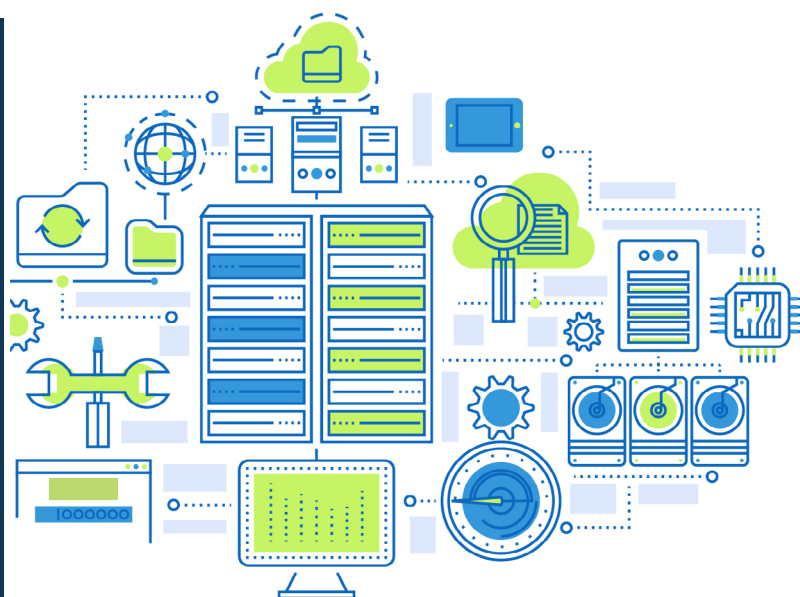


WEBINAIRE TTI.5

Séance 15

« Matérialité des infrastructures numériques : centres de données, intelligence artificielle et super-calculateurs »

MARDI 18 NOVEMBRE 2025
13h30 - 15h30



SYNTHÈSE DE LA SÉANCE

Introduction	2
D'invisibles à stratégiques, quelles politiques d'aménagement pour les centres de données ?	3
Clément MARQUET CSI Mines Paris - PSL	
Vers une IA durable : outils et techniques pour l'efficacité énergétique des systèmes informatiques modernes	9
Petr DOKLADAL CMM Mines Paris - PSL	
Empreinte carbone des centres de données et impacts de l'utilisation de sources d'énergie renouvelable	12
Anne-Cécile ORGERIE CNRS - IRISA	

INTRODUCTION

Intitulé « Matérialité des infrastructures numériques : centres de données, intelligence artificielle et supercalculateurs », le quinzième webinaire de TTI.5, qui a eu lieu le 18 novembre 2025, a mis l'accent sur les enjeux environnementaux associés à la matérialité de certaines infrastructures numériques en présentant des exemples relatifs (i) aux politiques d'aménagement et de développement des centres de données en France, (ii) à l'efficacité énergétique des systèmes informatiques et (iii) à l'utilisation des énergies renouvelables pour alimenter les centres de calcul.

Ce webinaire a été animé par Nadia Maïzi, directrice de TTI.5 et du CMA de Mines Paris – PSL, et a accueilli (par ordre de présentation) :

- Clément Marquet, chercheur au CSI de Mines Paris – PSL, dont la présentation a porté sur les politiques d'aménagement des centres de données ;
- Petr Dokladal, chargé de recherche au CMM de Mines Paris – PSL, dont la présentation a porté sur les outils et techniques dédiés à l'efficacité énergétique des systèmes informatiques modernes ;
- Anne-Cécile Orgerie, directrice de recherche CNRS à l'Institut de Recherche en Informatique et Systèmes Aléatoires (IRISA), dont la présentation a porté sur l'empreinte carbone des centres de données et sur les impacts de l'utilisation des sources d'énergies renouvelables.

D'invisibles à stratégiques, quelles politiques d'aménagement pour les centres de données ?

Clément MARQUET | CSI Mines Paris - PSL

La demande en centres de données connaît une croissance qui ne devrait que s'amplifier. S'ils représentaient 415 TWh (soit 1,5 % de la consommation mondiale d'électricité) en 2024, leur consommation pourrait doubler d'ici 2030. Cette trajectoire est intensifiée par des investissements massifs, comme en témoigne l'actualité française (avec le sommet Choose France). Cependant, cette croissance se heurte à un déficit de connaissance et d'instrumentation publique, par exemple quant à l'estimation précise de leur consommation. Ainsi, le Shift Project note que cette expansion n'a pas été anticipée dans les politiques énergétiques et climatiques. Cette présentation prolonge l'observation du Shift Project en montrant que cela est également un enjeu du point de vue de l'aménagement, notamment au regard des enjeux territoriaux et démocratiques de l'installation de ces infrastructures.

