L'EMPREINTE HYDRIQUE DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE GÉNÉRATIVE

Consommations d'eau, impacts territoriaux locaux et leviers de sobriété pour les infrastructures numériques

Auteurs & Ancrage documentaire : Synthèse basée sur 10 études et rapports internationaux (Institut Veolia, Ville de Demain, TIME France, UNU-INWEH, EarthArXiv, arXiv, GI Digital Library, BNP Paribas AM, Great Lakes Commission).
Champ d'analyse : Cycle de vie complet de l'IA (eau directe de refroidissement, eau indirecte liée à l'électricité, eau incorporée des semi-conducteurs) et études de cas territoriales locales.

1. Introduction et Périmètre de l'Empreinte Hydrique

L'expansion rapide de l'intelligence artificielle générative (grands modèles de langage, réseaux de neurones profonds) repose sur une infrastructure matérielle mondiale extrêmement dense en calcul (Li et al., 2025 ; Toshmatova et al., 2025). Alors que les débats environnementaux se sont longtemps focalisés sur les émissions de carbone et la consommation électrique, l'empreinte hydrique de l'IA s'impose désormais comme une contrainte physique majeure et critique pour la durabilité du numérique (UNU-INWEH / TIME France, 2026 ; BNP Paribas AM, 2026). L'évaluation complète de cet impact nécessite d'analyser le cycle de vie à travers trois dimensions complémentaires (Ville de Demain, 2025 ; GI Digital Library, 2025) :

• **L'empreinte eau directe (Sur site / Refroidissement) :** Il s'agit des volumes d'eau prélevés et consommés directement au sein des data centers pour refroidir les serveurs informatiques et maintenir la température et l'humidité optimales des salles serveurs (généralement 25°C et 40-60% d'humidité) (Ville de Demain, 2025 ; Toshmatova et al., 2025).
• **L'empreinte eau indirecte (Hors site / Électricité) :** L'énergie électrique consommée par les serveurs et les équipements auxiliaires requiert d'immenses quantités d'eau en amont lors de la production d'électricité, notamment pour le refroidissement des centrales thermiques, nucléaires ou à gaz (Li et al., 2025 ; Ville de Demain, 2025).
• **L'empreinte eau incorporée (Scope 3 amont / Semi-conducteurs) :** La fabrication des puces électroniques (GPU, CPU, RAM) exige de l'eau ultra-pure (UPW). La production d'un litre d'UPW nécessite environ 1,5 litre d'eau brute, et une usine de fabrication de semi-conducteurs (fab) de grande taille peut consommer jusqu'à 38 millions de litres d'eau par jour (Ville de Demain, 2025 ; BNP Paribas AM, 2026). À cela s'ajoute la pollution hydrique liée à l'extraction minière des métaux rares (lithium, cobalt, cuivre, terres rares) (GI Digital Library, 2025).

À l'échelle mondiale, l'Institut de l'Université des Nations Unies pour l'eau, l'environnement et la santé (UNU-INWEH) projette que d'ici 2030, les centres de données alimentant l'IA consommeront 945 TWh d'électricité par an. L'empreinte hydrique associée atteindra l'équivalent des besoins domestiques de base de 1,3 milliard de personnes (soit la population de l'Afrique subsaharienne) (TIME France, 2026).

2 millions L / jour Consommation moyenne d'un data center Hyperscale (équivalent ville de 12 000 hab.) (Ville de Demain, 2025)	**945 TWh / an** Consommation électrique mondiale projetée des data centers IA en 2030 (UNU-INWEH / TIME France, 2026)	**45 % des sites** Data centers mondiaux situés dans des zones à stress hydrique élevé (Nature Finance, 2025)

2. Consommations Directes et Indirectes : Analyse Technologique

La consommation d'eau varie considérablement selon la phase du cycle de vie des modèles d'IA (entraînement vs inférence), le mode de refroidissement retenu et la localisation géographique (Li et al., 2025 ; Toshmatova et al., 2025).

Phase d'Entraînement vs Phase d'Inférence

L'entraînement d'un grand modèle de langage tel que GPT-3 (175 milliards de paramètres) a nécessité environ 1 287 MWh d'électricité et consommé directement et indirectement des millions de litres d'eau selon la localisation des data centers de

Microsoft (Li et al., 2025). Bien que l'entraînement soit intensif en ressources sur une période concentrée, l'inférence quotidienne à l'échelle globale génère une demande cumulative massive (Toshmatova et al., 2025). La génération d'un rapport de 10 pages consomme de 0,7 litre d'eau avec un modèle comme LLaMA-3-70B jusqu'à 60 litres d'eau avec GPT-4 selon l'efficience du site et la saison (GI Digital Library, 2025 ; Shumba et al., 2024). Pour des requêtes courantes, les estimations varient de quelques millilitres à 500 mL d'eau pour 20 à 50 questions (Li et al., 2025 ; TIME France, 2026).

