N°2 - NOVEMBRE 2026 **QUAND LE SAVOIR ENRICHIT L'AVENIR**

COMMUNAUTÉS DURABLES

Intelligence artificielle et protection de l'environnement dans l'espace francophone



N° 2 • 2026

QUAND LE SAVOIR ENRICHIT L'AVENIR

COMMUNAUTÉS DURABLES

Directrice de la publication
Cécile Martin-Phipps
Institut de la Francophonie pour le développement durable (IFDD)

Coordination de rédaction
Tounao Kiri
Institut de la Francophonie pour le développement durable (IFDD)

Directeur de la rédaction
Adel Ben Youssef
Université Côte d'Azur, GREDEG, ERF, AISMA et INCIT

Conception graphique et infographie
Perfection Design

Communication
Yves TESTET, Chargé de communication IFDD

Illustration de couverture
Image générée par IA

Crédits photographiques
NASA, Wikimedia Commons et Virginie Raybaud, auteurs et licences en page 111

ISBN
Version numérique, 978-2-89481-423-9

Le document est consultable sur le site de l'OIF-IFDD
www.ifdd.francophonie.org/publications/

INSTITUT DE LA FRANCOPHONIE POUR LE DÉVELOPPEMENT DURABLE
200, Chemin Sainte-Foy,
bureau 1.40, Québec (Québec)
G1R 1T3, Canada
T. +1 418 692-5727
IFDD@francophonie.org

© 2026 OIF-IFDD
Tous droits réservés. Le présent document et son contenu sont protégés par le droit d'auteur et, sauf indication contraire, sont propriété exclusive de l'OIF-IFDD. Aucune œuvre dérivée de ce document ne peut être créée sans l'autorisation écrite de l'OIF-IFDD.

Sommaire

Ouverture

Avant-propos 3
Mot de la Directrice 4
Les auteurs 6
Acronymes 8
Résumé exécutif 10

Partie I • Définitions et clarifications 14

1 Qu'entend-on par intelligence artificielle en 2026 ? 16
2 Œuvrer pour une planète durable à l'ère numérique 22
3 Gouvernance de l'IA et gouvernance environnementale, une approche comparative 27

Partie II • L'empreinte écologique de l'IA 34

4 Centres de données, l'empreinte physique de l'IA 36
5 Synthèse des travaux de l'Arcep et de l'ADEME sur la mesure et la régulation de l'empreinte du numérique 43
6 L'IA frugale à l'épreuve des territoires, quatre démonstrateurs de l'appel à projets DIAT 48

Partie III • L'IA comme outil de soutenabilité 54

7 Optimiser les solutions fondées sur la nature grâce à l'intelligence artificielle 56
8 IA et biodiversité marine, détecter plus tôt pour agir à temps 60
9 IA et réduction des risques climatiques, de la prévision à l'action 66
10 L'IA est-elle une solution pour mieux gérer une ressource en eau en tension ? 73
11 Intelligence rurale et artificielle, les enseignements du delta du Mékong 80
12 L'IA, au cœur de la transition énergétique, peut-elle modifier nos comportements ? 86
13 Forger une intelligence urbaine appropriée, les villes face aux défis de la durabilité 92
14 Intelligence artificielle et industrie intelligente en Afrique 98
15 Intelligence artificielle et tourisme durable, optimiser la commercialisation ou gérer les capacités de charge ? 105

Partie IV • Les préalables 112

16 Intelligence artificielle et compétences, former des spécialistes ou donner aux métiers les moyens de s'en servir ? 114
17 Approvisionnement public en IA durable 120
18 A et finance durable, ce que les modèles voient, ce qu'ils ignorent, et qui obtient le financement ? 125

Partie V • Conclusions et messages clés 132

19 IA et environnement : enseignements croisés et pistes d'action pour l'espace francophone 134



Avant-propos

L'intelligence artificielle ouvre de nouvelles perspectives pour l'action publique et la gestion durable des ressources dans l'espace francophone. De la prévision des crues au suivi du couvert forestier, en passant par la détection des fuites dans les réseaux d'eau, ses applications peuvent soutenir les politiques nationales et répondre aux besoins des populations. Ces possibilités appellent toutefois une analyse attentive de leurs conditions de mise en œuvre, de l'empreinte environnementale des infrastructures nécessaires à leur fonctionnement, notamment de leurs besoins en électricité et en eau, ainsi que des disparités d'accès aux technologies et aux compétences.

Organe subsidiaire de l'Organisation internationale de la Francophonie (OIF), l'Institut de la Francophonie pour le développement durable (IFDD) inscrit cette réflexion dans sa mission d'appui aux États et gouvernements membres. À travers cette publication, il entend éclairer leurs choix en examinant les contributions possibles de l'intelligence artificielle au développement durable, ainsi que les enjeux environnementaux, sociaux et de gouvernance associés à son déploiement. Cette démarche vise à favoriser le partage des connaissances et la coopération francophone, dans le respect de la souveraineté des États et de leurs priorités de développement, au bénéfice des populations.

Les dix-huit articles abordent le sujet par des entrées différentes, l'eau, l'énergie, la mer, l'industrie, la ville, la finance, mais aussi la gouvernance internationale ou la mesure de l'empreinte du numérique. Leurs auteurs sont chercheurs, entrepreneurs, consultants, agents de l'État ou d'organisations internationales, en Afrique, en Europe, en Amérique du Nord et en Asie.

Un point revient dans presque tous les textes. Le modèle d'IA est rarement ce qui manque. Le plus souvent, il manque des mesures fiables sur le terrain, une décision publique prise avant l'achat de l'outil, des agents formés pour s'en servir, ou l'argent pour l'entretenir une fois le projet terminé. La conclusion du numéro reprend les recommandations des auteurs et les classe selon ceux à qui elles s'adressent, États, régulateurs, bailleurs et organisations de la Francophonie.

Ces contributions ouvrent des pistes de coopération à examiner avec les États et gouvernements, dans le cadre des mandats et des moyens disponibles de l'OIF et de l'IFDD. Elles invitent à renforcer la production de données environnementales, la formation des agents et le partage de méthodes et d'outils. La faisabilité de dispositifs communs, tels qu'un observatoire ou un réseau de formation, pourrait être étudiée avec les partenaires concernés.

Nous remercions les autrices et les auteurs, qui ont accepté un format court et une attention particulière à la documentation des données, ainsi que les personnes qui ont relu et mis en page ce numéro.

Bonne lecture.

MOT DE LA DIRECTRICE

Mettre l'intelligence artificielle au service du vivant

La valeur d'une innovation se mesure aussi à ce qu'elle permet de préserver. Alors que l'intelligence artificielle transforme notre manière de connaître le monde, de produire et de décider, comment mettre cette capacité au service du vivant et des communautés qui en dépendent ?





Cécile Martin-Phipps,
Directrice de l'Institut de la Francophonie pour le développement durable (IFDD)

Ce numéro de Communautés durables propose d'aborder cette question avec ambition, mais aussi avec discernement. Les perspectives sont nombreuses, qu'il s'agisse de mieux anticiper les risques climatiques, de suivre l'évolution des forêts, de préserver les ressources en eau ou d'accompagner les territoires. Encore faut-il examiner chaque usage au regard des besoins locaux, des résultats réellement obtenus et de l'empreinte environnementale des outils eux-mêmes. La consommation d'énergie et d'eau, les ressources nécessaires à la fabrication des équipements et le devenir de ces derniers en fin de vie font partie intégrante de cet examen.

À l'Institut de la Francophonie pour le développement durable, organe subsidiaire de l'Organisation internationale de la Francophonie (OIF), cette exigence relève directement de notre mission d'expertise technique. Celle-ci consiste à rendre les connaissances accessibles, à éclairer les choix et à renforcer les capacités des acteurs francophones à conduire les transformations qu'exige le développement durable. Notre apport est de relier ce que la technologie rend possible aux réalités environnementales, aux compétences disponibles et aux conditions pratiques de mise en œuvre.

Nous menons ce travail en lien étroit avec nos collègues de l'OIF chargés de la gouvernance du numérique et de l'intelligence artificielle. Nos expertises se complètent, car les questions de gouvernance, de maîtrise des données, d'équité et de diversité linguistique rejoignent celles de la protection de l'environnement, de l'adaptation aux changements climatiques et du développement des territoires. En croisant nos approches, nous cernons mieux ce que peut être une intelligence artificielle responsable, sobre et utile.



Or la capacité à tirer parti de ces outils reste inégalement répartie. Disposer de données fiables, former les professionnels, être en mesure de comprendre et de discuter les résultats d'un modèle, en financer l'utilisation et la maintenance, ce sont là les conditions qui déterminent la portée réelle de l'innovation. Elles méritent autant d'attention que la performance technique. Dans l'espace francophone, elles posent aussi la question de la place du français, des langues nationales et des savoirs locaux dans la conception des solutions.

L'accès aux financements est un autre enjeu décisif. Des outils d'analyse peuvent aider à mieux documenter les besoins et à monter des projets environnementaux. Ils ne sont toutefois utiles que s'ils rendent fidèlement compte de la réalité des territoires, y compris là où les données sont lacunaires. L'expertise humaine et la connaissance du terrain demeurent indispensables pour que les communautés les moins outillées puissent, elles aussi, faire valoir leurs priorités.

En réunissant des regards issus de la recherche, des institutions et de la pratique, ce numéro offre des repères pour comprendre et pour agir. Je remercie les autrices et les auteurs ainsi que l'équipe éditoriale pour leur contribution à une réflexion qu'il nous appartient de construire ensemble.

La grande richesse de la Francophonie tient à la diversité de ses territoires, de ses expériences et de ses savoirs. Les mettre en relation peut nous aider à orienter l'innovation vers l'essentiel, à savoir des écosystèmes préservés et des communautés plus résilientes, mieux à même de choisir leur avenir.

Cécile Martin-Phipps

Les auteurs



Adel Ben Youssef
FRANCE
Université Côte d'Azur, GREDEG, ERF, AISMA et INCITCIT



Imane Abdel Jelil
MAURITANIE
Ministère de l'Environnement et RUKN Partners



Slim Bouakez
TUNISIE
Water-Sec



Jean-Bosco Byiringiro
RWANDA
AISMA, Alliance pour l'industrie 4.0 et la fabrication intelligente en Afrique (ONUDI)



Lanouar Charfeddine
QATAR
Université du Qatar



Cinzia Colapinto
ITALIE
Université Ca' Foscari de Venise



Leila Dagher
LIBAN
Université libano-américaine



Mounir Dahmani
TUNISIE
Université de Gafsa



Adjara Diouf
CANADA
Institut de la Francophonie pour le développement durable (IFDD)



Jauad El Kharraz
MAROC
Réseau méditerranéen pour l'énergie propre et Initiative TERAMED



Mohamed Essaaidi
MAROC
Université Mohammed V de Rabat



Jihad Farah
LIBAN
Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD) et Université de Liège



Rafik Fekih
SÉNÉGAL
AISMA, Alliance pour l'industrie 4.0 et la fabrication intelligente en Afrique (ONUDI)



Guillaume R. Féry
SUISSE
Vilvic & Associés



Antoine Glory
CANADA
CEIMIA



Maïlys Gonin
FRANCE
Commissariat général au développement durable, ministère chargé de la Transition écologique

33 AUTEURS



Stéphane Goutte
FRANCE
Université Paris-Saclay



Odile Joblin
CANADA
Future Earth Canada, Université Concordia



Jelena Jovovic
MONTÉNÉGRO
Université du Monténégro



Tounao Kiri
CANADA
Institut de la Francophonie pour le développement durable (IFDD



Davide La Torre
FRANCE
SKEMA Business School



Manon Marco
FRANCE
Université Côte d'Azur, Laboratoire Ecology and Conservation Science for Sustainable Seas



Cécile Martin-Phipps
CANADA
Institut de la Francophonie pour le développement durable (IFDD



Sama Mbang
CAMEROUN
AISMA, Alliance pour l'industrie 4.0 et la fabrication intelligente en Afrique (ONUDI



Charline Meyer
FRANCE
Commissariat général au développement durable, ministère chargé de la Transition écologique



Henri Eli Monceau
FRANCE
Organisation internationale de la Francophonie (OIF) et Conservatoire national des arts et métiers (CNAM



Ngô Thị Thu Trang
VIET-NAM
Université des sciences sociales et humaines, Université nationale du Viet-Nam à Hô Chi Minh-Ville



Nathalie Noël
CANADA
CEIMIA



Brando Okolo
AFRIQUE DU SUD
AISMA, Alliance pour l'industrie 4.0 et la fabrication intelligente en Afrique (ONUDI



Virginie Raybaud
FRANCE
Université Côte d'Azur, Laboratoire Ecology and Conservation Science for Sustainable Seas



Cheikh Abdou Lahad Thiaw
SÉNÉGAL
Université Cheikh Anta Diop de Dakar



Andréa Ventimiglia
CANADA
Future Earth Canada, Université Concordia



Adelina Zeqiri
FRANCE
Université Côte d'Azur

ACRONYMES

Sigle	Signification
1M5R	Un impératif, cinq réductions (Viet-Nam)
3R3G	Trois réductions, trois gains (Viet-Nam)
ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
ADN	Acide désoxyribonucléique
ADP	*Automatic Data Processing*
AFNOR	Association française de normalisation
AGEC	Loi anti-gaspillage pour une économie circulaire
AGI	Intelligence artificielle générale (*artificial general intelligence*)
AIE	Agence internationale de l'énergie
AIFS	*Artificial Intelligence Forecasting System*
ANCT	Agence nationale de la cohésion des territoires
Arcep	Autorité de régulation des communications électroniques, des postes et de la distribution de la presse
Arcom	Autorité de régulation de la communication audiovisuelle et numérique
AUDA-NEPAD	Agence de développement de l'Union africaine – Nouveau partenariat pour le développement de l'Afrique
BEREC	Organe des régulateurs européens des communications électroniques
CAP	Protocole d'alerte commun (*Common Alerting Protocol*)
CAPEX	Dépenses d'investissement (*capital expenditure*)
CCNUCC	Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques
CDN	Contribution déterminée au niveau national
CEIMIA	Centre d'expertise international de Montréal en intelligence artificielle
CEPMMT	Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme
Cerema	Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement
CGE	Conseil général de l'économie
Cirad	Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
CIRAIG	Centre international de référence sur l'analyse du cycle de vie et la transition durable
CNIL	Commission nationale de l'informatique et des libertés
CNRS	Centre national de la recherche scientifique
COP	Conférence des Parties
CPCE	Code des postes et des communications électroniques
CREWS	*Climate Risk and Early Warning Systems*
CSTD	Commission de la science et de la technique au service du développement
DIAT	Démonstrateurs d'IA frugale au service de la transition écologique dans les territoires
DL	Apprentissage profond (*deep learning*)
ECCC	Environnement et Changement climatique Canada
ECDPM	*European Centre for Development Policy Management*
ECPAR	Espace québécois de concertation sur les pratiques d'approvisionnement responsable
EDF	Électricité de France
EMASESA	*Empresa Metropolitana de Abastecimiento y Saneamiento de Aguas de Sevilla*
ESG	Critères environnementaux, sociaux et de gouvernance
FAIR	Données faciles à trouver, accessibles, interopérables et réutilisables (*findable, accessible, interoperable, reusable*)
FAO	Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
FEDER	Fonds européen de développement régional
FGI	Forum sur la gouvernance de l'Internet
GBON	Réseau mondial d'observation de base (*Global Basic Observing Network*)
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GIP	Groupement d'intérêt public
GloFAS	*Global Flood Awareness System*
GSMA	*GSM Association*
GWI	*Global Water Intelligence*
IA	Intelligence artificielle
IBPT	Institut belge des services postaux et des télécommunications
ICANN	*Internet Corporation for Assigned Names and Numbers*
IEC	Commission électrotechnique internationale
IEEE	*Institute of Electrical and Electronics Engineers*
IETF	*Internet Engineering Task Force*
IFDD	Institut de la Francophonie pour le développement durable
Ifremer	Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer
INP-HB	Institut national polytechnique Félix Houphouët-Boigny
INRAE	Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement
Inria	Institut national de recherche en sciences et technologies du numérique
INSEE	Institut national de la statistique et des études économiques
IoT	Internet des objets (*Internet of Things*)

Sigle	Signification
IPBES	Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques
IRD	Institut de recherche pour le développement
ISO	Organisation internationale de normalisation
IVADO	Institut de valorisation des données
LCZ	Zones climatiques locales (*local climate zones*)
LiDAR	*Light Detection and Ranging*
LIRIS	Laboratoire d'informatique en image et systèmes d'information
LLM	Grand modèle de langage (*large language model*)
MALENA	*Machine Learning ESG Analyst* (Société financière internationale)
ML	Apprentissage automatique (*machine learning*)
MODIS	*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*
MRV	Mesure, rapportage et vérification
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
OCP	Office chérifien des phosphates
ODD	Objectifs de développement durable
OIF	Organisation internationale de la Francophonie
OIT	Organisation internationale du travail
OMM	Organisation météorologique mondiale
ONUDI	Organisation des Nations unies pour le développement industriel
OPC UA	*Open Platform Communications Unified Architecture*
OPEX	Dépenses d'exploitation (*operational expenditure*)
PAM	Programme alimentaire mondial
PAT	Transformation agricole active
PEReN	Pôle d'expertise de la régulation numérique
PIB	Produit intérieur brut
PME	Petites et moyennes entreprises
PNUD	Programme des Nations unies pour le développement
PNUE	Programme des Nations unies pour l'environnement
PUE	Efficacité énergétique (*power usage effectiveness*)
RAG	Génération augmentée par récupération (*retrieval-augmented generation*)
RDC	République démocratique du Congo
RECITAL	Réduction Énergétique à Court Terme, Immédiate et À Long terme
REEN	Loi visant à réduire l'empreinte environnementale du numérique
SAFARI	Système automatisé pour les fichiers administratifs et le répertoire des individus
SCO	*Space for Climate Observatory*
SFN	Solutions fondées sur la nature
SGPI	Secrétariat général pour l'investissement
SLM	Petit modèle de langage (*small language model*)
SMSI	Sommet mondial sur la société de l'information
SOFF	Mécanisme de financement des observations systématiques (*Systematic Observations Financing Facility*)
SOMELEC	Société mauritanienne d'électricité
SREN	Loi visant à sécuriser et réguler l'espace numérique
STISA	*Science, Technology and Innovation Strategy for Africa*
SWAT	*Soil and Water Assessment Tool*
SYDEV	Syndicat départemental d'énergie et d'équipement de la Vendée
TIC	Technologies de l'information et de la communication
TRACE	*Tracking Real-time Atmospheric Carbon Emissions*
TRL	Niveau de maturité technologique (*technology readiness level*)
UA	Union africaine
UE	Union européenne
UIT	Union internationale des télécommunications
UM6P	Université Mohammed VI Polytechnique
UNDRR	Bureau des Nations unies pour la réduction des risques de catastrophe
UNESCO	Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture
UNITAR	Institut des Nations unies pour la formation et la recherche
UNU-INWEH	Institut de l'Université des Nations unies pour l'eau, l'environnement et la santé
ViPARE	Villes Propres, Accueillantes et Respectueuses de l'Environnement
VTID	Vendée Territoire Intelligent et Durable
W3C	*World Wide Web Consortium*
WBCSD	*World Business Council for Sustainable Development*
WRI	*World Resources Institute*
WUE	Efficacité hydrique (*water usage effectiveness*)

Résumé exécutif



L'intelligence artificielle peut aider à protéger l'environnement, à condition de savoir pour quoi faire et à quel prix. Elle sert déjà à prévoir et à observer dans des secteurs aussi différents que l'alerte aux catastrophes, l'eau, l'énergie ou l'industrie. Elle a aussi un coût matériel, en électricité, en eau et en métaux, qui augmente plus vite que les gains d'efficacité. Les dix-huit articles de ce numéro examinent ce que cela implique pour les pays francophones.

Le numéro utilise plusieurs catégories d'usages et de déploiement de l'IA, qui peuvent se recouper.

- **L'IA analytique** classe, prévoit et optimise ; des modèles légers peuvent convenir à certaines tâches environnementales.
- **L'IA embarquée** fonctionne dans des capteurs ou des machines, là où les réseaux manquent.
- **L'IA générative** produit du texte, du code, des images ou du son ; son empreinte dépend du modèle, de la tâche et du volume d'utilisation.
- **L'IA généralisée** reste, en 2026, un objectif de recherche.

Les coûts et les risques doivent être comparés pour le service rendu, sur l'ensemble du cycle de vie.

Les articles relèvent plusieurs limites.

- **Une empreinte en hausse.** Les gains d'efficacité par tâche sont réels, mais la croissance des usages les dépasse.
- **Des données insuffisantes.** Les séries d'observation manquent là où elles seraient le plus utiles, et une part des données sur les pays du Sud est produite et publiée ailleurs.
- **Des modèles à valider.** Une performance démontrée dans un contexte ne garantit pas sa validité ailleurs ; une évaluation représentative doit guider une éventuelle adaptation.
- **Des projets fragiles.** Beaucoup s'arrêtent avec la subvention, faute d'entretien, de compétences ou de décision claire.
- **Des responsabilités à expliciter.** L'intervention d'un modèle dans une décision exige une responsabilité identifiée, des motifs compréhensibles et des possibilités de contestation adaptées.

CONCEPTS

Deux questions à ne pas confondre

Parler d'IA et d'environnement, c'est poser deux questions différentes. La première porte sur ce que l'IA peut faire pour l'environnement, prévoir un événement ou réduire une consommation. La seconde porte sur ce que l'IA fait à l'environnement, par l'électricité, l'eau et les métaux que réclament les machines qui la font tourner, et par les déchets qu'elles laissent. Les deux se jugent ensemble. Un projet est utile si son bénéfice reste positif une fois son empreinte déduite, capteurs, serveurs et maintenance compris (TABLEAU 1).