Le marché actuel des centres de données et son évolution

Trois types d'opérateurs se distinguent sur ce marché :

- des opérateurs privés (infrastructures internes des banques, de la grande distribution, etc.) ;
- des opérateurs du cloud (AWS, Google, Azure), construisant de très grands centres souvent en zone rurale et éloignés des foyers de population ;
- des opérateurs de colocation neutre (Digital Reality Trust, Equinix) qui fournissent l'infrastructure (électricité, refroidissement, sécurité, interconnexion) à d'autres entreprises et sont historiquement situés près des métropoles pour leur connectivité.

Actuellement, ce secteur est particulièrement transformé par l'émergence de l'intelligence artificielle (IA), augmentant considérablement les besoins en puissance, notamment via les GPU (*Graphics Processing Units*), et entraînant une tendance à la ruralisation des implantations pour se rapprocher des postes sources électriques à très haute tension.

Études de cas d'installations de centres de données au sein de territoires

Les trois études de cas suivantes illustrent l'évolution des enjeux liés aux centres de données, de leur invisibilité initiale à leur reconnaissance comme infrastructures stratégiques, posant des défis majeurs pour l'aménagement du territoire et la démocratie.

À la Plaine Commune, au nord de Paris, les projets débutés à la fin des années 90 ont marqué l'émergence de tensions autour de l'installation de centres de données par des opérateurs de collocation. Dans cette zone (la plaine Saint-Denis), leur implantation a été favorisée par des fonciers industriels bon marché, d'importantes capacités électriques disponibles et une excellente connectivité. Cependant, la concentration et l'augmentation de la puissance des projets (passant de près de 10 MW en l'an 2000 à plus de 60 MW une décennie plus tard, voire 130 MW pour un projet lancé en 2022) ont saturé la capacité du réseau local. Le déficit de capacité électrique a conduit à l'abandon de certains projets, en 2011 notamment, et a suscité les premières mobilisations citoyennes, jusqu'à un procès intenté en justice. Cet épisode a été révélateur du manque de connaissances des élus et de l'absence de coordination entre acteurs, sans pour autant déboucher sur la création d'outils de régulation locaux. Il a, néanmoins, marqué un changement d'échelle de l'enjeu des centres de données, attirant sur eux pour la première fois l'attention du gestionnaire du réseau de transport d'électricité français, RTE.

À Marseille ensuite, depuis 2018, le développement des projets de centres de données a fait émerger des conflits d'usage incitant l'émergence d'une nouvelle organisation des pouvoirs publics à l'échelle régionale. La présence de câbles sous-marins au niveau de la ville en fait un lieu privilégié pour l'installation de telles infrastructures. Leur multiplication sur le port maritime (avec une puissance de près de 80 MW) a saturé les postes sources, créant des conflits d'usage avec d'autres projets essentiels, comme l'électrification à quai des ferries (pour réduire la pollution de l'air). Face aux mobilisations citoyennes, aux appels à des moratoires par certains élus écologistes et à l'inquiétude de RTE, la préfecture a organisé une table ronde en présence notamment des opérateurs, d'élus, des acteurs de l'énergie et de citoyens. Ainsi, cette crise a conduit à une première forme de planification de l'aménagement local de ces infrastructures. Il en a notamment résulté la création d'un schéma électrique visant à mutualiser les implantations (zone de Plan-de-Campagne) ainsi que la construction par RTE d'une expertise sur la courbe de charge de ces installations et sur la gestion des centres de données fantômes, projets amorcés sans jamais être concrétisés.

En Seine-et-Marne, le projet Fouju-Campus IA, promu au nom de la souveraineté industrielle depuis le printemps 2025, souligne les défis démocratiques à l'ère de l'IA. Ce projet Fouju-Campus IA illustre le saut d'échelle que l'on connaît actuellement. Porté par un consortium (GMX, NVIDIA, Mistral AI, Bpifrance), ses caractéristiques sont sans commune mesure : une puissance de 1,4 GW (la puissance d'une tranche de centrale nucléaire), 70 hectares de terrain et 8 à 50 milliards d'euros d'investissement. Le projet soulève une question cruciale de démocratie. En effet, actuellement classé comme « entrepôt », il n'est soumis qu'à une concertation volontaire d'un mois, alors que s'il était considéré comme une « installation industrielle », il relèverait d'un débat public obligatoire de la Commission nationale du débat public, pour une durée de 2 à 4 mois. La procédure actuelle « *fast-track* » interroge l'acceptabilité sociale de projets aussi massifs. Cet enjeu concerne l'ensemble des centres de données en projet aujourd'hui, qui, à l'exception de Campus IA, ne font pas l'objet de concertation malgré l'importance des enjeux politiques, sociaux et environnementaux que leur développement soulève.

Affiche d'une réunion publique à l'initiative du porteur de projet Campus IA (gauche). Schéma de principe de l'implantation des principales composantes du projet au moment du lancement de la concertation (droite).

