

Enjeux environnementaux des data centers (centres de données)

*Vue d'un des 16 centres de données de grande capacité
opérationnels ou en cours de construction dans un rayon de 5 km
autour du poste très haute tension de Villejust*



Valérie Masson-Delmotte

Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (CEA-CNRS-UVSQ), Université Paris Saclay

Centre Climat Société, Institut Pierre-Simon Laplace

Qu'est-ce qu'un data center?

- **Infrastructure ou groupe d'infrastructures servant à héberger, connecter, exploiter des systèmes et serveurs informations et du matériel connexe pour le stockage, le traitement ou la distribution de données & pour les activités qui y sont directement liées**
 - ordinateurs centraux, serveurs, baies de stockage, équipements réseaux et télécommunication, calcul / IA
 - sécurisation, gestion (calculs, refroidissement) et maintenance des équipements et données stockées
- **Services internes (entreprise) ou externes (colocation, cloud...)**
 - bases de données, serveurs de fichiers et d'applications
- **Modularité et flexibilité**
 - remplacement des serveurs, GPUs, CPUs, mémoire, stockage tous les 2-5 ans
 - obsolescence rapide (7-9 ans)
- **Services informatiques en environnement contrôlé et sécurisé**
 - filtration de l'air, régulation de température (climatisation)
 - alerte incendie, surveillance constante
 - alimentation électrique d'urgence (redondance)
- **Typologie**
 - entreprise (1-10 MW)
 - colocation (10-100 MW)
 - hyperscale (+100 MW, cloud , entraînement IA...)
 - edge (temps réel, proximité)

Qu'est-ce qu'un data center?

- **Infrastructure ou groupe d'infrastructures servant à héberger, connecter, exploiter des systèmes et serveurs informations et du matériel connexe pour le stockage, le traitement ou la distribution de données & pour les activités qui y sont directement liées**
 - ordinateurs centraux, serveurs, baies de stockage, équipements réseaux et télécommunication, calcul / IA
 - sécurisation, gestion (calculs, refroidissement) et maintenance des équipements et données stockées
- **Services internes (entreprise) ou externes (colocation, cloud...)**
 - bases de données, serveurs de fichiers et d'applications
- **Modularité et flexibilité**
 - remplacement des serveurs, GPUs, CPUs, mémoire, stockage tous les 2-5 ans
 - obsolescence rapide (7-9 ans)
- **Services informatiques en environnement contrôlé et sécurisé**
 - filtration de l'air, régulation de température (climatisation)
 - alerte incendie, surveillance constante
 - alimentation électrique d'urgence (redondance)
- **Typologie**
 - entreprise (1-10 MW)
 - colocation (10-100 MW)
 - hyperscale (+100 MW, cloud , entraînement IA...)
 - edge (temps réel, proximité)



*Stockage combustibles
proche seuil Seveso*

Développement mondial rapide

- **Accélération du développement** depuis environ 2015, lien avec développement IA

- **Demande d'électricité**

1,5% de la consommation mondiale d'électricité en 2024 (415 TWh), **3%** projeté en 2030 (AIE)

Enjeu pour l'utilisation de l'électricité bas carbone en substitution aux énergies fossiles

Incertitude sur l'évolution au-delà de 2030 (contraintes déploiement / gains efficacité/ IA générative)

- **11 500 centres de données dédiés ou mutualisés dans le monde**

40% aux USA : > 5 000

50 milliards de \$ d'investissements par an

Data center hubs (Northern Virginia, Georgia)

