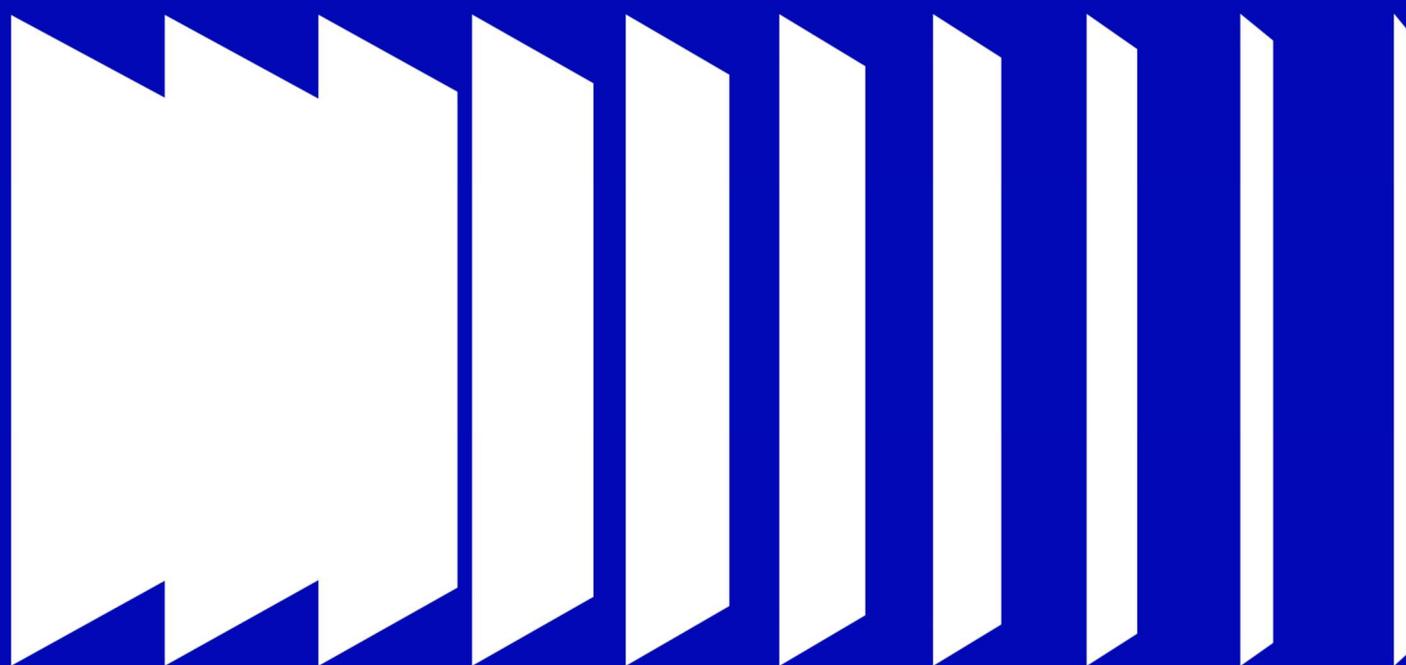
Cette modélisation nous permet d'obtenir des ordres de grandeurs comparables avec les chiffres d'autres études à périmètres similaires. Néanmoins, il est important de mentionner les limites de cette modélisation afin d'en percevoir les angles morts. Les principales limites identifiées sont les suivantes :

- Réduction de l'analyse aux accélérateurs de Nvidia : Les chiffres à notre disposition ne concernent que les GPU d'IA de Nvidia. Cette réduction est considérée comme acceptable dans notre recherche d'ordre de grandeur considérant que Nvidia représente de 80 à 95% du marché des accélérateurs d'IA (Donnée issue de cette étude d'oxford https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=5312977).
- Extrapolation du nombre d'accélérateurs d'IA en 2025 : Le nombre d'accélérateurs d'IA en 2025 est calculé à partir d'une estimation de la puissance de calcul totale disponible fin 2024, d'un CAGR, et de la puissance de calcul affichée sur l'accélérateurs dominant en 2025, le Nvidia H100.
- Prolongation des tendances sur les ventes et caractéristiques d'accélérateurs d'IA : L'estimation de la puissance de calcul totale disponible fin 2030 et la puissance de calcul affichée sur l'accélérateurs dominant en 2030 permettant d'estimer le nombre d'accélérateurs d'IA en 2030 sont des projections se basant sur la prolongation des tendances observées de 2019 à 2024.
- Réduction des caractéristiques techniques moyennes des accélérateurs dominant en 2025-2030 : le modèle considère une certaine uniformité des caractéristiques

techniques des accélérateurs sur une année donnée, en considérant que l'accélérateur dominant le parc sur cette année n sera le modèle sorti sur l'année n-1. En d'autres termes, le modèle considère qu'au regard du rythme de sortie de nouvelles générations d'accélérateurs (tous les 2 ans), de l'évolution de la puissance de calcul totale installée ($\times 2,3/\text{an}$) et de l'évolution de la puissance de calcul entre deux générations ($\times 1,43/\text{an}$), une nouvelle génération met environ 1 an à représenter plus de la moitié la puissance de calcul totale installée et 2 ans pour représenter les $\frac{3}{4}$. Ainsi l'accélérateur dominant en 2025 est le Nvidia H100 (2023) et l'accélérateur dominant en 2030 sera le modèle sorti en 2028.

- Facteurs d'impacts d'un accélérateur d'IA manquant : À date, il n'existe qu'une seule analyse de cycle de vie d'un accélérateur d'IA (TPU Google), et aucune sur les serveurs accueillant des accélérateurs d'IA. Il n'existe pas de facteur d'impact complet concernant ce type de matériel dans les bases de données d'ACV. Les chiffres utilisés dans le modèle concernant ces variables sont des approximations avec une très forte incertitude.
 - Depuis la réalisation de notre calcul ont été diffusés :
 - PCF du serveur HGX100 : <https://images.nvidia.com/aem-dam/Solutions/documents/HGX-H100-PCF-Summary.pdf>
 - ACV Hubblo A100 : <https://arxiv.org/pdf/2509.00093>
- PUE moyen est optimiste : Considérant les acteurs déployant l'IA à grande échelle (hyperscaler), et les infrastructures récentes utilisées pour la rendre accessible (centres de données récentes), nous utilisons un PUE très faible similaire aux PUE annoncés des meilleurs centres de données des cloud public des hyperscalers (1.1).
- Facteur d'émission moyen utilisé très généraliste : Bien que l'IA ne soit déployée largement que dans 2 régions spécifiques (USA et Chine), nous utilisons le facteur d'émission mondial moyen.
- Facteur d'émission basé sur le mix électrique moyen actuel : Le modèle considère que les centres de données seront approvisionnés en énergie par les fournisseurs locaux d'électricité, et suivent aussi l'évolution de l'intensité carbone de la grille. Il ne considère pas de mécanismes d'auto-alimentation qui seraient le résultat d'une indisponibilité de la puissance énergétique nécessaire pour faire fonctionner les infrastructures d'IA. Cet auto-alimentation non encadré entraînerait de facto une divergence entre les dynamiques d'évolution de l'intensité carbone des mix énergétiques locaux décidés par les puissances étatiques, et celle des moyens de production des centres de données décidés par des acteurs privés.

Annexe 8 – France – Filière centres de données - Consommation électrique et émissions de gaz à effets de serre : état des lieux



Lien fichier Excel associé : (The Shift Project, 2025c)

Le modèle dont la méthodologie est présentée dans cette annexe est disponible pour celles et ceux souhaitant le manipuler. Il a été développé sur Excel.

L'objectif est d'évaluer l'état actuel et les évolutions des capacités installées, des consommations et de l'empreinte carbone des centres de données entre 2020 et 2035.

Périmètres et données

Le périmètre géographique du modèle couvre les centres de données situés en France. Pour le calcul de l'empreinte de la filière, les consommations des centres de données situés à l'étranger ont été intégrés mais n'ont pas fait l'objet d'une modélisation : elles ont été estimées par l'étude de Hubblo réalisée fin 2023. Elles ont été intégrées pour donner une vision de l'empreinte carbone des centres de données et non seulement des émissions territoriales.

Le périmètre des centres de données étudiés est celui de tous les centres de données nécessitant une infrastructure dédiée. Ils ont été scindés en quatre types.

- HPC (High Performance Computing)

Ces centres de données HPC sont caractérisés par des puissances surfaciques supérieures et sont généralement utilisés pour des calculs à haute performance, le cloud computing ou encore l'intelligence artificielle.

- Annonces sommet de l'IA

Les centres de données de type "Annonces sommet de l'IA" sont ceux dont les capacités ont été annoncées en février 2025, lors du Sommet de l'IA.

- Colocations

Les centres de données en colocation sont des installations partagées, où plusieurs entreprises ou organisations louent de l'espace pour y installer leurs propres serveurs. Ces centres de données offrent une flexibilité accrue aux entreprises qui n'ont pas les ressources ou l'infrastructure nécessaires pour construire et maintenir leurs propres centres. Ils partagent l'espace et les ressources entre plusieurs clients, et peuvent être utilisés pour des applications commerciales classiques ou des services cloud par exemple. Cette catégorie n'est pas caractérisée par une puissance particulière.

- Edge

Les centres de données « edge » se distinguent par leur implantation au plus près des utilisateurs finaux et leur capacité à traiter les données localement, ce qui réduit les délais de transmission et améliore la latence. Ils sont particulièrement adaptés aux applications en temps réel nécessitant une bonne réactivité. Généralement de taille réduite, ces centres affichent une puissance électrique inférieure à 10 MW et s'implantent le plus souvent au cœur ou à proximité des zones urbaines. Leur rôle consiste notamment à offrir une connectivité renforcée à des entreprises.

Enfin, le périmètre temporel étudié est situé entre 2020 et 2035.

- Les principales sources de données utilisées pour ce modèle sont les suivantes :

- **RTE :**
 - Dans le schéma de développement du réseau (SDDR), RTE fournit des données sur les demandes de raccordement à date. Le dernier date de 2025.
 - Dans les Bilans prévisionnels (BP), RTE établit des projections des consommations du secteur. Dans le BP 2023-2035, en particulier le chapitre sur la consommation d'électricité, RTE établit des projections de la consommation des centres de données en 2030 et 2035.
 - Dans les Futur(s) Énergétique(s), RTE a réalisé 6 scénarios de production d'électricité. Afin de déterminer le facteur d'émission de l'électricité française entre 2020 et 2050, nous avons utilisé le mix du scénario NO3.
- **ENEDIS :**
 - En 2025, dans son Observatoire français de la transition écologique, ENEDIS fournit l'évolution de la consommation électrique de certains de leurs centres de données entre 2019 et 2024.
- **Hubblo :**
 - En septembre 2023, le cabinet Hubblo a publié une étude sur l'impact importé des centres de données du fait des centres de données situés à l'étranger et associés à des usages français.
- **AIE :**
 - Dans le World Energy Outlook 2024, l'AIE a construit trois scénarios selon les voies que pourrait emprunter le secteur énergétique, les leviers que les décideurs peuvent utiliser pour les atteindre. Afin de déterminer le facteur d'émission de l'électricité mondiale entre 2020 et 2050, nous avons utilisé le scénario Stated Policies (STEPS).
- **L'étude de l'ADEME-Arcep** « Evaluation de l'impact environnemental du numérique en France et analyse prospective » de 2023 : cette étude estime la consommation électrique pour 2020 de plusieurs types de centres de données : colocation, HPC, traditionnels pour acteurs publics et entreprises.
- Pour l'empreinte carbone, nous avons ajouté aux émissions territoriales les émissions des centres de données utilisés à l'étranger, qui ont été estimées par Hubblo fin 2023 à 13,33 TWh.

Ces données bien que parcellaires nous ont permis d'estimer les capacités installées en 2020 en France.

Paramètres étudiés

Trois paramètres principaux ont été estimés dans cette étude : la consommation et la capacité des centres de données en France et l'empreinte des centres de données.

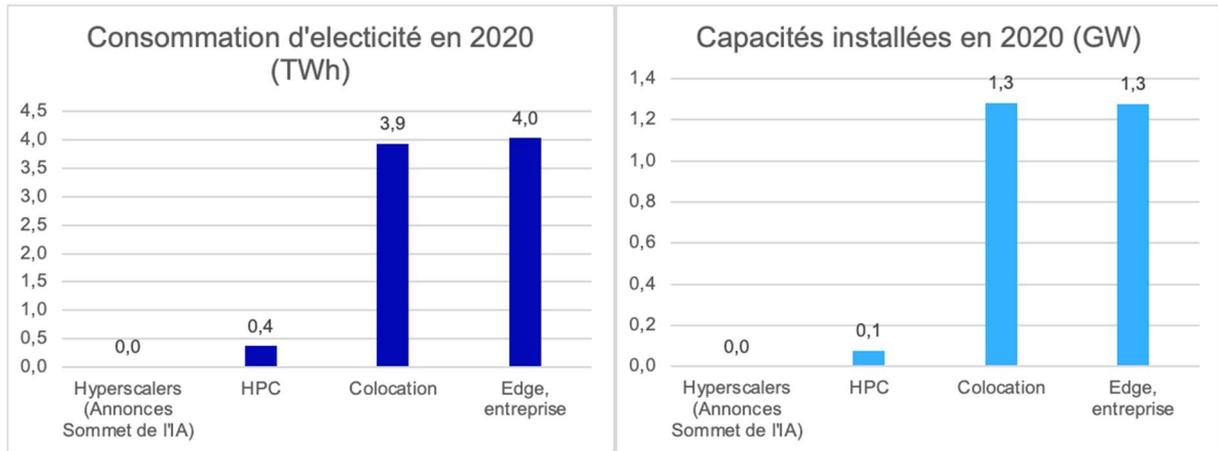
Méthode de calcul

Pour estimer les capacités en centre de données installés en France en 2020 des colocations et HPC, nous avons utilisé les données de l'étude ADEME-Arcep (voir onglet Modélisation lignes 10 à 20).

Pour les centres de données entreprise / edge, nous avons utilisé les données d'ENEDIS de consommation en faisant une hypothèse sur le facteur de charge moyen de ces centres de

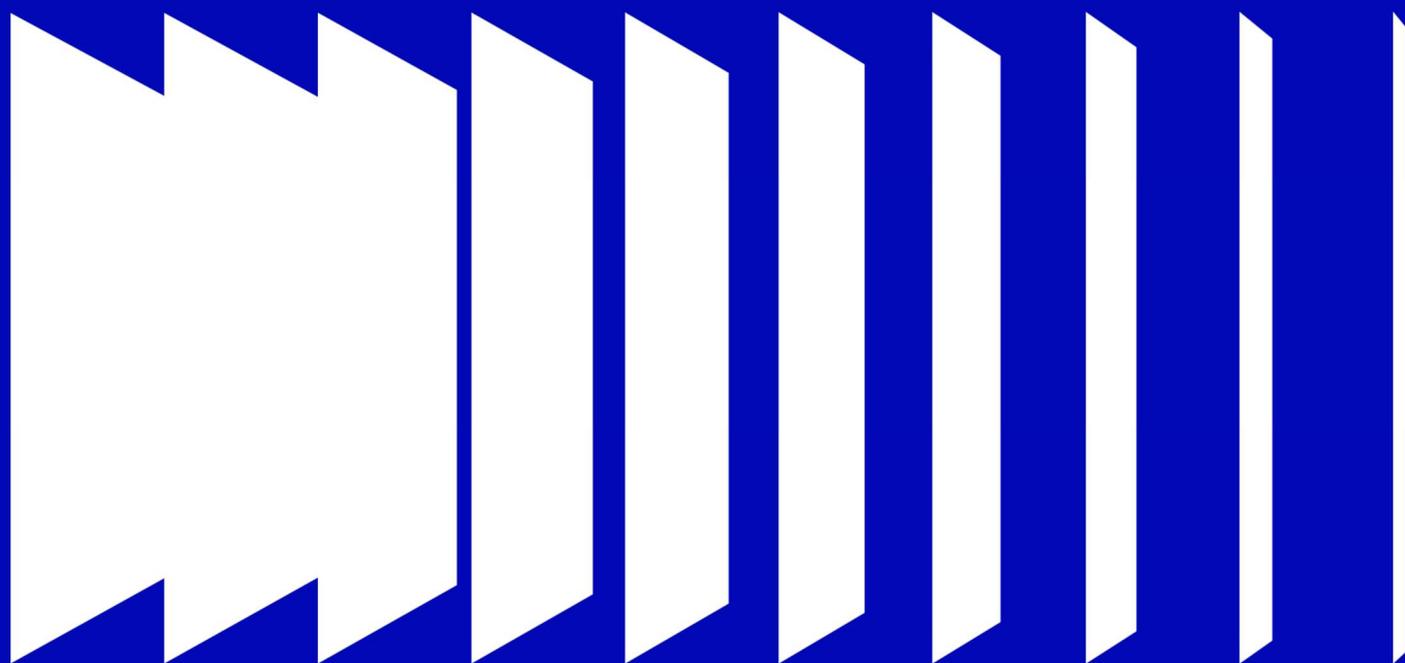
données (35%) ainsi que sur la part que représentent la consommation affichée par ENEDIS dans l'ensemble de centres de données de ce type (les 2/3).