Une chaîne de conditions

Les articles sectoriels décrivent, chacun à sa manière, la même chaîne. Le choix du modèle s'inscrit dans une démarche qui articule besoins, données, décision et moyens de fonctionnement. Il lui faut une observation fiable du terrain, des données



Le fleuve Rufiji (Tanzanie) en 2023, avant les crues de 2024, vu par satellite

PERSPECTIVES

- Investir d'abord dans l'observation et les données, qui restent utiles même sans IA.
- Fixer l'objectif par une décision publique avant de choisir l'outil, et préférer l'outil le plus simple qui suffit.
- Prévoir dès le départ l'entretien des outils et la formation des agents.
- Protéger dans les contrats la maîtrise des données et le contrôle des méthodes.
- Mettre en commun entre pays francophones ce qu'aucun ne peut porter seul.

documentées et partagées, une décision publique qui fixe l'objectif, des agents capables de s'en servir, puis un budget pour l'entretenir. L'effet de l'ensemble est borné par le maillon le plus faible (TABLEAU 2). Le modèle, souvent le plus facile à acheter, rapporte donc peu tant que le reste manque.

Proportionner l'outil à la tâche

Toutes les tâches n'appellent pas le même outil. Une règle simple, un modèle statistique classique ou un petit modèle spécialisé suffisent souvent. Ils coûtent bien moins qu'un grand modèle généraliste, en énergie comme en argent, et créent moins de dépendance. La frugalité consiste à poser cette question avant tout achat, puis à mesurer l'impact de la solution retenue et à le réduire. Dans des pays où l'électricité, la bande passante et les budgets sont comptés, c'est aussi une condition d'accès.

Du projet pilote au service durable

Beaucoup d'expériences présentées dans le numéro sont encore des pilotes. Leur passage à l'échelle bute rarement sur la technique. Il dépend d'un modèle économique viable au-delà de la subvention, des droits sur les données et les équipements, et de la présence de quelqu'un pour entretenir l'outil une fois le financement initial épuisé. Les États, les porteurs de projets et les partenaires techniques et financiers peuvent ainsi travailler ensemble, dès la conception des projets, à réunir les conditions nécessaires à la pérennité des solutions et à leur passage à l'échelle.

Tableau 1 | Deux questions à ne pas confondre

	L'IA au service de l'environnement	L'empreinte de l'IA
Ce que l'on cherche à savoir	Ce que l'IA permet de prévoir, d'observer ou d'optimiser	Ce que l'IA consomme et rejette pour fonctionner
Ce que l'on mesure	Pertes évitées, alertes utiles, émissions réduites	Électricité, eau, métaux et déchets, sur tout le cycle de vie
Qui agit d'abord	Les services et les entreprises qui l'utilisent	Les fournisseurs, les exploitants de centres de données et les régulateurs
L'erreur fréquente	Compter le bénéfice sans déduire l'empreinte	Attendre des gains d'efficacité qu'ils compensent la croissance des usages
Dans le numéro	Partie III	Partie II

Tableau 2 | Les maillons de l'IA environnementale

Maillon	Ce qu'il faut réunir	Ce qui se passe s'il manque
Observation	Stations, capteurs, comptages et inventaires, entretenus dans la durée	Le modèle n'a rien sur quoi s'appuyer, ni rien pour le vérifier
Données	Des séries documentées, partagées et utilisables légalement	Le modèle apprend sur des données d'ailleurs, ou sur des erreurs
Décision	Un objectif, un seuil ou une règle fixés par une autorité publique	L'outil optimise ce qui est facile à mesurer plutôt que ce qui compte
Compétences	Des agents qui connaissent leur métier et savent cadrer, interpréter et contester un résultat	Le service dépend du fournisseur pour comprendre ses propres résultats
Entretien	Un budget et une équipe après la fin du projet	Le dispositif s'arrête avec la subvention

Qui décide, et qui répond des erreurs

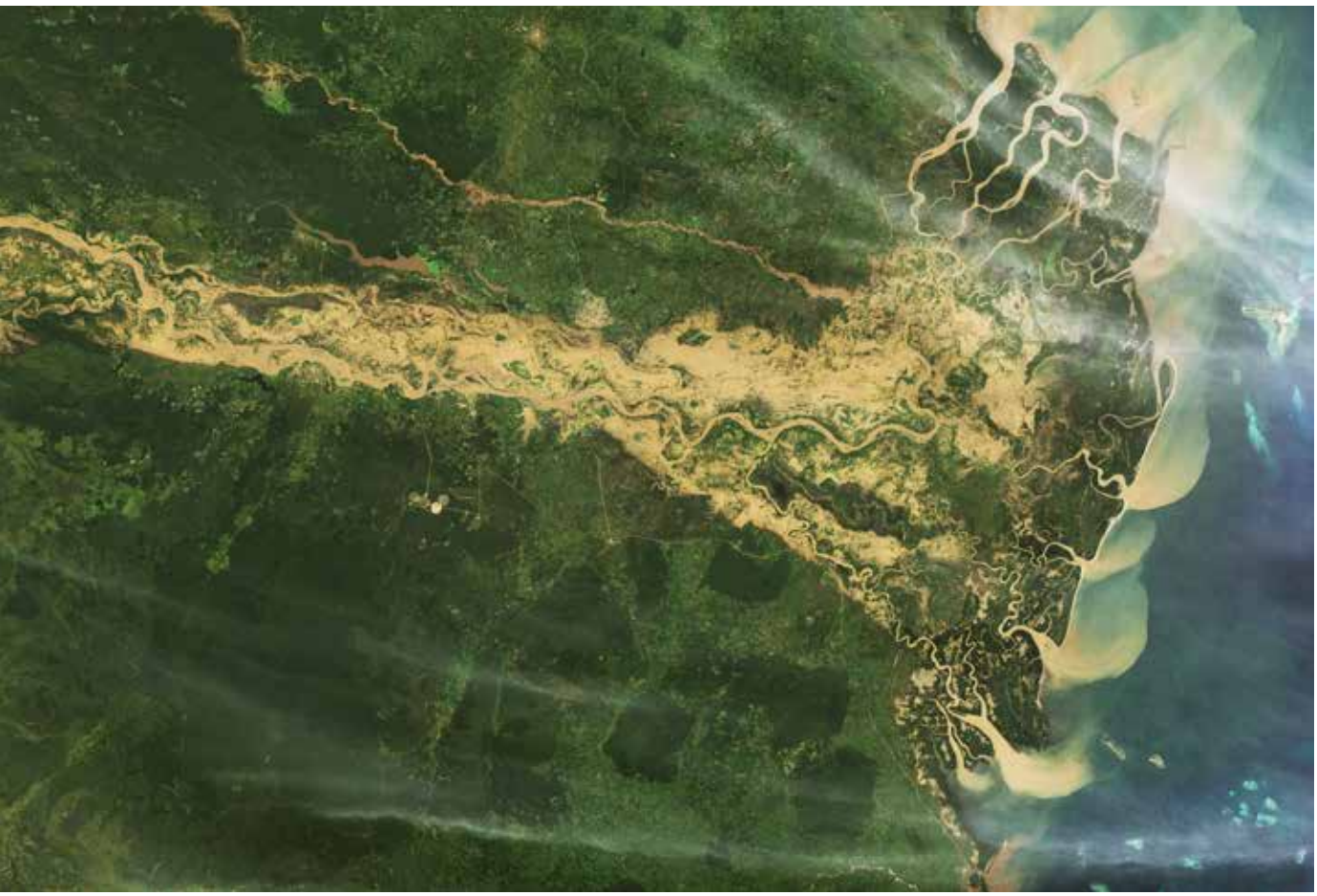
L'IA intervient de plus en plus dans des décisions, une alerte, un seuil de fréquentation, une note de crédit, un refus de financement. Dans tous ces cas, la décision doit rester celle d'une autorité identifiée, qui la motive et qui peut être contestée. Cela suppose des contrats qui garantissent les droits d'accès, d'usage, de réutilisation et de restitution des données, leur restitution en fin de contrat et le contrôle des méthodes par un tiers, et des règles qui obligent à expliquer un refus. Sans ces garanties, un service public peut perdre la maîtrise de ses propres données et dépendre d'un petit nombre de fournisseurs.

L'espace francophone face à l'IA

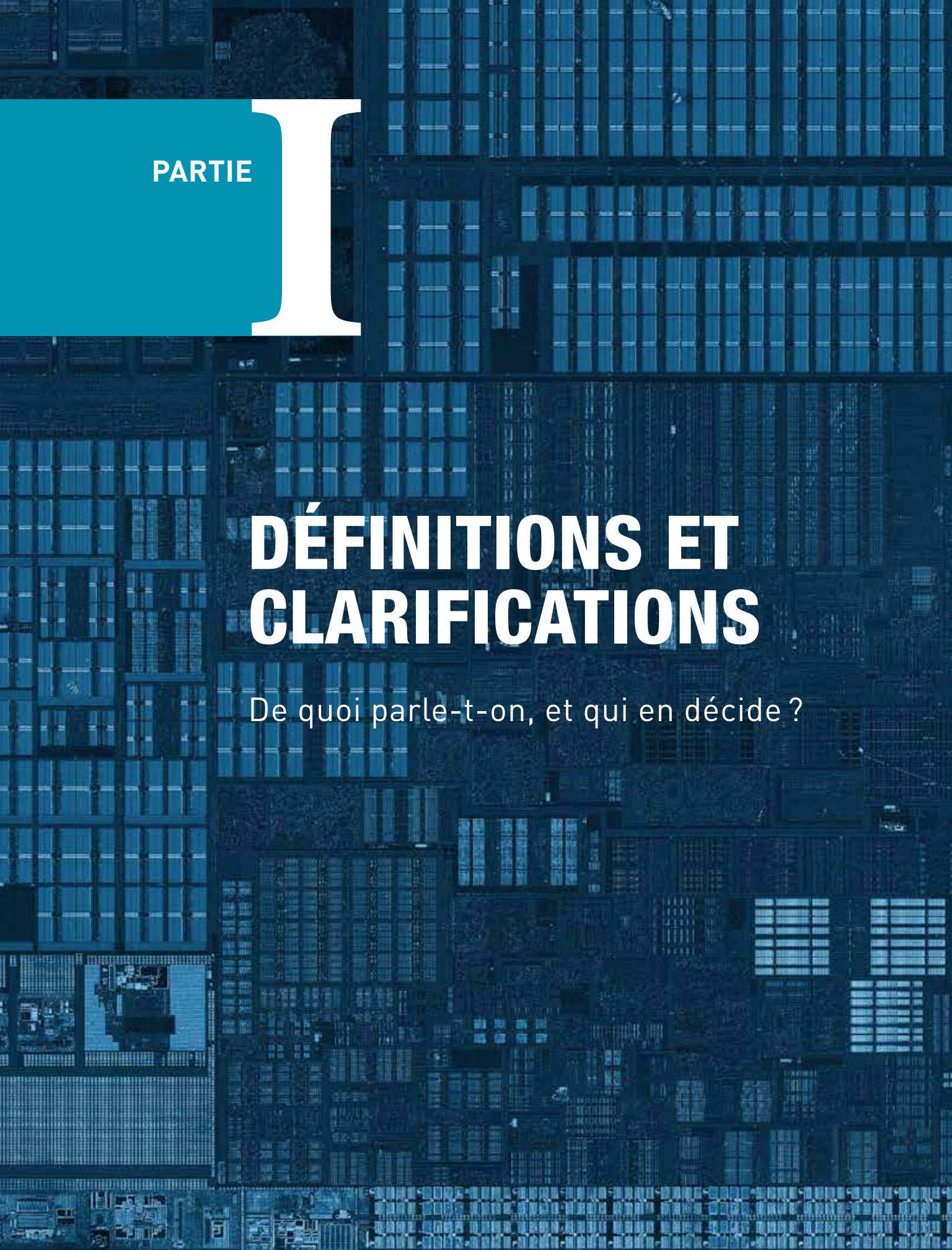
L'espace francophone réunit des pays aux situations très éloignées, des économies très numérisées à des pays où l'accès à l'électricité et à Internet reste incomplet. Les modèles les plus répandus ont été entraînés surtout sur des données, des langues et des paysages du Nord, et voient mal les territoires peu documentés. Deux risques en découlent. Le premier est un écart grandissant entre les pays qui produisent leurs propres données et ceux dont les données sont produites ailleurs. Le second est une dépendance durable envers des outils conçus loin des besoins locaux. La plupart des auteurs y répondent par la mise en commun, entre pays francophones, de méthodes, de données, de formations et d'outils.

Figure 1 | Le parcours du numéro

I	**Définitions et clarifications** *Les mots et les règles*	1 L'IA en 2026	2 Numérisation durable	3 Gouverner l'IA et l'environnement
II	**L'empreinte écologique de l'IA** *Ce que l'IA coûte*	4 Centres de données	5 Mesurer l'empreinte du numérique	6 IA frugale dans les territoires
III	**L'IA comme outil de soutenabilité** *Neuf secteurs*	7 Solutions fondées sur la nature	8 Biodiversité marine	9 Risques climatiques
		10 Eau	11 Agriculture, delta du Mékong	12 Transition énergétique
		13 Ville durable	14 Industrie en Afrique	15 Tourisme durable
IV	**Les préalables** *Ce qu'il faut réunir*	16 Compétences	17 Commande publique	18 Finance durable
	Conclusion *Les messages clés*	19 Synthèse des recommandations des auteurs		



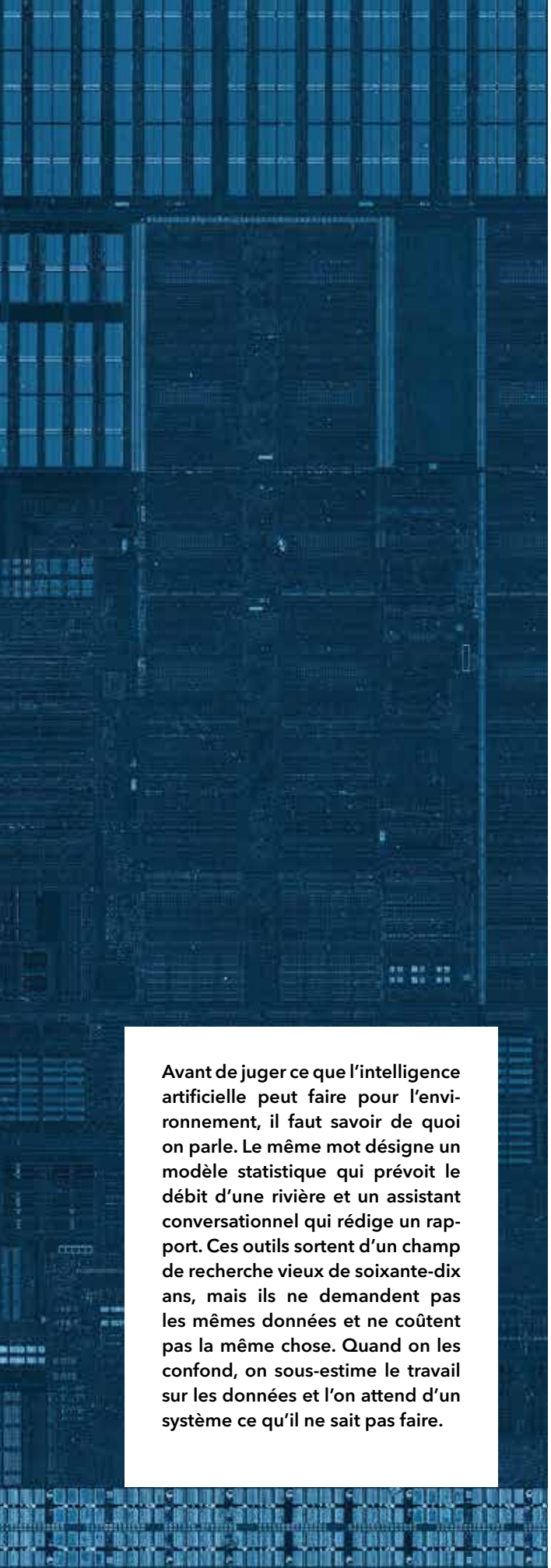
Crue autour du fleuve Rufiji, en Tanzanie, le 29 avril 2024, vue par satellite.



PARTIE I

DÉFINITIONS ET CLARIFICATIONS

De quoi parle-t-on, et qui en décide ?



Avant de juger ce que l'intelligence artificielle peut faire pour l'environnement, il faut savoir de quoi on parle. Le même mot désigne un modèle statistique qui prévoit le débit d'une rivière et un assistant conversationnel qui rédige un rapport. Ces outils sortent d'un champ de recherche vieux de soixante-dix ans, mais ils ne demandent pas les mêmes données et ne coûtent pas la même chose. Quand on les confond, on sous-estime le travail sur les données et l'on attend d'un système ce qu'il ne sait pas faire.

La première partie clarifie les notions essentielles et distingue les principales familles d'intelligence artificielle. Elle élargit ensuite la question au numérique dans son ensemble. Satellites et capteurs aident à suivre l'état des milieux, mais la fabrication des équipements, l'électricité, l'eau et les déchets électroniques ont un prix, et l'effet rebond peut faire disparaître les économies attendues. Reste à savoir qui, à l'échelle internationale, doit se charger de cette empreinte. La gouvernance du climat s'est construite en un demi-siècle autour de traités, comme l'Accord de Paris, et d'un groupe d'experts, le GIEC, dont les gouvernements reconnaissent l'autorité. Celle de l'IA dispose désormais d'enceintes comparables, mais principalement fondées sur des instruments non contraignants au niveau multilatéral mondial. L'empreinte de l'IA tombe entre les deux, car le régime du climat ne la saisit qu'à travers les émissions du secteur de l'énergie, et celui du numérique prévoit un suivi politique sans dispositif environnemental de mesure comparable au cadre climatique. Le dernier article propose de relier les dispositifs existants plutôt que de créer une nouvelle institution, et voit dans la Francophonie, déjà présente dans les enceintes du climat comme dans celles du numérique, un intermédiaire possible.

DANS CETTE PARTIE

1 P. 16 — Qu'entend-on par intelligence artificielle en 2026 ?
Adel Ben Youssef

2 P. 22 — Œuvrer pour une planète durable à l'ère numérique
Andréa Ventimiglia et Odile Joblin

3 P. 27 — Gouvernance de l'IA et gouvernance environnementale, une approche comparative
Henri Eli Monceau

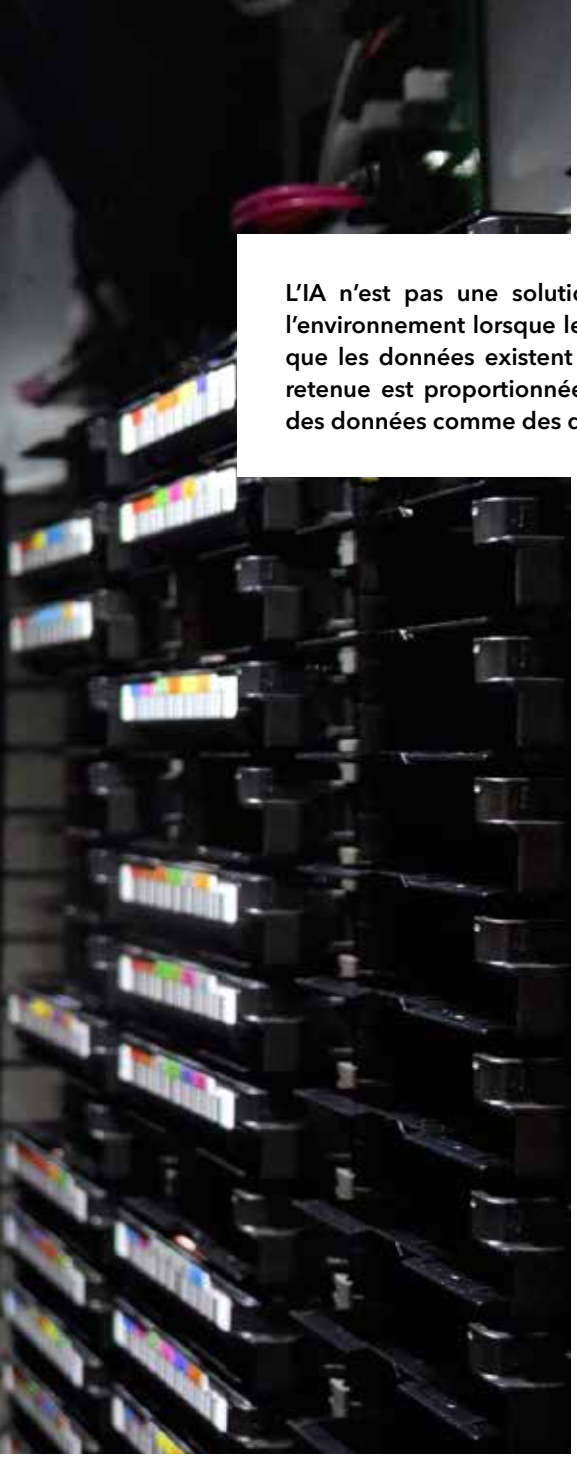
1

Qu'entend-on par intelligence artificielle en 2026 ?



Adel Ben Youssef,
Université Côte d'Azur,
GREDEG, ERF, AISMA
et INCIT

Parler de « l'intelligence artificielle » au singulier est commode et trompeur. Ce que le terme désigne en 2026 n'est pas une technologie, mais un champ scientifique vieux de soixante-dix ans, traversé par des approches concurrentes, d'où sont issues des familles d'applications aux propriétés très dissemblables. Un modèle de prévision hydrologique entraîné sur trente ans de relevés et un grand modèle de langage n'ont ni les mêmes exigences en données, ni les mêmes coûts, ni les mêmes risques, ni les mêmes conditions d'utilité. Pour l'environnement, cette confusion a un prix. Elle conduit à retenir des outils disproportionnés, à sous-estimer le travail sur les données et à attendre d'un système ce qu'il ne sait pas produire.