Autres pays

UK : 530, Allemagne : 520

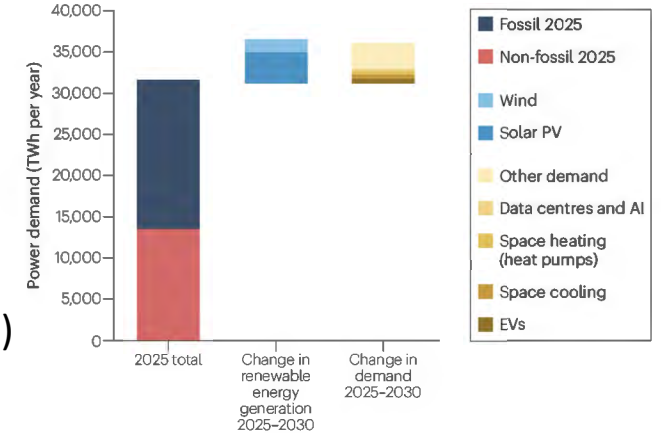
Chine : 369

France : 375

Pays-Bas : 186

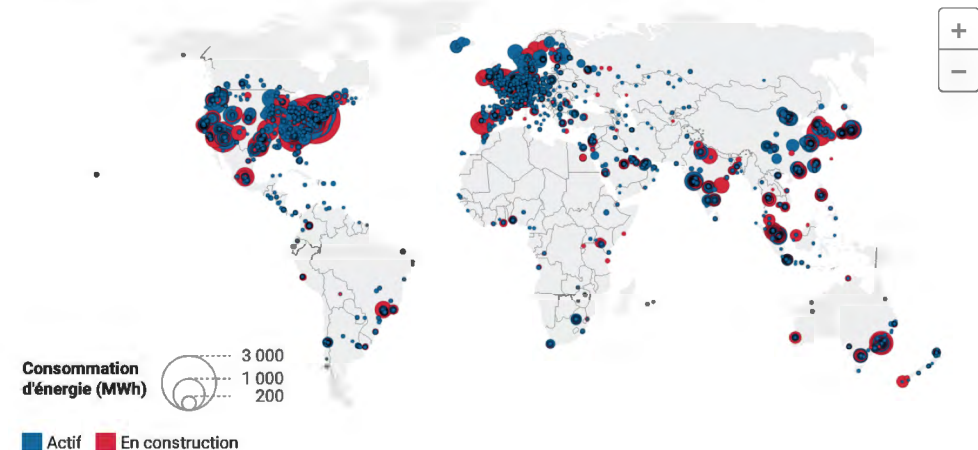
Irlande : 130

Objectif européen : tripler la capacité d'ici 2035



Ürge-Vorsatz and Creutzig 2026, Nature Reviews Clean Technology

Géographie mondiale des centres de données (2024)



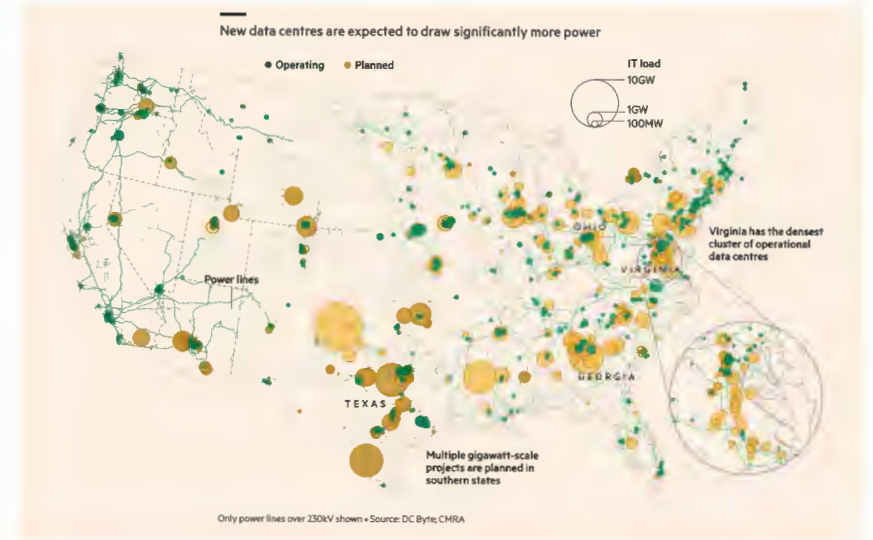
Carte: Le Grand Continent • Source: BloombergNEF

Consommation électrique

- USA

Approvisionnement électrique :
40% gaz, 24% renouvelables, 20% nucléaire, 15% charbon