- 1 Accès principal
- 2 Bâtiment de formation
- 3 Datacenters réalisés lors de la première phase
- 4 Datacenter
- 5 Parc central paysager
- 6 Poste électrique de Campus IA
- 7 Poste aérien 400 kV RTE
- 8 Lignes 400 kV
- 9 Station de traitement des eaux usées
- 10 Espaces naturels ou agricoles

* Les emplacements des datacenters ne sont pas définitifs

Source : fouju.fr

Conclusion

On retiendra avant tout l'immaturité des instruments de gouvernance publique face à l'enjeu qu'est le développement des centres de données. Des

politiques d'attractivité sont développées, sans mesurer les aménagements impliqués, laissant les collectivités seules face aux multinationales. Seul RTE a développé, récemment et à l'échelle nationale, une réelle expertise et une vision d'aménagement pour ces infrastructures. Il reste à accroître les échanges entre le gestionnaire de réseau et les acteurs privés dans la construction d'une politique énergétique (particulièrement au sujet de la tarification et de la localisation). Au-delà des dimensions énergétiques et territoriales, la croissance rapide de la taille des projets de centres de données soulève des enjeux démocratiques qui restent aussi non traités.

Q&A

- *Quelles régions de France sont les plus propices à l'implantation de centres de données et selon quels critères ?*

La détermination de leur localisation est guidée par une combinaison de facteurs infrastructurels et de stratégies opérationnelles. Principalement, il s'agit de la présence de capacités électriques disponibles (notamment sur la « couronne des 400 000 volts » en Île-de-France) et une excellente connectivité aux dorsales de l'internet. Concrètement, les régions identifiées aujourd'hui sont l'Île-de-France et le Nord, suivies de la région PACA qui est, certes, complexe à alimenter en électricité mais très bien reliée au réseau mondial stratégique de câbles sous-marins. Le défi de planification est grand, et si RTE promeut des « zones de mutualisation » pour organiser ce développement, l'approche est discutée par les opérateurs de colocation, pour qui l'emplacement est l'unique facteur de différenciation commerciale.

- *Quel est l'intérêt pour un territoire d'accueillir un centre de données ?*

Les retombées pour les territoires sont mitigées et s'articulent autour de plusieurs arguments. En termes d'emplois d'abord, les promesses sont souvent décevantes. Si la phase de chantier est pourvoyeuse d'embauches et d'expertise, l'exploitation nécessite quant à elle peu de main-d'œuvre. Une concentration de centres de données en des clusters peut, toutefois, permettre de structurer une filière de maintenance stable. En termes d'aménagement du territoire ensuite, ces infrastructures sont parfois perçues comme un « moindre mal », comparé à d'autres projets tels que les plateformes logistiques générant un trafic de poids lourds important. Finalement, l'argument souvent décisif s'avère être les retombées fiscales, qui motivent les collectivités. La forte capacité d'investissement des opérateurs leur permet également de financer des équipements locaux (ronds-points, associations), favorisant aussi l'acceptation du projet.

- *Quelle est la part d'énergies renouvelables dans l'alimentation des centres de données ?*

Il est vrai que les pouvoirs publics français présentent ces centres comme un débouché économique, en mettant en avant un mix électrique très faiblement carboné (grâce au nucléaire) et la position exportatrice de la France en électricité. Néanmoins, la réalité mondiale est bien différente. La montée en charge de la demande est souvent soutenue par des investissements massifs dans des centrales à gaz naturel, conduisant à une recarbonation du secteur. Les engagements « verts » reposent fréquemment sur des certificats d'énergie (« *market base* ») qui ne reflètent pas nécessairement la consommation réelle (« *location base* »).

- *Quels sont les impacts en termes de consommation d'eau ?*

C'est un point de vigilance majeur, bien que la situation en France semble différente de celle observée dans d'autres pays. Des problèmes médiatiques ont été soulevés à l'étranger (États-Unis, Irlande, Amsterdam), en lien avec l'utilisation de systèmes de refroidissement adiabatiques, très consommateurs d'eau, y compris dans des régions en stress hydrique. Cependant, en France, ces systèmes sont peu répandus. Les technologies dominantes utilisent le « *free cooling* » (utilisant l'air extérieur comme source froide) ou des boucles fermées qui prélèvent l'eau dans les nappes phréatiques sans la consommer (elle est restituée après usage). La pression citoyenne est forte pour protéger les ressources, conduisant les promoteurs (comme pour Fouju-Campus IA) à s'engager à ne pas y toucher. Par ailleurs, la densité énergétique des centres de données dédiés à l'IA nécessite de nouvelles technologies de refroidissement, avec des fluides nécessairement liquides. Si elles sont généralement conçues en boucle fermée, leur déploiement reste un sujet de vigilance.