Comparatif des Technologies de Refroidissement

Il est fondamental de distinguer l'**eau prélevée** (pompée puis en grande partie restituée au milieu) de l'**eau consommée** (non restituée, principalement évaporée dans l'atmosphère) (Ville de Demain, 2025 ; EarthArXiv / Herrera et al., 2025). L'indicateur standard de référence est l'efficience de l'utilisation de l'eau : **WUE (Water Usage Effectiveness)**, exprimé en litres par kWh consommés (L/kWh) (Ville de Demain, 2025 ; Li et al., 2025).

Technologie	Consommation Eau (WUE)	Impact Énergétique	Caractéristiques & Mécanismes
Tours aéroréfrigérantes (Évaporatif)	**Forte** 1,8 - 4,4 L/kWh	Faible	Refroidissement par évaporation partielle d'eau. Nécessite un appoint permanent et génère des purges ('blowdown') chargées en sels/biocides (Ville de Demain, 2025).
Systèmes adiabatiques (Hybride)	**Moyenne à forte** 0,5 - 1,2 L/kWh	Faible à moyen	Humidification de l'air lors des pics de chaleur estivale. Économise l'énergie de pointe mais augmente la consommation d'eau en été (Ville de Demain, 2025).
Refroidissement par air (Dry coolers / Free cooling)	**Très faible** 0,00 - 0,10 L/kWh	Moyen à fort (en canicule)	Échange thermique avec l'air extérieur sans évaporation. Très sobre en eau mais peut consommer plus d'électricité par forte chaleur ambiante (Toshmatova et al., 2025).
Direct-to-Chip (D2C) & Immersion (Liquid cooling)	**Quasi nulle** ≈ 0,00 L/kWh	Faible à moyen	Circulation de liquide sur plaques froides ou immersion complète des serveurs dans un fluide diélectrique. Solution d'avenir pour l'IA haute densité (Ville de Demain, 2025).

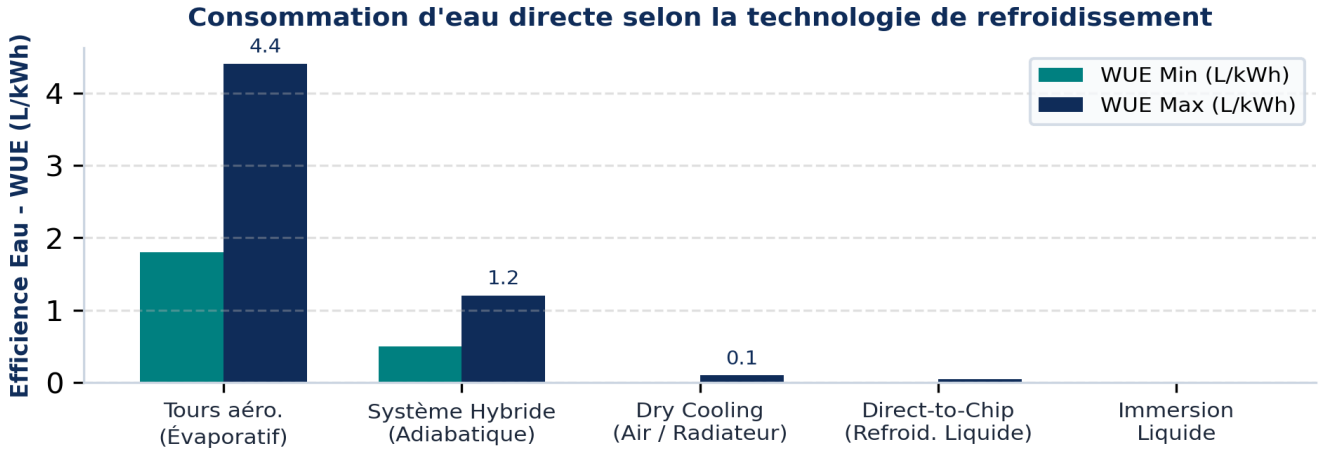


Figure 1 : Efficience d'utilisation de l'eau (WUE) des principales technologies de refroidissement des data centers (Source : Données compilées d'après Zhang, 2024 ; Ville de Demain, 2025 ; Toshmatova et al., 2025).

