

Le coût physique de l'intelligence artificielle

Énergie, eau et réglementation émergente des infrastructures de calcul

Document de recherche

8 octobre 2026 | Version 1.2 | Traduction française

Préparé par Guy Duport pour Ascendancy Advisors Limited

Proposition centrale

L'intelligence artificielle est de plus en plus décrite comme une industrie logicielle alors qu'elle se construit, dans les faits, comme une industrie lourde. Son substrat physique — électricité, eau, foncier, transport, refroidissement, production de secours, fabrication de semi-conducteurs, équipements de réseau, fibre et actifs de production dédiés — est devenu un enjeu majeur de politique publique, de stratégie industrielle et de sécurité nationale.

Périmètre

États-Unis · Chine · Union européenne et Irlande · Australie · Afrique du Sud et Afrique au sens large · Taïwan · Calcul orbital

Résumé

L'accélération de l'intelligence artificielle transforme l'économie et la politique des infrastructures numériques. Les centres de données ne sont plus de simples installations de soutien à l'internet. L'entraînement et l'inférence des systèmes d'IA génèrent une nouvelle catégorie de charges électriques très denses et géographiquement concentrées, qui interfèrent directement avec la planification des réseaux, l'allocation de l'eau, la politique industrielle, l'usage du sol et l'acceptabilité locale. L'Agence internationale de l'énergie estime que la consommation mondiale d'électricité des centres de données pourrait passer d'environ 415–460 TWh en 2024 à près de 945 TWh en 2030, les États-Unis et la Chine représentant l'essentiel de la croissance supplémentaire. La moyenne mondiale masque toutefois le principal problème : la demande est concentrée, peut apparaître plus vite que les nouvelles capacités de production et de transport, et peut entrer localement en concurrence avec d'autres usages.

Ce document analyse les implications physiques de l'infrastructure d'IA au moyen de comparaisons entre les États-Unis, la Chine, l'Union européenne et l'Irlande, l'Australie,

l'Afrique du Sud et l'Afrique au sens large, ainsi que Taïwan. Il distingue l'eau utilisée directement sur le site de l'eau consommée indirectement par la production d'électricité, met en garde contre les affirmations simplistes du type « litres par requête » et propose trois critères liés : l'additionnalité, la souveraineté infrastructurelle et le bénéfice local. L'objectif n'est ni d'interdire par réflexe les centres de données ni de les subventionner sans condition. Le calcul hyperscale doit être traité comme une infrastructure lourde stratégique : les grands projets doivent rendre publics leurs profils énergétiques et hydriques, supporter les coûts d'infrastructure qu'ils provoquent, démontrer de nouvelles capacités crédibles lorsque les réseaux sont contraints, protéger les besoins essentiels et générer une valeur domestique mesurable.

La conclusion centrale est que la prochaine phase de la gouvernance de l'IA ne portera pas seulement sur le comportement des modèles, la sûreté et la responsabilité. Elle portera également sur les systèmes physiques nécessaires pour produire de l'intelligence à grande échelle. Dans de nombreuses juridictions, la question décisive sera moins de savoir si l'IA est souhaitable que de déterminer qui reçoit l'électricité et l'eau rares, qui paie les infrastructures correspondantes, qui contrôle la capacité de calcul créée et qui capte la valeur économique.[1]

Principaux constats

- Les infrastructures d'IA deviennent un sujet de système électrique. L'enjeu n'est pas seulement la part mondiale de la consommation, mais la vitesse et la concentration géographique des nouvelles charges.
- Les chiffres relatifs à l'eau doivent être maniés avec rigueur : prélèvement, consommation directe de refroidissement et consommation indirecte liée à la production d'électricité sont des métriques distinctes.
- Les États-Unis montrent le plus clairement le déplacement de la demande de calcul vers l'amont de la production. Berkeley Lab estime que les centres de données pourraient représenter 11,8 % de l'électricité américaine en 2030, dans une fourchette de 9,5 à 15,3 %.[2]
- La Chine organise plus directement la géographie du calcul et de l'énergie au moyen d'« East Data, West Computing », de pôles nationaux et d'objectifs d'électricité verte.
- L'Europe passe de déclarations volontaires à des obligations de mesure. L'Irlande conditionne en outre de nouveaux raccordements à des capacités locales de production/stockage et à 80 % d'électricité renouvelable additionnelle.
- L'Australie est devenue un test de l'acceptabilité sociale ; l'abandon du projet Mars de 90 MW à Sydney montre qu'un projet techniquement viable peut échouer politiquement si ses impacts sont mal répartis.[3]
- L'Afrique du Sud met en évidence le problème distributif. Plus de 560 millions de personnes en Afrique subsaharienne n'ont toujours pas accès à l'électricité ; la bonne réponse est de faire de l'additionnalité, de la fiabilité, de l'accessibilité financière et du bénéfice local des conditions explicites.[4]
- Taïwan constitue un cas important de sécurité énergétique : depuis 2025, les installations hyperscale ou de colocation d'au moins 5 MW font l'objet d'un examen énergétique.[5]

- Le calcul orbital n'est plus entièrement spéculatif. Project Suncatcher de Google et la demande de SpaceX montrent que l'espace peut déplacer certaines externalités plutôt que les éliminer.[6]
- Le principe réglementaire le plus robuste est l'additionnalité : dans les systèmes contraints, les nouvelles charges importantes devraient être accompagnées de capacités réellement nouvelles.
- La souveraineté infrastructurelle signifie pouvoir héberger et contrôler un calcul stratégique sans dégrader les services essentiels, transférer des coûts non compensés aux ménages ou devenir dépendant d'infrastructures que l'État ne peut réellement gouverner.
- Le goulet d'étranglement dépasse la production d'électricité : transformateurs, appareillages, fibre, câbles sous-marins, semi-conducteurs et matériaux de construction peuvent tous devenir contraignants.[29]
- La résilience climatique et l'équité distributive doivent devenir des critères explicites d'autorisation.
- Un « nationalisme du calcul » émerge parallèlement à la réglementation environnementale ; les contrôles à l'exportation et les écarts de normes peuvent déplacer l'empreinte physique de l'IA.[32]

Sommaire

- | | |
|--|--|
| 1. Introduction : l'IA devient une industrie lourde | 8. Australie : transition et acceptabilité sociale |
| 2. Méthodologie et cadre analytique | 9. Afrique du Sud et Afrique |
| 3. La chaîne physique : électricité, eau, foncier et chaleur | 10. Taïwan : calcul et sécurité énergétique |
| 4. Aperçu comparatif des politiques publiques | 11. Cadre réglementaire |
| 5. États-Unis : la demande remonte vers la production | 12. Recommandations de politique publique |
| 6. Chine : planification des infrastructures | 13. Limites et pistes de recherche |
| 7. Union européenne et Irlande | 14. Conclusion |

1. Introduction : l'IA devient une industrie lourde

L'intelligence artificielle est généralement décrite au travers de modèles, d'algorithmes, d'applications et de logiciels. Cette représentation est désormais incomplète. La frontière de l'IA dépend d'un système physique en expansion rapide : semi-conducteurs avancés, baies de serveurs, postes électriques, lignes à haute tension, refroidissement, réseaux d'eau, groupes de secours, batteries, fibre, foncier et, de plus en plus, production électrique dédiée ou contractée. En termes de politique publique, l'IA acquiert ainsi des caractéristiques plus proches de la métallurgie de l'aluminium, de la pétrochimie et d'autres industries à forte intensité capitaliste que de l'image traditionnelle d'une entreprise logicielle.