- *Face à la consommation exponentielle du numérique et à la concurrence accrue pour l'accès aux énergies renouvelables via les Power Purchase Agreements (cf. l'intervention d'Anne-Cécile Orgerie), comment RTE perçoit-il cette situation et quelles sont les implications pour les autres secteurs nécessitant de se décarboner ?*

Le discours public de RTE est aligné sur celui de l'État : il faut favoriser l'implantation des centres de données, considérée comme un enjeu de souveraineté numérique. Cet argument est central dans le débat actuel et s'appuie sur le statut récent de la France comme exportateur net d'électricité. Cependant, cette situation est fragile. La possibilité de difficultés futures du parc nucléaire et la nature cyclique des exports d'électricité remettent en cause cet optimisme. D'autre part, la question cruciale de la concurrence d'usage pour l'électricité bas-carbone reste à traiter. D'autant plus qu'il est difficile

d'anticiper les conséquences des investissements actuels qui atteindront leur pleine charge autour de 2032-2035. Aujourd'hui, il manque un espace de débat public sain et transparent pour confronter les positions et les données, RTE et les différents acteurs s'exprimant de manière trop isolée. Le débat local autour d'un centre de données en particulier est insuffisant pour traiter d'un enjeu de politique nationale comme le développement de l'IA et ses infrastructures. Face à l'ampleur des investissements et des implications climatiques, il serait nécessaire de mettre en place un dispositif de discussion à grande échelle, comme une convention citoyenne, associant scientifiques, experts et citoyens pour améliorer la culture numérique et clarifier les choix de société.

Vers une IA durable : outils et techniques pour l'efficacité énergétique des systèmes informatiques modernes

Petr DOKLADAL | CMM Mines Paris – PSL

L'Impact énergétique croissant de l'IA

Bien qu'un calcul unitaire soit des billions de fois plus économe en énergie sur un CPU (« *Central Processing Units* ») moderne que dans le cerveau humain, l'impact agrégé de l'IA est paradoxalement colossal. Cette divergence s'explique par la massification des calculs et l'évolution des systèmes hardware.

Le passage des CPU aux GPU (« *Graphics Processing Units* »), puis aux architectures modernes dédiées comme le modèle Transformer, base des LLM (« *Large Language Models* ») depuis 2017, a permis des avancées majeures mais a aussi considérablement augmenté la consommation. Aujourd'hui, l'évolution des technologies dans le secteur est marquée par de véritables sauts d'échelle entre les modèles. Par exemple, quand YOLOv5 (détection d'objets en temps réel) utilise 7 millions de paramètres et a été entraîné en quelques heures à un jour avec un GPU pour une consommation de 1 à 5 kWh, GPT-3 (générateur de texte) a recours à plus d'une centaine de milliards de paramètres, nécessitant un data center entier et plusieurs semaines d'entraînement avec des clusters de centaines de GPU, dont la consommation est estimée à 50 GWh (l'équivalent de la consommation de 3 jours d'électricité d'une métropole). Ainsi, l'entraînement optimisé de Chat GPT-3 aurait émis près 626 t de CO₂.

Cependant à cet impact de l'entraînement, il faut ajouter celui de l'utilisation. Chaque requête à un modèle comme Chat GPT consommerait 20 à 50 mWh (l'équivalent énergétique d'une tasse de thé) et la création de vidéos par IA consommerait même une énergie augmentant de façon quadratique avec la durée et la résolution.

Finalement, à l'échelle planétaire, l'IA contribuerait à 3-4% des émissions de gaz à effet de serre. En France, le numérique représente 2,5% de l'empreinte carbone.

Leviers et méthodologie pour une IA plus durable

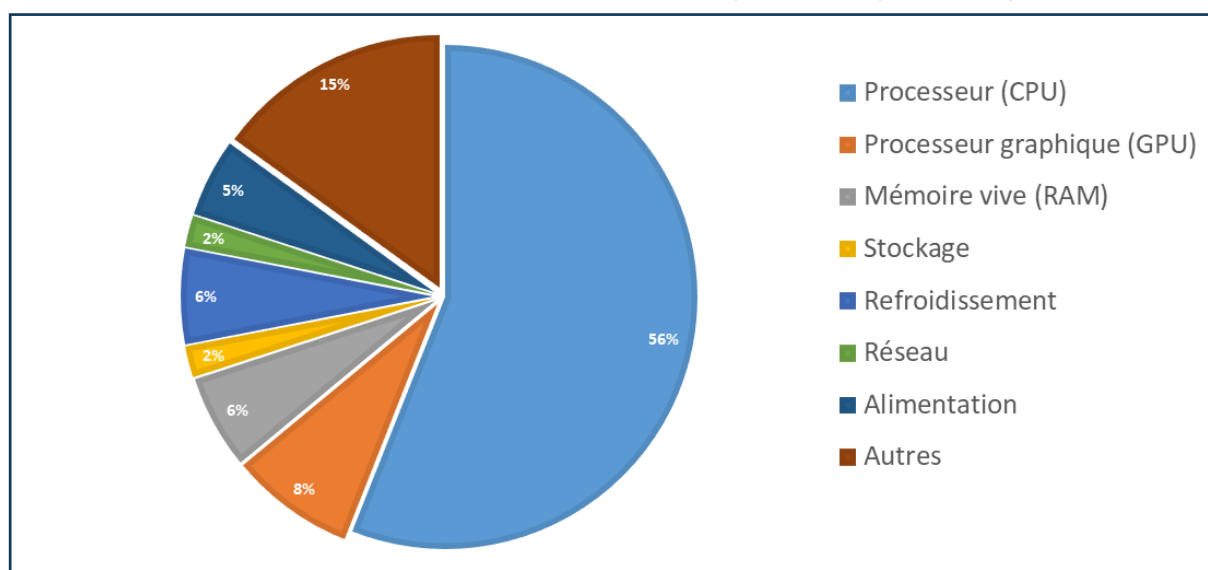
Face à ce constat, la recherche se mobilise pour développer des outils et