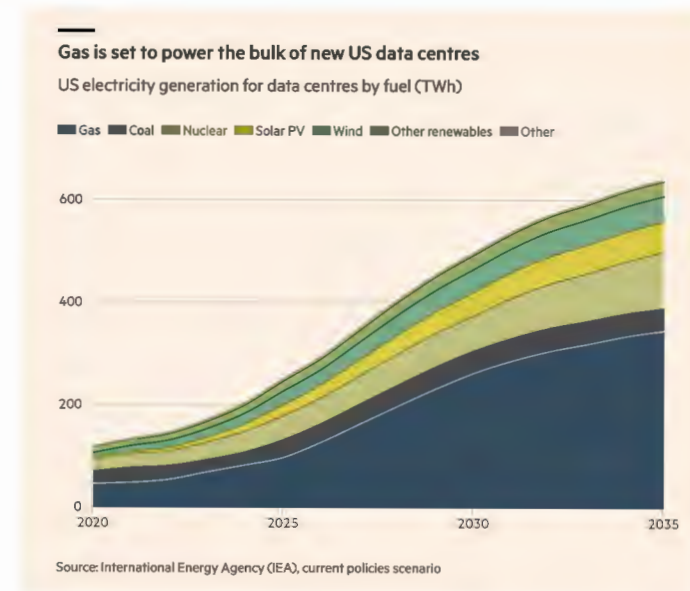
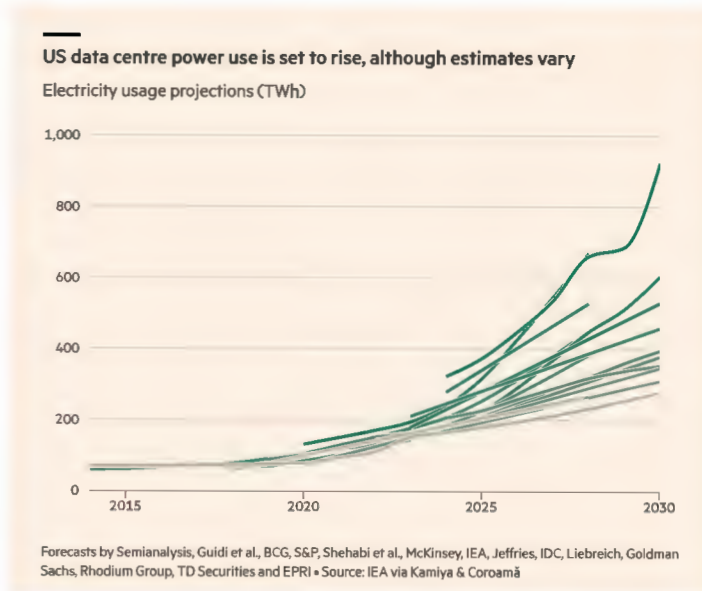
Capacité installée : 51 GW (5% de la demande électrique)
+ 44 GW prévus d'ici 2030 (9%)



Data centre delays threaten to choke AI expansion

The power crunch threatening America's AI ambitions

A lack of electricity for new data centres could deflate the AI 'bubble'



Consommation énergie et eau liées au fonctionnement

- **PUE (power usage effectiveness) = consommation totale énergie / consommation équipement IT**

Moyenne 2024 UE : 1,6

Moyenne France 2024 : **1,42** (Arcep)

Température de fonctionnement pour le matériel électronique

Type de refroidissement (*free cooling, liquid cooling, direct-to-chip cooling*)

- **WUE (water usage effectiveness) = consommation eau / consommation IT (litres / kWh)**

Humidification, climatisation, réseau incendie, sanitaires

Refroidissement air ou liquide boucle fermée : 0-0,2 l/kWh; évaporatif (adiabatique, tours) : 0,2-2,5 l/kWh

Moyenne 2024 UE : **0,31**

Arbitrage entre efficacité énergétique et consommation d'eau

- **Réutilisation chaleur fatale difficile**, obligation analyse coût-avantage, potentiel de 4 à 13 TWh (ADEME)

- **Régulation de l'efficacité énergétique : Singapour, Japon, Chine, Australie, EU, Californie**

- **Directives européennes pour les data centers**

Obligation de collecte de données et reporting (énergie, eau, renouvelables)

Plage de consigne de température, utilisation de chaleur fatale

EU/2024/1364

EU/2023/1791

<https://dashboard.tech.ec.europa.eu/>

Tensions croissantes dans différents contextes

- **Hubs dus aux conditions d'implantation** (accès à la connectivité, à l'énergie et au foncier)
Exemptions fiscales, accès facilité au foncier, subventions, coût préférentiel de l'électricité
- **Infrastructures électriques**
Coût reporté sur les ménages et PME (USA)
Priorités de raccordement de clients, électrification / trajectoires de décarbonation (consultation RTE)
- **Tensions sur les ressources en eau / stress hydrique**
USA : 1,7 milliards de litres d'eau par jour
Tensions croissantes (Espagne, Chili, Pays-Bas)
Enjeu de transparence sur la consommation d'eau
- **Emprise foncière et artificialisation des sols**
Moratoires (Amsterdam, Singapour)