L'IA n'est pas une solution en soi. Elle devient utile pour l'environnement lorsque le besoin est formulé avec précision, que les données existent et sont fiables, que la famille d'IA retenue est proportionnée à l'usage, et que la gouvernance des données comme des décisions est explicite.

1. Un champ scientifique, et non une technologie

L'expression apparaît en 1955 dans la proposition d'un projet de recherche d'été, organisé l'année suivante au Dartmouth College (McCarthy et al., 1955). Elle ne désignait pas un artefact, mais un programme de recherche qui consiste à comprendre puis reproduire artificiellement des fonctions que l'on attribuait alors à la seule intelligence humaine. Depuis, le domaine a été traversé par des approches qui se sont succédé et concurrencées (Russell et Norvig, 2021). L'approche symbolique a cherché à représenter des connaissances et à raisonner sur elles au moyen de règles logiques. L'approche connexionniste a modélisé l'apprentissage par des réseaux de neurones artificiels. L'apprentissage statistique a fait de l'induction à partir d'exemples le mode principal de construction des modèles. L'apprentissage par renforcement a formalisé la décision séquentielle en univers incertain. La robotique et la perception ont travaillé l'interaction avec le monde physique. Chacune de ces approches a connu ses périodes de domination et ses hivers.

1956

Projet de recherche d'été du Dartmouth College, qui donne son nom au domaine

McCarthy et al., 1955

La prééminence actuelle de l'apprentissage statistique profond est donc un moment de l'histoire du domaine, non sa définition. Les organismes de normalisation l'écrivent sans ambiguïté. La norme ISO/IEC 22989, qui fixe le vocabulaire international de référence, définit l'intelligence artificielle comme une discipline, la recherche et le développement de mécanismes et d'applications de systèmes d'IA, et précise que ce travail peut relever de nombreux domaines, de l'informatique aux mathématiques, aux sciences de la nature et aux sciences humaines (ISO/IEC 22989:2022).

La précision n'est pas seulement académique. Si l'IA est un champ et non un objet, l'énoncé « adopter l'IA » n'a pas de contenu opérationnel. Ce que l'on adopte est toujours une méthode particulière, appliquée à une tâche particulière, dans des conditions de données particulières. Une stratégie publique qui se donne pour objectif l'adoption de l'IA se condamne à ne pas pouvoir être évaluée. Une stratégie qui se donne pour objectif la détection précoce des feux de forêt, l'estimation des pertes d'un réseau d'eau ou la prévision des pics d'ozone peut l'être, et elle indique du même coup quelles compétences et quelles données il faut réunir.

2. Une technologie générique dont le moteur est l'apprentissage

Les économistes disposent d'une catégorie pour décrire ses techniques. Bresnahan et Trajtenberg ont proposé en 1995 la notion de technologie générique, caractérisée par la diffusion dans un grand nombre de secteurs utilisateurs, un potentiel d'amélioration technique continu et des complémentarités d'innovation, la productivité de la recherche dans les secteurs aval augmentant à mesure que la technologie générique progresse. L'IA satisfait ces critères, comme la machine à vapeur, le moteur électrique et le semi-conducteur avant elle.

Dans les systèmes fondés sur l'apprentissage automatique, les performances dépendent notamment des données utilisées pour l'entraînement et l'évaluation. D'autres approches de l'IA reposent sur des règles et des connaissances explicites. Pour les projets fondés sur les données, le capital productif comprend donc le modèle, les données, leur chaîne de production et leur entretien. Trois conséquences méritent une attention particulière.

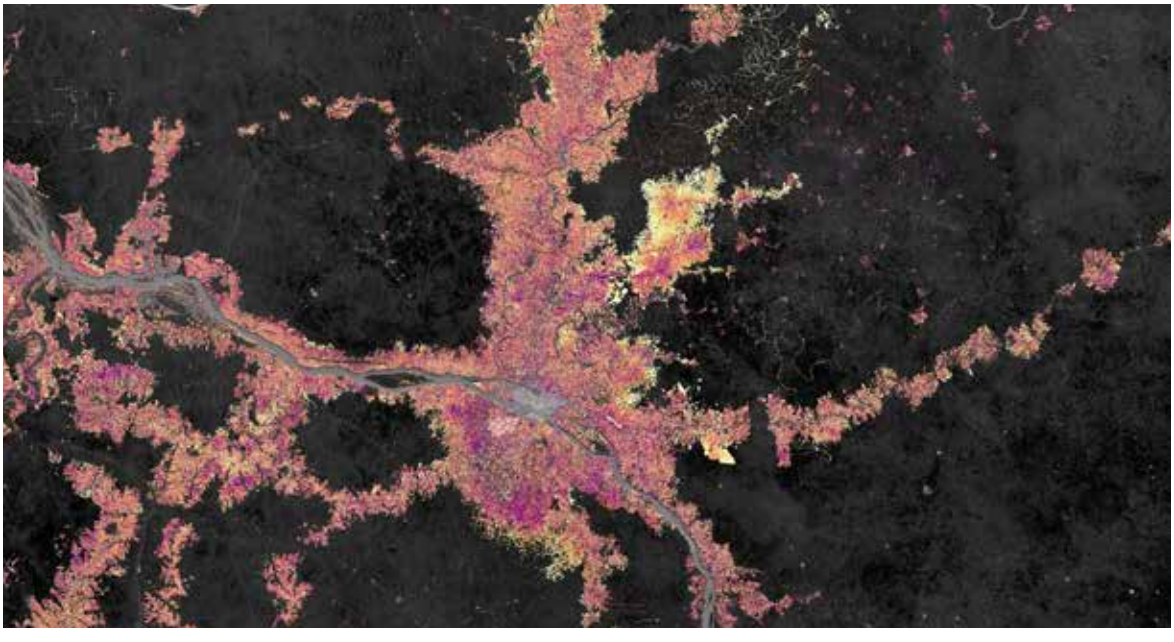
La première est que la performance doit être évaluée dans le contexte d'usage. Les régularités apprises dans un jeu de données ne se retrouvent pas nécessairement ailleurs. Ainsi, un modèle de rendement agricole ajusté sur des parcelles européennes doit être validé avant son utilisation au Sahel. Selon les résultats, un recalibrage, un affinage ou un réentraînement sur des données représentatives peut être nécessaire ; un réentraînement complet n'est pas systématiquement requis.

La deuxième est que la qualité, la complétude, la représentativité, la documentation et le statut juridique des données peuvent peser autant que le choix de l'algorithme sur le résultat final. C'est un renversement par rapport à l'intuition commune, qui situe l'innovation du côté du modèle. Dans les projets environnementaux, le dispositif d'observation peut constituer une contrainte déterminante, au même titre que le modèle et les compétences. L'Agence internationale de l'énergie relève ainsi, dans son enquête auprès des entreprises de l'énergie, que le déficit de compétences numériques constitue le premier obstacle à l'adoption de l'IA, devant la fragmentation des données, et que 10 % seulement de la consommation mondiale d'électricité est couverte par des politiques d'ouverture des données électriques (AIE, 2026).

La troisième est que les investissements complémentaires sont lourds et largement immatériels. La réorganisation des processus, la formation, la gouvernance des données, la maintenance des chaînes de traitement décident du succès d'un projet d'IA. Brynjolfsson, Rock et Syverson (2021) ont montré que ces investissements, mal saisis par la comptabilité nationale, produisent une courbe en J. La productivité mesurée recule d'abord, puis progresse lorsque les actifs immatériels accumulés commencent à produire leurs effets. Cela explique une part de l'écart entre les annonces et les résultats observés, et invite à la patience autant qu'à la prudence.

Quatre questions avant tout projet d'IA

1. Quel problème environnemental concret cherche-t-on à résoudre, et à quoi saura-t-on qu'il est résolu ?
2. Les données nécessaires existent-elles, sont-elles fiables, documentées et légitimement utilisables ?
3. Quelle famille d'IA la tâche appelle-t-elle réellement, et la solution la plus simple a-t-elle été écartée pour de bonnes raisons ?
4. Le dispositif retenu est-il proportionné aux bénéfices attendus, à son coût de maintenance et à son empreinte écologique ?



Pertes de couvert forestier autour de Kisangani (RDC) entre 2001 et 2024. Les plus anciennes en violet et rose, les plus récentes en orange et jaune

3. Des catégories d'usages et de déploiement qui se recoupent

Les catégories suivantes facilitent la lecture des usages, mais ne constituent pas une classification exclusive. Elles associent des finalités, des modes de déploiement et un horizon de recherche : une IA générative peut être embarquée et servir la recherche scientifique. Le coût dépend de la tâche, du modèle, du matériel, du volume d'utilisation et du cycle de vie.

L'IA analytique

C'est la famille la plus ancienne et la plus mature. Elle classe, prédit, optimise, détecte des anomalies et assiste la décision. Elle peut travailler sur des tableaux et des séries temporelles avec des modèles légers et interprétables, mais certains usages mobilisent aussi des volumes importants et des architectures complexes. Plusieurs exemples du numéro relèvent de ces usages. La prévision de la demande électrique, la détection des fuites d'un réseau d'eau, l'estimation des rendements agricoles, le repérage de coupes forestières sur imagerie satellitaire, la prévision de la qualité de l'air peuvent être mis en œuvre avec des besoins énergétiques limités, à vérifier pour chaque dispositif. En revanche, cette famille est exigeante en qualité de données et en expertise métier.

L'IA embarquée

Elle fonctionne dans des objets physiques, au plus près de la source des données, sur des capteurs, des drones, des enregistreurs acoustiques, des satellites, des équipements industriels ou des véhicules. Ses contraintes sont l'énergie disponible, la mémoire, la latence et la connectivité, ce qui impose des modèles compressés et spécialisés. Elle rend possible l'observation environnementale là où les réseaux sont faibles ou absents, ce qui en fait la famille la plus directement pertinente pour de nombreux territoires. Elle déplace en revanche la question environnementale vers le matériel, puisqu'elle multiplie les équipements, leur maintenance et leur fin de vie.

L'IA générative

Elle repose sur des modèles de fondation entraînés sur de vastes corpus (Bommasani et al., 2021), capables de produire du texte, du code, des images et du son à partir d'instructions en langage naturel. Son utilité est réelle dans le travail sur la langue, synthèse documentaire, traduction, rédaction, vulgarisation, aide à la programmation. Ses limites sont de nos jours bien documentées et comprennent la production d'énoncés plausibles mais faux (hallucinations), la reproduction des biais des corpus d'entraînement, la surreprésentation des langues et des sources dominantes (Bender et al., 2021). Certaines tâches génératives sont très intensives en calcul, en énergie et en eau ; leur empreinte varie fortement selon le modèle et le service rendu. L'employer pour une tâche que l'IA analytique traite mieux est une erreur fréquente et onéreuse.

L'IA généralisée

Elle désigne une capacité générale à accomplir un large éventail de tâches cognitives, dont la définition et l'évaluation restent discutées. En 2026, elle est un objectif de recherche et un argument commercial, non un état constaté. Sa mesure reste disputée et les tests de référence font l'objet de controverses méthodologiques. Une politique publique n'a pas à se structurer autour d'un horizon dont la date est inconnue. Les investissements dans les infrastructures et les services d'IA produisent, eux, des effets matériels observables. Les dépenses d'investissement de cinq grands groupes technologiques ont dépassé 400 milliards de dollars en 2025 (AIE, 2026), et leurs effets sur les infrastructures et la demande d'énergie doivent être anticipés. Ce montant ne peut toutefois être attribué à la seule perspective d'une IA générale.

L'IA scientifique, une cinquième famille en formation

Elle mobilise les mêmes techniques, mais son objet est d'accélérer la découverte plutôt que d'automatiser une tâche existante. Elle prédit des structures moléculaires, explore des espaces de matériaux ou émule des modèles climatiques dont le calcul direct serait hors de portée. Pour l'environnement, c'est probablement la promesse la plus intéressante et la moins discutée.

Une confusion répandue doit enfin être écartée. Les systèmes dits agentiques, qui enchaînent des actions et mobilisent des outils pour accomplir une tâche, ne constituent pas un domaine scientifique distinct. Ils sont un mode de déploiement, applicable à plusieurs de ces familles. La distinction n'est pas anodine, car leur coût énergétique par requête est très supérieur à celui d'une simple génération de texte.

4. Trois niveaux de lecture et une empreinte

L'IA n'est pas immatérielle. Elle repose sur des centres de données, des réseaux, des processeurs, de l'électricité, de l'eau de refroidissement, des matériaux et des chaînes d'approvisionnement mondialisées. Selon l'Agence internationale de l'énergie (AIE), la consommation électrique mondiale des centres de données a progressé de 17 % en 2025 et devrait doubler d'ici 2030, en passant de 485 TWh à environ 950 TWh, soit environ 3 % de la demande électrique mondiale à cette échéance (AIE, 2026). La même source relève que l'énergie consommée par tâche diminue très rapidement, mais que les usages les plus intensifs, génération vidéo, modèles de raisonnement et agents, peuvent consommer par requête des centaines, voire des milliers de fois davantage qu'une simple génération de texte. L'efficacité progresse donc sans que l'empreinte totale décroisse.

+ 17 %

De consommation électrique des centres de données dans le monde en 2025

AIE, 2026

950 TWH

Prévus pour les centres de données en 2030, contre 485 TWh en 2025, soit environ 3 % de la demande mondiale

AIE, 2026

Il faut par conséquent lire l'IA à trois niveaux. Comme ensemble de méthodes, elle classe, prédit, engendre ou optimise. Comme infrastructure, elle dépend de ressources physiques et de capacités de calcul très inégalement réparties. Comme système social, elle traduit des choix humains sur les données collectées, les objectifs poursuivis, les acteurs associés, les risques acceptés et les impacts mesurés. Cette triple lecture écarte deux erreurs symétriques. Croire que l'IA résoudra d'elle-même les crises écologiques, et la rejeter en bloc au motif de son empreinte.

Tableau 1. Catégories d'usages et de déploiement de l'IA : profils indicatifs

Famille	Maturité	Exigence en données	Intensité énergétique	Usage environnemental
IA analytique	La plus ancienne et la plus mature	Volumes modestes, tableaux et séries temporelles, qualité et expertise métier exigées	Faible, modèles légers sur matériel ordinaire	Demande électrique, fuites des réseaux d'eau, rendements agricoles, coupes forestières, qualité de l'air
IA embarquée	Opérationnelle, en diffusion	Données produites sur place, au plus près de la source	Faible par appareil, mais empreinte matérielle des équipements multipliés	Capteurs, drones et enregistreurs acoustiques, là où les réseaux manquent
IA générative	Récente, limites documentées (énoncés plausibles mais faux, biais)	Vastes corpus, langues et sources dominantes surreprésentées	Variable ; certaines tâches génératives sont très intensives	Synthèse documentaire, traduction, rédaction, vulgarisation, aide à la programmation
IA généralisée	Objectif de recherche et argument commercial	Sans objet à ce stade	Effets indirects déjà réels sur l'investissement et la demande d'énergie	Aucun à ce jour, simple horizon de recherche

5. L'enjeu de l'appropriation francophone

Dans l'espace francophone, la distinction entre familles d'IA prend une portée pratique immédiate, car leurs coûts d'entrée n'ont rien de comparable. L'IA analytique et l'IA embarquée sont à la portée d'un service météorologique national, d'une régie des eaux ou d'une agence forestière disposant de moyens modestes, pourvu que les données existent et soient gouvernées. Les modèles de fondation situés à la frontière technologique, en revanche, ne se produisent pas localement et installent une dépendance envers un petit nombre de fournisseurs. Confondre les deux conduit à une conclusion fausse et démobilisatrice, selon laquelle l'IA serait hors de portée, alors que la part la plus utile en est largement accessible.

L'appropriation suppose de comprendre les modèles, d'adapter les outils aux besoins locaux, de gouverner les données et de former les utilisateurs. Elle suppose aussi la proportionnalité. Il n'est pas nécessaire de mobiliser un grand modèle généraliste pour chaque problème, et la maturité technologique consiste souvent à retenir la méthode la plus simple, la plus transparente et la plus sobre. C'est le sens du référentiel français sur l'IA frugale, qui propose d'évaluer l'impact environnemental de l'IA sur l'ensemble de son cycle de vie (AFNOR, 2024). Une IA environnementale responsable doit être utile, explicable, maintenable et évaluée dans son contexte réel d'usage.

Ce qui a été dit de la donnée vaut ici avec une force particulière. Là où les séries hydrologiques, forestières, énergétiques ou climatiques sont incomplètes, discontinues ou non partagées, un modèle ne peut remplacer à lui seul la production d'observations fiables. L'investissement dans les dispositifs de mesure et dans la gouvernance des données précède l'investissement dans l'IA, et il produit des bénéfices même en l'absence de celle-ci. C'est sans doute la recommandation la plus solide que l'on puisse formuler en 2026.

RECOMMANDATIONS

01.

Aux décideurs publics

Se fixer des objectifs évaluables, feux de forêt, pertes d'un réseau d'eau, pics d'ozone, plutôt que « l'adoption de l'IA ».

02.

Aux administrations sectorielles et aux bailleurs

Investir d'abord dans la mesure et la gouvernance des données, utiles même sans IA.

03.

Aux porteurs de projets

Retenir la famille d'IA proportionnée à la tâche et soumettre tout projet aux quatre questions de l'encadré.



Station météorologique automatique alimentée par un panneau solaire.

RÉFÉRENCES

FNOR (2024). AFNOR SPEC 2314, Référentiel général pour l'IA frugale, mesurer et réduire l'impact environnemental de l'IA. Paris, AFNOR, juin 2024.

AIE (2026). Key Questions on Energy and AI. Agence internationale de l'énergie, Paris, 16 avril 2026.

Bender, E. M., Gebru, T., McMillan-Major, A. et Shmitchell, S. (2021). On the Dangers of Stochastic Parrots: Can Language Models Be Too Big? Proceedings of FAccT '21, ACM, p. 610-623.

Bommasani, R. et al. (2021). On the Opportunities and Risks of Foundation Models. Stanford University, arXiv:2108.07258.

Bresnahan, T. F. et Trajtenberg, M. (1995). General purpose technologies « Engines of growth » ? Journal of Econometrics, 65(1), p. 83-108.

Brynjolfsson, E., Rock, D. et Syverson, C. (2021). The Productivity J-Curve: How Intangibles Complement General Purpose Technologies. American Economic Journal: Macroeconomics, 13(1), p. 333-372.

ISO/IEC 22989:2022. Technologies de l'information, Intelligence artificielle, Concepts et terminologie relatifs à l'intelligence artificielle.

McCarthy, J., Minsky, M. L., Rochester, N. et Shannon, C. E. (1955). A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence. Republié dans AI Magazine, 27(4), 2006, p. 12.

Russell, S. et Norvig, P. (2021). Artificial Intelligence: A Modern Approach, 4e édition. Pearson.

02

Œuvrer pour une planète durable à l'ère numérique





Andréa Ventimiglia,
Future Earth Canada,
Université Concordia



Odile Joblin,
Future Earth Canada,
Université Concordia

Les technologies numériques occupent une place centrale dans nos systèmes sociaux et évoluent rapidement. Leur interaction avec la durabilité environnementale soulève toutefois des défis. Dans notre article d'opinion paru en 2026 dans PLOS Sustainability and Transformation, nous examinons cette relation complexe et proposons des pistes de solution pour favoriser une numérisation plus durable.



Les technologies numériques offrent de réelles solutions pour atteindre les objectifs planétaires, mais leurs gains peuvent être annulés par leur empreinte matérielle et par l'effet rebond. Concrétiser leur potentiel suppose l'action collaborative de trois groupes d'acteurs aux leviers complémentaires.

1. Le double tranchant de la numérisation

Les technologies numériques offrent de réelles solutions pour atteindre les objectifs planétaires, et les exemples ne manquent pas. Si les satellites et les capteurs à distance permettent de surveiller la santé des écosystèmes en temps réel, l'intelligence artificielle peut, quant à elle, améliorer l'efficacité de l'agriculture et des transports tout en réduisant leur empreinte carbone et leur empreinte hydrique. La « blockchain » offre un autre exemple. Elle permet de décentraliser les réseaux électriques et d'automatiser les transactions dans le secteur de l'énergie. Elle est également utilisée pour renforcer la sécurité dans le secteur financier et élargir l'accès aux services bancaires. Enfin, les plateformes en ligne peuvent élargir l'accès à l'éducation, aux soins de santé et à l'emploi dans des régions où ces services ont longtemps fait défaut.

Cependant, les risques sont tout aussi réels. Les centres de données qui alimentent les systèmes d'intelligence artificielle consomment des quantités considérables d'énergie et d'eau. La demande en métaux de terres rares, indispensables à la fabrication des équipements numériques, a elle aussi des conséquences sociales et environnementales. En 2022, le monde a produit un chiffre record de 62 millions de tonnes de déchets électroniques, soit 7,8 kg par habitant en moyenne, selon le Rapport mondial sur les déchets électroniques (UIT et UNITAR, 2024). Par ailleurs, les gains d'efficacité offerts par les technologies numériques peuvent être partiellement ou entièrement annulés par « l'effet rebond », un phénomène bien connu des économistes. Lorsqu'une technologie devient plus efficace et nécessite moins de ressources pour un même usage, elle peut aussi devenir moins coûteuse ou plus facile à utiliser, ce qui encourage une augmentation de son utilisation. Cette hausse de la consommation peut alors réduire, voire annuler, les économies de ressources initialement réalisées. À cela s'ajoute la fracture numérique, soit les inégalités d'accès aux infrastructures numériques, et d'autres impacts sociétaux et de gouvernance.