techniques d'optimisation. C'est le cas de la thèse de Roblex Nana Tchakouté, lancée par TTI.5, qui s'articule autour de deux objectifs.

1. Le profileur énergétique multiplateforme

Partant du principe fondamental que l'on ne peut optimiser que ce que l'on peut mesurer, cet outil pour Python au service des développeurs a été mis au point pour permettre de mesurer avec précision la consommation du CPU, du GPU et de la RAM (« *Random-Access Memory* »). En s'appuyant sur les données des fabricants (Intel, AMD, Nvidia), il permet d'identifier les lignes de code les plus énergivores, pour permettre aux développeurs de concentrer leurs efforts d'optimisation aux bons endroits.

Consommation d'un nœud de calcul : répartition par composant



Source : à partir de Dokladal et al.

2. Optimiser l'exécution dans les centres de données

L'exécution de grosses tâches sur des serveurs ou supercalculateurs doit satisfaire des critères multiples et parfois contradictoires de performance (c'est-à-dire de nombre de tâches traitées par unité de temps), de consommation énergétique, d'empreinte carbone, d'équité, de qualité de service (en matière de respect des délais critiques pour tous les utilisateurs), de flexibilité et de robustesse face à une charge hétérogène (recherche, météo, vidéosurveillance, entraînement de modèles, etc.) ainsi que de stabilité. Il s'agit donc d'intégrer tous ces critères dans une exploitation intelligente des centres de données.

Conclusion

Les recherches menées ont abouti à des résultats concrets et prometteurs, tant au niveau de l'optimisation du code qu'au niveau de la répartition de

tâches sur les serveurs. Des réductions de 10 à 11% de l'énergie consommée par les centres de données ont notamment été atteintes avec le second système développé, le tout sans perte significative de performance. Ces résultats permettent donc de repousser un peu plus loin la frontière entre performance et sobriété.

Q&A

- *Mistral AI est-elle meilleure en termes de consommation énergétique que Chat GPT ?*

La comparaison des performances entre ces deux modèles n'est pas binaire. Ces sociétés proposent des gammes de modèles de tailles et de spécialisations variées, évalués sur des benchmarks spécifiques. Il est donc impossible de déclarer un modèle comme universellement meilleur qu'un autre, la performance dépendant des cas d'usage et de la déclinaison du modèle utilisée.

- *Peut-on dire que plus les modèles sont évolués, plus ils ont été entraînés, plus ils vont être ré-entraînés pour pouvoir être toujours à jour, donc plus ils vont avoir une consommation et des externalités d'émissions de carbone ?*

La consommation énergétique et les émissions de carbone augmentent effectivement avec la complexité et l'entraînement des modèles. Si les données précises de consommation pour GPT-4 et GPT-5 ne sont pas publiques, les estimations les placent dans un ordre de grandeur similaire à GPT-3, mais avec une consommation globale bien plus importante.

- *Que dire de l'outil Code Carbone, comparé à celui qui a été développé dans la thèse ?*

L'outil EA2P, développé en interne, se distingue par sa polyvalence par rapport à des solutions comme Code Carbone. EA2P a été conçu pour fournir des mesures sur une plus large gamme de matériels, de systèmes d'exploitation (dont Linux et Windows) et de processeurs (Intel, AMD et Nvidia).

- *Peut-on renforcer la coopération internationale en matière de standardisation pour réduire l'impact environnemental des infrastructures numériques, qui se joue au niveau mondial pour l'internet comme pour l'IA ?*

L'intervention présentée ici se concentre sur l'optimisation logicielle. La responsabilité du matériel incombe aux fabricants et celle du mix énergétique aux pays. L'expertise du CMM permet d'aider les développeurs à minimiser l'empreinte carbone de leurs applications ou les laboratoires à optimiser l'impact de leurs calculs de recherche, mais le laboratoire n'intervient pas directement sur la standardisation internationale des infrastructures.