Situation en France

- **Attractivité :**

capacité de production et distribution d'électricité bas carbone (excédentaire)

20 connexions par câbles sous-marins

- **69 milliards de \$ d'investissements étrangers en 2025**

> moitié investissements industriels

- **Simplification / accélération** des procédures administratives et raccordements

Article 35 de la loi 2026-403 de simplification de la vie économique du 26/05/2026

- Définition inscrite au Code de l'urbanisme (en plus du code de l'énergie)
- Possibilité de bénéficier de la qualité de « Projet d'Intérêt National Majeur » (PINM)
Procédure accélérée, délivrance autorisation d'urbanisme par le préfet, possibilités de dérogation hauteur / PLU
- Possibilité de refus de permis de construire en raison de tensions structurelles sur la ressource en eau
- Procédure de réservation de capacité de raccordement + contribution financière supplémentaire

Emissions de gaz à effet de serre

- **Effets directs des équipements : extraction de matières premières, fabrication, usage et fin de vie**

Centres de données en France en 2022 (avant essor IA générative) :

46% de l’empreinte carbone du numérique en France soit 13,5 millions de tonnes de CO₂

Besoins de calcul plus élevés + puces spécifiques pour usages IA générative

Empreinte carbone d’une carte Nvidia GPU estimée à 150 kg CO₂-e

- **Suivi de 160 data centers en France (ADEME-Arcep)**

Augmentation du nombre de centres de données, de taille + importante (100-200 MW), et de leur utilisation

Hausse rapide consommation électricité (+12% en 2024) estimée à 2,7 TWh

Emissions de gaz à effet de serre : +23% en 2024 (+178 000 tonnes CO₂e) (scope 1 et 2, location-based)

+8% volume d’eau prélevé (6,5 millions de m³)

- **Effets indirects du numérique difficiles à évaluer :**

Substitution, optimisation ou efficacité

Effets d’induction, effets rebond

(ARCEP, 2026)

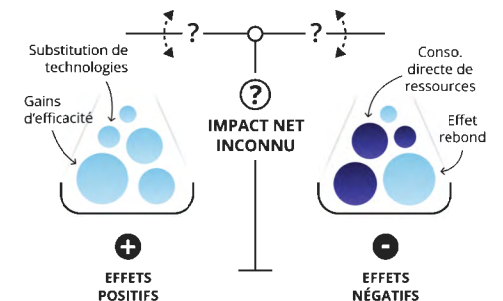
- Objectifs décarbonation Google et Microsoft horizon 2030 **compromis (IA générative)**

Relance massive d’infrastructures gaz (USA)

Remise en cause objectifs décarbonation (Irlande) - 20% consommation électricité

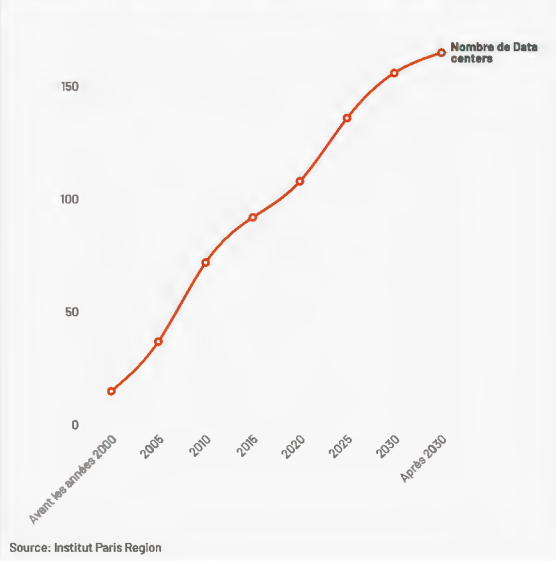
LES INCERTITUDES PESANT SUR LA MESURE DES EFFETS POSITIFS ET NÉGATIFS DE L’IA GÉNÉRATIVE