62 MT

De déchets électroniques produits dans le monde en 2022, un record

UIT et UNITAR, 2024

7,8 KG

De déchets électroniques par habitant et par an, en moyenne

UIT et UNITAR, 2024

2. Trois groupes, trois responsabilités

Plutôt que d'aborder la numérisation durable comme un défi isolé, nous formulons dans l'article des recommandations à trois groupes d'acteurs, les spécialistes de la durabilité, les acteurs du numérique et les responsables politiques, chacun disposant d'un levier d'action complémentaire (figure 1).

La numérisation durable peut créer un avenir plus prospère pour les populations et la planète. Pour y parvenir, une action collaborative est indispensable. L'article complet, en anglais, s'intitule « *Striving for a sustainable planet in the digital age: Recommendations and priority actions* » (Kumarasinghe, Gleeson et Ventimiglia, 2026).

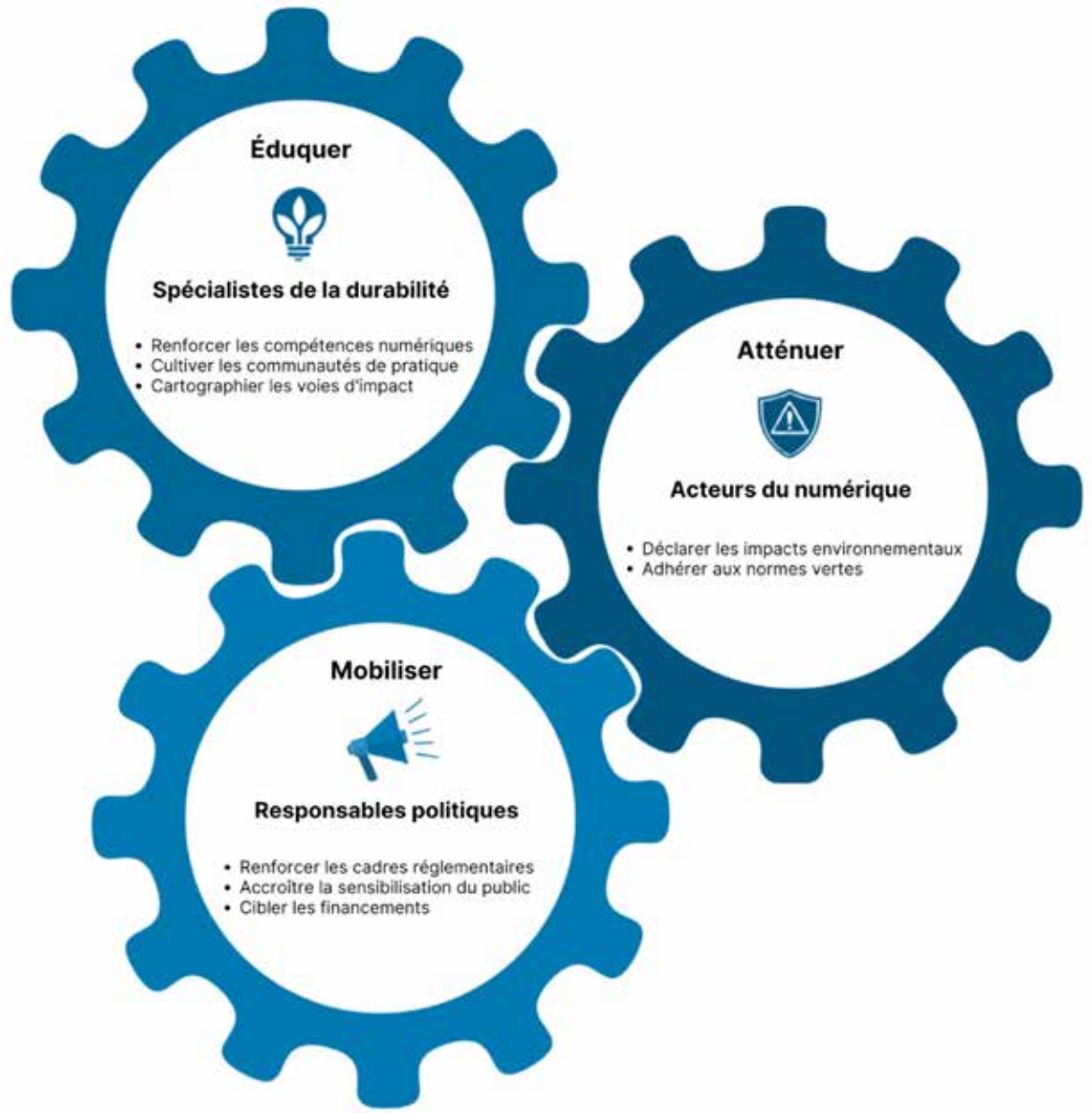
QU'APPELLE-T-ON NUMÉRISATION DURABLE ?

Il est nécessaire d'intégrer la numérisation durable dès le déploiement des technologies numériques. Celle-ci consiste à intégrer des critères de durabilité environnementale et sociale à l'ensemble de la chaîne de valeur des technologies numériques, tout en mobilisant davantage celles-ci au service des objectifs de durabilité.



Centrales solaires Noor I et Noor II, complexe Noor Ouarzazate (Maroc).

Figure 1 | Collaboration pour une numérisation durable



Note. Trois groupes d'acteurs pouvant agir de façon complémentaire pour favoriser une numérisation durable. Illustration de Rachelle Fox, d'après Kumarasinghe, Gleeson et Ventimiglia (2026), sous licence CC BY 4.0.

RECOMMANDATIONS

01.

Aux spécialistes de la durabilité

Intégrer le numérique et ses enjeux dans les programmes d'études en sciences de l'environnement, afin que la prochaine génération sache exploiter ces outils et en évaluer les risques. Créer des communautés de pratique entre industrie, recherche et milieux politiques, ouvertes aux différents systèmes de connaissances, y compris ceux des communautés autochtones. Engager un processus d'évaluation scientifique qui cartographie les impacts du numérique sur l'environnement, identifie les lacunes dans les données et établit des normes de numérisation durable.

02.

Aux acteurs du numérique

Mesurer, réduire et divulguer les impacts environnementaux des technologies numériques tout au long de leur cycle de vie. Adopter des normes d'infrastructure numérique verte, par l'utilisation de matériaux recyclés et d'énergies renouvelables et par des programmes de recyclage des déchets électroniques.

03.

Aux responsables politiques

Orienter les financements vers des solutions numériques aux impacts sociaux et environnementaux mesurables. Renforcer la réglementation imposant la transparence sur l'empreinte environnementale des technologies énergivores. Investir dans des campagnes de sensibilisation sur les technologies et leurs coûts invisibles.

RÉFÉRENCES

Kumarasinghe, N., Gleeson, E. et Ventimiglia, A. (2026). Striving for a sustainable planet in the digital age: Recommendations and priority actions. PLOS Sustainability and Transformation, 5(5), e0000249. *https://doi.org/10.1371/journal.pstr.0000249*

UIT et UNITAR (2024). Rapport mondial sur les déchets d'équipements électriques et électroniques 2024 (The Global E-waste Monitor 2024). Genève et Bonn. https://www.itu.int/en/ITU-D/Environment/Documents/Publications/2025/d-gen-e_waste.01-2024-pdf-f.pdf



L'architecture multilatérale de l'IA existe désormais, mais reste largement vide d'engagements contraignants. L'impact environnemental de l'IA appelle moins une nouvelle institution que des passerelles entre les dispositifs existants.

03

Gouvernance de l'IA et gouvernance environnementale, une approche comparative



Henri Eli Monceau,
Organisation internationale de la Francophonie (OIF) et Conservatoire national des arts et métiers (CNAM)

L'intelligence artificielle s'est imposée en quelques années comme l'une des technologies les plus structurantes de notre époque, et l'une des plus gourmandes en ressources (électricité et eau des centres de données, métaux des processeurs, déchets électroniques). Or la question de savoir qui, à l'échelle internationale, peut se saisir de cet enjeu demeure largement sans réponse. Cet article ne vise pas à mesurer l'empreinte environnementale de l'IA, mais à interroger les cadres de gouvernance susceptibles de la prendre en charge.

1. L'introuvable gouvernance technologique

Récemment, la démission fracassante d'un chercheur de pointe impliqué successivement dans le développement des modèles d'OpenAI et d'Anthropic, suivie de l'aveu des dirigeants de ces entreprises que l'alerte était fondée (Perrigo et al., 2026), a donné un coup de projecteur mondial sur les risques que l'IA « générale » (AGI – Artificial General Intelligence) fait courir à l'humanité. L'appel généralisé à une régulation forte qui s'en est suivi s'est heurté à une réalité implacable. Pour paraphraser la célèbre boutade attribuée à Henry Kissinger à propos de l'Europe : le régulateur mondial de l'IA, quel numéro de téléphone ? Plus de sept décennies de développement des technologies de l'information, IA comprise, n'ont en effet pas produit d'architecture de gouvernance clairement identifiée et raisonnablement efficace. Voilà pourtant un ensemble de techniques qui a pénétré, comme aucun autre à cette échelle et à cette vitesse, chaque pays, quasiment chaque entreprise et chaque foyer ; qui fait système autour d'un réseau commun, Internet ; et qui, pour être affaire de flux, repose sur des infrastructures pourtant bien physiques (centres de données, câbles, satellites…). Là où l'introduction d'une nouvelle molécule sur le marché pharmaceutique est soumise à des réglementations strictes, le numérique et l'IA échappent largement à tout cadre défini. Ce n'est pas faute d'efforts, que je structurerai autour de trois lignes de force, à savoir l'autorégulation par les normes, les mécanismes multilatéraux et plurilatéraux, et l'action territoriale.

La régulation par les normes et ses limites. De l'Internet à l'IA générative, le numérique repose sur l'interconnexion et sur l'intégration, dans chaque dispositif, de multiples composants physiques et « immatériels ». Cette nature composite impose des normes communes garantissant l'interopérabilité. Aux enceintes héritées de l'électrification et des télécommunications (IEC, IEEE, UIT) se sont ajoutés l'ISO, qui publie avec l'IEC la principale norme de management de l'IA (ISO/IEC 42001), l'IETF, le W3C ou encore l'ICANN. Ces organismes associent acteurs privés et publics, mais souffrent d'un réel problème de représentativité. Participer exige du temps, des experts et des moyens, ce qui désavantage les pays moins dotés, les communautés linguistiques sous-représentées et la société civile. Surtout, nombre d'enjeux ne se laissent pas réduire à des standards techniques. On peut normaliser une procédure d'audit, plus difficilement la discrimination, la diversité culturelle ou l'effet d'un système sur le débat public. Les normes gouvernent les *modalités vérifiables* ; elles ne peuvent trancher seules la question politique des finalités, des droits à protéger et de la répartition du pouvoir.

La gouvernance mondiale, un cadre mou (mais dynamique). C'est pour combler ces angles morts que s'est affirmée, à la fin des années 1990, une demande de gouvernance politique, qui a abouti au Sommet mondial sur la société de l'information (Genève 2003, Tunis 2005). En sont issus une approche multi-acteurs et deux enceintes, les réunions de suivi du SMSI et le Forum sur la gouvernance de l'Internet. Ce dispositif fluidifie le dialogue mais peine à orienter une véritable gouvernance. Après le NETmundial convoqué par le Brésil en 2014 à la suite des révélations d'Edward Snowden, le Secrétaire général des Nations Unies a relancé la réflexion, qui a débouché sur le Pacte numérique mondial de septembre 2024. Celui-ci a donné naissance au Dialogue mondial sur la gouvernance de l'IA, qui réunit chaque année les États membres (première édition à Genève en juillet 2026), et au Groupe scientifique international indépendant sur l'IA (résolution 79/325). En parallèle se sont multipliées des initiatives plurilatérales, de l'OCDE aux sommets sur l'IA (Bletchley 2023, Séoul 2024, Paris 2025, New Delhi 2026, avant celui de Genève, prévu en 2027). Toutes relèvent de la « soft law ». Dépourvues de force contraignante, elles n'en ont pas moins une portée politique réelle.

Gouvernance territoriale, dépasser les silos et… l'Histoire. États et ensembles régionaux ont, parallèlement, adopté leurs propres stratégies numériques et législations sur les données, les plateformes et désormais l'IA, dont l'Union européenne offre l'exemple le plus abouti, et créé des autorités spécialisées. Cet arsenal ne forme pas pour autant un ensemble cohérent. Les institutions publiques restent organisées selon un découpage sectoriel hérité de l'industrialisation, alors qu'un même système d'IA agit simultanément dans tous ces domaines. Ses effets sur l'accès à la connaissance, la diversité linguistique ou l'exercice des droits échappent ainsi parfois aux autorités chargées d'en examiner les seules performances techniques ou conséquences économiques. Infrastructures, entreprises et flux de données franchissent en outre les frontières des territoires qui cherchent à les réguler. La nécessité d'une action publique transversale est reconnue ; sa mise en pratique reste un défi.

2. Gouvernance du numérique et gouvernance environnementale

L'environnement, autre champ de l'action publique internationale confronté lui aussi à des enjeux planétaires, transversaux et scientifiquement complexes, a su se doter d'une architecture plus lisible. Les deux registres se croisent. Selon l'Agence internationale de l'énergie, les centres de données ont consommé en 2024 quelque 415 TWh, soit environ 1,5 % de l'électricité mondiale, un volume qui pourrait plus que doubler d'ici 2030 sous l'effet principal de l'IA (AIE, 2025). La gouvernance du climat offre dès lors un miroir instructif. Ce qu'elle a construit en un demi-siècle éclaire ce qui fait encore défaut à la gouvernance de l'IA ; ce qu'elle n'a pas su accomplir met en garde contre la tentation d'une simple transposition.

415 TWH

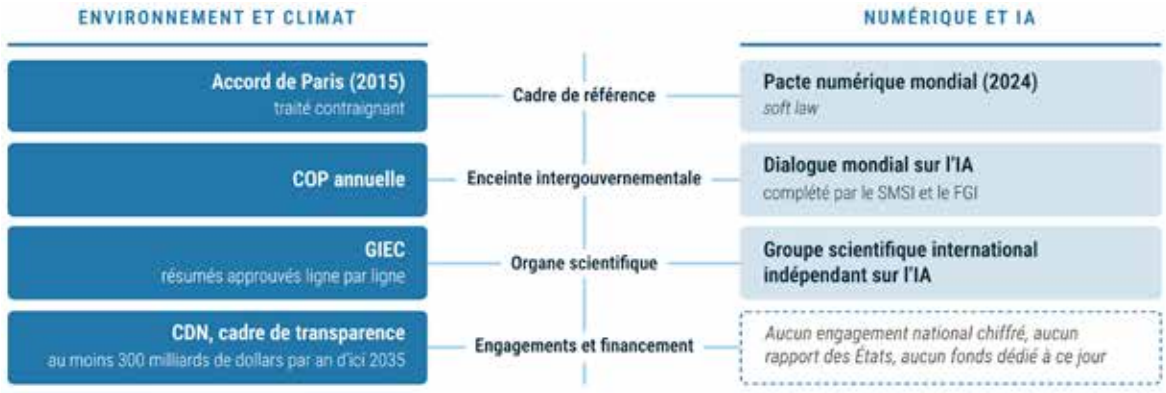
Consommés par les centres de données en 2024, environ 1,5 % de l'électricité mondiale

AIE, 2025

Des architectures en miroir. Les deux systèmes reposent sur trois étages comparables (figure 1). La normalisation, d'abord, où la norme ISO 14001 ou les référentiels de comptabilité carbone jouent pour l'environnement le rôle que tient l'ISO/IEC 42001 pour l'IA. La gouvernance multilatérale, ensuite, où la ressemblance est frappante, avec de part et d'autre un cadre de référence global (Accord de Paris, 2015 / Pacte numérique mondial, 2024), une enceinte intergouvernementale annuelle (COP / Dialogue mondial sur l'IA, complété par le SMSI et le FGI), un organe scientifique (GIEC / Groupe scientifique international indépendant sur l'IA), le tout appuyé sur des entités onusiennes. Les politiques nationales et régionales, enfin, marquées dans les deux domaines par de fortes disparités d'ambition et de moyens.

Du traité à la recommandation, l'écart de densité juridique. L'Accord de Paris est un traité juridiquement contraignant, assorti d'un objectif chiffré (contenir le réchauffement nettement en dessous de 2 °C, en visant 1,5 °C) et d'obligations de procédure, avec des contributions déterminées au niveau national (CDN) actualisées tous les cinq ans, un cadre de transparence renforcé et un bilan mondial périodique. Il ne comporte certes ni obligation de résultat ni mécanisme de sanction et repose sur la transparence et la pression des pairs, son comité de mise en œuvre étant expressément « non accusatoire et non punitif » ; mais la Cour internationale de Justice, dans son avis consultatif unanime du 23 juillet 2025, a confirmé que les États ont des obligations climatiques dont la violation engage leur responsabilité. Le Pacte numérique mondial, lui, relève intégralement de la soft law, sans cible chiffrée ni mécanisme de rapport des États. Des « contributions nationales » en matière d'IA pourraient pourtant, même sans sanction, avoir une forte valeur d'exemple et d'incitation, comme l'expérience climatique le démontre. Le régime climatique repose en outre sur le principe des responsabilités communes mais différenciées et sur des mécanismes de financement (dont l'objectif d'au moins 300 milliards de dollars par an d'ici 2035 fixé à la COP29), sans équivalent pour l'IA, alors même que la géographie de celle-ci est au moins aussi asymétrique que celle des émissions. Puissance de calcul, modèles, données et revenus sont concentrés dans un petit nombre de pays et d'entreprises, tandis que nombre de pays en développement en subissent les effets sans en maîtriser les leviers.

Figure 1 | Deux gouvernances en miroir



300 MD$

Par an d'ici 2035 pour la finance climatique (COP29), sans équivalent pour l'IA

CCNUCC, 2024

40 MEMBRES

du Groupe scientifique international indépendant sur l'IA, nommés en février 2026

Nations Unies, 2026

Lisibilité institutionnelle et autorité scientifique. Le régime climatique est aussi plus concentré, avec la COP, l'Assemblée des Nations Unies pour l'environnement et des organisations aux compétences distinctes (CCNUCC, PNUE, OMM), là où le numérique juxtapose Dialogue mondial, SMSI, FGI, AI for Good, CSTD et une dizaine d'organisations aux mandats qui se chevauchent. L'écart est plus net sur le plan scientifique. Le GIEC mobilise à chaque cycle plusieurs centaines d'auteurs et des milliers de relecteurs selon des procédures éprouvées, jusqu'à l'approbation ligne par ligne de ses résumés par les gouvernements, ce qui fonde son autorité, car les gouvernements peuvent difficilement contester des constats qu'ils ont eux-mêmes approuvés. Le Groupe scientifique sur l'IA, dont les quarante membres, siégeant à titre personnel, ont été nommés en février 2026 et dont

certains entretiennent des liens avec des acteurs privés du secteur (Nations Unies, 2026), ne dispose pas encore de procédures comparables, même si sa coprésidence confiée à Yoshua Bengio, qui a piloté le Rapport scientifique international sur la sécurité de l'IA, montre la volonté de suivre cette tradition.

L'empreinte environnementale de l'IA, un angle mort à l'intersection. L'impact environnemental de l'IA se loge ainsi dans les marges des deux systèmes. Le régime climatique n'appréhende les centres de données qu'indirectement, à travers les émissions du secteur énergétique ; le Pacte numérique mondial évoque la durabilité du numérique sans objectif ni suivi. S'y ajoute un problème de mesure. Il n'existe pas de méthode partagée pour évaluer l'empreinte d'un modèle sur son cycle de vie, et les données restent détenues par une poignée d'entreprises qui les divulguent de manière partielle et volontaire. Cette asymétrie d'information, sans équivalent en matière climatique où les États maîtrisent les données d'inventaire, prive le régulateur comme le chercheur de la matière première de toute gouvernance. Des passerelles émergent (référentiel AFNOR sur l'IA frugale, obligation faite par l'Union européenne aux fournisseurs de modèles d'IA à usage général de documenter leur consommation énergétique et aux grands centres de données de déclarer leur performance énergétique, Coalition pour une IA durable lancée au Sommet de Paris en 2025), mais elles demeurent dispersées et, pour la plupart, volontaires.

UNE MATURITÉ DÉCALÉE, UNE CONSCIENCE POURTANT ANCIENNE

La gouvernance environnementale bénéficie d'au moins une décennie d'antériorité (Conférence de Stockholm en 1972, GIEC en 1988, Sommet de Rio en 1992), face au SMSI (2003-2005). Ce décalage ne traduit pas une prise de conscience plus précoce. De fait, les alertes sont quasi contemporaines. Au premier Jour de la Terre (1970) et au rapport Meadows (1972) répondent presque aussitôt Computer Power and Human Reason de Joseph Weizenbaum (1976), le rapport Nora-Minc sur L'Informatisation de la société et la création de la CNIL (1978), dans le sillage de l'affaire SAFARI. La différence tient à la trajectoire de ces alertes. Les premières ont trouvé un relais dans l'opinion et l'agenda diplomatique, les secondes sont restées confinées aux cercles d'experts jusqu'au début des années 2000. Quant à l'impact environnemental du numérique lui-même, longtemps occulté par le mythe de la dématérialisation, il n'a émergé que progressivement (label Energy Star en 1992, estimation par Gartner d'une part de 2 % des émissions mondiales imputable aux TIC en 2007), avant que l'IA générative ne remette au premier plan la consommation d'énergie et d'eau des centres de données. Cette préoccupation a mûri au moment même où la gouvernance du climat se consolidait, sans que les deux mouvements ne se rencontrent.



La Terre vue par l'équipage d'Apollo 17, le 7 décembre 1972.