Empreinte carbone des centres de données et impacts de l'utilisation de sources d'énergie renouvelable

Anne-Cécile ORGERIE | CNRS – IRISA

Vue d'ensemble de l'impact environnemental du numérique

Au niveau mondial, le numérique représente 2 à 4% de l'empreinte carbone (en 2021), avec une croissance annuelle estimée entre 6 et 10%. En France, la consommation électrique de ce secteur est significative. Si une première étude l'estimait à 52 TWh (11% de la consommation nationale) en 2020, une autre plus récente incluant l'usage de centres de données à l'étranger par des entités françaises établit cette consommation à près de 65 TWh.

L'émergence du « *cloud computing* », mutualisant les serveurs, n'a pas engendré les économies d'échelles escomptées en raison d'un effet rebond, conduisant au contraire à une multiplication des grands centres de données « *hyperscale* ». L'exemple de l'Irlande, où les centres de données consomment 21% de l'électricité, illustre d'ailleurs la pression qu'ils exercent sur les infrastructures, conduisant finalement à des restrictions imposées par l'opérateur du réseau électrique.

Depuis 2024, la législation européenne impose aux centres de données de puissance d'au moins 500 kW installés sur le territoire de l'UE de déclarer leur consommation énergétique et de suivre des indicateurs environnementaux précis. Ces exigences sont renforcées pour les installations dépassant le MW de puissance.

Ce cadre législatif intervient alors que les géants du numérique communiquent régulièrement leurs objectifs : Facebook et Google visent le « *net zero emissions* », Apple et Google une « énergie 100% renouvelable », et Microsoft la « neutralité carbone négative » d'ici 2030. Comment parviennent-ils à justifier de telles annonces ?

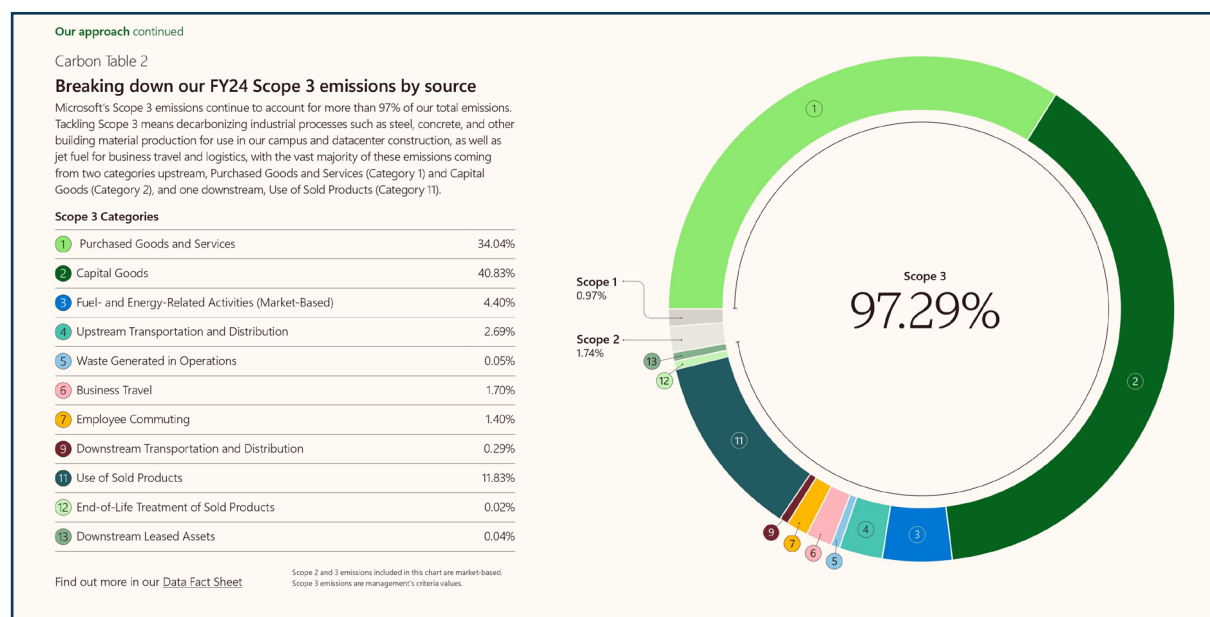
Mécanismes de la comptabilité carbone des centres de données

L'analyse de l'empreinte carbone des centres de données repose sur le protocole *Greenhouse Gas* (GHG), qui segmente les émissions de carbone en trois catégories :

- Scope 1 : émissions directes dues à l'activité (comme celles des groupes électrogènes par exemple) ;

- Scope 2 : émissions indirectes liées à l'énergie consommée (intégrant notamment le mix électrique) ;
- Scope 3 : toutes les autres émissions indirectes (fabrication du matériel, déplacements des employés, déchets, etc.). Pour un centre de données, c'est de loin le poste majoritaire (97,3% des émissions chez Microsoft par exemple).