Exemples : ● d’effets directs ● d’effets indirects

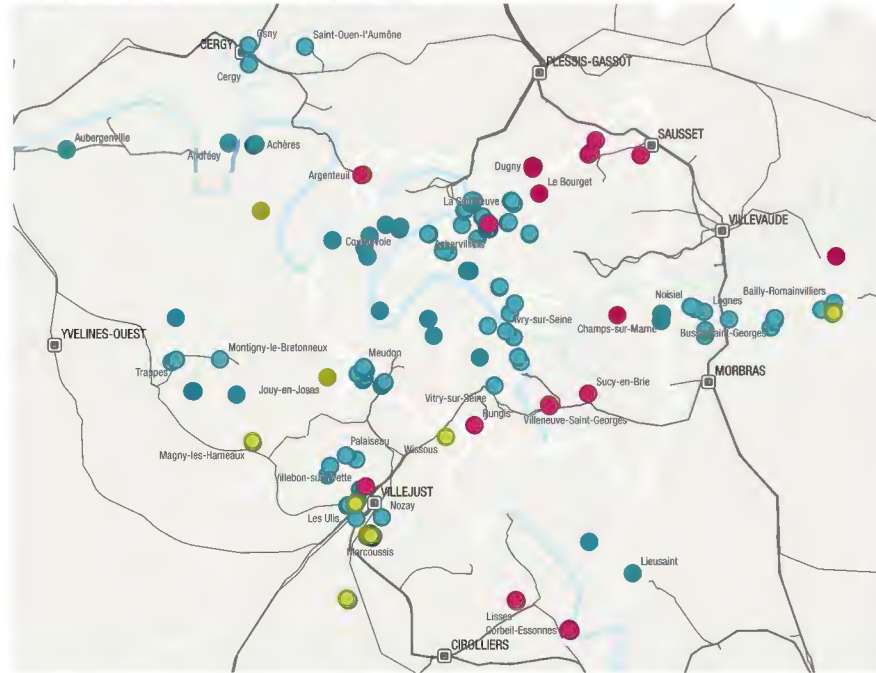


Implantation en Ile-de-France

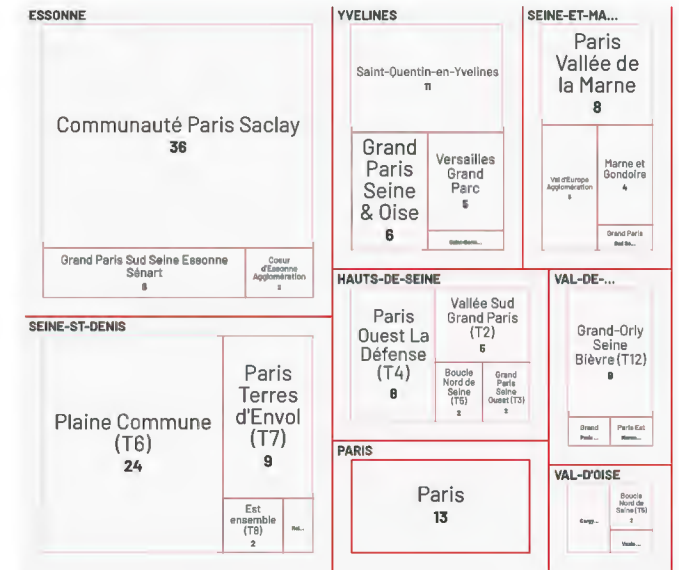
Nombre cumulé de data centers depuis les années 1980



Data centers et réseaux électriques



- Statut du Data Center**
- en exploitation
 - en construction
 - en projet
- Poste RTE 400kV
- Lignes RTE 400 kV | 225 kV