3. Construire des ponts entre les deux gouvernances

La comparaison conduit à trois enseignements. L'architecture multilatérale de l'IA existe désormais, mais reste largement vide d'engagements contraignants. L'expérience climatique montre qu'un système faiblement coercitif peut produire des effets réels dès lors qu'il organise la mesure, la transparence et l'examen par les pairs. Enfin, l'impact environnemental de l'IA appelle moins une nouvelle institution que des passerelles entre les dispositifs existants. J'en propose cinq, des normes jusqu'aux territoires. Ce sont des points d'appui plutôt qu'un programme clés en main, et l'on peut agir sur chacun sans attendre une hypothétique refondation d'ensemble.

Mesurer. Tout commence par là, car la gouvernance du climat n'a pu se structurer qu'à partir du moment où les États ont disposé de méthodes communes pour comptabiliser leurs émissions. C'est donc au niveau de la normalisation, là où la gouvernance du numérique est paradoxalement la plus robuste, que se situe la première intersection. Les enceintes de normalisation (comités de l'ISO et de l'IEC consacrés à l'IA et à la durabilité des centres de données, UIT) pourraient élaborer ensemble une méthode de référence évaluant l'empreinte d'un système d'IA sur tout son cycle de vie (fabrication, entraînement, utilisation, fin de vie), couvrant l'énergie et le carbone mais aussi l'eau et les matières premières. Deux conditions paraissent décisives. Il faut s'adosser aux méthodologies climatiques existantes et prendre au sérieux la question de la représentativité, car une métrique élaborée sans les pays qui accueillent centres de données et sites d'extraction ignorerait les impacts qui les concernent au premier chef.



Salle des Assemblées du Palais des Nations, Genève.

Rendre compte. La transparence peut être activée dans les deux sens. Les États pourraient intégrer le numérique et les centres de données dans leurs CDN, et le bilan mondial de 2028 pourrait examiner la trajectoire du secteur. Le Dialogue mondial sur l'IA pourrait, de son côté, inviter les États à présenter des rapports nationaux volontaires comportant un volet environnemental.

Relier les enceintes. La COP29 a organisé en 2024 une première journée consacrée à la numérisation et adopté une Déclaration sur l'action numérique verte. Il s'agirait de transformer ces jonctions ponctuelles en liens permanents, avec un volet environnemental au Dialogue mondial associant la CCNUCC et le PNUE, un espace de travail pérenne sur le numérique au sein des COP, et l'Assemblée des Nations Unies pour l'environnement pour les enjeux d'eau, de minerais et de déchets. Nul besoin de nouvelles institutions. Des mandats croisés et des secrétariats qui travaillent ensemble y suffisent, d'autant que plusieurs organisations (UIT, PNUE, PNUD, UNESCO) siègent déjà dans les deux architectures.

Croiser les expertises. Le Groupe scientifique sur l'IA gagnerait à s'inspirer des procédures du GIEC et à consacrer un chapitre de ses rapports à l'impact environnemental de l'IA, en s'appuyant sur les travaux de l'Agence internationale de l'énergie, du PNUE ou de l'UIT ; le GIEC, à accorder dans son septième cycle une attention accrue au numérique. Seule une évaluation croisée permettra de trancher le bilan ambivalent de l'IA, outil de modélisation du climat, d'optimisation des réseaux électriques ou de suivi de la déforestation, mais aussi source d'une pression croissante sur les ressources, dont les gains d'efficacité peuvent être absorbés par l'augmentation des usages (effet rebond).

Partager la charge. Les bénéfices de l'IA se concentrent dans quelques pays et entreprises, tandis que ses coûts environnementaux (stress hydrique, réseaux électriques fragiles, extraction minière, déchets électroniques) sont souvent supportés ailleurs. La logique des responsabilités communes mais différenciées pourrait inspirer l'intégration de critères environnementaux dans les mécanismes de renforcement des capacités en IA, et l'ouverture des financements climatiques à des infrastructures numériques sobres dans les pays en développement. Au niveau territorial, enfin, études d'impact systématiques pour les centres de données, critères de sobriété dans les achats publics et décloisonnement des administrations du numérique, de l'énergie et de l'environnement ne dépendent d'aucune négociation internationale.

Ces intersections ne forment pas une gouvernance à proprement parler, mais en dessinent les conditions de possibilité ; elles peuvent être activées séparément, par des acteurs différents, sans attendre un improbable traité. Prises isolément, elles risquent toutefois de reproduire la dispersion qu'elles prétendent corriger. Encore faut-il donc des passeurs pour en assurer la cohérence, des organisations qui, à l'image de la Francophonie, sont présentes dans les enceintes du climat comme du numérique et portent la voix de pays sous-représentés dans les deux. Le régulateur mondial de l'IA n'aura sans doute pas un numéro de téléphone unique. Mais, pour ses enjeux environnementaux, la réponse pourrait passer par une ligne directe entre deux standards qui, jusqu'ici, ne se parlaient guère.

RECOMMANDATIONS

01.

Aux organismes de normalisation

Élaborer une méthode de référence évaluant l'empreinte d'un système d'IA sur tout son cycle de vie, adossée aux méthodes climatiques.

02.

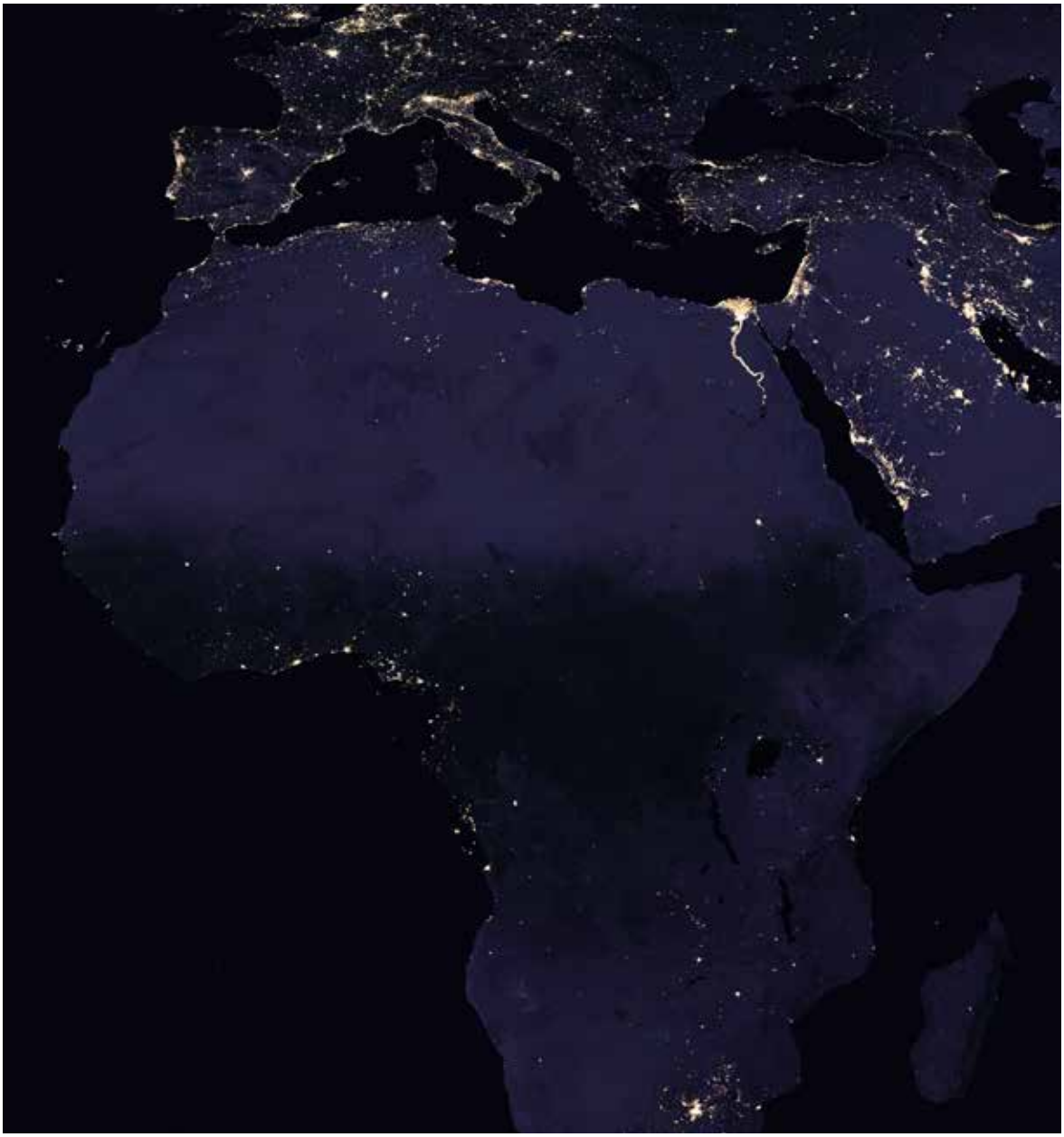
Aux États et aux Nations Unies

Intégrer le numérique dans les CDN et présenter au Dialogue mondial des rapports nationaux volontaires comportant un volet environnemental.

03.

À la Francophonie

Servir de passeur entre les enceintes du climat et du numérique, et y porter la voix des pays sous-représentés dans les deux.



RÉFÉRENCES

AIE (2025). Energy and AI. Agence internationale de l'énergie, Paris, avril 2025.

Assemblée générale des Nations Unies (2025). Résolution A/RES/79/325 sur le Groupe scientifique international indépendant et le Dialogue mondial sur la gouvernance de l'IA, 26 août 2025.

CCNUCC (2024). Décision 1/CMA.6, nouvel objectif chiffré collectif pour le financement de l'action climatique.

CIJ (2025). Obligations des États en matière de changement climatique, avis consultatif du 23 juillet 2025.

ISO/IEC 42001:2023. Technologies de l'information, Intelligence artificielle, Système de management.

Nations Unies (2015). Accord de Paris. Paris, 12 décembre 2015.

Nations Unies (2024). Pacte numérique mondial, annexe du Pacte pour l'avenir (A/RES/79/1), 22 septembre 2024.

Nations Unies (2026). Groupe scientifique international indépendant sur l'IA, membres et questions fréquentes. un.org/independent-international-scientific-panel-ai

Perrigo, B., Booth, H. et Nix, N. (2026). The AI Tipping Point. Time, 15 septembre 2026.

UIT (2024). Countries and organizations step up green digital action after COP29. ITU Hub, novembre 2024.

PARTIE II

L'EMPREINTE ÉCOLOGIQUE DE L'IA

Ce que l'IA coûte, comment on le mesure, comment on le réduit



La plupart des services d'IA tournent sur des serveurs installés dans des centres de données, qu'il faut alimenter en électricité et refroidir en permanence, souvent avec de l'eau. La deuxième partie s'intéresse à ce coût matériel. Les machines consomment de moins en moins pour une même tâche, mais le nombre de tâches augmente bien plus vite. Les difficultés se concentrent là où l'on construit, quand il faut trouver un site, partager l'eau avec les autres usages ou raccorder un nouveau bâtiment au réseau électrique. Pour réduire ce coût, il faut d'abord pouvoir le mesurer. La France a donné à son régulateur des télécommunications le pouvoir de réclamer des données environnementales aux opérateurs, aux fabricants de terminaux et aux centres de données, et depuis 2024 aux fournisseurs de cloud. Le régulateur en tire une enquête annuelle sur le secteur. Ce suivi voit encore mal l'IA, dont les fournisseurs publient très peu, mais l'expérience peut servir à d'autres pays francophones qui voudraient connaître leur propre empreinte numérique. On passe enfin au terrain, avec quatre démonstrateurs financés par l'État et testés dans des collectivités françaises. Ils portent sur la propreté des rues, un jumeau numérique partagé à l'échelle d'un département, la consommation d'énergie des bâtiments municipaux et le choix des zones où planter des arbres. Leurs porteurs ont dû justifier le recours à l'IA face à des solutions plus simples, puis limiter leurs besoins en données et en calcul.

DANS CETTE PARTIE

04 — P. 36
Centres de données, l'empreinte physique de l'IA
Tounao Kiri et Adel Ben Youssef

05 — P. 43
Synthèse des travaux de l'Arcep et de l'ADEME sur la mesure et la régulation de l'empreinte du numérique

06 — P. 48
L'IA frugale à l'épreuve des territoires, quatre démonstrateurs de l'appel à projets DIAT
Charline Meyer et Maïlys Gonin

04

Centres de données, l'empreinte physique de l'IA





Tounao Kiri, Institut de la Francophonie pour le développement durable (IFDD)



Adel Ben Youssef, Université Côte d'Azur, GREDEG, ERF, AISMA et INCIT

L'intelligence artificielle passe pour immatérielle. Elle tourne pourtant dans des bâtiments remplis de serveurs qu'il faut alimenter et refroidir jour et nuit. En 2024, les centres de données ont consommé environ 415 TWh, 1,5 % de l'électricité mondiale, et l'Agence internationale de l'énergie prévoit plus qu'un doublement d'ici 2030. Les besoins en eau et en sols dépendent également du mix électrique, des techniques et des sites, et la demande de métaux critiques augmente. Cet article rassemble ce qui est mesuré, signale ce qui ne l'est pas et explique pourquoi la trajectoire actuelle n'est pas soutenable, surtout là où l'eau et le réseau électrique manquent déjà.

1. Une demande d'électricité qui double

Chaque question posée à un assistant conversationnel, chaque image générée, chaque modèle entraîné mobilise des serveurs installés dans des centres de données. Ces bâtiments consomment de l'électricité pour calculer, puis encore de l'électricité, et souvent de l'eau, pour évacuer la chaleur produite. Selon l'Agence internationale de l'énergie (AIE), un centre de données typique dédié à l'IA consomme autant d'électricité que 100 000 ménages, et les plus grands aujourd'hui en construction consommeront vingt fois plus (AIE, 2025).



Les gains d'efficacité sont réels, mais la croissance des usages l'emporte. Même dans le scénario « haute efficacité » de l'AIE, la consommation des centres de données double presque d'ici 2030. La soutenabilité se jouera sur le choix des sites, l'eau, le raccordement et la transparence, bien plus que sur la seule performance des machines.

415 TWH

consommés par les centres de données en 2024, environ 1,5 % de l'électricité mondiale

AIE, 2025

945 TWH

attendus en 2030 dans le scénario de référence, un peu plus que la consommation actuelle du Japon

AIE, 2025

La consommation mondiale des centres de données a progressé d'environ 12 % par an depuis 2017, plus de quatre fois plus vite que la consommation totale d'électricité. Elle a atteint environ 415 TWh en 2024, dont 45 % aux États-Unis, 25 % en Chine et 15 % en Europe. La hausse s'est accélérée en 2025. L'AIE l'estime à 17 % sur l'année, et à 50 % pour les seuls centres consacrés à l'IA, ce qui porte le total à 485 TWh (AIE, 2026).

Les estimations diffèrent d'une source à l'autre, ce qui dit déjà la faiblesse des données disponibles. L'Institut de l'Université des Nations unies pour l'eau, l'environnement et la santé (UNU-INWEH) retient, d'après le cabinet Gartner, 448 TWh pour 2025. Si les centres de données formaient un pays, ils se classeraient au onzième rang mondial, juste derrière la France et ses 468 TWh. Les calculs liés à l'IA représenteraient environ 20 % de cette consommation en 2025 et 40 % en 2030 (Aczel et al., 2026).

Dans son scénario de référence, l'AIE prévoit 950 TWh en 2030 dans son édition de 2026, plus du double du niveau de 2024. Aux États-Unis, les centres de données consommeraient alors plus d'électricité que la production d'aluminium, d'acier, de ciment, de produits chimiques et de tous les autres biens à forte intensité énergétique réunis (AIE, 2025).

L'argument de l'efficacité est fondé, mais il ne suffit pas. L'énergie consommée par tâche d'IA a été divisée au moins par dix chaque année ces dernières années, observe l'AIE, et la demande totale a pourtant crû de 17 % en 2025 (AIE, 2026). Cette évolution montre que les gains d'efficacité ne compensent pas la croissance des usages. La baisse du coût d'un calcul peut contribuer à cette croissance par un effet rebond, sans que ces seuls chiffres en mesurent la part causale (Aczel et al., 2026). Même le scénario « haute efficacité » de l'AIE, qui suppose des progrès plus rapides des logiciels, du matériel et des infrastructures pour une même demande de services, aboutit à environ 800 TWh en 2030, presque le double de 2024 (AIE, 2025).

Le carbone suit. Les émissions indirectes liées à l'électricité des centres de données, estimées à environ 180 millions de tonnes de CO_2 en 2024 (AIE, 2025), doubleraient pour atteindre environ 350 millions de tonnes en 2035, à peu près 2 % des émissions du secteur électrique mondial (AIE, 2026). L'Agence juge exagérées les craintes d'une IA qui accélérerait le changement climatique, mais elle range les centres de données parmi les sources d'émissions qui croissent le plus vite (AIE, 2025). Les projections sur l'eau et les sols reposent sur d'autres méthodes et ne doivent pas être déduites mécaniquement de cette trajectoire (figure 1).

2. L'eau, un coût d'abord local

L'eau est le versant le moins visible. Un centre de données en utilise directement pour son refroidissement, et indirectement à travers l'électricité qu'il consomme et les puces qu'il héberge. À l'échelle mondiale, la consommation d'eau des centres devrait plus que doubler d'ici 2030 (figure 1).

×2

pour la consommation d'eau des centres de données entre 2023 et 2030, scénario de référence

AIE, 2025

Pour un seul centre hyperscale de 100 MW aux États-Unis, l'AIE estime la consommation moyenne à quelque 2 millions de litres par jour, autant qu'environ 6 500 ménages, dont plus de 60 % d'eau indirecte (AIE, 2025).

Rapportés aux autres usages, ces volumes restent modestes. Aux États-Unis, les prélèvements des centres de données représentent moins de 10 % des prélèvements municipaux (AIE, 2025). Mais l'eau se gère par bassin, par nappe et par saison, et c'est à cette échelle que les centres peuvent entrer en concurrence avec l'irrigation et l'eau potable. À Querétaro, présentée comme la capitale mexicaine des centres de données, une sécheresse prolongée a fortement réduit la surface d'un réservoir alors que les centres en expansion puisent dans des ressources déjà limitées. Aux Pays-Bas, le complexe de Microsoft à Middenmeer a consommé environ 84 millions de litres d'eau en 2021, bien au-delà des 12 à 20 millions estimés au départ, ce qui a nourri l'opposition des agriculteurs (Aczel et al., 2026).

En France, l'Arcep publie chaque année des chiffres détaillés. Les opérateurs de colocation qu'elle interroge ont prélevé directement 575 000 m³ d'eau en 2024, presque entièrement de l'eau potable. En y ajoutant l'eau consommée indirectement pour produire leur électricité, l'Arcep obtient environ 6,5 millions de m³, la consommation annuelle moyenne de plus de 100 000 personnes. Elle souligne que les besoins en eau des centres culminent pendant les épisodes de chaleur, quand la ressource devient critique, et qu'un quart des centres mis en service depuis moins de quatre ans utilisent de l'eau pour au moins un de leurs systèmes de refroidissement (Arcep, 2026).

3. Réseaux, sols et métaux

La pression sur l'électricité est elle aussi locale. Près de la moitié de la capacité américaine se concentre dans cinq pôles régionaux. En Virginie, les centres de données absorbent déjà environ 25 % de l'électricité, et six États américains dépassent 10 % (AIE, 2025). La fermeture d'une centrale au charbon de Virginie a même été reportée à 2045 au plus tôt pour répondre à cette demande (Aczel et al., 2026). En Irlande, leur part a atteint 23 % de l'électricité mesurée en 2025, contre 5 % en 2015, davantage que l'ensemble des ménages urbains (CSO, 2026). Le gestionnaire de réseau EirGrid a longtemps suspendu les nouveaux raccordements de centres de données dans la région de Dublin (Aczel et al., 2026).

23 %

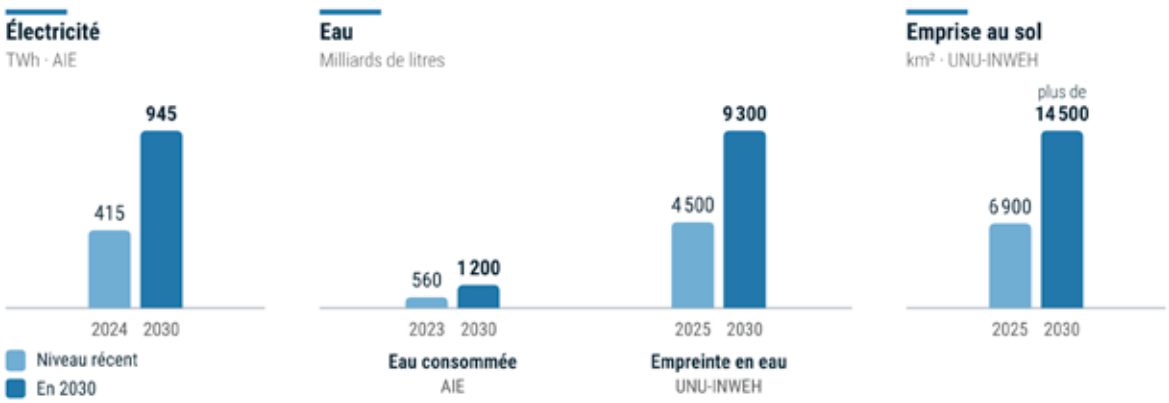
de l'électricité mesurée en Irlande absorbée par les centres de données en 2025, contre 5 % en 2015

CSO, 2026

Les files d'attente de raccordement s'allongent. L'AIE relève des délais pouvant atteindre sept ans dans le nord de la Virginie et en Allemagne, et dix ans aux Pays-Bas. Elle estime qu'environ 20 % des projets prévus risquent d'être retardés faute de réseau, alors que la construction d'une ligne de transport peut prendre quatre à huit ans dans les économies avancées (AIE, 2025).