Un logiciel se déploie à une vitesse très différente d'une infrastructure. Un modèle peut être copié rapidement ; une ligne de transport, une augmentation de puissance nucléaire, un raccordement à un réservoir ou un nouveau poste ne le peuvent pas. Un campus de centres de données peut être annoncé et construit en quelques années alors que les renforcements de réseau, centrales et ouvrages hydrauliques demandent souvent davantage de temps. La demande privée peut donc apparaître plus vite que l'infrastructure publique ne peut y répondre.

L'AIE estime qu'en 2030 les centres de données pourraient consommer environ 945 TWh, soit un peu moins de 3 % de la demande mondiale d'électricité, avec une croissance annuelle proche de 15 % entre 2024 et 2030. Ce pourcentage paraît limité, mais il masque la concentration locale. Un réseau local ne voit pas « 3 % du monde » : il voit arriver une charge de 100 MW, 500 MW, voire de l'ordre du gigawatt.[7]

La bonne question n'est donc pas de savoir si l'IA consomme « trop » d'électricité ou d'eau en général. Il faut demander si la charge s'ajoute à ce pour quoi le système a été conçu, si la production, le transport et l'eau peuvent l'absorber sans dégrader la fiabilité, qui finance le renforcement, si le projet crée une nouvelle offre ou s'approprie une capacité existante, quelle valeur reste dans la juridiction d'accueil et si les communautés disposent d'une information et d'une influence suffisantes.

La souveraineté infrastructurelle ne signifie ni autarcie ni propriété publique systématique. Elle signifie qu'une juridiction conserve un contrôle pratique sur l'allocation, la résilience et les conséquences stratégiques d'infrastructures dont dépend le reste de l'économie.

2. Méthodologie et cadre analytique

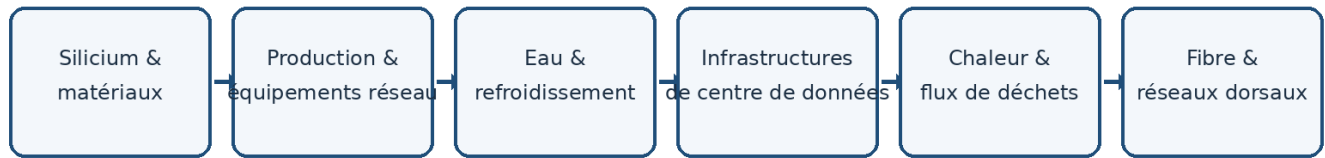
L'analyse est comparative et repose sur les sources publiques disponibles jusqu'au 7 octobre 2026 : autorités publiques, régulateurs, organisations internationales, laboratoires et industrie. La priorité est accordée aux sources primaires — AIE, Département américain de l'Énergie, Lawrence Berkeley National Laboratory, Commission européenne, régulateurs nationaux, commissions parlementaires et sources officielles chinoises, taïwanaises et sud-africaines. Les contributions d'entreprises et d'organisations de la société civile sont utilisées lorsqu'elles éclairent un débat, mais leurs estimations sont identifiées comme des affirmations de parties prenantes et non comme des faits neutres.

Trois précautions méthodologiques sont essentielles. Premièrement, une capacité exprimée en MW n'est pas équivalente à une consommation annuelle. Deuxièmement, le prélèvement d'eau doit être distingué de la consommation d'eau. Troisièmement, l'eau utilisée directement sur site et l'eau indirectement incorporée dans la production d'électricité doivent être séparées.

Huit tests sont appliqués : ampleur et vitesse de la croissance du calcul ; capacité et fiabilité du système électrique ; exposition directe et indirecte à l'eau ; dépendances aux matériaux, équipements de réseau et réseaux de communication ; résilience climatique et opérationnelle ; transparence réglementaire ; additionnalité et allocation des coûts ; bénéfice local, distributif et stratégique.

3. La chaîne physique : électricité, eau, foncier et chaleur

La chaîne physique de l'IA



Les métriques opérationnelles ne captent qu'une partie de la chaîne : les contraintes peuvent se déplacer en amont ou en aval.

Figure 1. La chaîne physique de l'IA : un système industriel intégré plutôt qu'un service logiciel sans poids. Les éléments en amont comprennent l'extraction, la fabrication des semi-conducteurs, les équipements de réseau et les matériaux de construction ; les éléments en aval comprennent le rejet de chaleur, les rejets d'eau, la fin de vie du matériel et les dépendances réseau.

L'électricité constitue la contrainte la plus immédiate parce que le calcul est continu, concentré et sensible à la qualité. Les installations modernes d'IA ont besoin non seulement de grandes quantités de puissance, mais d'une alimentation très fiable. L'AIE estime que les États-Unis et la Chine représenteront près de 80 % de la croissance mondiale de la consommation électrique des centres de données jusqu'en 2030 ; la hausse serait d'environ 240 TWh aux États-Unis et de 175 TWh en Chine par rapport à 2024.[8]

La différence entre énergie annuelle moyenne et capacité ferme ou de pointe est déterminante. Un centre de données peut acheter sur l'année autant d'électricité renouvelable qu'il en consomme tout en dépendant du réseau lorsque le vent ou le soleil manquent. L'appariement annuel n'est donc pas équivalent à l'additionnalité physique, à l'appariement horaire ou à la fiabilité du système.

Le goulet d'étranglement est souvent le transport ou l'équipement de réseau plutôt que la production. Transformateurs haute tension, appareillages, disjoncteurs et électronique de puissance ne sont pas toujours disponibles selon le calendrier de construction d'un campus. Des documents du Department of Energy indiquent que les délais de certains transformateurs de distribution sont passés d'environ trois à six mois en 2019 à 12–30 mois en 2023, tandis que les grands transformateurs peuvent nécessiter plusieurs années.[29] Même une installation dite « derrière le compteur » peut rester soumise aux études d'interconnexion, aux règles d'îlotage et aux exigences des opérateurs.

Berkeley Lab estimait en 2024 que les centres de données américains avaient consommé directement environ 66 milliards de litres d'eau en 2023, auxquels s'ajoutait une empreinte indirecte bien plus élevée — près de 800 milliards de litres — liée à la production de l'électricité consommée.[9] L'intensité hydrique dépend cependant du type de refroidissement, du climat, de la source d'électricité et du lieu.