Résultats



La consommation totale estimée en 2020 est de 8,3 TWh, la capacité totale installée est de 2,6 GW et l'empreinte de la filière (usages à l'étranger inclus) est de 10,2 ktCO₂e.

Annexe 9 – France – Filière
centres de données -
Consommation électrique et
émissions de gaz à effets de
serre : scénarios proposés



Lien fichier Excel associé : (The Shift Project, 2025c)

Le modèle dont la méthodologie est présentée dans cette annexe est disponible pour celles et ceux souhaitant le manipuler. Il a été développé sur Excel.

L'objectif est d'évaluer l'état actuel et les évolutions des capacités installées, des consommations et de l'empreinte carbone des centres de données entre 2020 et 2035.

Périmètres et données

Le périmètre géographique du modèle couvre les centres de données situés en France. Pour le calcul de l'empreinte de la filière, les consommations des centres de données situés à l'étranger ont été intégrés mais n'ont pas fait l'objet d'une modélisation : elles ont été estimées par l'étude de Hubblo réalisée fin 2023. Elles ont été intégrées pour donner une vision de l'empreinte carbone des centres de données et non seulement des émissions territoriales.

Le périmètre des centres de données étudiés est celui de tous les centres de données nécessitant une infrastructure dédiée. Ils ont été scindés en quatre types.

- HPC (High Performance Computing)

Ces centres de données HPC sont caractérisés par des puissances surfaciques supérieures et sont généralement utilisés pour des calculs à haute performance, le cloud computing ou encore l'intelligence artificielle.

- Annonces sommet de l'IA

Les centres de données de type "Annonces sommet de l'IA" sont ceux dont les capacités ont été annoncées en février 2025, lors du Sommet de l'IA.

- Colocations

Les centres de données en colocation sont des installations partagées, où plusieurs entreprises ou organisations louent de l'espace pour y installer leurs propres serveurs. Ces centres de données offrent une flexibilité accrue aux entreprises qui n'ont pas les ressources ou l'infrastructure nécessaires pour construire et maintenir leurs propres centres. Ils partagent l'espace et les ressources entre plusieurs clients, et peuvent être utilisés pour des applications commerciales classiques ou des services cloud par exemple. Cette catégorie n'est pas caractérisée par une puissance particulière.

- Edge

Les centres de données « edge » se distinguent par leur implantation au plus près des utilisateurs finaux et leur capacité à traiter les données localement, ce qui réduit les délais de transmission et améliore la latence. Ils sont particulièrement adaptés aux applications en temps réel nécessitant une bonne réactivité. Généralement de taille réduite, ces centres affichent une puissance électrique inférieure à 10 MW et s'implantent le plus souvent au cœur ou à proximité des zones urbaines. Leur rôle consiste notamment à offrir une connectivité renforcée à des entreprises.

Enfin, le périmètre temporel étudié est situé entre 2020 et 2035.

Les principales sources de données utilisées pour ce modèle sont les suivantes :

- RTE :

- Dans le schéma de développement du réseau (SDDR), RTE fournit des données sur les demandes de raccordement à date. Le dernier date de 2025.
- Dans les Bilans prévisionnels (BP), RTE établit des projections des consommations du secteur. Dans le BP 2023-2035, en particulier le chapitre sur la consommation d'électricité, RTE établit des projections de la consommation des centres de données en 2030 et 2035.
- Dans les Futur(s) Énergétique(s), RTE a réalisé 6 scénarios de production d'électricité. Afin de déterminer le facteur d'émission de l'électricité française entre 2020 et 2050, nous avons utilisé le mix du scénario NO3.
- **ENEDIS :**
 - En 2025, dans son Observatoire français de la transition écologique, ENEDIS fournit l'évolution de la consommation électrique de certains de leurs centres de données entre 2019 et 2024.
- **Hubblo :**
 - En septembre 2023, le cabinet Hubblo a publié une étude sur l'impact importé des centres de données du fait des centres de données situés à l'étranger et associés à des usages français.
- **AIE :**
 - Dans le World Energy Outlook 2024, l'AIE a construit trois scénarios selon les voies que pourrait emprunter le secteur énergétique, les leviers que les décideurs peuvent utiliser pour les atteindre. Afin de déterminer le facteur d'émission de l'électricité mondiale entre 2020 et 2050, nous avons utilisé le scénario Stated Policies (STEPS).
- **L'étude de l'ADEME-Arcep « Evaluation de l'impact environnemental du numérique en France et analyse prospective » de 2023 :** cette étude estime la consommation électrique pour 2020 de plusieurs types de centres de données : colocation, HPC, traditionnels pour acteurs publics et entreprises.
- Pour l'empreinte carbone, nous avons ajouté aux émissions territoriales les émissions des centres de données utilisés à l'étranger, qui ont été estimées par Hubblo fin 2023 à 13,33 TWh.

Ces données bien que parcellaires nous ont permis d'estimer les capacités installées en 2020 en France.

Paramètres étudiés

Trois paramètres principaux ont été estimés dans cette étude : la consommation et la capacité des centres de données en France et l'empreinte des centres de données.

Scénarisation

Ce modèle nous a permis de construire :

1. Un scénario « nouveau tendanciel », avec deux variantes, selon que les annonces faites au Sommet de l'IA se réalisent ou non. Il s'agit d'un scénario **exploratoire**.
2. Un scénario « cible », dans lequel nous analysons la faisabilité du respect de deux objectifs : - 30% d'émissions en 2030 par rapport à 2020 et -90% en 2050 par rapport à 2020. Il s'agit d'un scénario **normatif**.

3. Le dernier scénario, « anciennement tendanciel », qui n'est pas issu d'une modélisation de notre part mais de précédentes prospectives réalisées par l'ADEME et l'Arcep en 2023.

Méthode de calcul

a) Méthode de calcul des capacités

Les données de puissance prévues par RTE ainsi que leur état d'avancement dans le processus de raccordement constituent la base de la modélisation.

Nous définissons, pour chaque projet, une capacité maximale installée proportionnelle à la capacité théorique initialement annoncée :

- pour les centres de données conventionnels (HPC, colocation et edge) atteint en 10 ans de manière linéaire. $\frac{P_{max}}{P_{th}} = 0.60$
- pour les centres de données de type hyperscaler: $\frac{P_{max}}{P_{th}} = 0.70$ atteint en 5 ans de manière linéaire.
où P_{th} est la puissance théorique annoncée et P_{max} la puissance maximale installée.

Ainsi, pour un centre de données de 100 MW, la puissance maximale installée au bout de 10 ans est de 60 MW. Pour un hyperscaler annoncé à 1 GW comme cela fut le cas au sommet de l'IA, la puissance maximale installée, au bout de 5 ans, est de 700 MW.

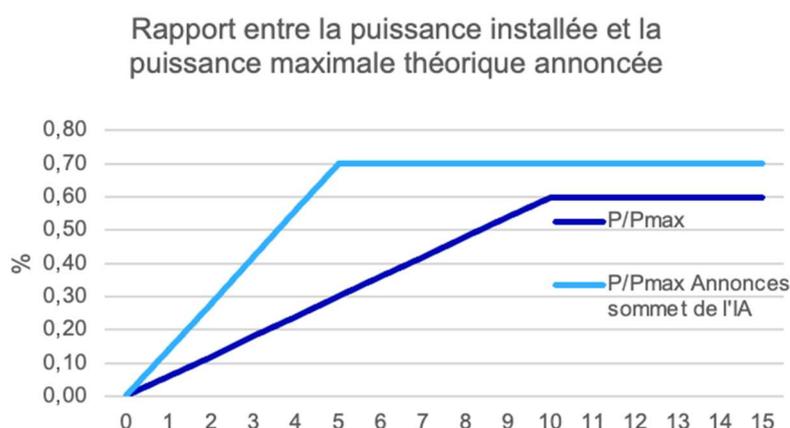


Figure XX - Rapport entre la puissance installée en année n et la puissance maximale théorique annoncée par les opérateurs des centres de données

En connaissant la durée des différentes étapes de raccordement, il est alors possible d'estimer la capacité supplémentaire mise en service chaque année.

Le passage des capacités totales aux capacités par type de centre de données s'appuie sur des hypothèses de répartition évolutives :

- Pour les données issues de **RTE**, une clé de répartition entre HPC, hyperscalers et colocation est appliquée.
- Pour les **colocations non raccordées par RTE** (relevant d'ENEDIS ou d'autres distributeurs locaux), les données ne sont pas directement disponibles ; nous considérons que l'hypothèse de part relative permet d'intégrer ces puissances manquantes.
- Pour les **centres edge**, nous mobilisons les données de l'Observatoire ENEDIS, tout en supposant que celui-ci sous-estime le parc réel.

b) Méthode de calcul de la consommation

Le facteur de charge est le rapport entre la quantité réelle d'énergie délivrée par un système au cours d'une période donnée, par opposition à la quantité maximale d'énergie qui aurait pu être délivrée par un système sur la même période.

Le produit entre une capacité installée, son facteur de charge et le temps écoulé sur une année donne la consommation annuelle du système considéré. Pour intégrer une évolution du facteur de charge d'un centre de données au cours du temps, nous avons fait évoluer le facteur de charge entre l'année 1 et l'année n.

$$C = P_{max} \times Fc \times t_{1an}$$

où C est la consommation annuelle (Wh),

P_{max} est la puissance maximale installée (W),

Fc est le facteur de charge (%),

$t_{1an} = 8760$ heures pour une année complète.

Pour le facteur de charge, on distingue également ceux des centres de données conventionnels de ceux des centres de données du sommet de l'IA qui sont des hyperscalers.

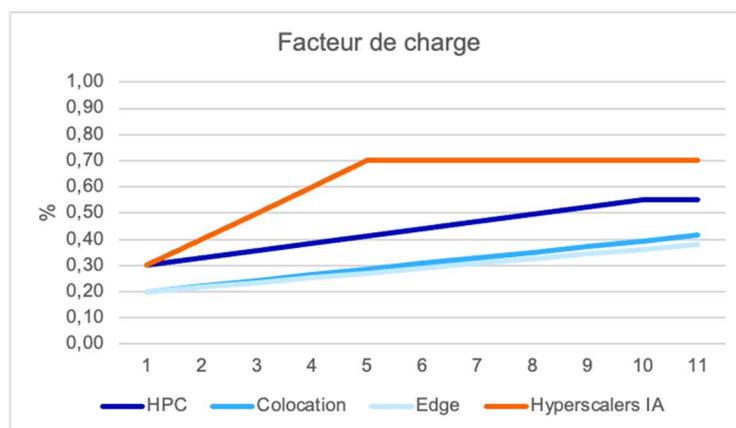


Figure XX - Rapport entre la puissance installée en année n et la puissance maximale théorique annoncée par les opérateurs des centres de données

Pour rappel, nous possédons les capacités supplémentaires installées chaque année. Il s'agit d'un produit matriciel entre une matrice qui contient, pour chaque année « i » entre 2020 et 2035, les capacités installées en fonction du nombre d'années « j » qu'elles sont installées, et un vecteur qui contient les facteurs de charge de la puissance en année « j ».

$$\begin{bmatrix} P_{1_{2020}} & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ P_{1_{2021}} & P_{2_{2020}} & 0 & \cdots & 0 \\ P_{1_{2022}} & P_{2_{2021}} & P_{3_{2020}} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{1_{2035}} & P_{2_{2034}} & P_{3_{2033}} & \cdots & P_{16_{2020}} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_{16} \end{bmatrix} \times t_{1an} = \begin{bmatrix} C_{2020} \\ C_{2021} \\ \vdots \\ C_{2035} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Où P_{ij} représente la puissance installée à l'année j depuis i années ,
 f_i est le facteur de charge associé à l'année i ,
 t_{1an} est la durée d'une année en heures (8760 heures),
 C_j est la consommation en année j .

c) Méthode de calcul des émissions

L'empreinte carbone des centres de données est estimée à partir des consommations d'électricité et des facteurs d'émission associés. Le calcul distingue les usages français localisés en France et ceux hébergés à l'étranger.

Afin d'estimer l'empreinte des centres de données pour chaque scénario, et son évolution au cours des années, plusieurs données sont nécessaires :

- la consommation des usages français dans les centres de données à l'étranger,
- la consommation des usages français dans les centres de données en France,
- le facteur d'émission de l'électricité en France,
- le facteur d'émission de l'électricité dans les pays hébergeants les centres de données servant aux usages français,

Les calculs nous permettant de remonter à l'empreinte du secteur sont les suivants.

$$E_{tot}(t) = E_{FR}(t) + E_{EXT}(t)$$

où $E_{tot}(t)$: émissions totales des centres de données utilisés pour les usages français à l'année t .

et avec :

$$E_{FR}(t) = C_{FR}(t) \times FE_{FR}(t)$$

où $C_{FR}(t)$: consommation électrique des centres de données en France à l'année t ,

et $FE_{FR}(t)$: facteur d'émission de l'électricité française à l'année t .

$$E_{EXT}(t) = C_{EXT}(t) \times FE_{EXT}(t)$$

où $C_{EXT}(t)$: consommation des usages français dans des centres de données à l'étranger à l'année t ,

et $FE_{EXT}(t)$: facteur d'émission de ces pays à l'année t .

Voici comment chacune de ces variables a été calculée :

- $C_{FR}(t)$

L'évolution de la consommation électrique des centres de données implantés en France est directement issue des scénarios construits dans le modèle (scénario « nouveau tendanciel » et ses deux variantes, ainsi que scénario « cible »).

- $FE_{FR}(t)$: RTE, Futur(s) énergétique(s)

Pour le facteur d'émission de l'électricité consommée en France, nous avons retenu les hypothèses du scénario NO3 issu de la prospective Futur(s) énergétique(s) 2050 de RTE, qui décrit l'évolution du mix national entre 2020 et 2050, avec un pas de 10 ans.

- $C_{EXT}(t)$: l'étude du cabinet Hubblo.

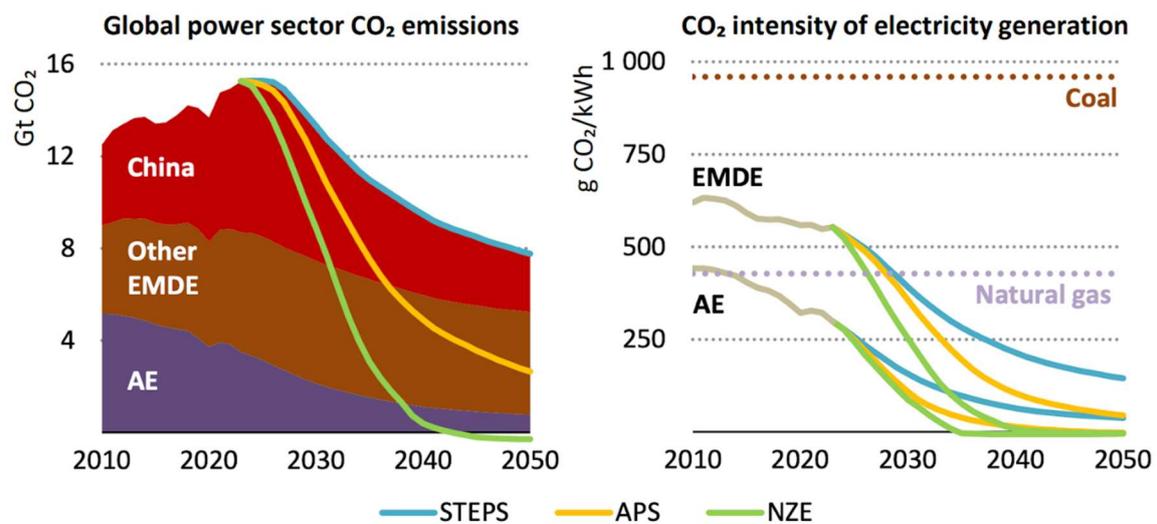
La consommation des usages français hébergés hors du territoire a été évaluée par le cabinet Hubblo à 13,33 TWh en 2023. Dans le modèle, cette valeur est supposée constante sur toute la période de projection. Cette hypothèse est prudente mais limitante : elle ignore la croissance probable des usages numériques, tant en France qu'à l'international. Le choix de constance résulte avant tout d'une contrainte de temps, faute d'avoir pu développer une modélisation de cette consommation.