Viennent ensuite les sols et la matière. Selon l'UNU-INWEH, l'emprise au sol de l'électricité consommée par les centres de données atteindrait en 2030 environ dix fois la superficie de la ville de Mexico. Les serveurs dépendent de minerais critiques, dont l'extraction consomme elle-même énergie, eau et sols, souvent dans des pays où la protection de l'environnement est plus faible (Aczel et al., 2026). La demande de gallium des centres de données pourrait dépasser 10 % de l'offre mondiale actuelle en 2030, alors que la Chine assure environ 99 % du raffinage (AIE, 2025). En fin de vie, le matériel de l'IA pourrait produire jusqu'à 2,5 millions de tonnes de déchets électroniques par an d'ici 2030 (Aczel et al., 2026).

Figure 1 | Projections d'empreinte à l'horizon 2030



Note. Projections de l'AIE (2025) et de l'UNU-INWEH (Aczel et al., 2026), issues d'années de référence et de méthodes distinctes. Les prélèvements et la consommation d'eau sont des indicateurs différents. L'emprise au sol associée à la production d'électricité ne correspond pas à la seule surface des bâtiments ; les panneaux ne constituent pas une série homogène de l'empreinte totale de l'IA.

LIRE LES CHIFFRES SUR L'EAU

1. **Prélever ou consommer.** Un prélèvement désigne toute l'eau retirée d'une rivière, d'une nappe ou d'un réseau. La consommation n'en retient que la part non restituée, celle qui s'évapore notamment. L'Arcep rappelle qu'une eau restituée n'est pas sans effet, car elle peut revenir réchauffée ou polluée, ailleurs ou plus tard.
2. **Direct ou indirect.** Selon l'AIE, le refroidissement sur site ne pesait en 2023 qu'environ un quart de la consommation d'eau des centres de données, les deux tiers venant de la production d'énergie, combustibles et électricité. Un indicateur limité au site, comme l'efficacité hydrique (WUE), laisse donc échapper l'essentiel.
3. **Deux méthodes, un écart de un à huit.** Pour 2030, l'UNU-INWEH évalue l'empreinte en eau de l'électricité consommée par les centres à près de huit fois l'estimation de l'AIE (figure 1). Le rapport applique à toute cette électricité une intensité moyenne mondiale d'eau par kilowattheure. Les deux chiffres ne reposent donc pas sur la même méthode.
4. **Bas carbone ne veut pas dire sobre en eau.** Au Brésil, en Suisse et en Suède, l'électricité émet peu de carbone, mais son intensité en eau dépasse le double de la moyenne mondiale, comme au Canada (Aczel et al., 2026). Sur un site, à l'inverse, les techniques qui utilisent de l'eau peuvent être plus économes en énergie, en particulier en climat chaud (Arcep, 2026). Un projet se juge donc sur toutes ses empreintes à la fois.

Règle minimale. Publier séparément l'eau prélevée et l'eau consommée, directe et indirecte, et les rapporter à la situation du bassin.

4. Ce que l'on mesure, ce que l'on ignore

Le premier obstacle est l'information. L'indicateur le plus répandu, l'efficacité énergétique ou PUE, rapporte la consommation totale d'un site à celle de ses équipements informatiques. En France, il s'améliore, de 1,46 en 2023 à 1,42 en 2024 pour les centres suivis par l'Arcep, et atteint 1,30 pour ceux mis en service depuis 2014. Dans le même temps, la consommation de ces centres a progressé de 12 % pour atteindre 2,7 TWh, et l'Île-de-France en concentre plus de 70 % (Arcep, 2026). Le PUE ne dit rien de cette croissance, ni de l'eau, ni du carbone de l'électricité.

La comptabilité des émissions liées à l'électricité achetée appelle également une lecture attentive. Le GHG Protocol, référentiel international de comptabilisation des émissions de gaz à effet de serre, distingue deux méthodes : l'une repose sur les émissions moyennes du réseau électrique utilisé ; l'autre tient compte des contrats et certificats d'électricité de l'entreprise, sous réserve de critères de qualité. Pour une même quantité d'électricité consommée, ces méthodes peuvent aboutir à des émissions comptabilisées différentes, sans que cet écart traduise à lui seul une réduction des émissions physiques du réseau. Selon ses lignes directrices de 2015, les organisations qui appliquent ce référentiel doivent présenter les deux résultats lorsqu'elles exercent des activités sur des marchés proposant de tels instruments contractuels (WRI et WBCSD, 2015).

L'Union européenne a commencé à combler le vide. Depuis 2024, les centres de données d'au moins 500 kW de puissance informatique installée doivent rendre publiques chaque année, sauf secret des affaires ou confidentialité, leur consommation d'énergie, leur usage de l'eau, leur recours aux énergies renouvelables et la réutilisation de leur chaleur fatale (directive (UE) 2023/1791, art. 12). Dans sa version de 2024, le règlement de notation ne prévoit en revanche aucun indicateur sur les déchets électroniques, et la base européenne qui centralise ces données n'est diffusée que sous forme agrégée, par État membre et pour l'Union (règlement délégué (UE) 2024/1364).

À l'échelle mondiale, le Secrétaire général des Nations unies a lancé le 23 juin 2026 une initiative pour la transparence environnementale de l'IA. Elle appelle les grandes entreprises du secteur à publier l'ensemble des impacts environnementaux de leurs systèmes et à s'engager à alimenter tous leurs centres de données en énergie renouvelable d'ici 2030. « Fini les coûts cachés », a résumé António Guterres (UNU-INWEH, 2026, traduction de la rédaction). En Europe, le *Climate Neutral Data Centre Pact*, initiative volontaire réunissant notamment AWS, Google, Equinix, OVHcloud et des associations professionnelles, prévoit des objectifs d'efficacité hydrique adaptés aux conditions locales. Son texte de 2025 retient notamment un maximum de 0,4 litre d'eau par kilowattheure consommé par les équipements informatiques pour certains nouveaux centres en climat frais et en zone de stress hydrique, avec des seuils modulés selon le climat et la ressource en eau utilisée. Ces engagements restent volontaires.

5. Ce que cela change pour l'espace francophone

L'espace francophone reflète les fortes inégalités de répartition des infrastructures numériques. La France et le Canada figurent parmi les principaux pays d'accueil de centres de données (Aczel et al., 2026). L'Afrique, à l'inverse, consommait moins de 1 kWh d'électricité de centres de données par habitant en 2024, contre environ 540 kWh aux États-Unis. Les économies émergentes et en développement hors Chine, qui comptent la moitié des internautes du monde, disposent de moins de 10 % de la capacité mondiale (AIE, 2025). Le calcul spécialisé pour l'IA est lui aussi concentré : un recensement publié en 2025 auprès de neuf grands fournisseurs de cloud, seuls 32 pays (dont 9[1] membres, associés ou observateurs de l'OIF) accueillent des centres spécialisés dans l'IA, et plus de 150 n'en ont aucun (Aczel et al., 2026). Ce recensement ne couvre pas toutes les infrastructures publiques et privées, mais souligne un enjeu commun **:** élargir l'accès au calcul tout en renforçant la maîtrise des données, des compétences et des choix technologiques.

Héberger ses données à l'étranger déplace les impacts sans les supprimer. Les pays dépourvus de centres de données échappent aux pressions locales sur l'eau, les sols et l'air, mais dépendent de services coûteux hébergés ailleurs, ce qui touche leur souveraineté numérique, souligne l'UNU-INWEH. L'AIE observe que, dans les régions où les coupures sont fréquentes, exploiter un centre de données peut être risqué ou coûteux, ce qui rend l'hébergement à l'étranger plus attrayant pour les entreprises. À l'inverse, les pays dotés d'une électricité fiable et abordable sont les mieux placés pour accueillir ces centres, qui peuvent servir de point d'ancrage à de nouveaux projets électriques bas carbone (AIE, 2025).

Des projets de grande taille apparaissent aussi au Sud Global. La ministre déléguée marocaine chargée de la Transition numérique a annoncé en 2025 un centre de 500 MW entièrement alimenté par des énergies renouvelables à Dakhla. L'annonce, telle que rapportée par la presse, ne précise ni ses besoins en eau ni son mode de refroidissement (TelQuel, 2025). Or l'AIE

1 Belgique, Canada, France et Suisse, membres de plein droit ; Émirats arabes unis, membre associé ; Autriche, Chili, Corée du Sud, Irlande, Pologne et Thaïlande, observateurs.



rappelle que le nombre de personnes exposées au stress hydrique devrait augmenter d'au moins 50 % d'ici 2050 avec le changement climatique, et qu'implanter les nouveaux centres dans des zones de faible stress hydrique est un moyen simple et direct de tenir les objectifs de durabilité (AIE, 2025).

Le Québec montre qu'une puissance publique peut garder la main. Un régime d'autorisation encadre depuis 2023 le raccordement de projets électriques de 5 MW ou plus, dans le champ et selon les exceptions prévus par les textes applicables, selon des critères publics qui portent notamment sur la capacité du réseau, les retombées économiques et régionales, l'impact environnemental et social et la cohérence avec les orientations gouvernementales. L'agrandissement d'un centre de données à Pointe-Claire figure parmi les projets autorisés (Gouvernement du Québec, 2023 et 2026). En France, le guide d'implantation publié en 2025 par la Direction générale des entreprises recommande, dans les zones régulièrement soumises au stress hydrique, des refroidissements peu consommateurs d'eau plutôt que des tours aéroréfrigérantes ou le refroidissement adiabatique (Arcep, 2026). Pour les pays francophones qui veulent héberger leurs propres capacités de calcul, la question n'est donc pas de savoir s'il faut des centres de données, mais lesquels, où et à quelles conditions.

RECOMMANDATIONS

01.

Aux autorités d'aménagement et aux agences de l'eau

Soumettre chaque projet à une étude d'impact sur l'eau qui tienne compte du stress hydrique du bassin et des sécheresses, et réserver les zones tendues aux refroidissements sobres en eau.

02.

Aux gestionnaires de réseau et aux régulateurs

Planifier les raccordements avec la production bas carbone disponible, publier les files d'attente et conditionner l'accès au réseau à des critères publics, comme le fait le Québec.

03.

Aux ministères et aux acheteurs publics

Exiger de chaque site une déclaration annuelle, vérifiée et publique, de l'électricité, de l'eau prélevée et consommée, des émissions selon les deux méthodes et des déchets, et en faire un critère des appels d'offres.

04.

Aux exploitants de centres de données

Adapter le refroidissement au climat local, publier l'efficacité hydrique à côté de l'efficacité énergétique, valoriser la chaleur fatale et allonger la durée de vie des serveurs.

05.

À la coopération francophone

Étudier avec les partenaires compétents un socle commun de mesure, la faisabilité d'un observatoire francophone des centres de données et les possibilités de mutualisation régionale de capacités sobres, dans le cadre des mandats et des moyens disponibles.



RÉFÉRENCES

Aczel, M., Chamanara, S., Matin, M., Farsi, A., Marwala, T. et Madani, K. (2026). Environmental Cost of AI's Energy Use: Carbon, Water and Land Footprints. UNU-INWEH, Richmond Hill (Ontario, Canada). doi:10.53328/INR26RMA002

AIE (2025). Energy and AI. Agence internationale de l'énergie, Paris, avril 2025.

AIE (2026). Key Questions on Energy and AI. Agence internationale de l'énergie, Paris, 16 avril 2026.

Arcep (2026). Enquête annuelle « Pour un numérique soutenable », 5e édition, données 2024. Paris, mai 2026.

CSO (2026). Data Centres Metered Electricity Consumption 2025. Central Statistics Office, Irlande, 7 juillet 2026.

Gouvernement du Québec (2023 et 2026). Critères d'analyse des projets de 5 MW et plus, communiqué du 12 mai 2023, et page « Obtenir l'autorisation pour le raccordement », mise à jour le 5 mai 2026.

TelQuel (2025). Dakhla : un data center de 500 MW pour renforcer la souveraineté numérique du Maroc. 10 juillet 2025.

Union européenne (2023 et 2024). Directive (UE) 2023/1791 relative à l'efficacité énergétique, art. 12, JOUE L 231, 20 septembre 2023, et règlement délégué (UE) 2024/1364 sur le système commun de notation des centres de données, JOUE, 17 mai 2024.

UNU-INWEH (2026). UN Secretary-General launches AI Environmental Transparency Initiative. Communiqué, 23 juin 2026.

WRI et WBCSD (2015). GHG Protocol Scope 2 Guidance. World Resources Institute, Washington.



05

Synthèse des travaux de l'Arcep et de l'ADEME sur la mesure et la régulation de l'empreinte du numérique

On ne régule bien que ce que l'on mesure. En donnant à son régulateur des télécoms le pouvoir d'exiger des données environnementales, la France s'est dotée d'un suivi annuel du secteur. Il reste à l'étendre à l'IA, dont les fournisseurs publient encore très peu.

Pour réduire l'empreinte environnementale du numérique, il faut d'abord la connaître. La France a confié cette tâche à son régulateur des télécommunications. Depuis la fin de 2021, l'Arcep peut exiger des données environnementales de plusieurs catégories d'acteurs du numérique, notamment des opérateurs télécoms, des fabricants de terminaux et des opérateurs de centres de données, et depuis 2024 des fournisseurs de services cloud. Selon l'ADEME, qui a mis à jour l'étude menée avec l'Arcep, le numérique représentait 4,4 % de l'empreinte carbone du pays en 2022. Cet article décrit ce dispositif, ce qu'il a appris, ce qu'il ne voit pas encore de l'IA et ce qu'il peut apporter aux autres pays francophones.

1. Un régulateur des télécoms face à l'environnement

L'environnement ne faisait pas partie des missions historiques de l'Arcep, dont le rôle premier est d'ouvrir les télécommunications à la concurrence et de veiller au déploiement des réseaux. Le sujet s'est imposé avec le débat sur la 5G, quand la société civile s'est interrogée sur ses effets environnementaux. Le régulateur, expert technique et économique, a choisi de répondre par les données (Fratel, 2025).

La loi du 23 décembre 2021 lui en a donné les moyens. Elle permet à l'Arcep de recueillir les informations sur l'empreinte environnementale du secteur auprès des opérateurs télécoms, mais aussi des fournisseurs de services de communication au public en ligne, des opérateurs de centres de données, des fabricants de terminaux et d'équipements de réseau et des fournisseurs de systèmes d'exploitation. La loi de 2024 visant à sécuriser et à réguler l'espace numérique, dite SREN, y a ajouté les fournisseurs de services d'informatique en nuage. Les acteurs visés par une décision de collecte de données environnementales de l'Arcep qui ne se conforment pas à une mise en demeure s'exposent à une sanction pouvant atteindre 3 % de leur chiffre d'affaires mondial, et 5 % en cas de récidive (République française, 2020-2025). Chaque année, l'Arcep dresse dans son enquête annuelle « Pour un numérique soutenable » un bilan de l'empreinte environnementale des services de communications électroniques, des terminaux, des centres de données et des équipements de réseaux fixes et mobiles (Arcep, 2026a).

3 %

du chiffre d'affaires mondial, plafond de la sanction pour les entreprises en manquement

CPCE, art. L. 36-11

Ce pouvoir de collecte s'inscrit dans un ensemble de textes adoptés en quelques années (figure 1). La loi AGEC de 2020 oblige les fournisseurs d'accès à internet à indiquer à chaque abonné la quantité de données qu'il consomme et son équivalent en gaz à effet de serre, selon une méthode de l'ADEME. La loi REEN du 15 novembre 2021 a créé un observatoire des impacts environnementaux du numérique, dont l'ADEME et l'Arcep assurent le secrétariat. La loi REEN impose également aux communes de plus de 50 000 habitants une stratégie numérique responsable et introduit la sobriété numérique à l'école, à l'université et dans les écoles d'ingénieurs (République française, 2020-2025).

2. Une enquête chaque année, une étude sur tout le cycle de vie

Depuis 2022, l'Arcep publie une enquête annuelle « Pour un numérique soutenable », qui présente des indicateurs issus de la collecte de données auprès des acteurs du numérique afin de suivre l'évolution de leur empreinte environnementale. Seules sont interrogées les entreprises qui dépassent les seuils fixés par l'Arcep pour leur catégorie d'acteurs, qu'il s'agisse du chiffre d'affaires, de la puissance informatique installée ou du nombre d'abonnements actifs. La cinquième édition, parue le 21 mai 2026, porte sur l'année 2024. Elle couvre les quatre principaux opérateurs, 23 fabricants de terminaux, 23 opérateurs de centres de données, les équipementiers de réseaux mobiles et, pour la première fois, huit fabricants de câbles en fibre optique. La production des câbles vendus en France a demandé 170 GWh en France et à l'étranger, l'équivalent de 26 % de l'énergie consommée par les réseaux fixes en France (Arcep, 2026a).

Les résultats sont contrastés. Chez les opérateurs télécoms, la consommation d'électricité et les émissions de gaz à effet de serre se stabilisent sans encore reculer. Les réseaux fixes et mobiles ont consommé 4,1 TWh en 2024, un niveau stable pour la première fois après six années de hausse, soit moins de 1 % de l'électricité du pays. Les opérateurs ont émis 401 000 tonnes de gaz à effet de serre, 1 % de plus qu'en 2023. Les box et décodeurs installés chez les abonnés consomment à eux seuls 3,4 TWh. Contrairement aux opérateurs télécoms, les opérateurs de centres de données ont vu leurs émissions augmenter de 23 % en un an, et leur consommation d'électricité de 12 %. Pour les terminaux étudiés, la fabrication concentre plus de 80 % des émissions. Ce résultat ne signifie pas que les terminaux dominent toutes les catégories de l'empreinte numérique : l'ACV actualisée leur attribue une part proche de celle des centres de données. Les mises sur le marché de certains terminaux repartent à la hausse, et la taille des écrans continue de croître. Sur 19 millions de téléphones vendus en France en 2024, 20 % étaient reconditionnés, une part en hausse pour la quatrième année consécutive, mais 4 % seulement chez les opérateurs, contre 29 % dans les autres circuits de vente (Arcep, 2026a).

Cette collecte, réalisée chaque année auprès d'acteurs de l'ensemble de la chaîne de valeur du numérique, permet d'évaluer et de suivre l'évolution des impacts environnementaux associés à plusieurs phases du cycle de vie des équipements. Elle ne permet toutefois pas, à elle seule et à ce stade, d'évaluer l'empreinte environnementale globale du numérique en France pour une année donnée. Pour disposer d'une telle évaluation, l'ADEME et l'Arcep ont mené une étude commune à la demande du gouvernement, fondée sur une analyse de cycle de vie. Publiée en janvier 2022, elle attribuait au numérique 2,5 % de l'empreinte carbone de la France et 10 % de sa consommation d'électricité en

2020, les terminaux représentant 79 % de cette empreinte (ADEME et Arcep, 2022). Son volet prospectif concluait en 2023 qu'à tendance inchangée, l'empreinte augmenterait d'environ 45 % d'ici 2030 et pourrait tripler d'ici 2050 (ADEME et Arcep, 2023). La mise à jour publiée par l'ADEME en 2025, sur l'année 2022, aboutit à 4,4 % de l'empreinte nationale et 11 % de l'électricité (ADEME, 2025). L'encadré explique d'où vient l'écart.

4,4 %

de l'empreinte carbone de la France due au numérique en 2022, et 11 % de son électricité

ADEME, 2025

+45 %

d'empreinte carbone du numérique entre 2020 et 2030 si rien ne change, un triplement d'ici 2050

ADEME et Arcep, 2023

3. L'IA, angle mort de la mesure

L'IA générative change l'échelle du problème. Selon le Baromètre du numérique, étude par sondage pilotée par l'Arcep, le CGE, l'ANCT et l'Arcom, 48 % des Français l'utilisaient en 2025, contre 20 % en 2023. Pour l'Arcep, les centres de données sont la composante structurante de ses impacts environnementaux. Ces impacts restent pourtant mal connus. L'Arcep rappelle qu'une étude scientifique portant sur 754 modèles déployés jusqu'au début de 2025 a constaté que 84 % d'entre eux ne s'accompagnent d'aucune information environnementale, et 2 % seulement d'une mesure directe (Arcep, 2026b).

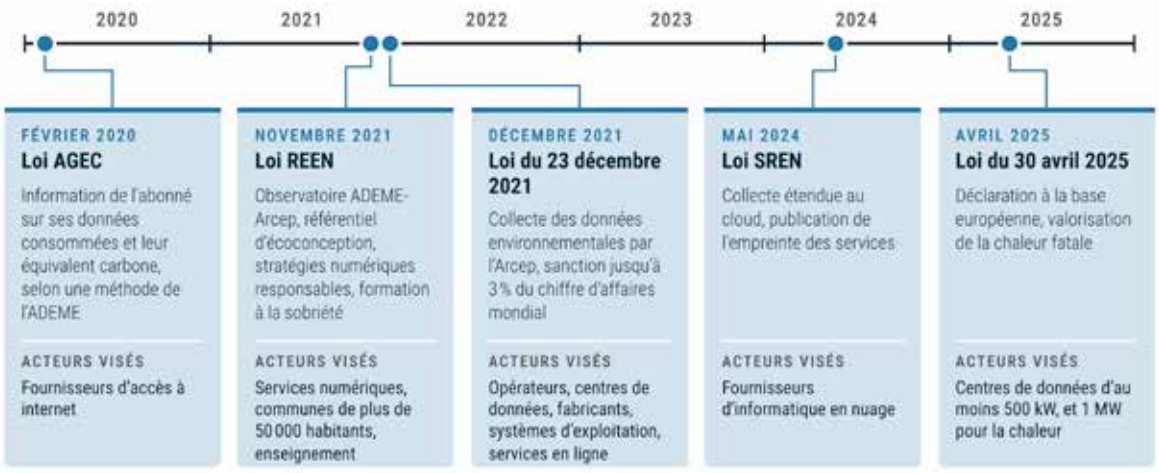
84 %

des 754 modèles d'IA étudiés ne s'accompagnent d'aucune information environnementale

Arcep, 2026b

Les tests sur la consommation électrique de la phase d'inférence menés par l'Arcep avec le Pôle d'expertise de la régulation numérique (PEReN) sur 22 modèles à poids ouverts montrent que les choix techniques pèsent lourd dans le protocole et sur les modèles testés ; les moyennes suivantes ne sont pas des facteurs universels de réduction. Les modèles à « mélange d'experts » consomment en moyenne 45 % de moins que des modèles denses de taille comparable. La compression des modèles réduit la consommation de 39 % en moyenne. Le mode « raisonnement » l'augmente au contraire de 92 % en moyenne. Pour l'Arcep, limiter la consommation électrique des modèles ne revient donc pas forcément à sacrifier la performance (Arcep, 2026b).