Les affirmations universelles du type « une requête d’IA consomme X litres » sont donc trompeuses. Une étude de 2024 sur des centres de données africains estimait, selon ses hypothèses, jusqu’à environ 60 litres pour un rapport de dix pages avec GPT-4 contre environ 0,7 litre pour une tâche comparable avec Llama-3-70B. Cet écart montre qu’il s’agit de résultats modélisés dépendant de l’architecture et du lieu.[10]

La politique de l’eau doit porter sur la rareté locale, la résilience à la sécheresse, le mode de refroidissement, la qualité de la source et le coût d’opportunité. Elle doit aussi intégrer la qualité des rejets : purges, saumures, traitement chimique et rejets thermiques peuvent affecter les écosystèmes. La question réglementaire est tridimensionnelle : prélèvement, consommation, qualité/température du rejet.[30]

Presque toute l’électricité entrant dans un centre de données devient finalement de la chaleur. Le refroidissement est donc une composante centrale du système de calcul. La récupération de chaleur peut être utile dans certaines régions mais dépend de la demande locale et de l’économie du réseau de chaleur.

Le changement climatique resserre ces contraintes : chaleur extrême, sécheresse, incendies et inondations peuvent réduire les marges de refroidissement ou affecter les lignes électriques et la fibre. Les grands campus devraient être soumis à des tests de résistance climatique.

La chaîne physique dépasse enfin la clôture du centre de données : fabrication de semi-conducteurs, eau ultrapure, produits chimiques, béton, acier, cuivre, aluminium, fibre terrestre, stations d’atterrissage et câbles sous-marins. Les émissions incorporées et les goulets d’étranglement matériels peuvent apparaître plusieurs années avant l’utilisation complète du campus.

4. Aperçu comparatif des politiques publiques

Juridiction	Contrainte principale	Orientation actuelle	Signal d'additionnalité	Gouvernance de l'eau	Question stratégique
États-Unis	Capacité réseau ; eau locale ; coûts	Contrôles locaux/étatiques + réponse fédérale	PPAs, nucléaire, production dédiée	Fragmentée	Le réseau peut-il suivre sans transférer les coûts ?
Chine	Déséquilibre régional ; latence ; eau	Pôles planifiés et coordination calcul-énergie	Électricité verte et régions occidentales	Variable	La coordination peut-elle aligner calcul, énergie et eau ?
UE / Irlande	Transparence ; réseaux contraints	Reporting UE ; conditions irlandaises	Production/stockage local + 80 % renouvelable additionnel	Base UE avec métriques hydriques	La mesure peut-elle devenir une politique opposable ?
Australie	Transition ; eau ; licence sociale	Enquête sénatoriale ; normes émergentes	Débat sur renouvelables additionnelles et capacité ferme	Déficit de transparence	Croissance, transition et consentement sont-ils compatibles ?
Afrique du Sud / Afrique	Accès, fiabilité, prix, sécheresse	Contrôle droits humains et réglementation émergente	Encore peu systématique	Déficits de divulgation	Les charges hyperscale doivent-elles précéder la fiabilité de base ?
Taïwan	Sécurité énergétique ; croissance semi-conducteurs/IA	Projets ≥5 MW soumis à examen	Contrôle au stade de la planification	Secondaire	Comment concilier souveraineté du calcul et réseau insulaire contraint ?

5. États-Unis : la demande de calcul remonte vers la production

Les États-Unis constituent le principal test à court terme, car l'investissement dans l'IA rencontre un système électrique qui avait connu une croissance relativement lente de la demande. La mise à jour 2026 de Berkeley Lab estime que les centres de données pourraient représenter 11,8 % de la consommation américaine en 2030, avec une fourchette de 9,5 à 15,3 %.[11] L'Energy Information Administration décrit également une demande record, tirée par les centres de données et l'industrie.[12]

La réponse du marché ressemble de plus en plus à un auto-approvisionnement industriel : contrats de long terme, nouveaux projets renouvelables, batteries, gaz, redémarrages nucléaires, réacteurs avancés et augmentations de puissance. Le 6 octobre 2026, Google et Constellation ont annoncé un accord de vingt ans destiné à ajouter 890 MW de capacité nucléaire supplémentaire par des augmentations de puissance sur onze réacteurs du PJM ; Google indique avoir ainsi contribué à plus de 1,5 GW de nouvelle capacité nucléaire issue de redémarrages et d'augmentations.[13]

La gouvernance américaine reste fragmentée entre permis locaux, eau, tarifs, fiscalité, États et institutions fédérales. Cela peut conduire à négocier séparément les incitations économiques, les renforcements du réseau et les obligations hydriques. L'opposition locale devient donc un risque de projet matériel, notamment lorsque les communautés considèrent que les factures d'électricité, la rareté de l'eau ou les avantages fiscaux sont socialisés.

La croissance rapide crée aussi un risque de verrouillage fossile. Si la production ferme bas-carbone et le transport n'arrivent pas à temps, des capacités gazières peuvent être prolongées ou ajoutées. La production dédiée peut améliorer la fiabilité et la causalité des coûts, mais elle ne doit pas être considérée comme automatiquement propre simplement parce qu'elle est située derrière le compteur.

Les SMR et réacteurs avancés peuvent devenir une réponse de long terme, mais ne doivent pas être traités comme une solution immédiate. Les programmes américains de 2026 situent encore le déploiement significatif des SMR Gen III+ dans les années 2030, avec des risques de licence, chaîne d'approvisionnement, implantation et première réalisation.[31]

Le bon principe n'est pas un moratoire national mais la causalité des coûts : lorsqu'un projet déclenche des investissements identifiables de production, transport, distribution ou eau, ces coûts devraient être supportés par le projet sauf bénéfice collectif démontré.

Les contrôles américains à l'exportation sur les équipements de semi-conducteurs, la mémoire à large bande passante et les capacités avancées d'IA montrent que l'infrastructure fait désormais partie de la compétition technologique. Les effets énergétiques ne sont pas mécaniques, mais ces contrôles peuvent déplacer les besoins en énergie, matériaux et capital entre juridictions.[32]

Sur l'eau, les chiffres nationaux masquent les effets locaux. Berkeley Lab estime 66 milliards de litres de consommation directe en 2023 et projette 60 à 124 milliards de litres pour les seuls

hyperscalers en 2028 selon ses scénarios. Le refroidissement à air peut réduire l'eau directe tout en augmentant l'électricité et donc l'eau indirecte.[14]

Au-delà de la Terre, Project Suncatcher de Google explore une infrastructure d'apprentissage automatique alimentée par solaire en orbite basse ; un prototype a été lancé le 1er octobre 2026.[15] SpaceX a demandé à la FCC l'autorisation d'un système « Orbital Data Center » pouvant atteindre un million de satellites.[16] L'espace peut réduire certaines contraintes terrestres mais augmente les enjeux de lancement, rayonnement, dissipation thermique, collisions, débris et gouvernance du trafic spatial.