- $FE_{EXT}(t)$: AIE

Pour les centres de données situés hors de France, nous avons utilisé les trajectoires fournies par l'Agence internationale de l'énergie (AIE) dans le World Energy Outlook 2024. Plus précisément, nous avons retenu le scénario STEPS (Stated Policies), fondé sur les politiques actuelles, les données de marché les plus récentes et les évolutions technologiques.

Cela suppose notamment que les centres de données sont uniquement alimentés à l'électricité nationale du pays en question, hypothèse conservatrice vis-à-vis des tendances observées (aux USA notamment) : alimentation via des centrales à gaz, construction de centrales nucléaires, photovoltaïques ou éoliennes spécifiquement pour le centre de données, etc.

Figure 3.26 ▶ Global power sector CO₂ emissions and CO₂ intensity of electricity generation by region and scenario, 2010-2050



IEA. CC BY 4.0.

Résultats

Capacités raccordées sur le territoire

Pour le scénario exploratoire "nouveau tendancier" et ses deux variantes, les capacités raccordées de centres de données en 2035 sont de 12,5 et 10,4 GW respectivement selon que les annonces du sommet de l'IA se réalisent ou non.

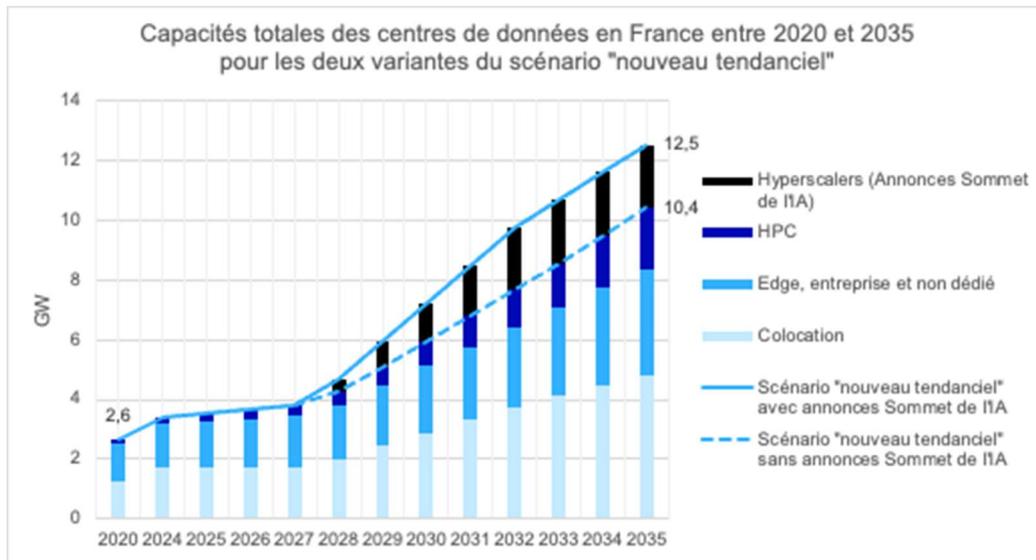


Figure XX - Puissance totale installée en centres de données en France entre 2020 et 2035 pour les deux variantes du scénario "nouveau tendanciel"

Consommations sur le territoire

Pour le scénario exploratoire "nouveau tendanciel" et ses deux variantes, les consommations d'électricité des centres de données en France sont :

- en 2030, de 23 et 19 TWh respectivement selon que les annonces du sommet de l'IA se réalisent ou non,
- en 2035, de 45 et 33 TWh respectivement selon que les annonces du sommet de l'IA se réalisent ou non.

Ainsi, si les puissances du Sommet de l'IA et à Chosse France n'étaient pas installées, la consommation des centres de données passerait de 8 TWh en 2020 à 33 TWh en 2035. Pour rappel, RTE dans les Futur(s) Énergétique(s) prévoit une consommation totale d'électricité en France en 2035 de 535 TWh : celle des centres de données représenterait alors 6,5% du total.

Pour le scénario "ancien tendanciel", qui est le résultat de l'étude de l'ADEME-Arcep (2023), la consommation en 2030 est de 16 TWh, et en 2035, 22 TWh.

Enfin, pour le scénario cible, qui vise un objectif de réduction des émissions nationales du secteur de 30% entre 2020 et 2030, la consommation en 2030 est de 9,3 TWh.

N.B. : sur la figure XX, la consommation du scénario cible est tracée jusqu'à 2035 : cette consommation n'est que le prolongement de la droite entre 2020 et 2030.

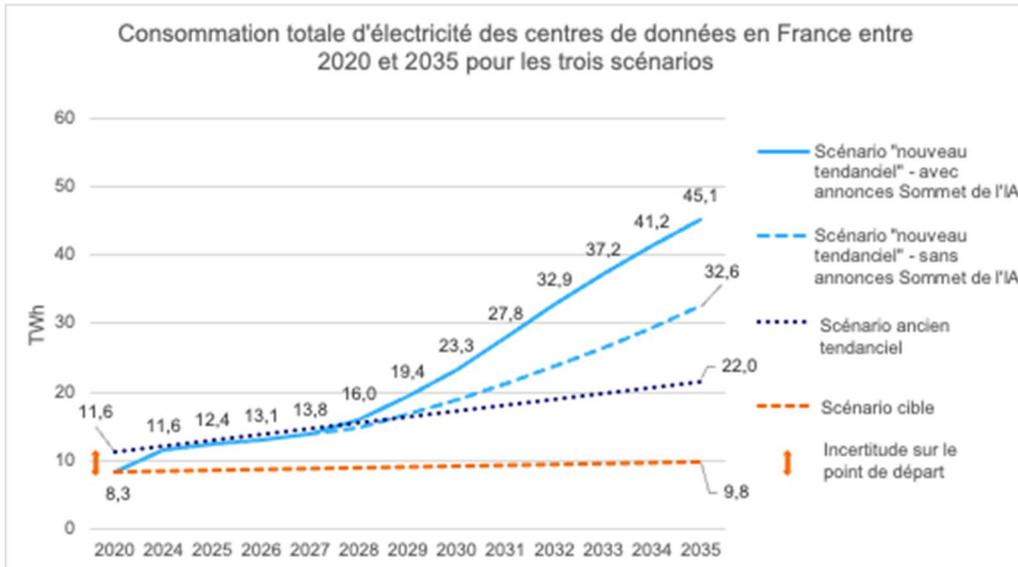


Figure XX - Consommation totale d'électricité par les centres de données en France entre 2020 et 2035 selon les 3 scénarios

Pour le scénario "nouveau tendanciel", les consommations pour les 4 types de centres de données sont disponibles et affichées dans la figure XX ci-dessous.

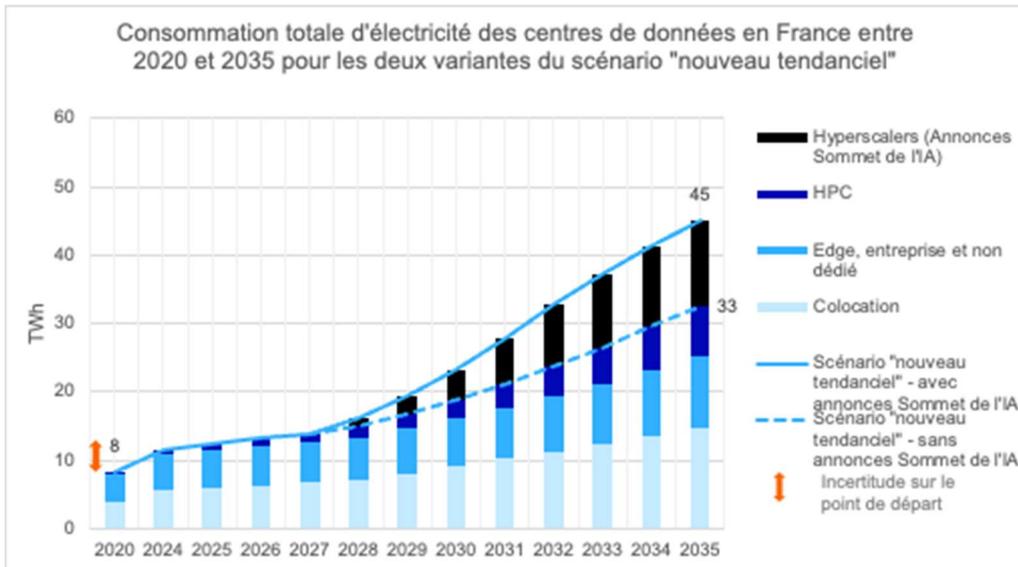
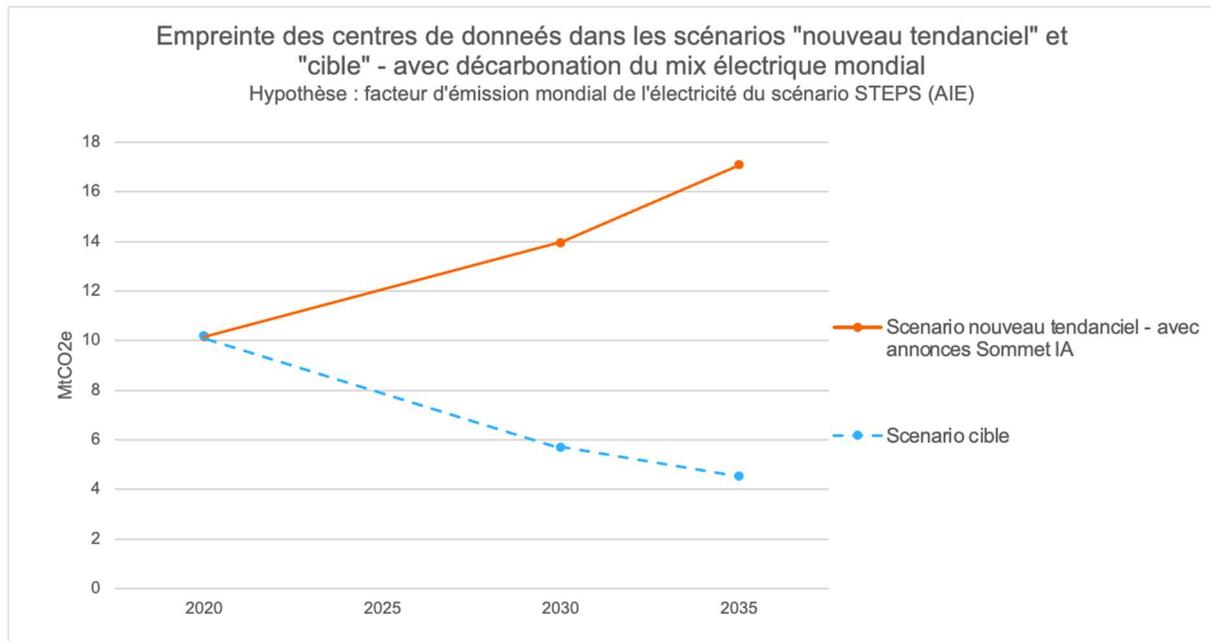
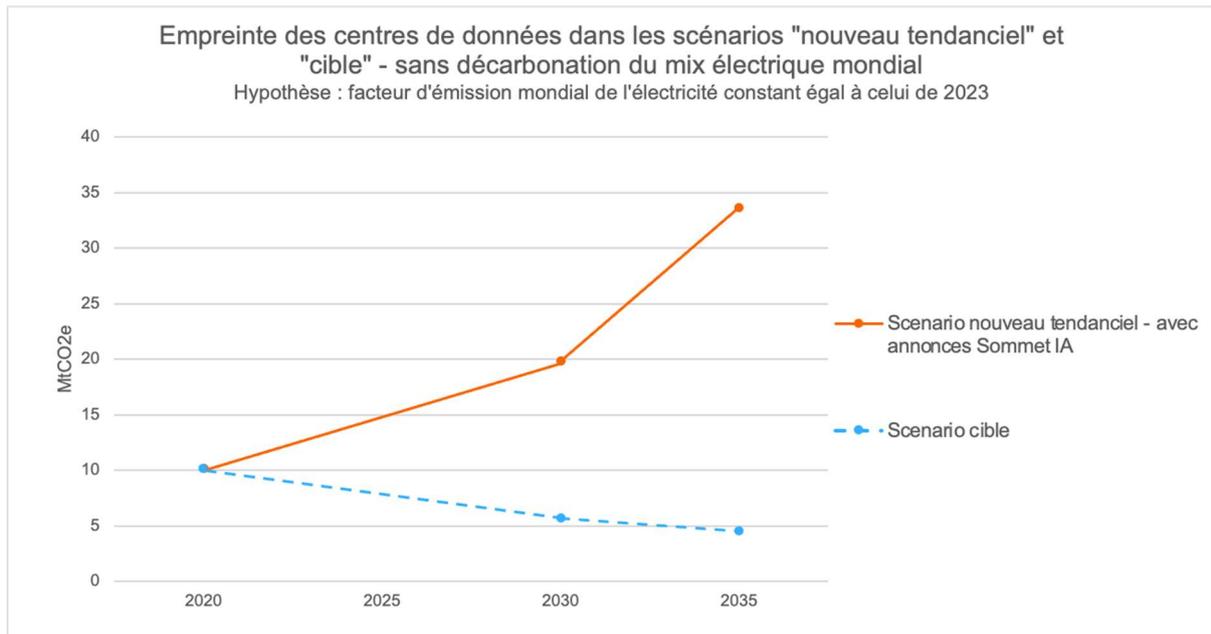


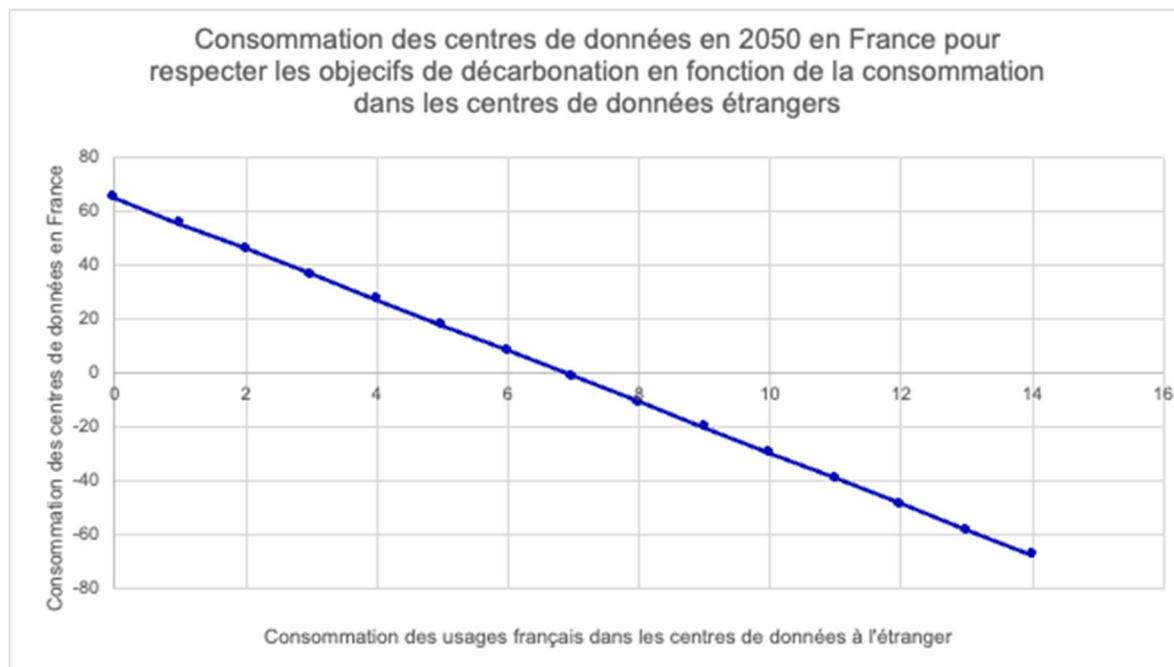
Figure XX - Consommation totale d'électricité par les centres de données en France entre 2020 et 2035 selon le scénario "nouveau tendanciel"

Empreinte du secteur en 2030 et 2035



Les usages français dans les centres de données étrangers occupent une place majeure dans l'empreinte de la filière.

Objectif -90% en 2050



Limites du modèle

- Couverture partielle du parc de centres de données

Le modèle repose principalement sur les données disponibles des capacités futures raccordées par les distributeurs de réseaux que sont RTE et ENEDIS. Cependant, une part significative des petits centres de données – en particulier ceux intégrés aux infrastructures d'entreprises ou d'administrations – n'est pas systématiquement traquée. Leur consommation énergétique et leur puissance installée restent donc largement estimatives, ce qui introduit une marge d'incertitude sur l'évaluation globale. De plus, une autre partie de ces infrastructures sont alimentées par d'autres opérateurs que RTE et ENEDIS : les distributeurs des collectivités.