Figure 1 | Les principaux textes français



Note. Figure établie par la rédaction à partir des textes en vigueur en octobre 2026 (République française, 2020-2025).

DE 2,5 % À 4,4 %, LIRE L'ÉVOLUTION D'UN CHIFFRE

1. **Le périmètre.** La mise à jour de 2025 compte les centres de données situés à l'étranger, qui hébergent environ 53 % des usages français. Les intégrer dès l'étude de 2020 aurait déjà relevé les émissions de 47 %. Au total, les émissions calculées sont 70 % plus élevées que dans l'étude précédente.
2. **À périmètre égal.** Sans les centres de données à l'étranger, la hausse ne dépasse pas 20 %, et elle tient surtout à l'évolution du parc de téléviseurs.
3. **Les parts.** Le recul de la part des terminaux, de 79 % à 50 %, s'explique par la même raison. Les centres de données représentent désormais 46 % de l'empreinte, les réseaux 4 %.
4. **L'électricité.** La part du numérique passe de 10 % à 11 % de l'électricité française alors que sa consommation baisse, parce que la consommation totale du pays a diminué entre 2019 et 2022 (ADEME, 2025).

À retenir. **Un chiffre national ne se lit qu'avec son périmètre, et une série ne se compare qu'à méthode constante.**

La France commence à combler ce vide. La décision de collecte adoptée par l'Arcep en décembre 2025 étend l'enquête aux fournisseurs de cloud et y ajoute des indicateurs sur les serveurs consacrés à l'entraînement et à l'inférence de l'IA générative, avec de premiers résultats attendus au printemps 2027 (Arcep, 2026a). L'Arcep a également lancé une consultation publique, qui s'est achevée le 30 septembre 2026, pour intégrer à sa campagne de collecte de données de 2027 les fournisseurs de services d'IA générative (Arcep, 2026c). Une collecte nationale reste toutefois limitée face à des fournisseurs mondiaux. L'Arcep recommande donc de confier aux régulateurs nationaux des communications électroniques un mandat européen de collecte des données environnementales sur toute la chaîne de valeur de l'IA. Les obligations de documentation prévues par le règlement européen sur l'IA reposent en effet largement sur la capacité et la volonté des fournisseurs de produire ces données (Arcep, 2026b).

Le rapport de l'Arcep « Intelligence artificielle générative : quels défis environnementaux ? » formule au total neuf recommandations, réparties en quatre axes. Au-delà de la mesure, il propose d'intégrer l'écoconception des services d'IA dans la régulation européenne des fournisseurs, de renforcer l'écoconditionnalité des aides à l'innovation et de la commande publique, d'imposer plus de transparence aux fabricants de puces et aux grands fournisseurs de modèles, et d'encourager une implantation concertée des centres de données sur le territoire (Arcep, 2026b).

4. Réduire, entre obligations et engagements volontaires

Mesurer ne suffit pas à réduire. Pour agir à la source, l'Arcep et l'Arcom ont publié en mai 2024, en lien avec l'ADEME, un référentiel général d'écoconception des services numériques. Ses 78 critères prennent la forme de questions concrètes, comme « Le service numérique est-il utilisable sur d'anciens modèles de terminaux ? ». Ils sont répartis en neuf thèmes, de la stratégie aux algorithmes, et les sept critères de ce dernier thème portent sur l'entraînement et l'inférence. Le référentiel reste toutefois non contraignant (Arcep et Arcom, 2024).

Les obligations portent surtout sur l'information et sur les centres de données. Depuis 2022, chaque abonné doit être informé des données qu'il consomme et de leur équivalent carbone. Le droit européen oblige en outre les exploitants des centres de données d'au moins 500 kW de puissance informatique à déclarer chaque année leur performance énergétique dans une base européenne (Union européenne, 2023 et 2024). Depuis 2026, l'Arcep y transmet les données des centres qu'elle interroge déjà, ce qui leur évite une double déclaration. La loi du 30 avril 2025 prévoit également des dispositions relatives à la récupération de chaleur des centres de données ; leur champ, les conditions technico-économiques et les exceptions doivent être lus dans les textes d'application (République française, 2020-2025).

La mesure a elle aussi ses angles morts. L'enquête suit les émissions directes des fabricants et celles de leur électricité. Or une partie d'entre eux sous-traitent la production des composants, et les émissions indirectes qui en découlent ne sont pas encore couvertes par la collecte. L'Arcep juge nécessaire de l'étendre à ce périmètre dans les années à venir, pour les fabricants comme pour l'ensemble des entreprises du numérique (Arcep, 2026a).

5. Ce que l'expérience française peut offrir à l'espace francophone

L'expérience française reste rare. En 2023, quatre régulateurs européens seulement, en Belgique, en Espagne, en Finlande et en France, intégraient des questions environnementales dans leurs collectes de données (BEREC, 2023). En Belgique, l'IBPT, qui étudie la durabilité des

réseaux depuis 2022, constatait en 2025 qu'aucun opérateur ne pouvait présenter d'indicateurs quantitatifs pour suivre l'effet de ses initiatives (IBPT, 2025). La Banque mondiale a consacré la même année une étude de cas au dispositif de l'Arcep, qu'elle présente comme une feuille de route pour les régulateurs qui envisagent une démarche semblable (Banque mondiale et UIT, 2025).

Le réseau francophone de la régulation des télécommunications, Fratel, qui compte une cinquantaine de membres sur cinq continents, s'est emparé du sujet. Pour Laure de La Raudière, présidente de l'Arcep et du réseau en 2025, l'empreinte environnementale du numérique « est aujourd'hui incontournable et constitue un nouveau chapitre de la régulation ». La réunion annuelle de Luxembourg, en octobre 2025, a consacré une table ronde au numérique soutenable, sous la présidence du régulateur ivoirien (Fratel, 2025).

La représentante de l'Union internationale des télécommunications y a résumé la marche à suivre pour un régulateur qui débute. Obtenir un mandat de collecte, associer les acteurs dès le départ, commencer par des indicateurs normalisés et les données des opérateurs avant d'étendre la collecte aux centres de données et aux terminaux, développer une expertise interne et travailler avec les agences de l'environnement. Elle a aussi invité les régulateurs à rejoindre le sous-groupe de l'UIT consacré aux indicateurs nationaux d'émissions de gaz à effet de serre, créé en 2025 et reconduit pour 2026 (Fratel, 2025). En 2026, 13 pays ont participé dans ce cadre à des exercices pilotes de collecte de données environnementales, de la préparation à la collecte effective. Le rapport du sous-groupe, présenté en septembre 2026, tire les enseignements de ces exercices et encourage les pays à les poursuivre et à en lancer de nouveaux, avec le soutien de l'UIT (UIT, 2026).

C'est le chemin parcouru par la France, de la première enquête, sur l'année 2020, à l'extension de la collecte au cloud en 2026. Pour les pays francophones qui accueillent de nouveaux centres de données ou voient l'IA se diffuser, le pouvoir de demander les chiffres doit précéder les grands investissements, et non les suivre.

RECOMMANDATIONS

01.

Aux gouvernements francophones

Confier au régulateur des communications électroniques un mandat légal de collecte des données environnementales, avec des seuils, un calendrier annuel et une sanction en cas de refus.

02.

Aux régulateurs réunis dans Fratel

Adopter un socle commun d'indicateurs normalisés, commencer par les opérateurs puis étendre la collecte aux centres de données et aux terminaux, et publier les résultats chaque année.

03.

Aux agences de l'environnement

Mesurer avec le régulateur l'empreinte environnementale nationale du numérique sur tout le cycle de vie, centres de données à l'étranger compris, et garder une méthode constante.

04.

Aux fournisseurs d'IA et de cloud

Publier l'énergie, l'eau et les émissions de l'entraînement et de l'inférence, et transmettre ces données aux autorités publiques qui les demandent.

05.

A l'espace francophone

Examiner, avec les régulateurs et les partenaires compétents, les possibilités d'entraide, de formation et de partage de méthodes, notamment en lien avec l'UIT et la Banque mondiale, dans le cadre des mandats et des moyens disponibles.

RÉFÉRENCES

ADEME (2025). Évaluation de l'impact environnemental du numérique en France. Mise à jour de l'étude ADEME-Arcep, rapport final. Angers, janvier 2025.

ADEME et Arcep (2022 et 2023). Évaluation de l'impact environnemental du numérique en France et analyse prospective, 2e volet (19 janvier 2022) et 3e volet, analyse prospective à 2030 et 2050 (6 mars 2023).

Arcep (2026a). Enquête annuelle « Pour un numérique soutenable », 5e édition, données 2024. Paris, 21 mai 2026.

Arcep (2026b). Intelligence artificielle générative : quels défis environnementaux ? Avec le PEReN. Paris, mai 2026.

Arcep (2026c). Décision relative à la mise en place d'une collecte annuelle de données environnementales, projet soumis à consultation publique du 24 juillet au 30 septembre 2026. Paris.

Arcep et Arcom (2024). Référentiel général de l'écoconception des services numériques (RGESN), version 2024. Paris, 17 mai 2024.

Banque mondiale et UIT (2025). Measuring National ICT Sector Environmental Impact: Arcep Case Study. Washington et Genève, 11 mars 2025.

BEREC (2023). Report on Sustainability Indicators for Electronic Communications Networks and Services. BoR (23) 166, 5 octobre 2023.

Fratel (2025). Rapport d'activité 2025, 23e réunion annuelle, Luxembourg, 9 et 10 octobre 2025.

IBPT (2025). Communication du Conseil du 19 septembre 2025 concernant l'étude relative à la durabilité des réseaux de télécommunications en Belgique. Bruxelles.

République française (2020-2025). Lois n° 2020-105 du 10 février 2020, art. 13, n° 2021-1485 du 15 novembre 2021, n° 2021-1755 du 23 décembre 2021, n° 2024-449 du 21 mai 2024 et n° 2025-391 du 30 avril 2025 ; décret n° 2025-1382 du 29 décembre 2025 ; CPCE, art. L. 32-4, L. 36-11 et L. 135.

UIT (2026). Report of the EGTI Subgroup on National Greenhouse Gas Emission Monitoring Indicators for the ICT Sector. Genève, 25 août 2026.

Union européenne (2023 et 2024). Directive (UE) 2023/1791 relative à l'efficacité énergétique, art. 12, JOUE L 231, 20 septembre 2023, et règlement délégué (UE) 2024/1364 sur le système commun de notation des centres de données, JOUE, 17 mai 2024.

La frugalité consiste à questionner la pertinence de l'utilisation de l'IA, à mesurer son impact sur l'environnement et à adopter de bonnes pratiques pour le limiter. Les démonstrateurs DIAT ont été choisis car ils allient les deux aspects de l'IA durable. Ils servent la transition écologique, tout en cherchant à réduire leur empreinte.

06

L'IA frugale à l'épreuve des territoires, quatre démonstrateurs de l'appel à projets DIAT



Charline Meyer,
Commissariat général au développement durable, ministère chargé de la Transition écologique



Maïlys Gonin,
Commissariat général au développement durable, ministère chargé de la Transition écologique

Alors que l'intelligence artificielle (IA) prend une place croissante dans les politiques publiques, son développement soulève une question. Comment mobiliser ses capacités au service de la transition écologique sans que les ressources nécessaires à son fonctionnement n'en réduisent les bénéfices environnementaux ? C'est à cette question que répond l'appel à projets « Démonstrateurs d'IA frugale au service de la transition écologique dans les territoires » (DIAT), piloté par l'Ecolab du Commissariat général au développement durable et le Secrétariat général pour l'investissement, et opéré par la Banque des Territoires.

1. Un appel à projets précurseur en termes de frugalité

Inscrit dans le plan d'investissement France 2030 et dans la stratégie nationale pour l'IA, l'appel à projets soutient le développement, en conditions réelles, de solutions fondées sur l'IA et la science des données pour répondre à des besoins concrets des territoires (ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, 2022). Les projets, portés par des consortiums public/privé, couvrent ainsi des domaines tels que la performance énergétique des bâtiments, la gestion de l'eau et des déchets, la biodiversité, la qualité de l'air, les mobilités ou l'aménagement. L'IA est utilisée pour mieux analyser une situation, anticiper son évolution, détecter des anomalies ou aider les acteurs publics à choisir entre plusieurs scénarios. Les solutions doivent cependant dépasser le stade du prototype. Leur fonctionnement est testé dans les collectivités et leur réplicabilité doit être anticipée afin qu'elles puissent être adaptées à d'autres territoires.

Cette mise en situation réelle s'accompagne d'une exigence de frugalité de l'IA. Les porteurs de projets doivent justifier le recours à l'IA par rapport à des solutions moins complexes ou moins consommatrices, limiter autant que possible les besoins en données et en calcul et prendre en compte l'empreinte environnementale du service numérique développé. La réutilisation de données ou d'infrastructures existantes est notamment privilégiée lorsque cela est possible. L'objectif n'est donc pas uniquement de mesurer le bénéfice environnemental permis par l'IA, mais de vérifier qu'il reste pertinent au regard des ressources mobilisées par la solution (SGPI et Banque des Territoires, 2022).

Le programme a été organisé en deux vagues. Les quatre premiers projets ont été annoncés en juin 2023 et les huit suivants en mai 2024 (France 2030, 2023 et 2024). Doté de 40 millions d'euros sur cinq ans, l'appel à projets a engagé 20 millions d'euros de subventions de France 2030 pour ces douze démonstrateurs (Banque des Territoires, 2023 et 2024).

12

Démonstrateurs retenus en deux vagues, quatre annoncés en 2023 et huit en 2024

France 2030, 2023 et 2024

20 M€

De subventions France 2030 pour les douze démonstrateurs

Banque des Territoires, 2024

Parmi eux, quatre projets illustrent la diversité des usages de l'IA pour la transition écologique (tableau 1). Les autres lauréats traitent notamment de biodiversité, de gestion de l'eau, de pollution de l'air ou d'urbanisme (GreenTech Innovation, 2024). Le ministère encourage aussi d'autres cas d'usage, en particulier pour l'adaptation au changement climatique (prévention des incendies, aménagement du territoire, végétalisation, suivi de l'érosion côtière…), dans le cadre de la mesure 51 du troisième Plan national d'adaptation au changement climatique, qui prépare la France à un réchauffement de 4 °C d'ici 2100 (ministère de la Transition écologique, 2025).

2. ViPARE, mesurer la propreté urbaine depuis un smartphone

ViPARE, pour « Villes Propres, Accueillantes et Respectueuses de l'Environnement », porté par un consortium réunissant la Ville de Metz, cheffe de file et terrain principal d'expérimentation, NAIA Science, chargée du développement technologique, et le Laboratoire Eau et Environnement de l'Université Gustave Eiffel, qui apporte son expertise scientifique, répond à une difficulté rencontrée par les services de propreté, mesurer objectivement l'état de l'espace public. Traditionnellement, les audits reposent sur des agents qui parcourent les rues et comptabilisent manuellement les déchets, une méthode chronophage et susceptible de varier selon les opérateurs. Le projet cherche à automatiser ce travail grâce à une application. À partir du flux vidéo d'un smartphone, l'IA détecte, caractérise et géolocalise les déchets présents sur la voirie. Les informations recueillies peuvent ensuite alimenter une cartographie de la propreté urbaine afin de cibler les interventions, identifier les zones où les déchets se concentrent et mesurer l'effet des opérations de nettoyage.

La frugalité a directement orienté la conception de la solution. L'analyse des images est réalisée sur le smartphone, plutôt que par l'envoi continu des vidéos vers des serveurs distants, afin de limiter les transferts de données et les besoins de stockage. Après l'audit, seules les informations utiles, telles que la nature, le nombre et la localisation des déchets, sont conservées. Le développement de la solution d'IA a donc dû concilier précision de la détection et capacité à fonctionner sur les smartphones déjà utilisés par les collectivités, y compris des modèles anciens. Ce choix permet de limiter le recours à des équipements plus puissants et contribue à l'objectif de frugalité du projet. En 2025, la solution était déjà utilisée par certains agents de propreté de Metz, et l'échéance du projet est prévue en 2027 avec sa généralisation.

3. VTID, un jumeau numérique mutualisé à l'échelle d'un département

Le projet Vendée Territoire Intelligent et Durable (VTID) part du principe qu'une collectivité ne peut anticiper efficacement les effets d'un aménagement, d'un risque climatique ou d'une politique énergétique sans disposer d'une connaissance précise de son territoire. Porté par le groupement d'intérêt public Vendée Numérique, il vise à constituer un socle numérique mutualisé à l'échelle du département. Sa composante centrale est le jumeau numérique de la Vendée, une représentation virtuelle en trois dimensions alimentée notamment par des photographies aériennes et des relevés LiDAR. L'IA permet de traiter ces volumes importants de données et de reconnaître automatiquement les différents éléments du territoire afin de les intégrer à la maquette numérique. L'objectif est de couvrir les 6 700 km² du département et environ 650 000 bâtiments, puis d'utiliser cette représentation pour développer des outils de simulation et d'aide à la décision.

Le jumeau numérique s'inscrit dans une infrastructure plus large comprenant notamment un réseau d'objets connectés et une plateforme d'interopérabilité, qui permet aux acteurs publics vendéens d'échanger leurs données. Le choix de mutualiser ces infrastructures à l'échelle départementale répond également à un objectif de sobriété. Il évite que chaque commune ou intercommunalité développe son propre réseau, sa plateforme de données ou sa maquette numérique. Le projet représente environ 2,4 millions d'euros, dont 1,1 million d'euros d'aide publique, et réunit autour de Vendée Numérique plusieurs acteurs spécialisés dans l'énergie, l'eau et la donnée territoriale, notamment le SYDEV, Vendée Eau, Géo Vendée et GéoFit.

Le premier cas d'usage opérationnel du jumeau numérique est le cadastre solaire, conçu par Géo Vendée. À partir du jumeau numérique, il évalue le potentiel photovoltaïque des toitures en tenant compte de leur configuration et de leur exposition au soleil. Depuis mars 2026, cet outil est déployé auprès des intercommunalités vendéennes et des espaces conseil France Rénov'. Il peut être utilisé par les particuliers pour apprécier le potentiel solaire de leur logement, mais aussi par les collectivités, en autoconsommation individuelle ou collective sur l'ensemble des toitures de la Vendée. Le même socle numérique peut servir à d'autres politiques publiques. Il permet notamment de simuler une submersion marine ou une inondation, d'étudier l'impact de certains projets d'aménagement ou encore de suivre l'évolution de l'artificialisation des sols.

Tableau 1 | Quatre démonstrateurs DIAT, ce que fait l'IA et ce que la frugalité impose

Projet	Porteur, territoire	Ce que fait l'IA	Choix de frugalité	Budget, échéance
ViPARE	Ville de Metz, avec NAIA Science et l'Université Gustave Eiffel	Détecte, caractérise et géolocalise les déchets sur la voirie depuis le flux vidéo d'un smartphone	Analyse sur le téléphone, pas d'envoi de vidéo, seules les informations utiles sont conservées	1,1 M€, dont 0,8 M€ d'aide Échéance 2027
VTID	GIP Vendée Numérique, avec le SYDEV, Vendée Eau, Géo Vendée et GéoFit	Reconnaît les éléments du territoire dans les photographies aériennes et relevés LiDAR du jumeau numérique départemental	Une seule plateforme et une seule maquette mutualisées pour toutes les collectivités du département	2,4 M€, dont 1,1 M€ d'aide Échéance 2027

Projet	Porteur, territoire	Ce que fait l'IA	Choix de frugalité	Budget, échéance
RECITAL	Ville de Noisy-le-Grand, avec EDF, eridanis et Efficacity	Optimisation des consommations énergétiques des bâtiments publics et propositions de rénovations	Frugalité en données et computationnelle	2,2 M€, dont 1,1 M€ d'aide Échéance 2026
IA.RBRE	TelesCoop, avec la Métropole de Lyon, l'Université Lumière Lyon 2 et le LIRIS	Identifie les zones plantables, les possibilités de densification végétale et de désimperméabilisation, et inventorie le végétal par IA	Frugalité computationnelle	2,4 M€, dont 1,6 M€ d'aide Échéance fin 2028

4. RECITAL, optimiser les consommations énergétiques et prioriser les rénovations

Le projet RECITAL, « Réduction Énergétique à Court Terme, Immédiate et À Long terme », est porté par la Ville de Noisy-le-Grand, avec EDF, eridanis et Efficacity, pour réduire la consommation énergétique de son patrimoine municipal, soit environ 200 bâtiments. Son point de départ est à la fois environnemental et budgétaire. Les audits réalisés par la ville estimaient à environ 80 millions d'euros les investissements nécessaires pour atteindre ses objectifs de rénovation énergétique, un montant difficilement compatible avec ses capacités financières. RECITAL cherche donc à réduire les consommations en agissant d'abord sur les usages, puis en ciblant les rénovations les plus efficaces.