6. Chine : la planification des infrastructures comme politique du calcul

La Chine offre le contraste le plus net avec le développement fragmenté projet par projet. Sa stratégie « East Data, West Computing » cherche à installer davantage de calcul dans l'Ouest, où les ressources foncières et énergétiques sont plus importantes, tout en desservant la demande concentrée dans l'Est. La politique nationale coordonne explicitement calcul, données, algorithmes, électricité et réseaux et oriente les grands centres vers des pôles nationaux désignés.[17]

Cette coordination n'élimine pas les contraintes en amont. La Chine reste exposée aux restrictions sur les équipements de fabrication de pointe et les accélérateurs avancés, même si les fournisseurs nationaux progressent. Une efficacité matérielle moindre pourrait augmenter les ressources physiques nécessaires pour un niveau de calcul donné, mais cet effet n'est ni automatique ni unidirectionnel : optimisation des modèles, architecture système, conception des charges et innovation nationale peuvent en compenser une partie. La souveraineté des semi-conducteurs et l'efficacité énergétique sont désormais étroitement liées.

L'intérêt du modèle est de traiter la géographie du calcul comme un problème national d'infrastructure et non comme une simple décision immobilière. Les charges sensibles à la latence ne peuvent pas toutes être déplacées à des milliers de kilomètres ; l'Ouest connaît aussi des contraintes hydriques ; et transport, fibre et intégration des renouvelables restent des problèmes d'ingénierie. L'avantage stratégique est néanmoins clair : la demande de calcul est planifiée avec le système énergétique.

La dimension « électricité verte » s'est concrétisée. L'Administration nationale des données a indiqué un PUE moyen proche de 1,3 dans les clusters des pôles nationaux, certaines installations atteignant 1,04, et vise plus de 80 % d'électricité verte pour les nouveaux centres des pôles. En 2026, la NDRC a mis en avant un projet photovoltaïque de 500 MW alimentant la base cloud de Zhongwei (Ningxia) ; à plein régime il devrait produire 4,3 TWh par an et fournir 2,29 TWh d'électricité propre à la base cloud.[18]

Le cas chinois renforce donc l'argument de l'additionnalité : la question n'est pas seulement de savoir si un centre peut acheter assez d'électricité, mais où il doit être situé, comment il s'articule avec les renouvelables et si le transport et le dispatching peuvent le soutenir.

L'eau reste la variable la plus difficile. Le Nord et le Nord-Ouest peuvent disposer de beaucoup de soleil et de vent tout en étant pauvres en eau. L'emplacement optimal pour l'électricité n'est pas nécessairement optimal pour le refroidissement évaporatif. La prochaine étape exigera une intégration plus fine de l'énergie, du climat et de l'eau, avec davantage de refroidissement liquide ou sec, d'eau recyclée et de déplacement des charges lorsque la latence le permet.

7. Union européenne et Irlande : de la transparence à l'accès conditionnel

L'Union européenne a pris l'une des mesures les plus claires vers la transparence obligatoire. Dans le cadre de la directive révisée sur l'efficacité énergétique et du règlement délégué (UE) 2024/1364, les opérateurs concernés déclarent des indicateurs énergétiques à une base européenne, y compris des informations pertinentes pour l'empreinte hydrique. La Commission travaille également sur des normes minimales de performance.[19]

L'Europe étend aussi la logique au cycle de vie du matériel. Les règles d'écoconception pour serveurs et produits de stockage couvrent le démontage, la réutilisation, le recyclage, certaines matières premières critiques, l'effacement sécurisé et la disponibilité du micrologiciel. À terme, les décisions pourraient donc intégrer réparabilité, réemploi et fin de vie, pas seulement PUE et WUE.[33]

Un régime plus strict fait apparaître le risque de fuite réglementaire : si une juridiction internalise la rareté de l'eau, l'intensité carbone et les renforcements de réseau alors qu'une autre ne les mesure pas, les charges marginales peuvent simplement migrer. Une harmonisation complète est irréaliste, mais un socle commun de divulgation rendrait ces déplacements visibles et limiterait une course au moins-disant.

L'Irlande va plus loin en conditionnant l'accès à une infrastructure contrainte. La demande des centres de données est passée de 5 % de la demande nationale en 2015 à 22 % en 2024. La politique adoptée en décembre 2025 exige que les nouveaux centres fournissent de la production et/ou du stockage au niveau local pour correspondre à leur import maximal et qu'au moins 80 % de leur demande annuelle soit couverte par des projets renouvelables additionnels en République d'Irlande, selon une période de montée en puissance de six ans.[20]

L'intérêt du modèle irlandais est qu'il dépasse la simple déclaration : une nouvelle charge importante a des obligations vis-à-vis du système qui vont au-delà du paiement d'un tarif. Ce modèle ne s'applique pas mécaniquement partout, mais constitue une référence solide lorsque le réseau est contraint.

8. Australie : transition énergétique et acceptabilité sociale

Le débat australien est particulièrement utile parce qu'il se déroule publiquement pendant l'expansion du secteur. En mai 2026, la commission sénatoriale de l'environnement et des communications a ouvert une enquête consacrée à l'IA et aux centres de données, à la

réglementation existante et aux impacts sur les communautés, l'industrie, l'environnement, l'eau et l'énergie ; des audiences publiques ont eu lieu en septembre et le 1er octobre.[21]

L'Australie illustre le conflit de calendrier entre croissance hyperscale et décarbonation du système électrique. Si le transport, le stockage et la nouvelle capacité ferme prennent du retard, de grandes charges nouvelles peuvent renforcer l'intérêt économique de maintenir des centrales thermiques vieillissantes plus longtemps que prévu.

Les contributions montrent une ligne de fracture nette. L'industrie insiste sur l'investissement, la souveraineté numérique et la possibilité de faire des centres de données des clients d'ancrage pour de nouvelles infrastructures. Les groupes environnementaux insistent sur la vitesse de croissance, la faible transparence de l'eau, le risque de retarder la fermeture du charbon et d'augmenter les coûts réseau. Le Climate Council propose notamment des renouvelables additionnelles contraignantes, de la capacité ferme, des normes eau/énergie, de la flexibilité, une récupération des coûts et davantage de transparence.[22]

Le développement le plus révélateur concerne l'acceptabilité sociale : Goodman Group a retiré son projet Mars de 1,2 milliard AUD et 90 MW à Lane Cove, Sydney, fin septembre après une forte opposition locale ; le projet se trouvait à environ 20 mètres de logements et l'entreprise a reconnu qu'il n'avait pas obtenu de licence sociale.[23]

Plus largement, les centres de données ne peuvent plus supposer que l'étiquette « infrastructure numérique » les protège des mêmes conflits que les centrales, mines ou installations industrielles. Bruit, groupes diesel, travaux électriques, paysage, foncier, eau et prix de l'électricité sont vécus localement.