- Répartition des émissions entre fabrication et utilisation

L'hypothèse d'une part constante des émissions liées à la fabrication des équipements et celles liées à leur utilisation repose sur une approche simplificatrice. En réalité, plusieurs dynamiques viennent remettre en cause cette constance.

- la décarbonation des pays producteurs d'équipements, notamment dans les économies émergentes, ainsi que la décarbonation des pays utilisateurs ;
- l'évolution des usages, qui influence le rythme de renouvellement et la durée de vie des infrastructures ;
- les transformations de l'industrie minière et des chaînes d'approvisionnement, qui modifient l'intensité carbone de la fabrication.

Ainsi, les résultats du modèle ne tiennent pas en compte ces évolutions possibles.

- Consommation énergétique des usages français à l'étranger

La consommation liée aux services numériques localisés hors du territoire français a été supposée constante. Cette hypothèse néglige les éventuelles variations liées à la croissance des usages, à la localisation future des centres de données et aux stratégies de délocalisation ou relocalisation des opérateurs et des pays.

- Demandes de raccordement supplémentaires entre 2025 et 2035

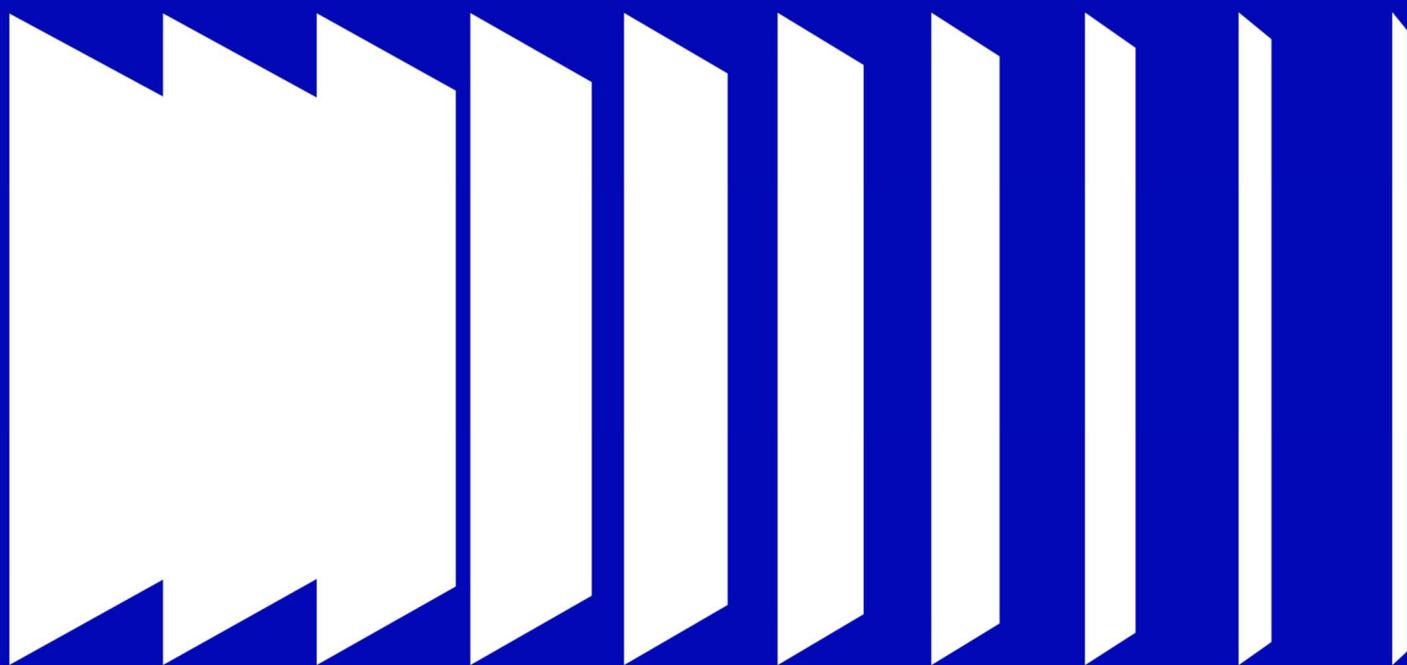
Le modèle ne prend pas en compte les nouvelles demandes susceptibles d'apparaître à l'horizon 2025–2035, notamment avec la montée en puissance de l'intelligence artificielle. Ces évolutions pourraient fortement modifier les trajectoires de consommation et d'émissions.

- Catégorisation des centres de données et rattachement aux réseaux

Enfin, la correspondance entre les catégories de centres de données (HPC, colocation, edge, hyperscalers) et les réseaux de distribution n'a pas été réalisée. La répartition entre gestionnaires – principalement ENEDIS, RTE et les autres distributeurs locaux – n'est pas étudiée sauf pour les HPC et hyperscalers qui, du fait des puissances de raccordement nécessaires, sont opérés par RTE.

Cela est notamment dû au fait que le modèle repose sur une grille de classification qui n'est pas basée sur des puissances ou puissances surfaciques spécifiques.

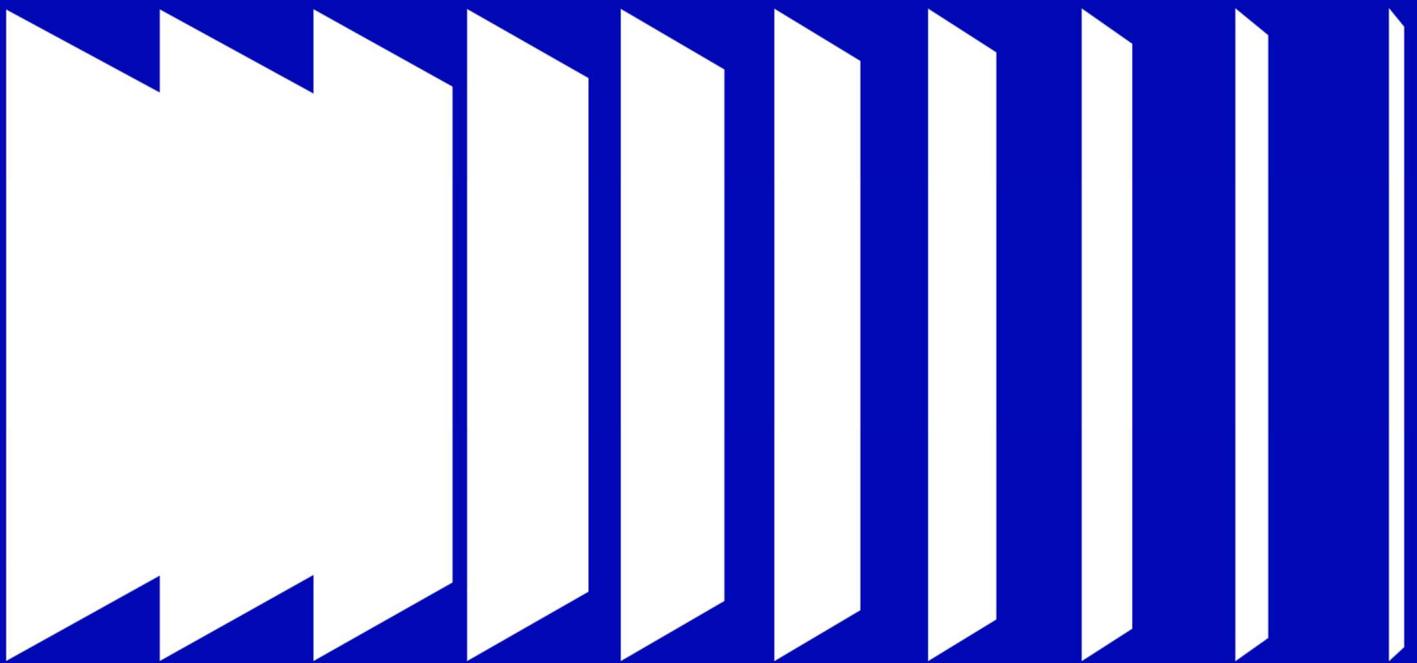
Annexe 10 – IA – Cas d'usage : l'assistant personnel de compte- rendu



La méthodologie explicitée dans le rapport a été appliquée au cas d'usage de l'assistant personnel de compte-rendu : cf. « XVII - Etude de cas : L'assistant personnel de compte-rendu » (The Shift Project, 2025a).

Le support quantitatif à cela est ici : (The Shift Project, 2025b).

Annexe 11 – IA – Description qualitative de niveaux d'impacts



L'objectif de cette grille est de dépasser la vision des impacts directs d'un service en se donnant un premier cadre de réflexion au niveau du système numérique : **dans quelle trajectoire macroscopique s'est-on implicitement projeté pour effectuer nos choix technologiques ?**

Pour cela, quatre questions permettent d'identifier rapidement la tendance des infrastructures physiques que la solution va alimenter si elle est déployée : le déploiement de cette solution technique s'appuie-t-il sur...

1. ... la généralisation d'un nouvel équipement (capteur, terminal utilisateur etc.) ?
2. ... la multiplication des capacités de calcul disponibles ?
3. ... l'augmentation des volumes de données valorisables et/ou stockées ?
4. ... l'augmentation des capacités réseaux (bande passante, couverture, latence) ?

Dans l'idée, plus une solution technique alimente de dynamiques parmi ces quatre-ci, moins elle est susceptible de pouvoir exister dans un monde où l'infrastructure numérique est décarbonée et sobre. Ces niveaux restent relatifs, adaptés au cas de la France en 2025, les niveaux ne sont pas reliés quantitativement (engager un niveau 3 réseaux n'équivaut pas forcément en termes d'impact à engager un niveau 3 en termes de terminaux).

Une grille de lecture est proposée inspirée de l'approche développée dans les scénarios ADEME « Transition(s) 2050 » (ADEME, 2021). Elle permet de donner des points de repères qualitatifs sur les dynamiques structurantes du système numérique en les projetant dans **quatre grands niveaux d'intensité énergie, carbone et matérielle** : voir Tableau 1.

En complément, une grille permet aussi de se projeter dans **quatre grands niveaux d'intensité de déploiement** : voir Tableau 2.

Niveau / Intensité	Centres de données	Réseaux	Terminaux
1	<p>Le service, pour être déployé, s'appuie sur (et/ou) :</p> <ul style="list-style-type: none"> Des niveaux de services (disponibilité, latence etc.) plus faibles que la moyenne aujourd'hui Des capacités de stockage (données accessibles et/ou valorisables) plus faibles que la moyenne aujourd'hui 	<p>Le service, pour être déployé, s'appuie sur (et/ou) :</p> <ul style="list-style-type: none"> Des usages majoritairement WiFi plutôt qu'en mobile Une bande passante inférieure et une latence équivalente à aujourd'hui Une couverture équivalente à aujourd'hui 	<p>Le service, pour être déployé, s'appuie sur (et/ou) :</p> <ul style="list-style-type: none"> Des smartphones aux capacités équivalentes à aujourd'hui, voire des feature phones pour une partie des utilisateurs Pas de nouveaux objets connectés, hors e-santé Des équipements (écrans, TV, consoles etc.) déjà déployés aujourd'hui
2	<p>Le service, pour être déployé, s'appuie sur (et/ou) :</p> <ul style="list-style-type: none"> Des niveaux de services (disponibilité, latence etc.) équivalent à la moyenne aujourd'hui Des capacités de stockage (données accessibles et/ou valorisables) équivalent à la moyenne aujourd'hui 	<p>Le service, pour être déployé, s'appuie sur (et/ou) :</p> <ul style="list-style-type: none"> Des usages majoritairement WiFi plutôt qu'en mobile Une bande passante et une latence équivalentes à aujourd'hui Une couverture équivalente à aujourd'hui 	<p>Le service, pour être déployé, s'appuie sur (et/ou) :</p> <ul style="list-style-type: none"> Des smartphones aux capacités légèrement supérieures à aujourd'hui - Un nouvel objet connecté Des équipements (TV, consoles etc.) déjà déployés aujourd'hui
3	<p>Le service, pour être déployé, s'appuie sur (et/ou) :</p> <ul style="list-style-type: none"> Des niveaux de services (disponibilité, latence etc.) évoluant selon tendance actuelle moyenne Des capacités de stockage (données accessibles et/ou valorisables) évoluant selon tendance actuelle moyenne 	<p>Le service, pour être déployé, s'appuie sur (et/ou) :</p> <ul style="list-style-type: none"> Des usages mobiles croissants Une bande passante et une latence 4G ou 5G Une couverture qui continue d'augmenter (routes etc.) 	<p>Le service, pour être déployé, s'appuie sur (et/ou) :</p> <ul style="list-style-type: none"> Des smartphones dont les capacités évoluent selon tendance actuelle Plusieurs nouveaux objets connectés, interagissant entre eux Des équipements (TV, consoles etc.) évoluant selon tendance actuelle

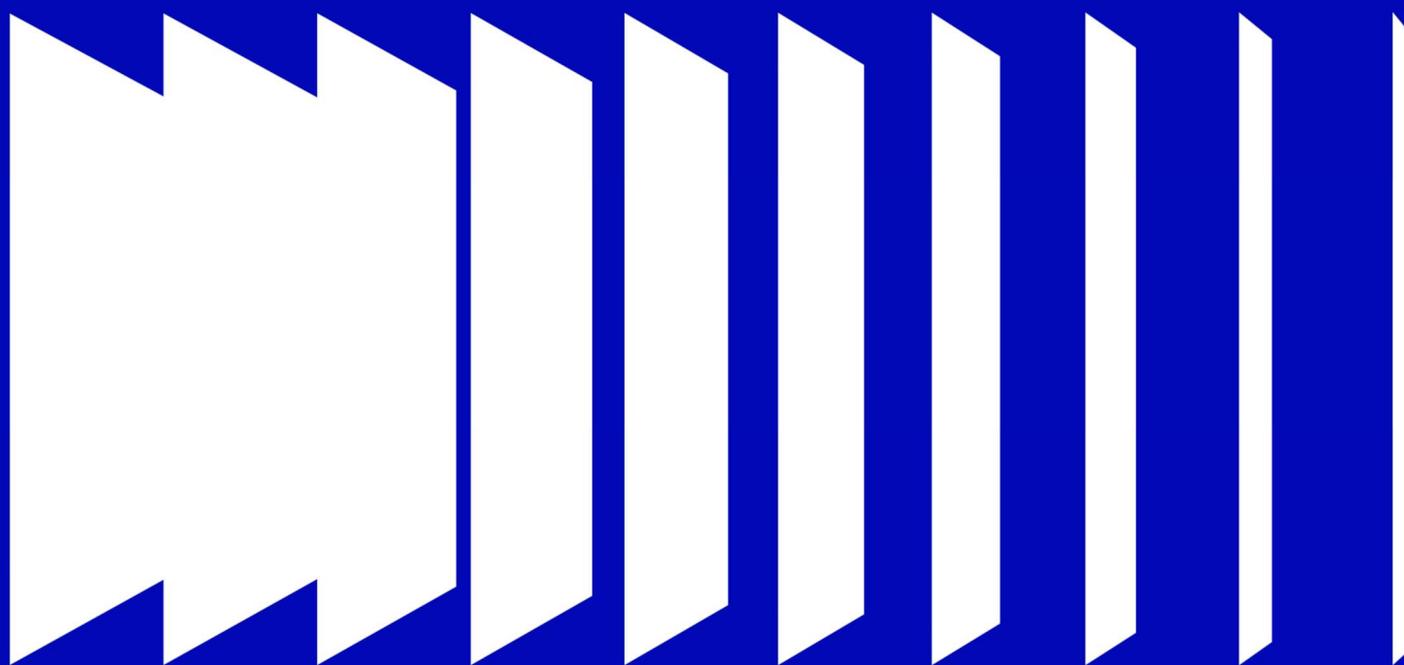
4	<p>Le service, pour être déployé, s'appuie sur (et/ou) :</p> <ul style="list-style-type: none"> Des niveaux de services (disponibilité, latence etc.) aux meilleurs standards actuels ou davantage Des capacités de stockage (données accessibles et/ou valorisables) aux meilleurs standards actuels ou davantage 	<p>Le service, pour être déployé, s'appuie sur (et/ou) :</p> <ul style="list-style-type: none"> Des usages mobiles croissants Une bande passante et une latence 5G ou plus Une couverture qui continue d'augmenter (routes etc.) 	<p>Le service, pour être déployé, s'appuie sur (et/ou) :</p> <ul style="list-style-type: none"> Des smartphones dont les capacités évoluent selon tendance actuelle De nouvelles et grandes véritables infrastructures d'objets connectés Des équipements (TV, consoles etc.) évoluant selon tendance actuelle
---	--	---	---