3. Impacts Territoriaux et Conséquences Locales

L'implantation des infrastructures de calcul de l'IA s'effectue rarement de manière uniforme : les data centers ont tendance à se regrouper en grappes ('clusters') dans des zones offrant des incitations fiscales, de la connectivité haut débit et du foncier abordable (Ville de Demain, 2025 ; Toshmatova et al., 2025). Or, **45 % des centres de données mondiaux se situent dans des bassins versants soumis à un risque élevé de stress hydrique** (Nature Finance, 2025 ; Ville de Demain, 2025). De plus, en 2025, 90 % de la capacité IA mondiale est concentrée dans seulement deux pays (États-Unis et Chine) (UNU-INWEH / TIME France, 2026).

Concurrence d'Usage et Conflits Sociaux Locaux

Lorsque les prélèvements pour le refroidissement s'effectuent sur le réseau public d'eau potable, des tensions directes apparaissent entre l'activité numérique et les besoins fondamentaux des ménages, de l'agriculture et des industries locales (Ville de Demain, 2025 ; The Cloud Next Door / arXiv, 2025). Plusieurs cas documentés à travers le monde illustrent cette vulnérabilité :

• **Northern Virginia ('Data Center Alley', États-Unis) :** Avec plus de 300 data centers concentrés autour des comtés de Loudoun, Fairfax et Prince William, cette région constitue la plus grande grappe mondiale. En 2023, la consommation hydrique des sites y a atteint entre 3 et 7 milliards de litres d'eau. Dans le comté de Loudoun, la consommation d'eau des data centers a bondi de 250 % depuis 2019, forçant l'utilisation d'eau potable d'adduction faute de volumes suffisants d'eaux usées régénérées (Ville de Demain, 2025 ; Carroué, 2025).
• **Querétaro (Mexique) et Uruguay :** À Querétaro, l'accélération des permis d'implantation menace l'approvisionnement en eau des populations locales en période de sécheresse prolongée (TIME France, 2026). En Uruguay, l'annonce en 2023 d'un projet de data center très gourmand en eau lors d'une sécheresse historique — ayant rendu l'eau du robinet impropre à la consommation dans la capitale — a déclenché des manifestations massives contre la priorité accordée aux besoins industriels (TIME France, 2026).
• **Chili et Mexique (Colón) :** Au Chili, un tribunal environnemental a contraint Google à renoncer à son système de refroidissement par eau au profit du refroidissement par air. À Colón (Mexique), Amazon a anticipé les protestations sociales en adoptant directement un refroidissement par air sans évaporation (Ville de Demain, 2025).
• **Culham (Royaume-Uni), Aragon (Espagne) et San Marcos (Texas) :** À Culham, l'implantation d'une zone IA à proximité du futur réservoir d'Abingdon suscite de vives craintes de conflit d'usage avec l'eau potable (Horton, 2025 ; Ville de Demain, 2025). En Aragon, la demande d'AWS d'augmenter de 48 % ses allocations d'eau a provoqué la colère des agriculteurs locaux (Ville de Demain, 2025). Au Texas, la mobilisation citoyenne a conduit les élus de San Marcos à bloquer le zonage d'un projet (Ville de Demain, 2025).
• **Arizona (Mesa & Tucson) :** À Mesa, affectée par une sécheresse extrême sur le bassin du Colorado, la ville a négocié avec Google un basculement vers un refroidissement par air. À Tucson, la municipalité impose un plan de gestion détaillé à tout utilisateur dépassant 7,4 millions de gallons d'eau par mois (Ville de Demain, 2025 ; Kunichoff, 2025).