Enfin, planifier sur la base de moyennes annuelles est insuffisant. Un système qui ferme du charbon, ajoute des renouvelables variables, électrifie les transports et l'industrie et accueille de gros centres doit planifier la puissance ferme, le transport et les services système. Un contrat annuel de renouvelables ne garantit pas l'absence de contrainte en pointe.

9. Afrique du Sud et Afrique : le dilemme de l'allocation

Le cas africain rend le compromis éthique et économique particulièrement visible. La dernière évaluation SDG 7 indique que plus de 560 millions de personnes en Afrique subsaharienne n'avaient toujours pas accès à l'électricité et que le rythme d'électrification devrait fortement accélérer pour atteindre l'accès universel ; même après raccordement, fiabilité et accessibilité financière restent des problèmes distincts.[24]

Il serait néanmoins erroné de conclure que les États africains doivent refuser les centres de données jusqu'à l'accès universel. Cela exclurait le continent d'une industrie stratégique et ignorerait le fait que de grandes charges d'ancrage peuvent financer production, fibre, transport et compétences. La proposition plus robuste est celle du séquençage : dans un système contraint, un projet hyperscale doit démontrer qu'il agrandit l'infrastructure au lieu de la réallouer.

En mai 2026, la South African Human Rights Commission a sollicité des contributions sur les implications en matière de droits humains de l'expansion rapide des centres de données, citant l'électricité, les tarifs, l'eau, le climat, le foncier, la transparence et l'accès équitable. En août, cinq organisations de la société civile ont affirmé que l'Afrique du Sud comptait déjà plus de 60 installations connues et environ 500 MW de capacité déclarée, sans registre public complet ni obligation sectorielle de divulgation. Elles ont demandé une enquête, des obligations de transparence et de bénéfice communautaire, ainsi que l'examen d'une pause temporaire sur certaines autorisations hyperscale. Il s'agit d'affirmations de parties prenantes, non de conclusions officielles, mais le processus de la SAHRC institutionnalise désormais le sujet.[25] [26]

L'eau renforce le problème distributif. En avril 2026, la SAHRC a lancé séparément une enquête sur les pénuries persistantes dans le Gauteng, en soulignant les défaillances d'infrastructure et interruptions répétées. Une installation peut donc être techniquement efficace mais politiquement inacceptable si elle reçoit eau et électricité de manière fiable alors que les communautés voisines subissent des coupures.[27]

Le bon test n'est pas « population d'abord, centres de données ensuite ». Il faut déterminer si le projet ajoute de la capacité et protège les usages essentiels. Avant construction, quatre questions doivent être résolues : quelle nouvelle capacité de production ou de fermeté ? quel renforcement réseau est financé ? quelle source d'eau et quel plan de sécheresse ? quel bénéfice domestique mesurable demeure — recettes fiscales, compétences, accès local au calcul, recherche ou infrastructure ?

La justice environnementale appartient donc au bilan d'infrastructure. Les communautés peuvent supporter postes électriques, corridors de transport, émissions des groupes de secours, bruit, prélèvements d'eau et occupation du sol alors que la propriété, la fiscalité et la valeur numérique sont captées ailleurs.

C'est là que la souveraineté infrastructurelle devient économiquement concrète. Si l'État fournit de l'électricité rare, de l'eau, du foncier et des avantages fiscaux tandis que les services à forte valeur et les profits restent à l'étranger, le modèle se rapproche d'une logique extractive. Si le projet finance de nouvelles infrastructures, améliore la fiabilité autour de lui, renforce le cloud et la recherche domestiques et paie ses coûts de réseau, il peut devenir une infrastructure de développement.

10. Taïwan : lorsque la souveraineté du calcul rencontre la sécurité énergétique

Taïwan se situe au cœur de la chaîne mondiale du matériel d'IA tout en exploitant un système électrique insulaire disposant de peu d'options d'interconnexion. La fabrication de semi-conducteurs et les centres de données d'IA se croisent donc directement avec la sécurité énergétique. La capacité de calcul n'est pas stratégiquement optionnelle, mais chaque grande charge ne peut pas être considérée comme automatiquement prioritaire.

Fin 2025, le ministère des Affaires économiques a modifié les règles afin que les centres hyperscale et de colocation d’au moins 5 MW soumettent un manuel d’utilisation de l’énergie au stade de la planification et appliquent les meilleures techniques disponibles. En juillet 2026, le ministère a proposé d’ajouter une évaluation du bénéfice industriel pour mesurer aussi la contribution aux chaînes d’approvisionnement et à l’industrie domestiques.[28]

Cette évolution déplace la question de « peut-on alimenter le site ? » vers « est-ce le meilleur usage d’une capacité rare et quel bénéfice stratégique en résulte ? ». Le modèle taiwanais est donc instructif pour d’autres juridictions contraintes.

La concentration constitue aussi un risque de résilience. Lorsque quelques campus deviennent des charges importantes du réseau et sont intégrés aux écosystèmes cloud, semi-conducteurs et services critiques, leurs systèmes électriques et cyber deviennent une composante du risque national. Les régulateurs doivent modéliser panne de refroidissement, compromission cyber, perte soudaine de charge et scénarios de reprise.

Les critères de bénéfice industriel doivent cependant rester transparents et mesurables afin d’éviter protectionnisme et discrétion politique.

11. Cadre réglementaire du coût physique de l’IA

La comparaison montre une convergence du problème réglementaire malgré des systèmes politiques différents. Le cadre le plus efficace n’est pas un plafond mondial unique de consommation d’énergie ou d’eau, mais un ensemble de conditions devenant plus exigeantes à mesure que l’infrastructure locale se contraint.

11.1 Test de souveraineté infrastructurelle

Test	Question
Adéquation du système	Les systèmes d’électricité, d’eau et de communications peuvent-ils desservir le projet sous pointe, sécheresse et contingence sans dégrader les services essentiels ?
Additionnalité	Le projet provoque-t-il réellement de nouvelles capacités de production, stockage, transport, recyclage de l’eau ou autre infrastructure, ou se contente-t-il de contracter l’existant ?
Causalité des coûts	Les coûts réseau, production, eau et résilience causés par le projet sont-ils supportés par le projet et ses clients plutôt que socialisés automatiquement ?
Résilience climatique et des ressources	L’installation et ses systèmes peuvent-ils fonctionner sous chaleur extrême, sécheresse, inondation, incendie, rupture de chaîne d’approvisionnement et contingences réseau plausibles ?
Transparence	Les métriques de consommation électrique et hydrique, refroidissement, secours, émissions et pannes sont-elles divulguées de façon comparable sous réserve des protections de sécurité légitimes ?
Bénéfice local	La juridiction conserve-t-elle une valeur mesurable et durable : emplois, fiscalité, compétences, recherche, accès au calcul, infrastructure ou chaîne d’approvisionnement ?
Équité distributive	Les charges locales sont-elles proportionnées à la valeur locale durable, avec des compensations opposables lorsque nécessaire ?
Résilience et souveraineté stratégique	Le projet renforce-t-il ou affaiblit-il la capacité de l’État à maintenir les services numériques et physiques critiques face aux chocs ?