Tableau 1 – Quatre niveaux d'intensité énergie, carbone, matérielle

Niveau / Intensité	Echelle de déploiement	Prise en compte du risque d'effet rebond
1	<p>Déploiement très ciblé pour répondre à un besoin particulièrement caractérisé. Ex : sites industriels identifiés, services particuliers d'hôpitaux, alternance entre quelques lieux culturels, écoles avec enjeux d'accessibilité spécifiques etc.</p>	<p>Risques d'effet rebond intégrés au service. Il existe des garde-fous (intégrés ou extérieurs au service) ciblant les dynamiques qui pourraient créer des effets rebonds.</p>
2	<p>Déploiement ciblé, sur certaines typologies de sites ou d'usages. Ex : tous les hôpitaux, les chaînes logistiques en général, tout site industriel faisant de la conception, tous les musées du territoire, toutes les écoles, les usagers intenses du jeu vidéo etc.</p>	<p>Risques d'effets rebond caractérisés comme étant limités. Il n'existe pas de garde-fous ciblant les dynamiques qui pourraient créer des effets rebonds. La documentation de leur effet démontre qu'ils peuvent réduire la pertinence énergie-carbone du service, mais pas la compenser totalement.</p>
3	<p>Déploiement indifférencié. Ex : solution connectée mise sur le marché grand public, outils d'entreprises mis sur le marché professionnel en général, marché du divertissement etc.</p>	<p>Risques d'effets rebond caractérisés comme étant importants. Il n'existe pas de garde-fous ciblant les dynamiques qui pourraient créer des effets rebonds. La documentation de leur effet démontre qu'ils peuvent réduire la pertinence énergie-carbone du service, jusqu'à la compenser totalement.</p>
4	<p>Déploiement indifférencié et adoption généralisée. Ex : équipement connecté devenant la nouvelle norme par substitution d'un ancien (comme le smartphone aujourd'hui), solution ou usage devenant la nouvelle norme dans la vie quotidienne privée ou professionnelle (comme le visionnage streaming aujourd'hui) etc.</p>	<p>Risques d'effets rebond non caractérisés. Il n'existe pas de garde-fous ciblant les dynamiques qui pourraient créer des effets rebonds. Aucune documentation de leur effet ne permet d'en évaluer l'importance.</p>

Tableau 2 – Quatre niveaux d'intensité de déploiement et quatre niveaux de prise en compte du risque d'intensité d'effet rebond

Annexe 12 – Monde – Impact de l'IA sur les terminaux : une première approche conséquentielle



De manière générale, bien que l'IA vienne dans certains cas se substituer à d'autres solutions, son déploiement vient s'ajouter au système numérique déjà existant.

Décrire ses impacts sur les terminaux peut se faire en adoptant une approche "conséquentielle". Plutôt que de tenter d'évaluer des impacts directs des usages IA au travers de la manière dont ils sollicitent les infrastructures et supports, ce type d'approche consiste à poser la question des conséquences de l'introduction des services : quels nouveaux dimensionnements et nouvelles caractéristiques techniques des systèmes (les terminaux en l'espèce, mais cela s'applique aussi aux réseaux et centres de données) vont être engendrés et motivés dans le cas d'un niveau de déploiement donné des services d'IA dans la société et l'économie ? Cette approche présente l'intérêt de questionner le sujet sous l'angle des déploiements d'applications, services et usages (l'effet d'usage), tout en les liant aux projections infrastructurelles qui sont censées les permettre (l'effet d'offre).

De la même manière que sont étudiés dans ce rapport les effets du déploiement de l'IA sur la répartition de la capacité de calcul (edge, centralisée) ou sur le dimensionnement macroscopique des infrastructures centres de données, les 'approches « conséquentielles » permettent de faire émerger et d'éclairer les effets possibles sur les capacités des terminaux appelées par l'IA à moyen et long terme.

L'ACV conséquentielle et les effets induits sur le système numérique

Une analyse de cycle de vie conséquentielle (ACV-C) est une méthodologie codifiée dont l'objectif est de modéliser l'ensemble des impacts environnementaux consécutifs à un changement survenant dans le cycle de vie d'un produit (Dandres, 2012, https://publications.polymtl.ca/881/1/2012_ThomasDandres.pdf). L'objectif est donc sensiblement différent de celui d'une ACV attributionnelle (ACV-A) qui consiste à étudier le cycle de vie d'un produit. Alors que l'ACV-A est réalisée dans un état statique où le cycle de vie du produit n'évolue pas dans le temps, l'ACV-C repose sur l'évaluation des conséquences causées par le passage d'un état A à un état B du cycle de vie d'un produit. Il y a donc une notion temporelle à prendre en compte en ACV-C correspondant à la période de temps nécessaire pour que le cycle de vie du produit passe de l'état A à l'état B.

La démarche de ce rapport vise à éclairer des dynamiques macroscopiques des composantes du système numérique. Elle ne vise pas à produire une analyse de cycle de vie qui documenterait les impacts d'une unité fonctionnelle définie selon un cahier des charges précis. Ce que les travaux ici présentés intègrent, c'est la dimension dynamique dans l'étude des conséquences des trajectoires choisies pour un système donné. Le terme « conséquentiel » ne sera donc pas utilisé au sens de l'ACV-C dans la suite de ce document.

Les centres de données ne sont pas les seules instances de stockage et de calcul que nous considérons dans nos analyses. Le déploiement massif de l'IA peut en effet avoir des conséquences sur les terminaux, qui sont liés au reste de l'écosystème numérique et à ses dynamiques par des phénomènes comme le déploiement de nouvelles architectures, l'appel de nouvelles capacités (traitement et stockage de la donnée) par des services émergents ou les effets d'obsolescence (logicielle, fonctionnelle, marketing etc.) associés.

Comprendre ces interactions permet d'identifier les effets d'offre et d'usage affectant les terminaux, ainsi que les dynamiques qui en découlent :

- De manière générale, la possibilité de pouvoir rendre des services d'IA locaux (aux terminaux) et déconnectés pourrait aboutir à l'augmentation de l'empreinte environnementale des terminaux, tant à la production (par ex. ajout systématique d'un NPU ou GPU sur chaque terminal) qu'à l'usage, poussant à l'obsolescence :
 - Des études montrent² que l'usage d'applications d'IA en local s'accompagne d'un impact significatif sur la consommation d'énergie et en accélère la décharge. Le développement de l'IA en local, centré sur l'inférence, amènera au développement de la puissance de calcul des terminaux et à des batteries de plus grande capacité. Si dans les cas d'usage classiques, l'impact environnemental reste plus important sur la partie serveur, d'autres études montrent³ que la partie terminaux peut représenter jusqu'à 8 % de la consommation globale.
 - Autre exemple sur les aspects fabrication, : le passage du concept d'IoT à celui de Smart IoT et de thin edge à thick edge par exemple va engendrer une intensité d'énergie et de carbone beaucoup plus importante dans la phase de fabrication des équipements, de par le recours à des modules de traitement et de connectivité plus puissants (Pirson T., Bol D., 2021).
- Les gains d'efficacité énergétique pourraient être contrebalancés par les impacts de fabrication des nouveaux terminaux liés au renouvellement du parc provoqué par l'obsolescence évoquée plus haut (incompatibilité avec les nouvelles couches logicielles, déclenchement de l'acte d'achat d'un nouveau terminal simplement par attractivité des services offerts avec etc.).
- Par effet d'usage, l'ancrage de l'IA dans les habitudes d'usages vont rendre ces derniers dépendants de ces nouvelles technologies et des matériels et services de haut niveau qui les composent⁴, perpétuant la dynamique en légitimant les effets d'offre et en permettant d'abaisser les coûts par effet volume et donc rendant l'offre encore plus attractive., à moins que les besoins de rentabilisation des services, pour l'heure gratuits ou abordables, ne viennent la ralentir.
- Dans tous les cas, les stocks de terminaux avec capacités d'IA locales apporteront un effet de cliquet (les terminaux sont là, il faut bien les utiliser) qui justifiera l'offre de services d'IA locaux.

² Voir <https://greenspector.com/intelligence-artificielle-smartphone-autonomie/> et <https://greenspector.com/quel-impact-environnemental-de-lusage-des-llm-cote-client-battle-chatgpt-vs-deepseek/>

³ Voir <https://greenspector.com/quel-impact-environnemental-de-lusage-des-llm-cote-client-battle-chatgpt-vs-deepseek/>

⁴ Notons qu'il n'est pas nécessairement de l'intérêt des fournisseurs de services et de matériels que les services d'IA locaux soient sobres et frugaux, i.e. qu'ils puissent s'exécuter localement avec des terminaux simples et courants, non équipés pour l'IA. En effet, prévus pour l'IA, les terminaux deviennent des inducteurs de la dynamique d'augmentation des besoins en services d'IA et de la possibilité de proposer davantage de ces services, une fois déployés les terminaux permettant de les exécuter).

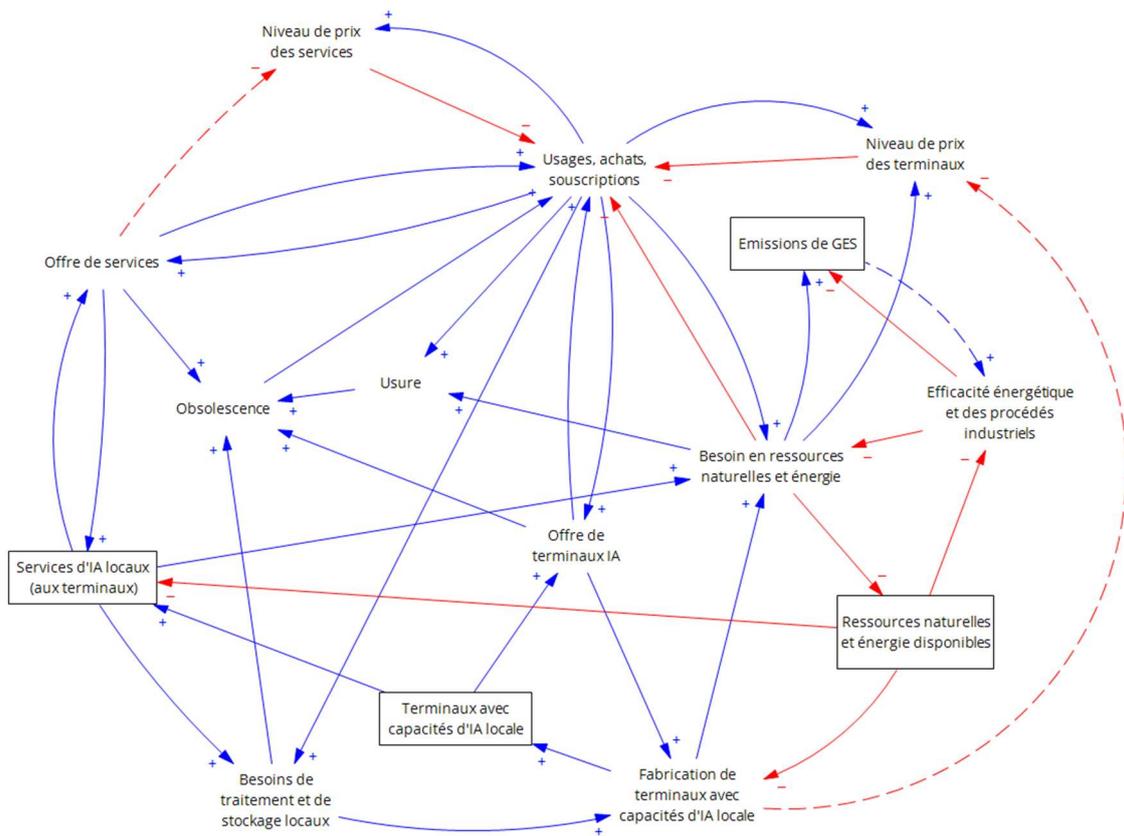


Figure 2 -causal loop diagram d'analyse des impacts de l'IA sur les terminaux. Source : The Shift Project, dans le cadre de ce rapport.

Afin d'évaluer et projeter les effets induits de l'IA sur les terminaux, la mesure (en FLOP⁵, par exemple, l'indicateur et l'unité adaptés restant à identifier) du besoin en capacité de traitement requis par les différentes tâches appelées par les services pourrait permettre de :

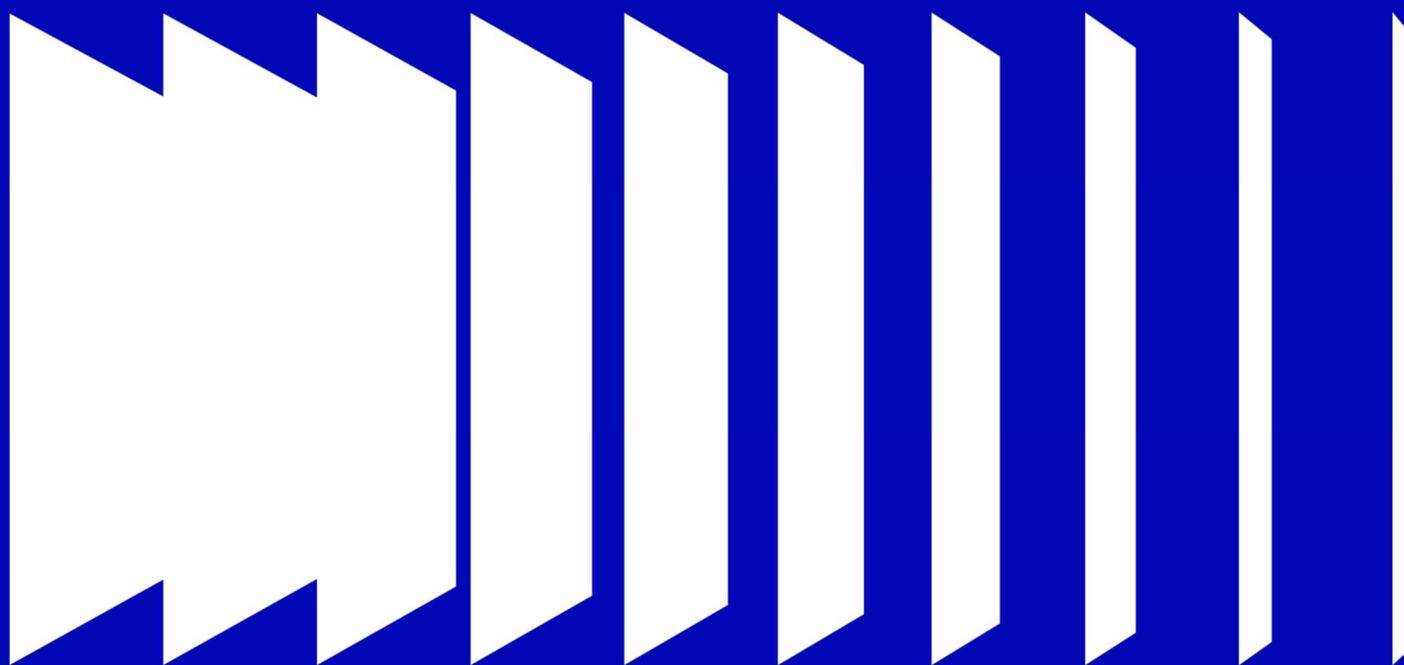
- Quantifier et suivre les risques et phénomènes d'obsolescence qu'engendrerait le déploiement d'un service donné ;
- Quantifier et suivre l'évolution de l'intensité des services d'IA déployés ou projetés, en amont de leur adoption (une brique technologique nécessitant davantage de FLOP nécessitera par exemple soit un terminal plus puissant soit des temps de calcul plus longs) ;
- Mesurer les conséquences de l'effet de parc, c'est-à-dire de la stagnation de la puissance de calcul disponible dans un parc donné. Stagnation non alignée avec les besoins théoriques croissants en capacités dans le cas de déploiement de services toujours plus intenses, et due en particulier à l'allongement, souhaité ou subi, de la durée de vie de certains équipements. En effet, il n'est pas garanti qu'il y

⁵ Floating-point operations, opérations à virgule flottante. Lorsqu'exprimé par seconde, le FLOP est une unité permettant de rendre compte de la performance requise ou offerte par un système informatique.

aura substitution totale des terminaux d'ancienne génération par les terminaux IA : des contradictions existent entre d'une part les objectifs de durabilité des terminaux et donc d'allongement de leur durée de vie et d'autre part les besoins croissants de puissance de calcul notamment sur les terminaux pour exécuter tout ou partie des services d'IA (déploiement d'assistants personnels dans des suites bureautiques par exemple).