Extrait du « 2025 Environmental Sustainability report » de Microsoft détaillant le bilan des émissions de l'entreprise et décomposant le scope 3



Source : Microsoft

Si de plus en plus de géants du cloud affichent un fonctionnement « 100% énergie renouvelable », ce n'est pas parce qu'ils produisent eux-mêmes leur énergie verte (scope 1). En effet, l'autonomie énergétique d'un centre de données hyperscale, via le solaire par exemple, est irréaliste sans un réseau électrique lui servant de batterie, ce qui génère des pics d'injection importants pouvant déstabiliser le réseau électrique. Consommant l'électricité plus ou moins carbonée offerte par ce dernier, les entreprises ont alors principalement recours à deux mécanismes comptables pour diminuer leur scope 2 :

- les *Power Purchase Agreements* (PPA), des contrats d'achat d'électricité verte à long terme négociés directement avec un producteur, qui stimulent les investissements mais peuvent accaparer le marché ;
- les *Energy Attribute Certificates* (EAC), des certificats négociables dissociés de l'électricité physique, émis par les producteurs d'électricité et achetés à des prix très variables par les entreprises pour alléger leur facteur carbone, au risque d'une double comptabilité des gains environnementaux.

Ainsi, la neutralité carbone mise en avant est avant tout un artifice comptable (« *market-based* ») qui masque la réalité physique (« *location-based* »). L'exemple de Meta est frappant, avec un scope 2 annuel de 135 t CO₂eq en « *market-based* » mais près de 6 000 000 t CO₂eq en « *location-based* ».

La neutralité carbone pour le scope 3 des géants du cloud semble, quant à elle, bien loin. Elle nécessite la poursuite d'Analyses de Cycle de Vie (ACV). Il convient de rappeler que les ACV classiques sont attributionnelles (attribution d'un coût par serveur par exemple en divisant les émissions de l'usine d'assemblage par le nombre de serveurs produits) et non conséquentielles (mesurant l'impact de la modification d'un état par rapport à une configuration initiale). Ainsi, ces bilans carbone suivent une logique d'attribution « comptable » des émissions carbone qui est décorrélée de la réalité physique. Par exemple, ils présupposent une durée de vie des équipements et répartissent les émissions de la phase de fabrication sur l'intégralité de la durée, alors que ses émissions sont intégralement réalisées au moment du début de la phase d'usage de l'équipement.

Conclusion

La promotion d'une neutralité carbone, voire la promesse d'émissions négatives, par les acteurs majeurs du cloud est un objectif comptable, non physique. Il s'agit d'une course à l'achat massif d'énergies renouvelables, aux crédits carbone et au stockage du carbone qui ne reflète pas la réalité de leur consommation sur les réseaux électriques locaux. Ceci n'empêche pas une augmentation massive de leur consommation d'énergie ayant, par exemple, doublé en quatre ans pour Google, Microsoft et Meta, et laisse dans l'ombre le scope 3 (notamment la fabrication), qui constitue pourtant l'essentiel de leur empreinte.

Q&A

- *Quels sont les impacts en termes de matériaux critiques métalliques des centres de données ?*

Ces questions soulèvent des enjeux géopolitiques majeurs, qui dépassent la question de l'empreinte carbone et celle de l'empreinte en eau de ces installations. L'École des Mines de Paris dispose néanmoins de recherches substantielles sur ces sujets, dans les centres de recherche appropriés.

- *La loi européenne oblige-t-elle à remonter au producteur d'énergie renouvelable pour les Power Purchase Agreements ?*

Non, il n'existe aucune obligation de traçabilité des PPA et des EAC, que ce soit à l'échelle nationale ou européenne. Cette absence de transparence rend l'audit

très complexe. Cela ouvre la voie à la revendication du même pourcentage d'énergie renouvelable par plusieurs consommateurs, engendrant un double comptage permanent. Le protocole GHG tente de mettre en place des garde-fous, mais que la coexistence des réalités physiques et comptables reste difficile à concilier.

- *L'exemple d'Apple qui affiche une alimentation éolienne et solaire pour ses centres de données ne repose pas sur une réalité physique ?*