Impacts en Aval : Rejets Thermiques et Purges de Refroidissement ('Blowdown')

Au-delà des volumes prélevés, la gestion des effluents et des rejets constitue un enjeu environnemental majeur (Ville de Demain, 2025) :

• **Pollution chimique et purges ('blowdown') :** Pour éviter l'accumulation de minéraux, de tartre et le développement bactérien dans les circuits évaporatifs, les opérateurs effectuent des purges régulières. Ces eaux contiennent des concentrations élevées de biocides, d'anti-tartre et de métaux lourds. À **Gravelines (OVHcloud, France)**, la Mission régionale d'autorité environnementale (MRAe Hauts-de-France) a souligné des dépassements répétés des paramètres de pH et de DCO (demande chimique en oxygène) sur les eaux de purge avant rejet (Ville de Demain, 2025). À **Quincy (Washington, États-Unis)**, la concentration de data centers a contraint la municipalité à construire une station d'épuration industrielle dédiée afin de traiter séparément les effluents de purge (Ville de Demain, 2025 ; Dept. of Ecology Washington, 2020).
• **Pollution thermique :** Lorsque l'eau est restituée aux rivières ou aux réseaux pluviaux à des températures élevées (30°C à 40°C), elle altère les écosystèmes aquatiques et diminue la teneur en oxygène dissous (Ville de Demain, 2025).

4. Solutions Techniques, Économie Circulaire et Chaleur Fatale

Face à ces pressions, les opérateurs de data centers et les collectivités de recherche déploient des stratégies d'atténuation reposant sur la sobriété par la conception, le recours aux eaux alternatives et la valorisation de la chaleur résiduelle (Ville de Demain, 2025 ; Great Lakes Commission, 2025 ; BNP Paribas AM, 2026).

Mobilisation des Sources d'Eau Alternatives (REUT)

Pour préserver les ressources d'eau potable, les architectures modernes basculent vers des eaux non potables et des boucles fermées :
• **Eaux usées traitées (REUT) :** Utilisées avec succès par Infomart à San Jose (Californie) et par le data center de Google à Douglas (Géorgie) avec le soutien des collectivités (Ville de Demain, 2025).
• **Eau de mer :** Exploitation de l'eau de mer froide par Google à Hamina (Finlande) pour un refroidissement sans pression sur l'eau douce (Ville de Demain, 2025).

• **Eaux de nappes alluviales / pompage de profondeur :** Le Green Data Center d'Eolas à Grenoble utilise la nappe du Drac, réduisant par trois sa consommation d'énergie de refroidissement (Ville de Demain, 2025).

Valorisation de la Chaleur Fatale

Près de 100 % de l'électricité consommée par les serveurs est convertie en chaleur. En Île-de-France, le gisement thermique annuel des data centers pourrait chauffer au moins 1 million de logements (Ville de Demain, 2025). Des exemples concrets de synergie circulaire démontrent la viabilité de cette approche :

> **Exemples de valorisation réussie de la chaleur fatale :**
> • **Supercalculateur Jean Zay (Paris-Saclay, France) :** Le refroidissement à eau tiède alimente directement le réseau de chaleur du campus, chauffant 1 500 logements (CNRS, 2024 ; Ville de Demain, 2025).
> • **Data Center Infomaniak DC4 (Genève, Suisse) :** Récupère la chaleur résiduelle via pompe à chaleur pour injecter de l'eau à 60°C dans le réseau urbain, chauffant 6 000 logements (Ville de Demain, 2025).
> • **Equinix à Saint-Denis (France) :** Alimente le réseau de chaleur de la piscine olympique des Jeux de Paris 2024, 1 600 logements et une serre agricole urbaine en toiture (Ville de Demain, 2025).
> • **Stockholm Data Parks (Suède) :** Programme 'gagnant-gagnant' réinjectant la chaleur dans le réseau urbain qui chauffe 30 000 appartements, en échange d'un accès prioritaire à une électricité renouvelable compétitive (Ville de Demain, 2025).

5. Gouvernance, Régulation et Recommandations Opérationnelles

La gestion de l'eau dans le numérique exige une gouvernance intégrée associant régulation publique, transparence des données et planification territoriale (Ville de Demain, 2025 ; Great Lakes Commission, 2025 ; GI Digital Library, 2025).

Le Cadre Réglementaire Européen et International

• **Directive Européenne EED (UE 2023/1791 & 2024/1364) :** Introduit une obligation légale de reporting et de monitoring environnemental pour les data centers en Europe. Les opérateurs doivent transmettre leurs indicateurs clés (WUE, PUE, part d'énergies renouvelables) dans une base de données publique européenne (Ville de Demain, 2025 ; Green Web Foundation, 2025).
• **Normes ISO :** La norme **ISO 46001** (management de l'utilisation de l'eau) et la norme **ISO 50001** (management de l'énergie) fournissent des cadres d'amélioration continue pour les exploitants (Ville de Demain, 2025).
• **Résolution de la Great Lakes Commission (2025) :** Appelle à une planification conjointe eau-énergie pour le déploiement des infrastructures d'IA et de semi-conducteurs autour du bassin des Grands Lacs (Great Lakes Commission, 2025).