Le déploiement à large échelle des terminaux conçus pour l'IA pourrait donc entraîner sur le long terme à la fois une augmentation de la consommation d'énergie et une intensification en ressources informatiques d'activités-clés ou quotidiennes de nos sociétés. L'augmentation des volumes de données, produits et traités par les terminaux, qui découlerait de cette dynamique affecterait à son tour les infrastructures réseaux, selon la même logique « effet d'offre - effet d'usage ».

Annexe 13 – Monde – Impact de l'IA sur les réseaux : quelques éléments et pistes à creuser



Ci-dessous, plusieurs graphiques utiles aux analyses :

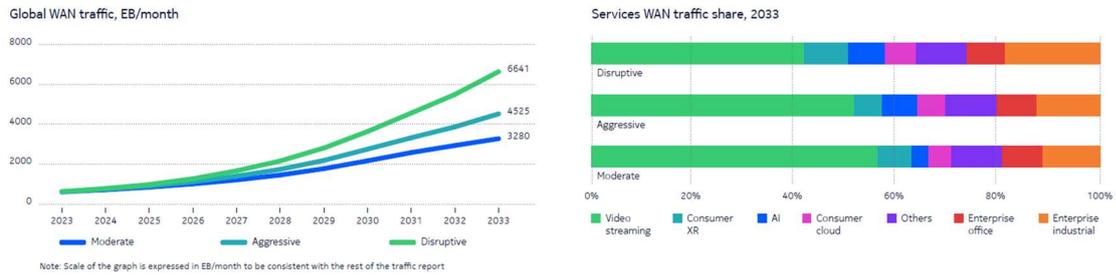


Figure 3 - Projections de trafic internet et d'usages à 2033. Source : (Nokia, 2024)

Figure 4: Consumer mobile traffic distribution, moderate scenario

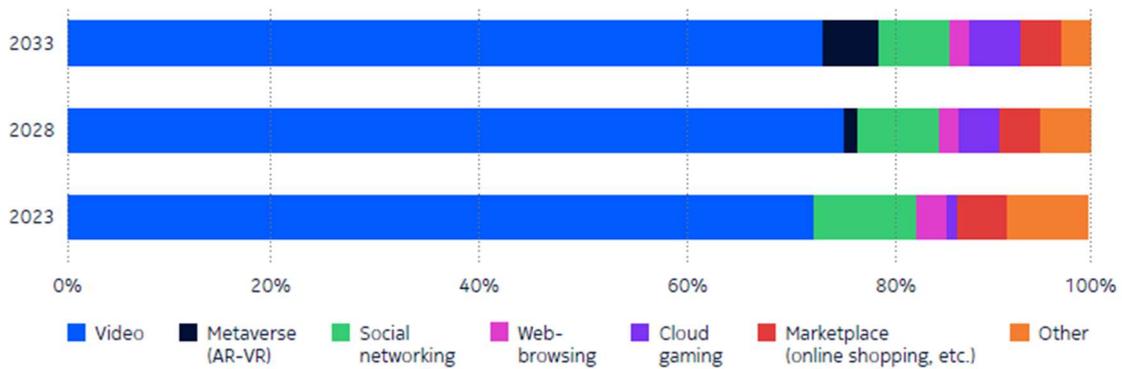


Figure 4-x Projections de trafic mobile à 2033. Source : (Nokia, 2024)

Figure 14: Enterprise WAN services traffic, share, 2033

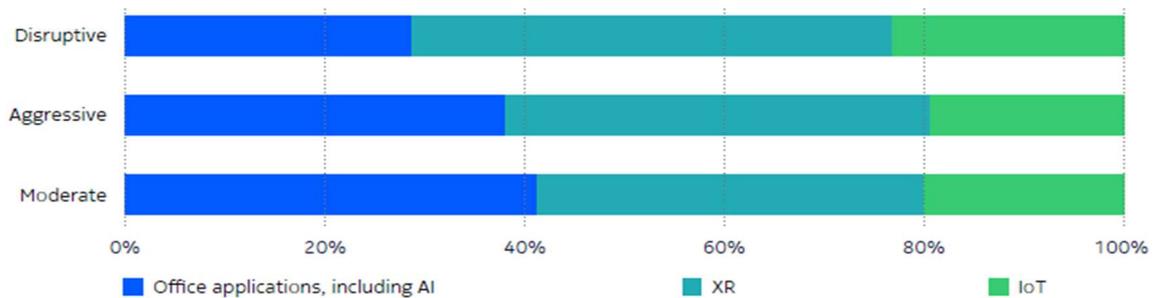


Figure 5-x Composition du trafic entreprise en 2033. Source : (Nokia, 2024)

Figure 16: WAN AI traffic, global, moderate scenario, EB/month

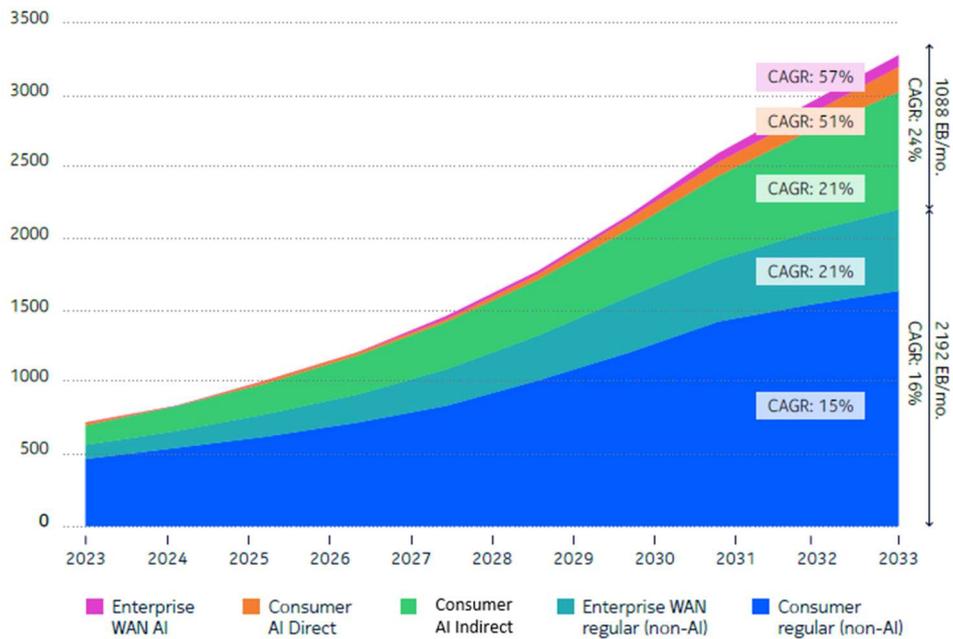
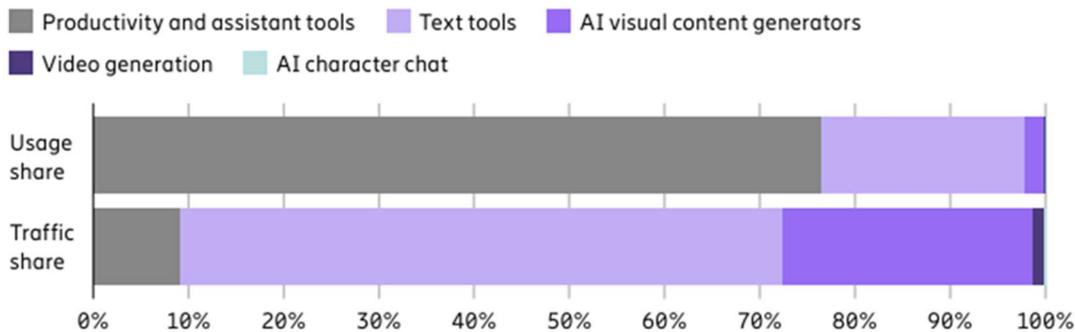


Figure 6 - Projection de trafic internet à 2033, décomposition entre consommateur et entreprise, et croissance générée par l'IA. Source : (Nokia, 2024)

Figure 14: Share of AI app usage and traffic volume per AI app category



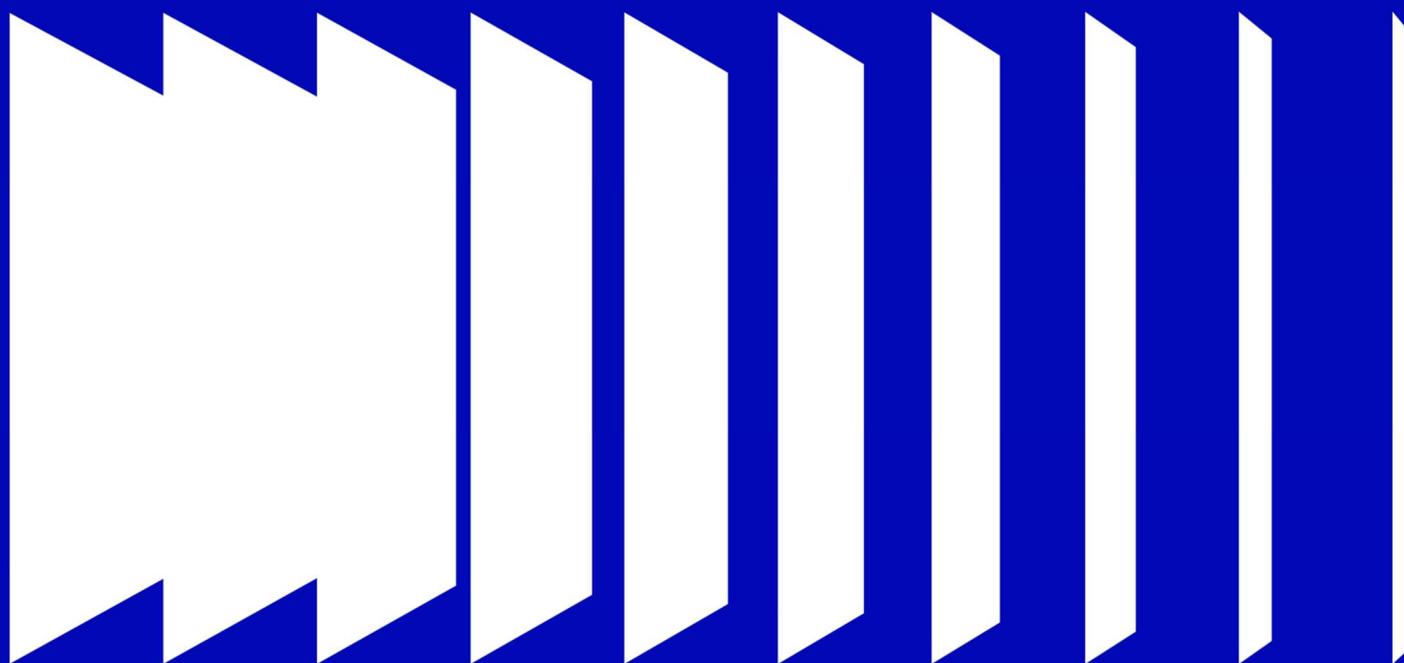
Note: Regular mobile apps that have AI features integrated are not included in the measurements.

Figure 7 - Répartition AI app usage Source : (Ericsson, 2025)

Autre élément d'analyse :

Une première étude montre qu'un déploiement de robots agricoles effectuant des calculs décentralisés en temps réel nécessiteraient une mise à jour des sites de réseaux mobile impliquant une augmentation très significative de l'empreinte carbone des réseaux mobiles (La Rocca P. et al., 2025).

Annexe 14 – IA – Approche par cas d'usages : critères retenus et description technologique



Plusieurs cas d'usage ont accompagné l'élaboration de la méthodologie proposée dans le chapitre « IA & climat : Réorienter nos choix technologiques, jusqu'à la compatibilité carbone » (The Shift Project, 2025a). Ces cas d'usage ont en particulier servi de base de réflexion aux participants des ateliers collaboratifs. **Dans le rapport** (The Shift Project, 2025a), **la méthodologie est déclinée sur l'un d'entre eux : celui de l'assistant personnel de compte-rendu** (cf. partie « XVII – Etude de cas : l'assistant personnel de compte-rendu »).

Critères de sélection des cas d'usage

Ainsi les cas d'usage explorés ont été sélectionnés de manière à éclairer les questions clés des phénomènes liés à l'IA et à ses infrastructures :

- **Le phénomène "IA générative"** : quelles implications le déploiement de la technologie générative a-t-il sur la structuration des services "IA" et de leurs impacts énergie-climat ?
- **L'orientation de l'innovation** : quelles différentes combinaisons de fonctionnalités et briques technologiques (taille, infrastructures sollicitées, générative ou non etc.) sont possibles pour concevoir un service IA compatibles avec les contraintes énergie-climat ?
- **La vision systémique du secteur numérique** : quels sont les impacts des services IA sur le système numérique dans son ensemble (terminaux, réseaux, centres de données) ?
- **La vision systémique de l'économie** : comment les services IA interagissent-ils avec les transformations en cours ou à mener pour décarboner les autres secteurs (mobilité, agriculture etc.) ?
- **La vision quantitative** : comment quantifier les impacts énergie-carbone d'un cas d'usage défini, en intégrant les impacts indirects et la vision systémique dans l'analyse ?

Liste des cas d'usage retenus

Sur la base de ces critères, une liste de cas d'usage a été retenue afin d'en effectuer une analyse qualitative (puis, dans un deuxième temps, quantitative pour l'un d'entre eux) :

- **Mobilité autonome** : Technologies IA pour la mobilité dans différents environnements (complexité de l'espace, niveau de connectivité de la zone etc.) : routier urbain (voiture ou transports en commun/navette), routier non urbain (camion, machine agricole), maritime, rail, aérien.
- **Système d'optimisation des épandages** : Technologies d'analyse de données relevées en zone de culture (détection de zones à plus faible croissance, détection de ravageurs etc.) afin de suivre et optimiser les épandages d'engrais et pesticides.
- **Assistant personnel de compte-rendu** : Assistant (intégré à une application ou terminal d'échange avec contenu vocal) produisant des comptes-rendus sur la base des échanges vocaux des personnes utilisatrices.
- **Outil de recherche en ligne** : Utilisation de l'IA générative comme outil de recherche d'informations en ligne, à l'image d'un moteur de recherche.

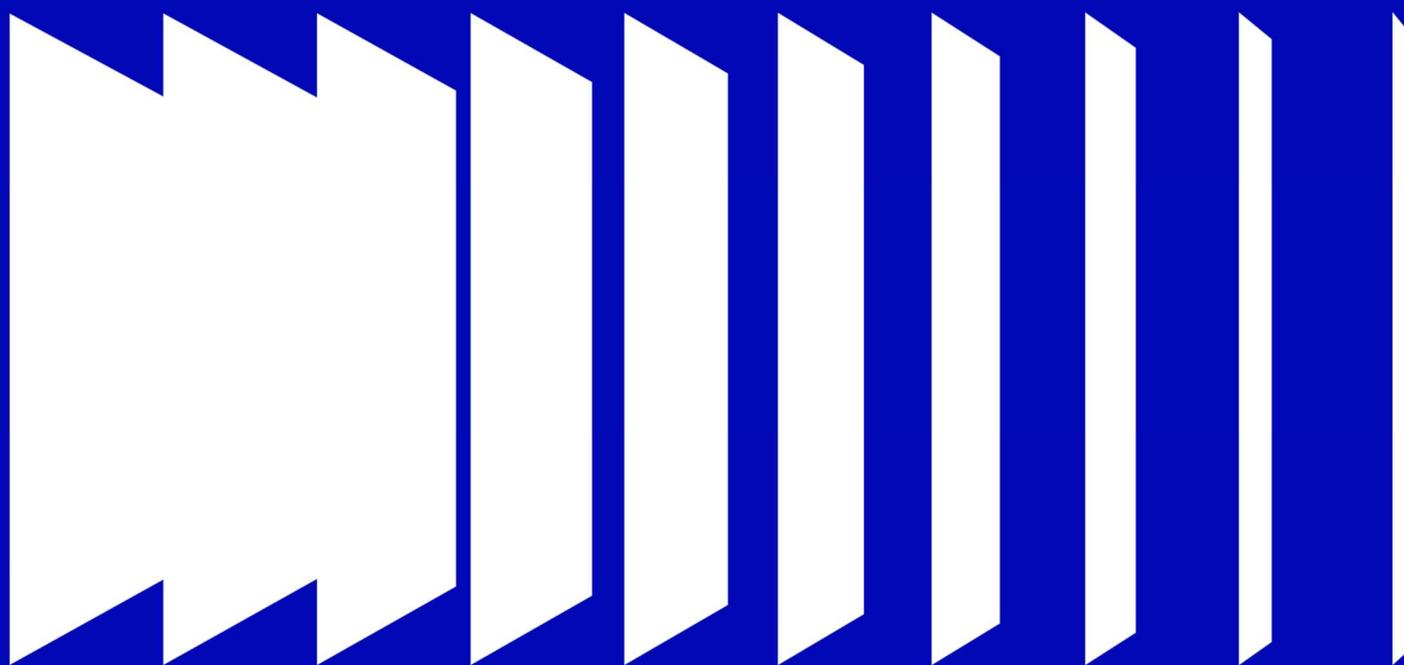
- **Outil d'aide au diagnostic** : Technologie IA d'analyse d'images, pour aide au diagnostic en anatomopathologie (détection de cellules cancéreuses par analyse de lames d'échantillons).
- **Production de création pour spot publicitaire** : Technologies d'IA générative au sein des services de création publicitaire pour produire des contenus images et vidéos.