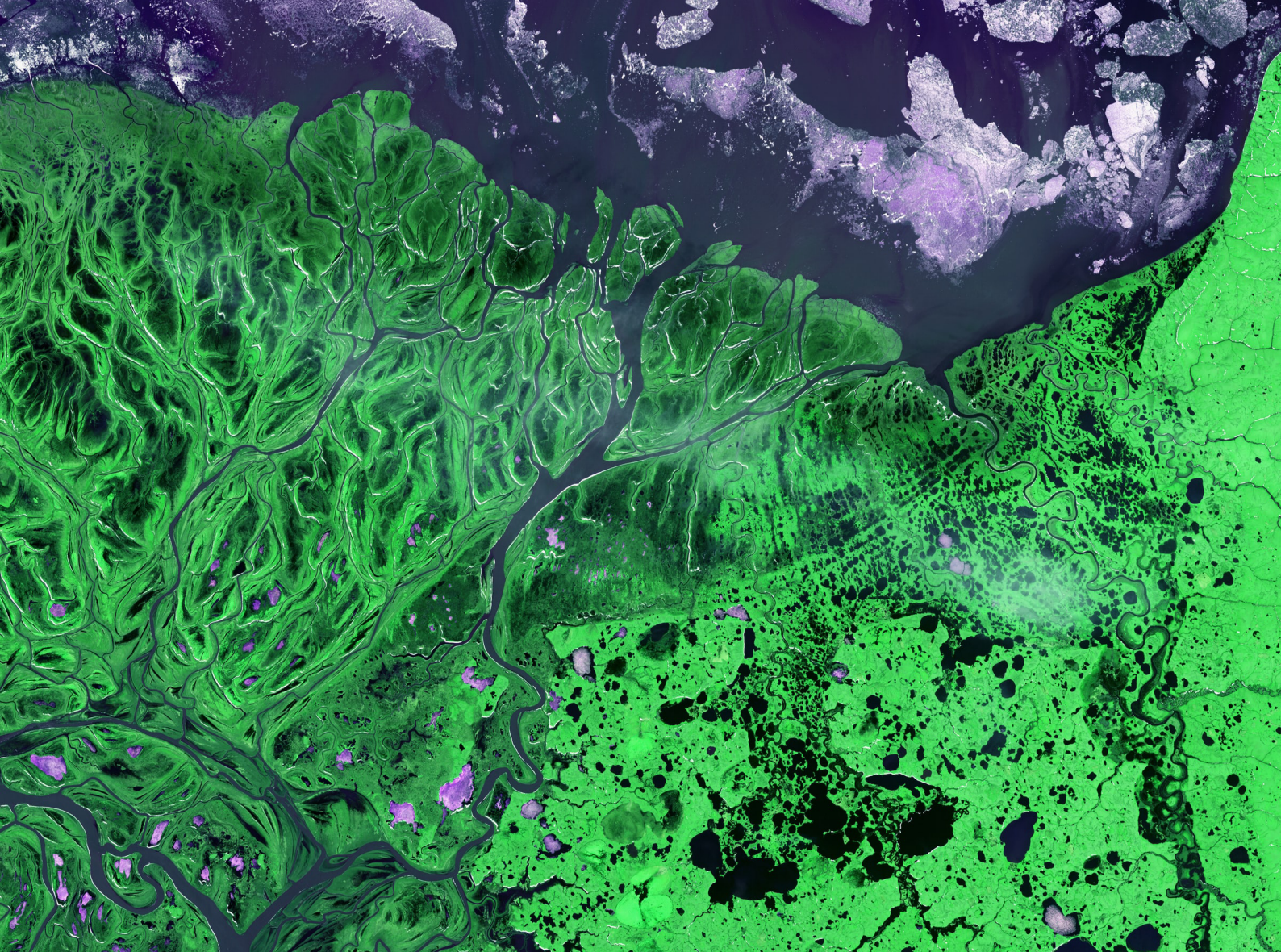
Ce n'est effectivement pas le cas. Ces affirmations sont purement basées sur la méthodologie « *market-based* ». Cette précision, bien que toujours présente dans les rapports, est rédigée en petits caractères et nécessite une expertise pour être correctement interprétée.

- *Pensez-vous que ces engagements de neutralité carbone pourraient être remis en cause par les acteurs eux-mêmes, au vu des chiffres de croissance de leur consommation ?*

Cela dépend des acteurs dont on parle, car ils sont très divers (des pouvoirs publics aux géants du numériques), mais il est difficile d'en identifier un qui pourrait remettre en cause ces engagements. Cependant, la tension croissante sur le marché des énergies renouvelables constitue une menace réelle. La demande des GAFAM croît plus vite que l'offre de production renouvelable, rendant ces engagements de plus en plus difficiles à tenir, même avec des investissements financiers importants. Les PPA que ces entreprises achètent, par exemple, proposent souvent des prix plus élevés que le marché local de l'électricité.

- *Cette situation va-t-elle pousser l'Europe vers un mix nucléaire ?*

Du point de vue d'une informaticienne et non spécialiste des systèmes électriques, il est difficile de répondre. Néanmoins, l'exemple de Microsoft est significatif : l'entreprise négocie actuellement la réouverture de la centrale nucléaire de Three Mile Island, pourtant connue pour un grave accident nucléaire. Il semble bien y avoir une tendance des géants technologiques à se tourner vers le nucléaire, pour répondre à leurs besoins énergétiques.



CONTACT

🌐 the-transition-institute.minesparis.psl.eu

✉ tti.5@minesparis.psl.eu