11.2 L'additionnalité doit être le principe central

L'additionnalité sépare l'investissement productif de la captation de ressources. Un projet qui déclenche la construction d'un parc solaire, une augmentation de puissance nucléaire, une batterie, une ligne de transport ou un système d'eau recyclée est économiquement différent d'un projet qui signe simplement des contrats sur une capacité servant déjà les ménages et l'industrie.

L'additionnalité ne doit pas se réduire aux certificats renouvelables. L'unité pertinente est la capacité physique du système, au lieu et aux heures où elle est nécessaire. Dans l'eau, l'équivalent est une offre non potable résiliente, le recyclage ou une capacité protégée de la sécheresse. C'est la logique du 24/7 Carbon-Free Energy (CFE) et de l'appariement horaire : les affirmations doivent être testées par rapport à la livraison physique dans le temps et l'espace, pas seulement à un bilan annuel.

Les obligations doivent rester proportionnées : un petit centre d'entreprise ne doit pas être traité comme un campus de 500 MW. Les seuils peuvent combiner puissance contractée, consommation annuelle attendue et niveau de contrainte locale.

11.3 Accès, fiabilité et accessibilité financière sont distincts

La politique d'infrastructure traite souvent le raccordement comme l'objectif final. Pour l'ère de l'IA, il faut mesurer séparément accès, fiabilité et accessibilité financière. Un ménage raccordé à un réseau peu fiable ne reçoit pas le même service économique qu'un campus hyperscale bénéficiant de redondance et de secours. Il faut donc examiner le risque de panne, la pression tarifaire et la dépendance aux combustibles pour les autres utilisateurs.

Cette distinction est particulièrement importante dans les marchés émergents, mais les contraintes irlandaises, la transition australienne et les files d'attente américaines montrent que les économies avancées connaissent aussi la rareté.

11.4 Interdépendance et résilience cyber-physique

Électricité, calcul, communications et services publics deviennent mutuellement dépendants. Les réseaux alimentent l'IA et le cloud ; ces services contribuent de plus en plus à la prévision réseau, à la logistique, à l'eau et aux opérations critiques ; la fibre relie la couche de contrôle. Une longue coupure électrique peut désactiver le calcul, tandis qu'une panne majeure de calcul ou de communications peut perturber les systèmes utilisés pour gérer l'infrastructure physique. La réglementation doit donc tester les dépendances circulaires, temps de reprise et modes de défaillance.

11.5 Nationalisme du calcul, fuite réglementaire et socle international

Le coût physique de l'IA devient également géopolitique. Les États peuvent agir sur leurs rivaux par les puces avancées, les équipements de semi-conducteurs, la technologie énergétique, les équipements de réseau et l'accès aux infrastructures stratégiques. Les entreprises peuvent parallèlement arbitrer les écarts de règles environnementales ou de transparence. Un régime mondial unique n'est ni réaliste ni souhaitable, mais un socle minimal commun de reporting rendrait visibles les fuites de carbone, d'eau et d'infrastructure.

12. Recommandations de politique publique

12.1 Transparence et reporting

- Imposer aux grands centres de données une déclaration au niveau de l'installation : demande électrique contractée et réelle, consommation annuelle, prélèvement et consommation d'eau, source d'eau, technologie de refroidissement, caractéristiques des rejets, production de secours, émissions et pannes majeures. Les informations de sécurité légitimes peuvent être protégées sans accepter l'opacité commerciale.
- Exiger une double comptabilité de l'eau : usage direct du site et eau indirecte liée à la production électrique ; évaluer aussi la température et la qualité des rejets.
- Créer périodiquement un bilan national de l'infrastructure de calcul : MW opérationnels et prévus, consommation électrique, eau, nouvelles capacités de production, investissements réseau, propriété domestique, concentration cloud et dépendances stratégiques.
- Travailler à un socle international minimal de divulgation afin de rendre visibles les fuites de carbone, d'eau et d'infrastructure.

12.2 Intégrité du réseau, additionnalité et flexibilité

- Appliquer une exigence d'additionnalité dans les systèmes contraints : les grandes charges nouvelles doivent présenter un ensemble crédible de production, stockage, transport, flexibilité de demande ou infrastructure hydrique correspondant à leur taille.
- Appliquer la causalité des coûts : lorsqu'un projet déclenche des renforcements identifiables, les développeurs et clients d'ancrage supportent les coûts supplémentaires sauf bénéfices collectifs comparables constatés par un régulateur indépendant.
- Récompenser la flexibilité temporelle, spatiale et computationnelle. Les tâches non urgentes devraient pouvoir se déplacer dans le temps ou l'espace, ou réduire leur intensité, si cela diminue les pointes, la limitation des renouvelables ou le stress hydrique. Tarifs dynamiques, contrats interruptibles, paiements de réponse à la demande et accords de réduction préétablis peuvent rendre cette flexibilité financièrement réelle.[34]
- Exiger une évaluation cumulative pour les grands clusters qui partagent postes, transformateurs, aquifères, réservoirs, fibre ou services municipaux. Pour les très grands projets, envisager garanties de démantèlement, engagements d'utilisation minimale ou mécanismes protégeant les usagers contre les actifs échoués.

12.3 Planification, résilience et droits des communautés

- Remplacer les tests de localisation fondés sur la moyenne par des tests de résilience couvrant chaleur extrême, sécheresse, inondation, incendie, dégradation du refroidissement, carburant de secours et contingences réseau/fibre.
- Traiter le consentement communautaire et la justice environnementale comme des risques de projet dès le début ; divulguer le bruit, l'eau, les émissions de secours, les postes, les corridors, le foncier et les effets cumulés avant que les choix soient irréversibles.
- Conditionner les incitations publiques à une valeur publique mesurable : nouvelle capacité électrique, accès local à la recherche, développement de compétences, récupération de chaleur, recyclage de l'eau ou investissement communautaire.