Cas d'usage	Briques et niveaux technologiques possibles ?	Secteur concerné
Assistant personnel de compte-rendu	Analyse de contenu audio Technologie générative de contenu texte Possibilité de différents niveaux de fonctionnalité : simple compte-rendu texte, « enrichissement » du compte-rendu par proposition de contenus complémentaires, intervention de l'assistant directement dans les échanges par texte ou verbal, traduction en direct sur le terminal etc.	Grand public, "end-users"
Outil de recherche en ligne	Détection et classification de contenu pour leur indexation Technologie générative de contenu texte Intégration dans des systèmes algorithmiques de moteurs de recherche	Grand public, "end-users"
Production de création pour spot publicitaire	Technologie générative de contenu image et vidéo	Commerce & publicité
Mobilité autonome	Analyse et reconnaissance d'images et vidéo Apprentissage par renforcement Localisation de la capacité de calcul (edge/embarquée ou centralisée/déportée)	Transport
Système d'optimisation des épandages d'engrais et pesticides	Acquisition des données : capteurs in situ, acquisition satellite, relevés aériens (par drones etc.) Analyse des données : synthèse de données, analyse et corrélation, analyse et reconnaissance d'images etc.	Agriculture

Outil d'aide au diagnostic médical	Analyse et reconnaissance d'images Niveau de déploiement/massification (spécifiques ou généralisée, nombre de sites ou services de soins, intégration dans les parcours médicaux etc.)	Santé
---	---	-------

Tableau 3 - Cas d'usage ayant servi de base de réflexion lors des ateliers collaboratifs

Annexe 15 – Typologie de centres de données



Un centre de données est une structure dédiée à l'hébergement, l'interconnexion et l'exploitation centralisées des équipements de stockage, calcul et transport de données (ISO, 2021). En plus de ces services, ces infrastructures contiennent généralement des systèmes robustes de distribution d'énergie, de contrôle environnemental et de sécurité, qui garantissent la disponibilité des services qu'elle héberge.

Cette définition générale recouvre toutefois plusieurs types de centres de données qui varient par leur taille et leur fonction, allant de petit centre de données d'entreprise sur site, qui servent une seule organisation, aux larges centres de co-hébergement (ou colocation) et *hyperscale*, qui offrent des infrastructures et des services partagés pour plusieurs clients à très large échelle. Ces distinctions sont liées à des différences fonctionnelles, dépendant de (i) leur objectif (installations d'entreprise, de colocation, de co-hébergement ou d'opérateur de réseau), (ii) leur niveau de sécurité, (iii) leur taille physique, et (iv) leur mode d'hébergement (constructions mobiles, temporaires ou permanentes). Il est toutefois possible de distinguer quelques grandes catégories d'espaces :

- **Edge** : déploiements de micro-centres de données, en périphérie de réseau, géographiquement proche des utilisateurs finaux, afin de répondre à des demandes spécifiques, souvent de latence et/ou de sécurité.
- **Centres de données entreprise** : centres de données internes, gérés par des entreprises (ou des acteurs publics) et pour leurs usages, qui peuvent varier par leur taille (PME, branche ou grande entreprise).
- **Fournisseurs de services de télécommunication** : centres de données gérés par des entreprises de télécommunications pour soutenir les services internes nécessaires à la fourniture de leurs services réseau.
- **Colocation ou co-hébergement** : centres de données qui offrent aux entreprises la possibilité d'héberger leur matériel hors site, fournissant les services essentiels de gestion de l'alimentation électrique, de refroidissement, de la sécurité et de la mise en réseau.
- **Hyperscale** : centres de données construits par des entreprises qui déploient des services et plateformes de services à très grande échelle.

Plus simplement, il est possible de distinguer entre centres de données **on-premises** (ou **on-prem**) lorsqu'ils sont situés sur le site de l'entreprise qui les utilise, en **colocation** lorsqu'un tiers gère le site d'hébergement, et **cloud** lorsque le site d'hébergement et les serveurs sont gérés par un tiers.

Bien que basées sur des distinctions d'usages, ces nuances vont en général de pair avec des considérations de superficie. Les petits centres de données ont en moyenne une superficie de 15 mètres carrés et correspondent aux centres de données edge, de PME ou de branche entreprise. Les tailles intermédiaires incluent les centres de données internes (250 mètres carrés) et les centres de données de fournisseurs de services (650 mètres carrés). Enfin, sont considérés de grande échelle les espaces de colocation (pour une superficie moyenne de plus de 1000 mètres carrés) ou hyperscale (pour presque 2800 mètres carrés).

Depuis 2010, la répartition entre ces catégories a largement évolué en faveur des centres de colocation et hyperscale, passant de 10 % à près de 80 % de la part des serveurs installés en centre de données aux États-Unis en 15 ans. Cette évolution est due à l'utilisation étendue de technologies de virtualisation, qui offrent une grande flexibilité de déploiement, et qui répondent rapidement aux évolutions en capacité de calcul du marché, souvent à plus bas coût. Cette migration est d'autant plus avantageuse qu'elle permet un accès à du matériel spécialisé, tel que des GPUs modernes, nécessaires à l'entraînement et l'inférence d'algorithmes d'IA.

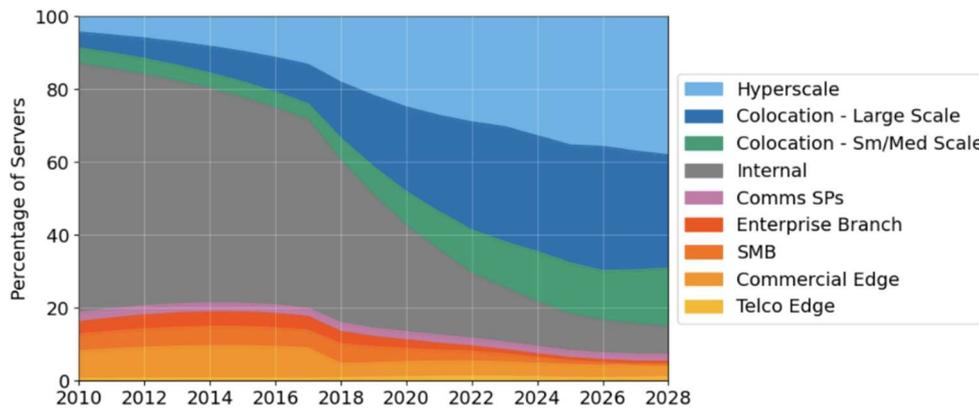


Figure 4.1. Distribution of servers by data center type.

Figure 8 - Distribution des serveurs par type de centres de données. Source : (LBNL et al., 2024)

Ces proportions peuvent varier selon les zones géographiques, les périodes temporelles, ou l'indicateur regardé (nombre de serveurs ou consommation électrique). Par exemple, si on regarde la part de la consommation électrique des centres de données n'étant ni colocation ni hyperscale sur l'ensemble de la consommation électrique des centres de données : Masanet l'évaluait au niveau monde à 35% en 2018 (Masanet E. et al., 2020), l'ADEME l'évaluait au niveau France (territorial) à 52 % en 2020 (ADEME & Arcep, 2023), elle est projetée au niveau monde évoluant de 21% en 2023 vers 5 % en 2028 (LBNL et al., 2024) et au niveau Europe évoluant de 40% en 2023 vers 22% en 2028 (McKinsey & Company, 2024).

Dans son étude prospective, l'ADEME-Arcep a constitué des catégories plutôt par types d'acteurs : public local, public national, entreprises hors acteur du digital, cloud, HPC, edge. Vis-à-vis des catégories ci-dessus, cloud et HPC sont plutôt du type co-hébergement ou hyperscale, et les centres de données recensés dans public de même type que ceux des entreprises.

A l'échelle d'un pays ou d'une région, il est aussi possible de séparer :

- **Les centres de données installés sur son territoire** : vision inventaire national, permettant notamment d'identifier les besoins en ressources territoriales (énergie, foncier, eau) et les émissions de gaz à effets de serre territoriales,

- **Les capacités de stockage et de calcul associées à l'utilisation de services à l'étranger** : vision empreinte carbone, permettant d'identifier les dépendances et les impacts climatiques de nos usages.

Enfin, il est aussi possible de les classer par objectifs (polyvalents ou spécialisés), par modèles d'affaires (on-prem, colocation, cloud), et sur d'autres critères encore (performance, tolérance aux pannes) (FS blog, 2024).

Les centres de données ont pour principaux postes de consommation énergétique (i) les charges de ses équipements informatiques, (ii) celles des équipements de refroidissement et de contrôle environnemental, et (iii) le système de conditionnement de puissance interne, ainsi que les équipements de sécurité, d'éclairage et de bureaux. L'alimentation électrique d'un centre de données est soumise à des contraintes de continuité, avec des systèmes d'alimentation de secours, en cas de panne du système d'alimentation principal, afin de prévenir les interruptions de service et l'endommagement des équipements.

LES COMPOSANTS FONCTIONNELS D'UN DATA CENTER

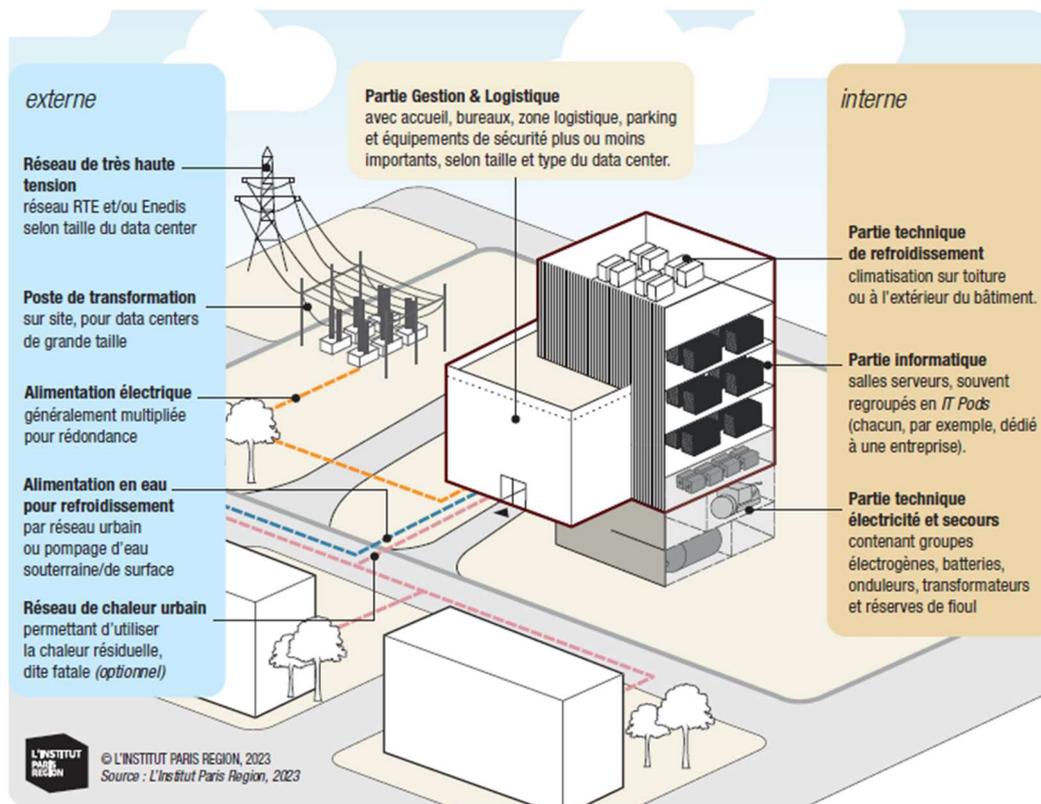


Figure 9 - Les composants fonctionnels d'un data center. Source : (L'Institut Paris Région, 2023)

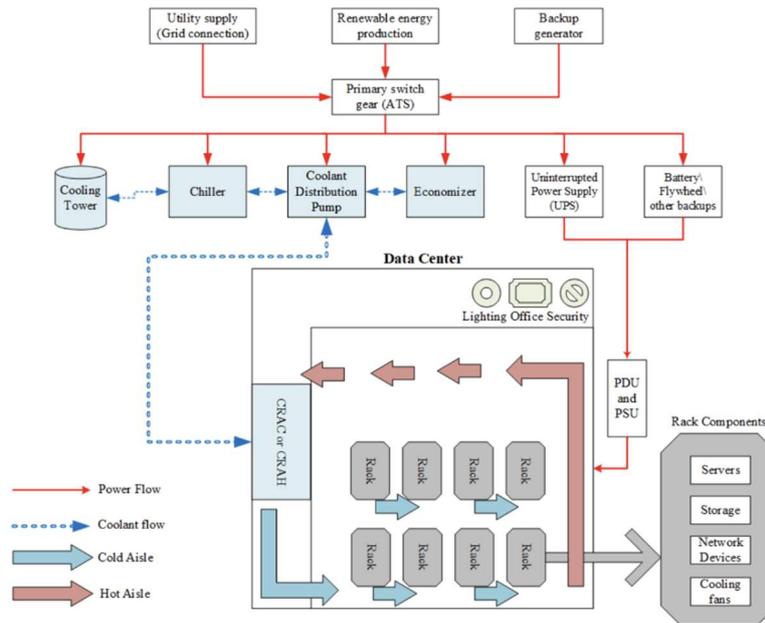


FIGURE 3. Internal structure of a typical data center.

Figure 10 - Structure d'un centre de données. Source : (Ahmed M. U. et al., 2021)

La consommation d'un centre de données dépend de la consommation de ses équipements informatiques et de son système de refroidissement. Si bien que l'efficacité énergétique d'une installation est mesurée par son indicateur d'efficacité énergétique (souvent en anglais PUE pour *Power Usage Effectiveness*), défini comme la consommation énergétique totale du centre de données divisée par la consommation de ses équipements informatiques. Plus cet indice est proche de 1, plus le centre de données est efficace, car il utilise moins d'énergie pour ses fonctions *auxiliaires* (refroidissement, conditionnement de puissance, éclairage, etc.). En 2024, le PUE moyen mondial se situe autour de 1.5, avec toutefois des disparités régionales et temporelles. Ce facteur dépend principalement des systèmes de refroidissement utilisés (en lien avec la modernité des infrastructures), et du climat dans lequel se situe le centre de données (Ahmed, 2021).

Concernant le PUE, plusieurs aspects nécessitent des améliorations : bien qu'une norme de calcul existe (ISO/IEC 30134-2:2016), la standardisation reste insuffisante, avec un manque de transparence concernant les hypothèses et les définitions utilisées. La prise en compte de la consommation "idle" notamment fait partie des sujets à améliorer. Enfin, comme pour tout indicateur d'efficacité, il est important de considérer que l'augmentation du volume vient artificiellement améliorer cet indicateur.

Les centres de données peuvent être équipés de sources d'énergie renouvelable pour compléter la puissance perçue du réseau local. Il y a des enjeux d'interconnexion avec la grille (Gnibga W. et al., 2023). Ils peuvent aussi souscrire à des contrats énergétiques plus verts pour améliorer leurs rapports d'émissions. Rappelons toutefois la différence entre les émissions basées sur la localisation du centre de données (*location-based*), qui suivent les moyennes du réseau électrique dans un lieu spécifié, et les émissions basées sur le marché (*market-based*), qui concernent l'énergie achetée sous contrat, comme l'énergie renouvelable provenant d'un fournisseur extérieur au principal fournisseur de

services publics d'une région. Ces normes d'attribution peuvent être trompeuses dans les rapports d'émission, car les émissions market-based sont en général abaissées par des valeurs plus basses d'intensité carbone.

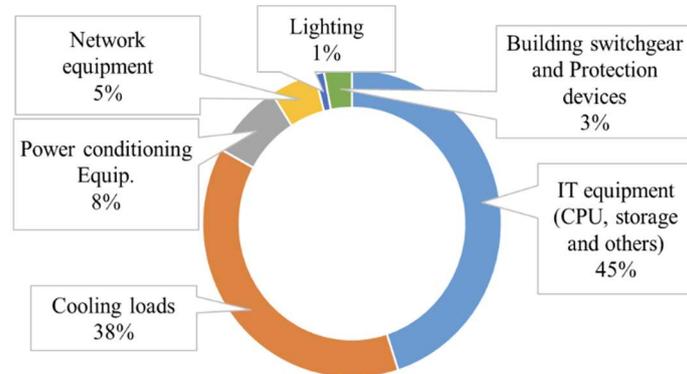


FIGURE 4. Analysis of power consumption proportionality in data center. [8], [24].