Grille d'Évaluation Ex-Ante pour les Collectivités (The Shift Project, 2025)

Afin d'éclairer l'instruction des projets de data centers, The Shift Project (2025) et Ville de Demain (2025) recommandent de rendre obligatoires des études d'impact ex-ante articulées autour de 3 axes fondamentaux :

Axe d'Analyse	Critères et Questions Clés d'Instruction
1. Disponibilité de l'Eau	Évaluation du risque d'assèchement de la source, niveau de stress hydrique du bassin versant, projections d'évolution hydrique à horizon 2050, et risques de concurrence avec l'eau potable, l'agriculture et les usines locales.
2. Qualité des Rejets	Analyse de la qualité chimique en sortie de circuit de refroidissement (concentration en biocides, pH, DCO), gestion des purges ('blowdown') et compatibilité thermique avec la température des écosystèmes aquatiques récepteurs.
3. Prélèvement vs Restitution	Identification exacte des lieux de prélèvement et de restitution. Vérification des risques d'assèchement local si les points géographiques de rejet diffèrent des points de captage.

6. Références Bibliographiques

Ensemble des sources documentaires et scientifiques mobilisées pour la rédaction de ce rapport :

[1] BNP Paribas Asset Management (2026). Water: The Hidden Constraint in the Digital Economy. Environmental Strategies Group, docfinder.bnpparibas-am.com.

[2] Carroué, L. (2025). L'essor des centres de données : intelligence artificielle, cyberespace, pouvoir et territoire. Géoconfluences, juillet 2025.

[3] GI Digital Library / Gesellschaft für Informatik e.V. (2025). The Systemic Environmental Risks of Artificial Intelligence. SERI Project Assessment, Berlin, décembre 2025.

[4] Great Lakes Commission (2025). Resolution on Water-Energy Nexus for Datacenters, Artificial Intelligence (AI), Quantum, and Semiconductor Infrastructure Development. Adopted October 30, 2025, Duluth, Minnesota.

[5] Hajonides, J., McCarthy, J., Koulouri, K., & Camargo, R. (2025). Navigating AI's Thirst In A Water Scarce World. Nature Finance, février 2025.

[6] Herrera, M., Xie, X., Menapace, A., Zanfei, A., & Brentan, B. M. (2025). Sustainable AI infrastructure: A scenario-based forecast of water footprint under uncertainty. EarthArXiv Preprint / Journal of Cleaner Production.

[7] Li, P., Yang, J., Islam, M. A., & Ren, S. (2025). Making AI Less 'Thirsty': Uncovering and Addressing the Secret Water Footprint of AI Models. Communications of the ACM, 68(7), 54–61. https://doi.org/10.1145/3724499 / arXiv:2304.03271.

[8] Shumba, N., Tshekiso, O., Li, P., Fanti, G., & Ren, S. (2024). A water efficiency dataset for African data centers. NeurIPS Workshop / arXiv:2412.03716.

[9] The Cloud Next Door Study / ACM COMPASS (2025). Investigating the Environmental and Socioeconomic Strain of Datacenters on Local Communities. arXiv:2501.XXXXX / ACM COMPASS 2025.

[10] The Shift Project (2025). Intelligence artificielle, données, calculs : quelles infrastructures dans un monde décarboné ?. Rapport d'étude, 1er octobre 2025.

[11] TIME France / UNU-INWEH (2026). L'intelligence artificielle pourrait consommer autant d'eau que 1,3 milliard de personnes d'ici 2030. Article publié par Simmone Shah d'après le rapport de l'Institut de l'Université des Nations Unies pour l'eau, l'environnement et la santé, 5 juin 2026.

[12] Toshmatova, G. A., Yoldoshova, D. D., Ahtamova, M. A., & Khasanova, M. D. (2025). Measuring AI's Water Footprint: Hidden Impacts of Digital Technology. Web of Scientist: International Scientific Research Journal, 6(11), 178–186.

[13] Ville de Demain × Station F (2025). L'Impact Environnemental du Data Center : Énergie, eau, équipements et chaleur fatale (Partie 2 du Guide du Data Center Durable et Acceptable). En partenariat avec France Urbaine et Paris-Île de France Capitale Économique.

[14] Zhang, M. (2024). Data Center Water Usage: A Comprehensive Guide. Technical Report, 17 janvier 2024.