- Exiger des plans vérifiés de cycle de vie du matériel couvrant réemploi sécurisé, remise à neuf, reprise et recyclage des serveurs et équipements de refroidissement.[33]

12.4 Stratégie industrielle et géopolitique

- Intégrer l'infrastructure de calcul à la sécurité nationale et à la politique industrielle : cartographier où se trouve le calcul stratégique, qui le possède, quelles infrastructures l'alimentent et comment la capacité serait restaurée après une rupture.
- Appliquer le Test de souveraineté infrastructurelle avant d'allouer des infrastructures publiques rares ou des incitations majeures. Les projets hyperscale devraient renforcer le système d'accueil plutôt que simplement le consommer.
- Ne pas réglementer au moyen d'un chiffre d'efficacité unique. PUE et WUE sont utiles, mais l'usage absolu des ressources, la rareté, l'infrastructure incorporée et la résilience du système comptent aussi.
- Considérer le nucléaire dédié et les autres capacités fermes comme des options stratégiques, non comme des hypothèses de calendrier. SMR et réacteurs avancés peuvent compter à terme, mais leurs délais restent plus longs et plus incertains que de nombreux cycles de construction de centres de données.[31]

13. Limites et pistes de recherche

La première limite est la qualité des données. Les publications mélangent souvent MW annoncés, contractés et opérationnels. Les données sur l'eau sont moins normalisées que celles sur l'électricité et les estimations indirectes dépendent fortement du mix électrique. Les comparaisons doivent donc être lues comme des comparaisons de politiques plutôt que comme un classement environnemental précis.

L'efficacité de l'IA évolue rapidement. Puces, architectures, quantification, ordonnancement et refroidissement peuvent réduire l'énergie par unité de calcul, tandis que la baisse des coûts peut accroître la demande totale par effet rebond. Les projections 2030 sont donc des scénarios plutôt que des prévisions déterministes.

Les bénéfices économiques sont difficiles à comparer. L'emploi de construction peut être élevé alors que l'emploi permanent sur site reste limité ; mais disponibilité cloud, faible latence, accès à la recherche et souveraineté numérique produisent d'autres bénéfices. Il serait utile de développer un cadre commun de valeur domestique retenue par MW de calcul stratégique.

Le document ne constitue pas une analyse de cycle de vie complète. Fabrication des semi-conducteurs, extraction, équipements, matériaux de construction et déchets électroniques ajoutent des impacts en eau, énergie, carbone et matériaux qui mériteraient un traitement spécifique.

Le risque financier et d'actifs échoués doit aussi être étudié. Production, postes et systèmes d'eau sont des investissements de longue durée alors que l'efficacité des modèles, l'emplacement des charges et la demande d'IA peuvent changer rapidement. Prêteurs,

assureurs et régulateurs devront examiner ensemble taux d'utilisation, eau, climat et obsolescence technologique.[35]

Une piste future serait un tableau de bord multidimensionnel du coût physique commun aux juridictions. Un score unique créerait des pondérations arbitraires et une fausse précision ; il vaut mieux un ensemble cohérent d'indicateurs : électricité, capacité ferme, eau, foncier, carbone incorporé, cycle de vie matériel et résilience.

Le calcul orbital reste un domaine de recherche et non un substitut proche à l'entraînement hyperscale terrestre. Sa gouvernance relèverait de régimes fragmentés sur le spectre, les lancements, les débris et la responsabilité des États ; toute comparaison environnementale devrait intégrer émissions de lancement, cadence de remplacement, congestion et fin de vie. [36]

14. Conclusion

L'intelligence artificielle devient l'une des grandes demandes d'infrastructure des années 2020. Le choix pertinent n'oppose pas adoption de l'IA et protection de l'électricité ou de l'eau. L'enjeu est de créer des institutions permettant au calcul stratégique de croître tout en intégrant ses coûts physiques à la décision d'investissement au lieu de les externaliser vers les ménages, l'industrie existante ou les budgets publics futurs.

Les signes de convergence sont déjà visibles : l'UE impose la divulgation ; l'Irlande conditionne l'accès au réseau ; la Chine coordonne la géographie du calcul et celle de l'énergie ; Taïwan examine les grands projets au stade de la planification ; l'Australie teste l'acceptabilité sociale ; l'Afrique du Sud traite l'expansion des centres comme une question de droits humains et d'infrastructure ; aux États-Unis, les entreprises technologiques financent de plus en plus des actifs de production associés à leur croissance.

Ces approches diffèrent politiquement mais reconnaissent un même fait : le calcul n'est pas sans poids. Il a un lieu, une source d'énergie, un système de refroidissement, une empreinte hydrique, un raccordement, une chaîne d'approvisionnement matérielle, un réseau de communications et des coûts d'opportunité.

Le principe le plus robuste est simple : là où l'infrastructure est abondante, les gouvernements doivent faciliter la croissance ; là où elle est contrainte, le calcul hyperscale doit arriver avec des infrastructures additionnelles, une comptabilité transparente des ressources et une proposition crédible de valeur locale.

La prochaine ère de gouvernance de l'IA dépassera donc largement les algorithmes. Elle portera sur postes électriques, réservoirs, réacteurs, corridors de transport, systèmes de refroidissement, politiques industrielles — et potentiellement infrastructures orbitales. L'IA reste numérique dans ses résultats, mais sa compétition stratégique devient de plus en plus physique.

Bibliographie

International Energy Agency (IEA), Energy and AI (2025), especially sections on energy demand and energy supply for AI.

Lawrence Berkeley National Laboratory, 2024 United States Data Center Energy Usage Report (December 2024).

Lawrence Berkeley National Laboratory, United States Data Center Energy Usage Report: 2025 Update (June 2026).

European Commission, Energy performance of data centres; Energy Efficiency Directive reporting framework and Delegated Regulation (EU) 2024/1364.

Commission for Regulation of Utilities (Ireland), Decision on New Electricity Connection Policy for Data Centres (12 December 2025).

National Development and Reform Commission (China), materials on 'East Data, West Computing' and green compute-power coordination, including July 2026 update.

National Data Administration (China), green electricity and data-centre efficiency policy materials.

Australian Senate Environment and Communications References Committee, Inquiry into Artificial Intelligence and Data Centres (2026).

Climate Council of Australia, Submission to Senate Inquiry into AI and Data Centres (June 2026).

South African Human Rights Commission, Call for Public Submissions on Data Centres and Human Rights in South Africa (22 May 2026).

Open Secrets et al., Joint submission to the South African Human Rights Commission on data centres (August 2026).

International Energy Agency and partner organisations, Tracking SDG 7 / electricity access data (2026).

Ministry of Economic Affairs, Taiwan, Energy Administration materials on data-centre energy-utilisation review (2025–2026).

Google, Project Suncatcher research updates (2025–2026).

US Federal Communications Commission, Public Notice DA 26-113, SpaceX Orbital Data Centers application (4 February 2026).

Shumba, N. et al., 'A Water Efficiency Dataset for African Data Centers', arXiv:2412.03716 (2024).

US Energy Information Administration, Short-Term Energy Outlook, October 2026.

Google / Constellation Energy, 890 MW nuclear uprate announcement, 6 October 2026.