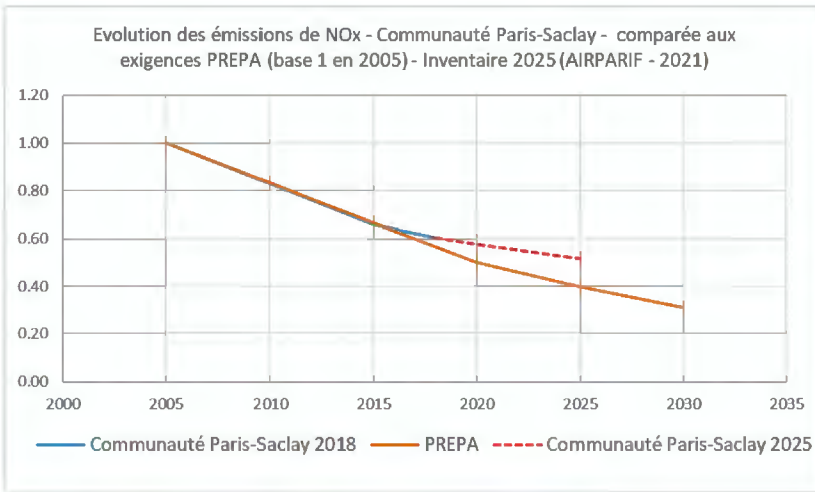


Source: Institut Paris Region

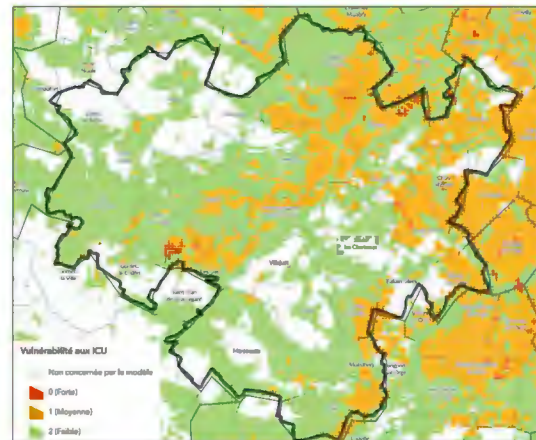
Projections de consommation d'électricité atteignant en 2050 la moitié de l'ensemble de la consommation électrique en Ile-de-France

Nouvelles problématiques liées à l'implantation territoriale

- PLU, permis de construire : considérés comme des entrepôts ; différents régimes (installations classées) selon leurs équipements ; **pas de vision agrégée pour les collectivités ; difficultés d'articulation avec les stratégies environnementales (ex PCAET)**
- Secours par **groupes électrogènes** (gazole ou HVO) avec des générateurs de forte puissance émettant de grandes quantités de **polluants** (maintenance) avec des enjeux importants en cas de **démarrage simultané** (coupure électrique, effacement)
- Production de **grande quantité de chaleur** basse température difficile à valoriser (quartiers en proximité), effet des flux de chaleur (îlot de chaleur urbain, stress thermique)
- **Enjeux sanitaires** liés à l'exposition aux polluants atmosphériques, à la chaleur + trames vertes
- **Manque de cadre méthodologique** pour évaluer les conséquences environnementales et sanitaires locales



Vulnérabilité de la population à l'effet d'îlot de chaleur urbain, CA Paris-Saclay