Figure 11 - Répartition de la consommation électrique d'un centre de données. Source : (Ahmed M. U. et al., 2021)

Enfin, en empreinte carbone, les répartitions peuvent être différentes, Schneider Electric en propose une décomposition pour un centre de données type (Schneider Electric, 2023), mettant en évidence la part majeure du scope 3, dont l'empreinte embarquée.

Step	Carbon focus	Findings	Proposed actions
1	Total carbon	<ul style="list-style-type: none"> • Scope 3 represents 38-69% • Electricity has a Scope 3 component 	<ul style="list-style-type: none"> • Use more renewable/clean energy
2	Scope 3 emissions	<ul style="list-style-type: none"> • Capital goods represents 46-71% • Fuel- and energy-related activities represents 13-47% • Core & shell represents a small percentage 	<ul style="list-style-type: none"> • Purchase low carbon capital goods • Use more renewable/clean energy
3	Embodied carbon	<ul style="list-style-type: none"> • Manufacturing represents ~ 90% • IT represents 57-83% • Facility infrastructure represents 17-43% 	<ul style="list-style-type: none"> • Extend server lifespans • Design and operate for high utilization from IT to the facility • Optimize IT demand
4	Facility infrastructure embodied carbon	<ul style="list-style-type: none"> • Power system represents ~ 30% • Cooling system represents ~ 30% • Core & shell represents 8-15% 	<ul style="list-style-type: none"> • Purchase efficient and low carbon products • Reuse existing building for data centers instead of new construction
5	Sub-system embodied carbon	<ul style="list-style-type: none"> • Concrete represents 85% • LV switchgear represents ~ 30% • VRLA battery represents 6-21% • Air-cooled chiller represents ~50% 	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluate modular and prefabricated construction methods • Purchase efficient and low carbon products

Figure 12 - Répartition des impacts du "Scope 3 Empreinte embarquée" d'un centre de données. Source : (Schneider Electric, 2023)

Pour flécher les achats durables dans les centres de données et les serveurs informatiques, U4E en concertation avec des acteurs comme Uptime Institute, France Datacenter, L'Alliance Française des Industries du Numérique, EQUINIX, GIMELEC, Google, Microsoft, LBNL, IBM Corporation établit des lignes directrices recommandant de

suivre les indicateurs suivants (Figure 40), fournit des objectifs (Figure 41) et établit un score sur base de ces indicateurs (Figure 42) (U4E et al., 2025).

Portée du contenu de la directive

Critères de performance pour les centres de données et les serveurs informatiques	Conditions de fonctionnement
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Efficacité énergétique (PUE) ✓ Efficacité de l'utilisation de l'eau (WUE) ✓ Efficacité du refroidissement (CER) ✓ Efficacité énergétique des équipements informatiques pour les serveurs ✓ Efficacité du serveur ✓ Efficacité du stockage ✓ Efficacité de l'alimentation électrique (UPS) ✓ Efficacité en état de veille 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Localisation des centres de données ✓ Ratio d'énergie renouvelable (REF) ✓ Résilience des centres de données ✓ Modularité ✓ Conception du refroidissement ✓ Plage de température et d'humidité de fonctionnement pour les serveurs ✓ Critères de gestion de l'alimentation du processeur ✓ Taux d'utilisation des serveurs (ITEUsv)

• Autres aspects : éclairage, moteurs, réfrigérant utilisé pour le refroidissement, transformateurs 

Figure 13 - Indicateurs de la directive U4E. Source : (U4E et al., 2025)

Valeurs des indicateurs clés (KPI)

		2025	2027	2029	2031
Centre de données de colocation existant pour héberger les données	PUE	≤ 1,5 HH : ≤ 1,7	≤ 1,4 HH : ≤ 1,6	≤ 1,3 HH : ≤ 1,5	≤ 1,2 HH : ≤ 1,4
	WUE	≤ 1,5 L/kWh	≤ 1 L/kWh	≤ 0,5 L/kWh	≤ 0,2 L/kWh
	RÉF	≥ 50 %	≥ 60 %	≥ 70 %	≥ 80 %
	CER	≥ 2,5	≥ 2,9	≥ 3,8	≥ 5,7
	ITEUsv	≥ 50 %	≥ 60 %	≥ 70 %	≥ 80 %
Nouveau bâtiment du centre de données - By design / après 3 ans de fonctionnement	PUE	≤ 1,4 / ≤ 1,5 HH : ≤ 1,6 / ≤ 1,7	≤ 1,3 / ≤ 1,4 HH : ≤ 1,5 / ≤ 1,6	≤ 1,2 / ≤ 1,3 HH : ≤ 1,4 / ≤ 1,5	≤ 1,1 / ≤ 1,2 HH : ≤ 1,3 / ≤ 1,4
	WUE	≤ 1,5 L/kWh	≤ 1 L/kWh	≤ 0,5 L/kWh	≤ 0,2 L/kWh
	RÉF	≥ 50 %	≥ 60 %	≥ 70 %	≥ 80 %
	CER	≥ 2,9 / ≥ 2,5	≥ 3,8 / ≥ 2,9	≥ 5,7 / ≥ 3,8	≥ 10 / ≥ 5,7
	ITEUsv après 3 ans	≥ 50 %	≥ 60 %	≥ 70 %	≥ 80 %

HH : Climat chaud et humide (zones climatiques ASHRAE 0A, 1A, 2A, 3A)



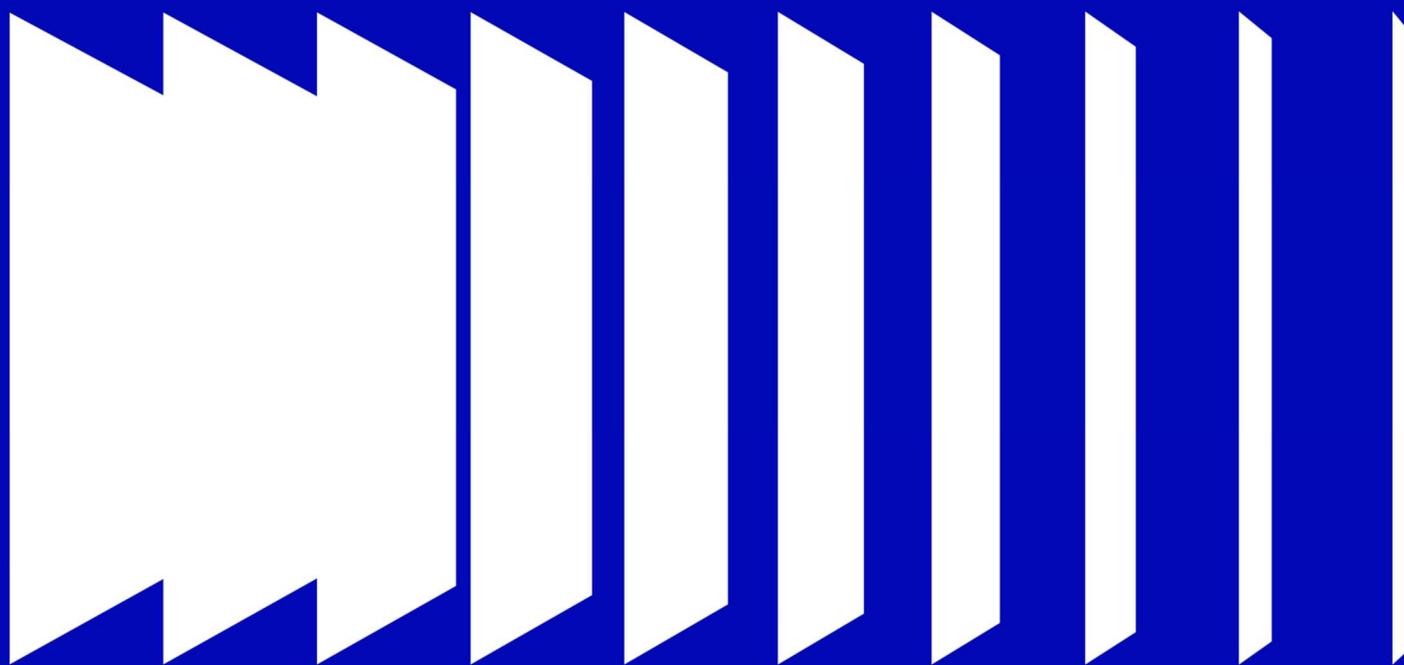
Figure 14 - Valeurs des indicateurs de la directive U4E. Source : (U4E et al., 2025)

Indicateurs de performance clés	Points	Pondération
Gestion de l'énergie (PUE)	De 2 à 1,2 noté sur 5 points	30 %
Efficacité du refroidissement (CER)	De 2,5 à 10 noté sur 5 points	20 %
Consommation d'eau (WUE)	De 2 à 1,2 L/kWh noté sur 5 points	20 %
Ratio d'énergie renouvelable (REF)	De 50% à 90% noté sur 5 points	20 %
Taux d'utilisation des serveurs : taux d'utilisation des serveurs (ITEUsv)	De 30% à 70% noté sur 5 points	10 %



Figure 15 - Système de notation proposé dans la directive U4E. Source : (U4E et al., 2025)

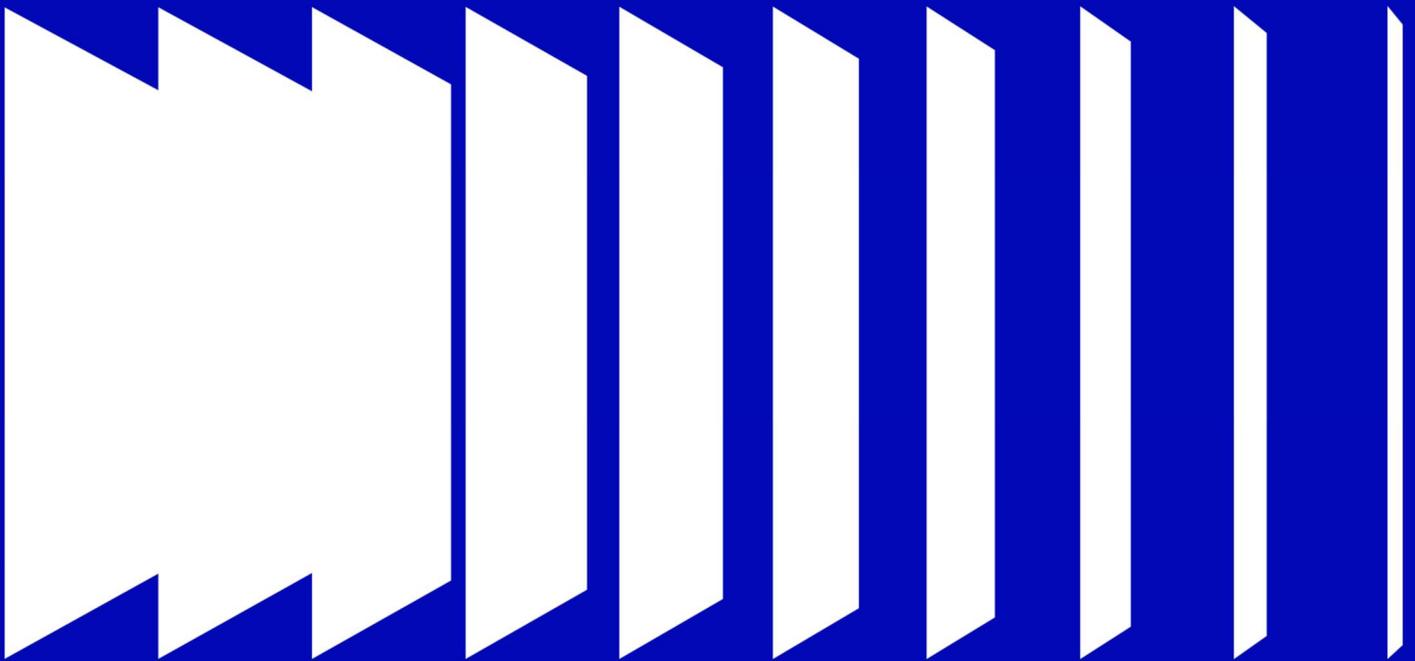
Annexe 16 – Europe – Filière centres de données - Consommation électrique



Voir onglet « 6 -- Conso élec TWh Europe » dans (The Shift Project, 2025d).

Plus de détails rédigés dans cette annexe à venir

Références



ADEME. (2021). *Transition(s) 2050. Choisir maintenant. Agir pour le climat.*

<https://bibliothèque.ademe.fr/societe-et-politiques-publiques/5072-prospective-transitions-2050-rapport.html>

Ahmed M. U., Bollen M. H. J., & Alvarez M. (2021). *A Review of Data Centers Energy Consumption and Reliability Modeling.*

<https://ieeexplore.ieee.org/document/9599719>

DCByte. (2025). *Global Data Centre Index.* <https://www.dcbyte.com/global-data-centre-index/2025-global-data-centre-index/>

Deloitte. (2024). *Powering artificial intelligence A study of AI's environmental footprint — Today and tomorrow.* <https://www.deloitte.com/global/en/issues/climate/powering-ai.html>

Ericsson. (2025). *Ericsson Mobility Report — June 2025.*

<https://www.ericsson.com/49e9b6/assets/local/reports-papers/mobility-report/documents/2025/ericsson-mobility-report-june-2025.pdf>

IEA. (2025). *Energy and AI.* <https://www.iea.org/reports/energy-and-ai>

La Rocca P., Guennebaud G., & Bugeau A. (2025). *To what extent can current French mobile network support agricultural robots?* https://hal.science/hal-05063468v1/file/To%20what%20extent%20can%20current%20French%20mobile%20network%20support%20agricultural%20robots_La%20Rocca%20Guennebaud%20et%20Bugeau_2025.pdf

LBNL, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, California, Shehabi A., Smith, S.J., Hubbard, A., Newkirk, A., Lei, N., Siddik, M.A.B., Holecek, B., & Koomey J., Masanet, E., Sartor, D. (2024). *2024 United States Data Center Energy Usage Report.* <https://eta-publications.lbl.gov/sites/default/files/2024-12/lbnl-2024-united-states-data-center-energy-usage-report.pdf>

L'institut Paris Région. (2023). *Le développement des data centers en Ile-de-France.*

Éléments pour une stratégie régionale et territoriale.

<https://www.institutparisregion.fr/nos-travaux/publications/le-developpement-des-data-centers-en-ile-de-france/>

Nokia. (2024). *Global network traffic report.* <https://onestore.nokia.com/asset/213660>

Schneider Electric. (2023). *Quantifying Data Center Scope 3 GHG Emissions to Prioritize Reduction Efforts – White Paper 99.*

https://www.se.com/ww/en/download/document/SPD_WP99_EN/

Schneider Electric. (2024). *Artificial Intelligence and Electricity – A System Dynamics Approach.*

https://www.se.com/ww/en/download/document/TLA_System_Dynamics_Approach/

The Shift Project. (2025a). *Intelligence artificielle, données, calcul : Quelles infrastructures dans un monde décarboné ?*

The Shift Project. (2025b). *TheShiftProject_CasUsage_AssistantPersonnelCR_2025.xlsx.*

The Shift Project. (2025c). *TheShiftProject_France_2025.xlsx.*

The Shift Project. (2025d). *TheShiftProject_Monde_CentresDeDonnees_2025.xlsx.*

The Shift Project. (2025e). *TheShiftProject_Monde_IA_2025.xlsx.*

U4E, United for efficiency, & UN Environment Programme. (2025). *Centres de données et serveurs informatiques performants pour une transformation durable du marché.*

https://united4efficiency.org/wp-content/uploads/2025/02/U4E-for-AI-Summit_FR_7Feb25-1.pdf

The Shift Project est un think tank qui oeuvre en faveur d'une économie libérée de la contrainte carbone. Association loi 1901 reconnue d'intérêt général et guidée par l'exigence de la rigueur scientifique, notre mission est d'éclairer et d'influencer le débat sur la transition énergétique en Europe. Nos membres sont de grandes entreprises qui veulent faire de la transition énergétique leur priorité.

www.theshiftproject.org

Remerciements

Le Shift remercie tous les membres du groupe de travail de ce projet.

Contact

Maxime Efoui Hess

Coordinateur de projet

maxime.efoui@theshiftproject.org

Graphisme

Jérémy Garcia-Zubialde

Virgile Bellaiche



Nos partenaires

Le Shift Project remercie les partenaires du projet pour leur soutien technique et financier.