US Department of Energy, Office of Electricity, Supply Chain and Market Analysis; Large Power Transformer Resilience Report; 2026 grid-hardware materials.

US Environmental Protection Agency, Cooling Water Intakes; Thermal Discharges in NPDES Permits; Water Reuse Case Study: Quincy, Washington.

US Department of Energy / Nuclear Regulatory Commission, 2026 advanced-reactor and SMR deployment and licensing materials.

US Department of Commerce, Bureau of Industry and Security, advanced semiconductor export-control materials.

European Commission, Ecodesign Regulation (EU) 2019/424 and data-centre sustainability / circular-economy policy materials.

International Energy Agency, Electricity 2026, chapter on flexibility and demand response.

S&P Global, data-centre insurance and infrastructure-risk materials (2026).

UNOOSA / NASA / FCC materials on space debris, spectrum and orbital infrastructure governance.

Note de publication

Ce document est une évaluation indépendante de politique stratégique d'Ascendancy Advisors Limited. Il ne constitue pas un conseil juridique, d'ingénierie, d'investissement ou environnemental. Les prévisions quantitatives dépendent des scénarios et ne doivent pas être lues comme des garanties de consommation, de capacité ou d'impact futurs. Lorsque des contributions de parties prenantes sont citées, leurs affirmations sont distinguées des constatations des régulateurs ou autorités publiques.

Notes de sources

1. International Energy Agency, Energy and AI (2025), energy-demand and energy-supply chapters. <https://www.iea.org/reports/energy-and-ai/>
2. Lawrence Berkeley National Laboratory, United States Data Center Energy Usage Report: 2025 Update (June 2026). <https://datacenters.lbl.gov/publications/united-states-data-center-energy-2025>
3. Australian Senate Environment and Communications References Committee, Artificial intelligence and data centres inquiry (2026); Reuters, 28 September 2026, on the withdrawal of Goodman Project Mars.
4. International Energy Agency et al., Tracking SDG 7 update, 24 June 2026.

5. Taiwan Ministry of Economic Affairs, Energy Administration, data-centre measures, 16 December 2025 and 1 July 2026.
6. Google, Project Suncatcher update, 1 October 2026; US Federal Communications Commission Public Notice DA 26-113, 4 February 2026.
7. International Energy Agency, Energy and AI (2025), “Energy demand from AI”.
8. International Energy Agency, Energy and AI (2025), regional outlook.
9. Lawrence Berkeley National Laboratory, 2024 United States Data Center Energy Usage Report, pp. 56–58.
10. Noah Shumba et al., “A Water Efficiency Dataset for African Data Centers”, arXiv:2412.03716 (2024).
11. Lawrence Berkeley National Laboratory, United States Data Center Energy Usage Report: 2025 Update (June 2026).
12. US Energy Information Administration, Short-Term Energy Outlook, 6 October 2026.
13. Google and Constellation Energy, 890 MW nuclear-uprate announcements, 6 October 2026.
14. Lawrence Berkeley National Laboratory, 2024 United States Data Center Energy Usage Report, Figure 5.9 and pp. 56–58.
15. Google, “Our Project Suncatcher prototype satellite is in orbit”, 1 October 2026.
16. US Federal Communications Commission, DA 26-113, 4 February 2026.
17. National Development and Reform Commission and National Data Administration, national integrated computing network / “East Data, West Computing” policy materials (2024).
18. National Development and Reform Commission, green-compute update, 27 July 2026; National Data Administration, 18 March 2025.
19. European Commission, “Energy performance of data centres”; Delegated Regulation (EU) 2024/1364.
20. Commission for Regulation of Utilities (Ireland), new electricity connection policy for data centres, 12 December 2025.
21. Australian Senate Environment and Communications References Committee, Artificial intelligence and data centres inquiry (2026).
22. Climate Council, Submission to Senate Inquiry into AI and Data Centres, 9 June 2026.
23. Reuters, “Australian developer axes Sydney suburban data centre plan after local opposition”, 28 September 2026.

24. International Energy Agency et al., Tracking SDG 7 update, 24 June 2026; IEA, Financing Electricity Access in Africa (2025).
25. South African Human Rights Commission, call for submissions on data centres and human rights, 22 May 2026.
26. Open Secrets et al., joint SAHRC submission / press release, August 2026. Figures cited are stakeholder estimates.
27. South African Human Rights Commission, Gauteng water-crisis inquiry, 13 April 2026.
28. Taiwan Ministry of Economic Affairs, Energy Administration, data-centre energy review measures, 2025–2026.
29. US Department of Energy, Office of Electricity, “Supply Chain and Market Analysis” (2026) and Large Power Transformer Resilience Report (2024); DOE 2026 materials report distribution-transformer lead times of 12–30 months in the latest underlying data and large-transformer lead times that can extend to several years. <https://www.energy.gov/oe/supply-chain-and-market-analysis>
30. US Environmental Protection Agency, “Cooling Water Intakes” and “Thermal Discharges in NPDES Permits”; EPA, Water Reuse Case Study: Quincy, Washington. <https://www.epa.gov/cooling-water-intakes> ; <https://www.epa.gov/waterreuse/water-reuse-case-study-quincy-washington>
31. US Department of Energy, “Energy Department Awards \$94 Million... Small Modular Reactors,” 14 May 2026; US Nuclear Regulatory Commission, 2026 advanced-reactor licensing materials. DOE describes supported Gen III+ SMR deployments as contributing to new nuclear generation in the 2030s. <https://www.energy.gov/articles/energy-department-awards-94-million-american-companies-help-expedite-deployments-small>
32. US Department of Commerce, Bureau of Industry and Security, 2 December 2024 advanced-semiconductor export-control package and related controls on AI/advanced-computing technology. <https://www.bis.gov/press-release/commerce-strengthens-export-controls-restrict-chinas-capability-produce-advanced-semiconductors-military>
33. European Commission, “Servers and Data Storage Products” (Ecodesign Regulation (EU) 2019/424) and “Energy performance of data centres.” Circular-economy provisions include component extraction, critical-material information, secure data deletion and firmware availability. https://energy-efficient-products.ec.europa.eu/product-list/servers-and-data-storage-products_en
34. International Energy Agency, Electricity 2026, “Flexibility”: demand-side flexibility becomes increasingly important as variable renewable penetration rises. <https://www.iea.org/reports/electricity-2026/flexibility>
35. S&P Global, “Underwriting the Digital Backbone: Navigating Risk and Growth in Data Center Insurance” (2026), identifying location/aggregation, supply-chain, power infrastructure,

project-finance and credit risks.

<https://www.spglobal.com/energy/en/events/webinars/underwriting-the-digital-backbone-navigating-risk-and-growth-in-data-center-insurance>

36. US FCC materials on orbital data-centre applications; NASA/UNOOSA materials on orbital debris and space sustainability. This paper treats orbital compute as an emerging governance question rather than an established hyperscale alternative.