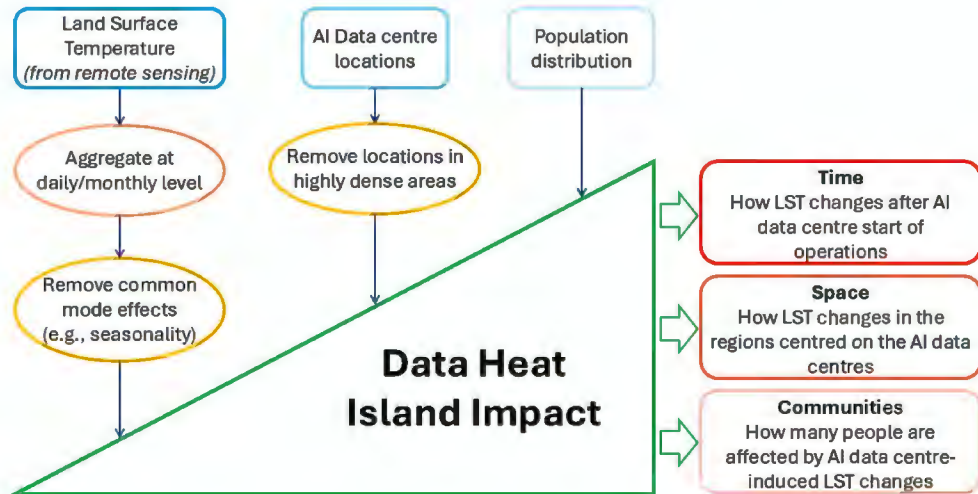


23 kg NOx / générateur / h

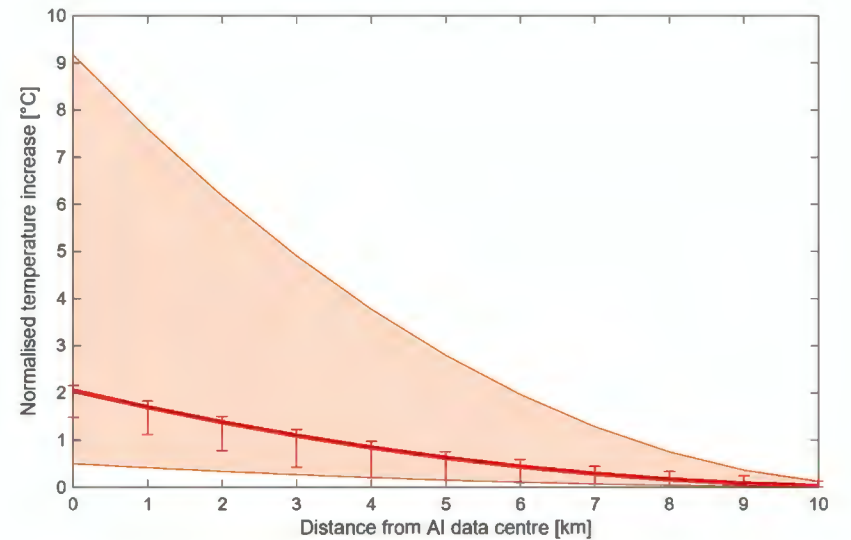
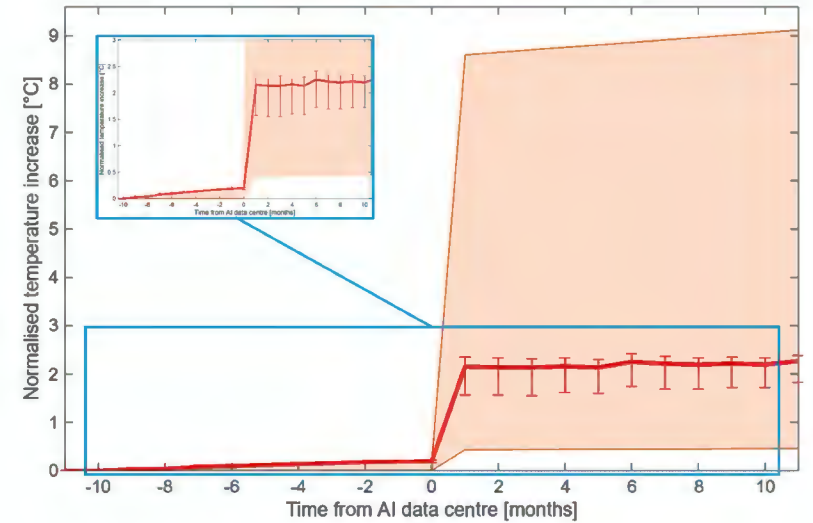
Amélioration des évaluations environnementales

- Compléter les études d'impact en tenant compte des aléas climatiques (canicules, pluies extrêmes, ruissellement et remontées de nappes, conditions propices aux incendies) / PNACC3 et TRACC (y compris pour dimensionnement bassins rétention et calcul PUE)
- Effectuer des études de danger combiné / en cascade en tenant compte de la multiplication d'ICPE par rapport aux capacités d'intervention des pompiers en cas d'évènements graves / simultanés
- Evaluer l'impact sur la pollution atmosphérique spécifique en conditions météorologiques défavorables (blocages, dômes de chaleur) en climat actuel et futur et les risques sanitaires
- Construire un scénario d'éventualité de rupture d'approvisionnement électrique et démarrage de tous les générateurs en condition météorologique défavorable et les risques sanitaires
- Quantifier les effets d'îlots de chaleur des data centers dans les situations d'évènements extrêmes chauds et leurs impacts (activités agricoles, RGA, exposition à la chaleur des riverains)
- Evaluation émissions gaz à effet de serre / unité chaleur fatale
- Implications consommation électricité, émissions gaz à effet de serre et polluants / PCAET
- Evaluation retombées économiques réelles pour le territoire

Evaluation de l'îlot de chaleur des hyperscalers IA (2004-2024)



+2°C



Effet discernable sur 10 km
>1°C sur 4,5 km

Evaluation des effets sanitaires via les polluants atmosphériques en Virginie du Nord (USA)

Energy

As data centers boom, Virginians breathe the exhaust of 10,000 diesel generators

Pollution from generators at data centers could cause respiratory symptoms and deaths in the region, analysis for The Washington Post found.

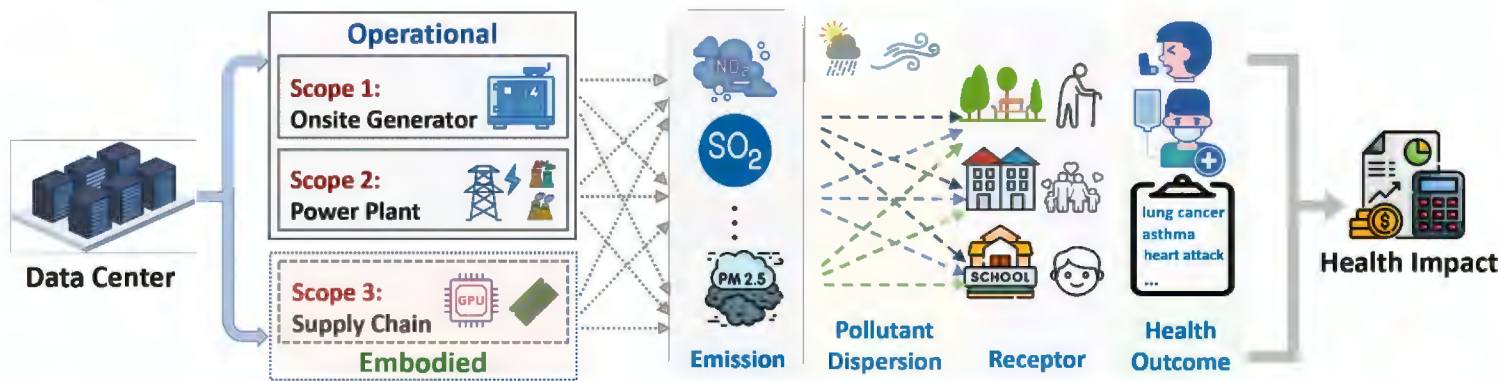
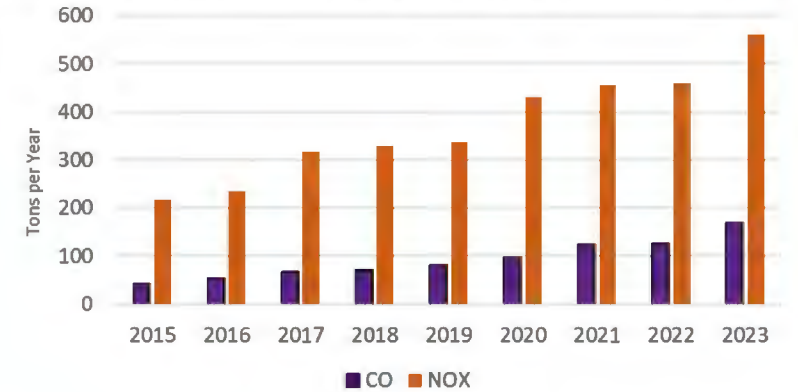
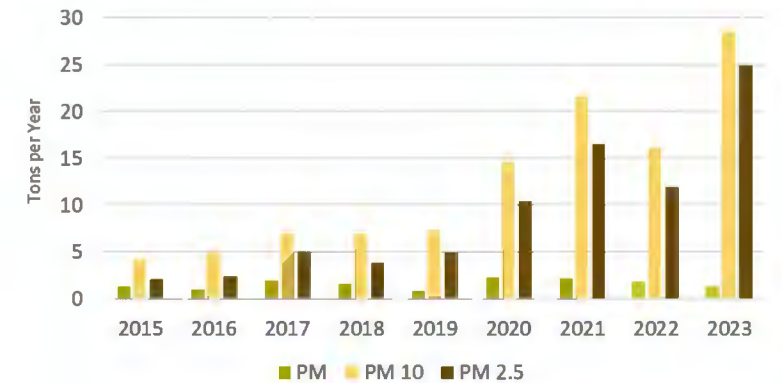


Figure 1. CO and NOx Emissions from Northern Virginia Data Centers, 2015-2023



Source: Virginia Department of Environmental Quality (DEQ)

Figure 2. Particulate Matter Emissions from Northern Virginia Data Centers, 2015-2023



Eviter le greenwashing

Affichage achat certificats production électricité vs contrat allocation production nucléaire
Affichage HVO

« nouvelle ressource écologique et économique pour le territoire, et autant de filières économiques et donc d'emplois, qui pourront se développer en symbiose avec les data centers »

« premier data center bio circulaire »

« outil de captation de CO₂ »

« transition écologique concrète »

*Branché sur bouteille de CO₂
1 kg algues / jour*



Un second projet, actuellement à l'étude, prévoit l'installation de modules de 600 litres sur 900m² de façades de data centers. Il permettra de passer à l'échelle industrielle en produisant environ 20 kg d'algues par jour et capturant 36 kg de CO₂ par jour

Empreinte carbone du data center : 97 000 tonnes CO₂ / an