Le projet vise à améliorer la connaissance du fonctionnement énergétique des bâtiments. Les consommations d'électricité, de gaz et d'eau sont croisées avec des données de température, d'humidité ou de CO_2 issues de capteurs, puis centralisées dans un hyperviseur énergie. Celui-ci permet aux services municipaux de suivre les consommations et de repérer des anomalies ou des marges d'économie. L'objectif est une baisse de 20 % à court terme et de 50 % à l'horizon 2030. À ce jour, une baisse de consommation de 15 % a déjà été constatée par rapport à la situation antérieure au déploiement. Elle ne concerne que l'optimisation énergétique des bâtiments et sera complétée par les gains des rénovations.



Le jardin d'Erevan, vu de l'allée André-Mure, Lyon 2e.

COMMENT LES LAURÉATS DIAT ONT-ILS ÉTÉ CHOISIS ?

Outre des critères généraux, le cahier des charges de la seconde vague retient cinq critères propres à l'IA (Banque des Territoires, 2023).

1. Intérêt technologique des solutions d'IA.
2. Intérêt fonctionnel des solutions d'IA.
3. Caractère innovant des solutions d'IA.
4. Caractère frugal des solutions d'IA : estimation ou calcul d'une balance environnementale favorable.
5. Transparence, explicabilité et interprétabilité des solutions d'IA.

L'IA intervient ensuite pour aider la ville à déterminer quels bâtiments rénover et dans quel ordre. Une première IA, dite de clustering, regroupe les bâtiments ayant des caractéristiques et des comportements énergétiques similaires afin d'identifier plus rapidement les interventions susceptibles d'être pertinentes. Une seconde compare différents scénarios de rénovation et recherche la programmation la plus efficace en tenant compte des économies d'énergie attendues, du coût des travaux et des budgets disponibles chaque année. RECITAL permet ainsi de raisonner à l'échelle de l'ensemble du patrimoine municipal plutôt que de décider séparément pour chaque bâtiment. Noisy-le-Grand prévoit 500 000 euros de travaux identifiés grâce à RECITAL, principalement sur les installations de chauffage et leurs réseaux de distribution. À plus long terme, certaines briques du projet pourraient être déployées dans d'autres territoires, à condition de les adapter aux caractéristiques de leur patrimoine immobilier et à la qualité des données disponibles.

La stratégie de frugalité repose sur une utilisation judicieuse des jeux de données, qui évite la redondance et privilégie la réutilisation, et sur une frugalité computationnelle. Des techniques de modélisation simples, de réduction de dimensions et de sélection de variables, limitent les besoins en calcul. Le projet arrive à échéance fin 2026, pour un budget total de 2,2 millions d'euros, dont 1,1 million d'euros d'aide de France 2030.

5. IA.rbre, identifier les zones plantables pour aménager le territoire

Le projet IA.rbre, porté par TelesCoop avec la Métropole de Lyon, l'Université Lumière Lyon 2 et le laboratoire LIRIS, répond à une question. Comment orienter les politiques publiques de végétalisation urbaine pour maximiser leurs impacts et renforcer la résilience des villes face au changement climatique ? Il s'appuie sur un catalogue de calques cartographiques pour identifier les zones plantables et les possibilités de densification végétale, afin d'améliorer le rafraîchissement urbain et l'habitabilité, ainsi que les possibilités de désimperméabilisation, ce qui aide les collectivités à mutualiser les coûts d'intervention et d'aménagement. Les décideurs et les agents disposent ainsi d'un score de plantabilité, de 0 à 10 pour chaque carré de 5 mètres de côté, qui combine 35 facteurs (réseaux souterrains, infrastructures de transport, espaces verts existants…) pondérés avec les services de la Métropole de Lyon (TelesCoop, 2026). De plus, ils ont accès à un atlas de vulnérabilité à la chaleur, croisant données sociales (INSEE), morphologie urbaine et zones climatiques locales (LCZ). Un inventaire du végétal, produit par IA à partir des relevés LiDAR et des orthophotographies, est également mis à disposition. Ces calques sont des outils d'accompagnement des politiques publiques.

La frugalité du projet tient d'abord au calcul. Le score de plantabilité repose sur un modèle déterministe et explicable, et le projet n'utilise pas de modèle de langage.

Le code est entièrement ouvert et les données sont mises à disposition du public via ecologie.data.gouv.fr, ce qui en fait un commun numérique réplicable et modifiable. Un guide d'installation est disponible sur GitHub, et Bordeaux Métropole s'est appuyée sur la méthode lyonnaise du calque de plantabilité pour son propre territoire (Bordeaux Métropole, 2025).

Le projet arrivera à échéance fin 2028, pour un budget total d'environ 2,4 millions d'euros, dont 1,6 million d'euros d'aide de France 2030.

RECOMMANDATIONS

01.

Aux collectivités et à leurs groupements

Exiger de tout projet d'IA la justification du recours à l'IA face à une solution plus simple, et privilégier les projets dont les porteurs adoptent de bonnes pratiques pour minimiser, lorsque l'IA est identifiée comme pertinente, leur empreinte environnementale (réutilisation de l'existant, choix proportionné du modèle, compression d'algorithmes…).

S'inspirer de cas d'usage déjà éprouvés et encourager les outils open source permettant une réplicabilité plus forte.

Mutualiser les socles numériques, réseau d'objets, plateforme, jumeau, à l'échelle départementale ou intercommunale.

02.

Aux financeurs et aux programmes nationaux

Conditionner l'aide à la mesure du bénéfice environnemental net des solutions d'IA et veiller au potentiel de réplication dans d'autres territoires.

03.

Aux pays francophones

Financer des solutions qui font l'objet de l'adoption de bonnes pratiques pour réduire leur empreinte environnementale, sur tout leur cycle de vie.

Accompagner les acheteurs publics dans la rédaction de clauses et de critères environnementaux pour leurs marchés.

RÉFÉRENCES

Banque des Territoires (2023). Appel à projets DIAT, cahier des charges de la vague 2.

Banque des Territoires (2024). IA et environnement : 12 territoires sélectionnés pour concevoir l'IA frugale au service de la transition écologique. Localtis, 13 septembre 2024.

Bordeaux Métropole (2025). Calque de plantabilité. data.gouv.fr, 30 avril 2025.

France 2030 (2023). Annonce des lauréats de l'appel à projets « Territoires intelligents et durables (TID) » et de son volet « intelligence artificielle ». 7 juin 2023.

France 2030 (2024). Dossier de presse VivaTech, lauréats de la vague 2 de DIAT. 22 mai 2024.

GreenTech Innovation (2024). Projets territoriaux, mis à jour le 1er juin 2026. greentechinnovation.fr/projets-territoriaux

Ministère de la Transition écologique (2025). Troisième Plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC-3), mesure 51. 10 mars 2025.

Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires (2022). Appel à projets « Démonstrateurs d'IA pour les transitions écologique et énergétique ». 5 septembre 2022.

SGPI et Banque des Territoires (2022). Appels à projets TID et DIAT, cahier des charges. Juillet 2022.

TelesCoop (2026). IA.rbre, site du projet. iarbre.fr

PARTIE III

L'IA COMME OUTIL DE SOUTENABILITÉ

Des exemples, du climat aux ressources, puis aux secteurs et aux territoires



Neuf articles regardent ici l'IA au travail, secteur par secteur, à partir d'exemples pris en Afrique, en Amérique du Nord, en Asie et en Europe. Ils commencent par les milieux naturels et le climat. Les modèles d'IA aident à combiner la protection et la restauration des écosystèmes et à suivre en mer les poissons et les espèces envahissantes. Ils prévoient désormais le temps plus vite et avec bien moins d'énergie, ce qui intéresse les nombreux pays où l'alerte aux catastrophes reste incomplète. Viennent ensuite les ressources, avec la gestion de l'eau, la riziculture bas carbone du delta du Mékong et l'énergie, où l'on se demande si l'IA peut changer les comportements de consommation. La partie passe enfin à l'activité économique et aux territoires. La ville est observée à Séville et à Nice, l'industrie manufacturière africaine au Cameroun et au Rwanda. Le tourisme ferme la marche. L'IA y sert aujourd'hui surtout à vendre des séjours, bien plus qu'à limiter la fréquentation des sites fragiles. La plupart des articles s'arrêtent aussi sur ce que l'outil ne remplace pas, à commencer par les équipes de terrain et la décision publique qui fixe l'objectif.

DANS CETTE PARTIE

7 P. 56
Optimiser les solutions fondées sur la nature grâce à l'intelligence artificielle
Andréa Ventimiglia et Odile Joblin

8 P. 60
IA et biodiversité marine, détecter plus tôt pour agir à temps
Manon Marco et Virginie Raybaud

9 P. 66
IA et réduction des risques climatiques, de la prévision à l'action
Adel Ben Youssef et Leila Dagher

10 P. 73
L'IA est-elle une solution pour mieux gérer une ressource en eau en tension ?
Slim Bouakez et Guillaume R. Féry

11 P. 80
Intelligence rurale et artificielle, les enseignements du delta du Mékong
Ngô Thị Thu Trang

12 P. 86
L'IA, au cœur de la transition énergétique, peut-elle modifier nos comportements ?
Jauad El Kharraz, Lanouar Charfeddine et Imane Abdel Jelil

13 P. 92
Forger une intelligence urbaine appropriée, les villes face aux défis de la durabilité
Adelina Zeqiri, Jihad Farah et Davide La Torre

14 P. 98
Intelligence artificielle et industrie intelligente en Afrique
Sama Mbang, Rafik Fekih, Jean-Bosco Byiringiro et Brando Okolo

15 P. 105
Intelligence artificielle et tourisme durable, optimiser la commercialisation ou gérer les capacités de charge ?
Adelina Zeqiri, Adjara Diouf et Cinzia Colapint

07

Optimiser les solutions fondées sur la nature grâce à l'intelligence artificielle



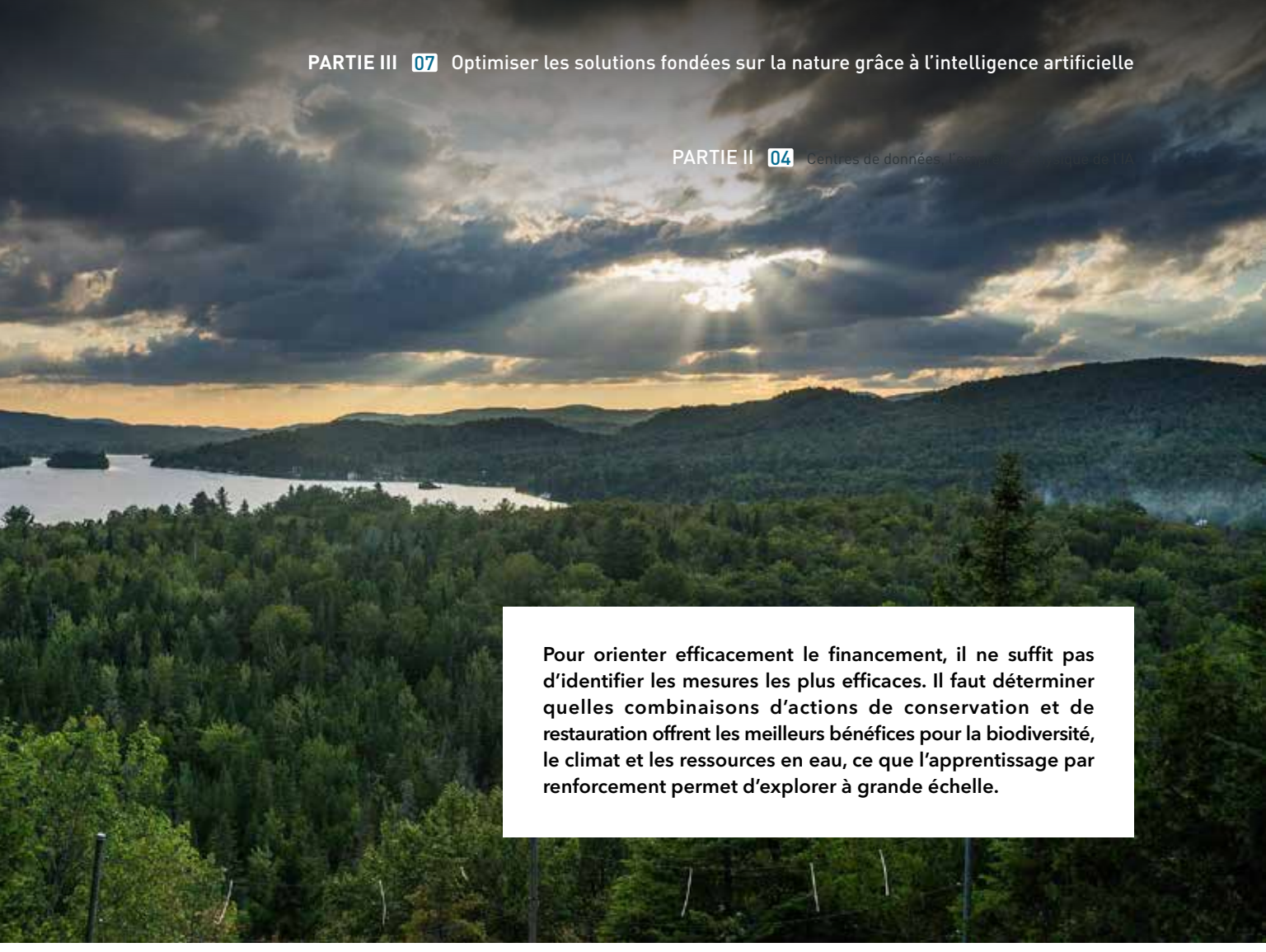


Andréa Ventimiglia,
Future Earth Canada,
Université Concordia



Odile Joblin,
Future Earth Canada,
Université Concordia

Les solutions fondées sur la nature, ou SFN, regroupent une série de mesures répondant simultanément à plusieurs défis environnementaux, y compris la perte de biodiversité, le changement climatique et la gestion des eaux. Il peut s'agir à la fois de mesures de conservation, comme la création d'aires protégées, et d'actions de restauration, comme le reboisement. De nombreuses recherches se concentrent néanmoins soit sur la conservation, soit sur la restauration (Alejo et al., 2026). Pourtant, pour répondre aux besoins environnementaux, il est essentiel de développer des outils capables d'intégrer ces deux dimensions. C'est là que l'intelligence artificielle (IA) peut intervenir.



Pour orienter efficacement le financement, il ne suffit pas d'identifier les mesures les plus efficaces. Il faut déterminer quelles combinaisons d'actions de conservation et de restauration offrent les meilleurs bénéfices pour la biodiversité, le climat et les ressources en eau, ce que l'apprentissage par renforcement permet d'explorer à grande échelle.

1. Notre approche

L'engagement du Canada à conserver 30 % de ses terres et à restaurer 30 % de ses terres dégradées d'ici 2030 (« 30 × 30 »), pris dans le cadre mondial de la biodiversité de Kunming-Montréal (CDB, 2022), nécessite d'identifier les zones où les SFN devraient être mises en œuvre en priorité pour maximiser les bénéfices environnementaux. À l'aide d'un agent d'IA que nous avons entraîné, nous avons identifié les territoires où ces actions pourraient optimiser simultanément quatre dimensions, à savoir la protection des espèces menacées, l'intégrité écologique, le stockage du carbone et la stabilité des eaux de surface.

2. Pourquoi l'IA ?

Les décisions en matière de conservation et de restauration impliquent souvent un arbitrage. Protéger une zone plutôt qu'une autre peut, par exemple, bénéficier à la biodiversité, mais être moins avantageux pour le stockage de carbone ou encore la protection des ressources en eau. Lorsque de grandes quantités de données et plusieurs dimensions doivent être considérées simultanément, l'intelligence artificielle peut intervenir efficacement.

30 × 30

Objectifs mondiaux adoptés en 2022, conserver 30 % des terres et des mers et restaurer 30 % des écosystèmes dégradés d'ici 2030

CDB, 2022

Dans notre étude, nous avons notamment eu recours à l'apprentissage par renforcement. Cette approche peut être utilisée pour comparer différents scénarios de conservation et identifier les zones à protéger en priorité en fonction des objectifs retenus (Silvestro et al., 2022). Nous avons ainsi entraîné l'agent d'IA dans cent environnements simulés, comparables au Canada par leur taille et leur nombre d'espèces, où il a appris à partir de la présence et de la dynamique d'espèces fictives et de leur sensibilité au climat et aux pressions humaines. Appliqué ensuite aux données réelles du Canada, découpé en carrés de 10 km de côté, il a comparé différentes stratégies de conservation et de restauration et a identifié les zones à prioriser en fonction des quatre dimensions retenues dans notre étude.

L'apprentissage par renforcement permet ainsi aux chercheurs et aux acteurs politiques d'évaluer un très grand nombre de possibilités et d'identifier les meilleurs compromis selon différents objectifs environnementaux et socio-économiques, une tâche qui serait beaucoup plus complexe et chronophage à réaliser au moyen d'analyses conventionnelles.

3. Résultats

Nous avons testé six scénarios, trois de conservation et trois de restauration. Chacun maximise la protection des espèces menacées en y associant un autre bénéfice, l'intégrité écologique, le stockage du carbone ou la stabilité des eaux de surface, et l'apprentissage par renforcement a désigné pour chacun les zones à prioriser. Pour conserver 30 % des terres, environ 17,75 % du territoire canadien devraient s'ajouter aux aires déjà protégées. Pour restaurer 30 % des terres dégradées, qui couvrent 23,5 % du pays, il faudrait agir sur environ 7 % du territoire (Alejo et al., 2026). Ces résultats peuvent contribuer à orienter la stratégie « 30 × 30 » du Canada.

Parmi les scénarios de conservation étudiés, la protection du carbone irrécupérable (*irrecoverable carbon*) ressort comme particulièrement prometteuse. Il s'agit du carbone stocké dans les sols et la végétation qui ne pourrait être reconstitué avant 2050 en cas de libération dans l'atmosphère (Noon et al., 2022). Il est donc essentiel de préserver ces stocks de carbone. Associée à la protection des espèces menacées, cette approche appliquée dans les zones forestières est la stratégie la plus efficace pour améliorer, sur les quatre dimensions étudiées, les résultats des aires protégées existantes.

L'étude met également en évidence deux axes de restauration essentiels. Le premier consiste à cibler les espaces naturels perturbés où une meilleure gestion forestière peut générer des bénéfices environnementaux rapides. Le second concerne la restauration des terres agricoles, des prairies et des espaces urbains où des pratiques telles que la plantation de végétation riveraine et la végétalisation urbaine peuvent jouer un rôle. Pour atteindre l'objectif de restauration de 30 %, ces deux axes doivent être menés simultanément.

17,75 %

du territoire canadien à protéger en plus des aires existantes pour atteindre 30 %

Alejo et al., 2026

7 %

du territoire à restaurer, soit 30 % des terres dégradées, qui en couvrent 23,5 %

Alejo et al., 2026

Pour aller plus loin

LIRE L'ÉTUDE

L'étude est disponible en français sur le site de Sustainability in the Digital Age, sous le titre Optimiser les solutions fondées sur la nature grâce à l'intelligence artificielle pour harmoniser les objectifs mondiaux en matière de biodiversité, de climat et d'eau. ***La version originale en anglais est publiée dans la revue*** *Earth's Future* ***sous le titre*** *Maximizing nature-based solutions using artificial intelligence to align global biodiversity, climate, and water targets.* ***Les données et le code de l'étude sont accessibles librement.***

L'étude croise enfin ces priorités avec les activités économiques. Aujourd'hui, la foresterie est la principale pression sur la plupart des zones prioritaires, tandis que l'agriculture et l'urbanisation pèsent surtout sur les zones à restaurer pour la stabilité de l'eau. Au cours de la prochaine décennie, l'exploitation minière devrait devenir la pression qui progresse le plus. Environ 40 % des zones prioritaires pour les espèces menacées et le carbone irrécupérable se trouvent à moins de 100 km d'un grand projet minier prévu (Alejo et al., 2026).

40 %

des zones prioritaires pour les espèces menacées et le carbone irrécupérable à moins de 100 km d'un grand projet minier prévu

Alejo et al., 2026

4. La science au service de la stratégie

Notre étude présente certaines limites. Le cadre d'IA ne tient pas encore pleinement compte des coûts de conversion des terres ni des arbitrages économiques locaux. Il n'intègre pas non plus directement les projections rela-

tives au changement climatique, ce que l'équipe de recherche identifie comme une priorité pour les travaux futurs. Les priorités écologiques identifiées par l'IA doivent également être confrontées aux usages des territoires, aux réalités sociales et aux droits des peuples autochtones. Au Canada, cela suppose d'associer les Premières Nations, les Inuit et les Métis concernés à la définition des objectifs et aux décisions de conservation et de restauration. La mobilisation de leurs savoirs doit respecter leur consentement et les conditions qu'ils fixent à leur utilisation. L'IA peut éclairer les choix ; elle ne remplace ni la participation ni la gouvernance des territoires. Notre recherche plaide néanmoins pour une approche multidimensionnelle des investissements dans les solutions fondées sur la nature. Pour orienter efficacement le financement, il faut identifier les mesures les plus efficaces, mais aussi déterminer quelles combinaisons d'actions de conservation et de restauration offrent les meilleurs bénéfices pour la biodiversité, le climat et les ressources en eau.

RECOMMANDATIONS

01.

Aux autorités chargées de la stratégie « 30 × 30 »

Prioriser conjointement, dans les zones forestières, la protection des espèces menacées et celle du carbone irrécupérable, combinaison qui améliore le plus les résultats des aires protégées sur les quatre dimensions étudiées.

02.

Aux gestionnaires des terres et aux collectivités

Mener de front les deux axes de restauration, meilleure gestion forestière dans les espaces naturels perturbés d'une part, restauration des terres agricoles, des prairies et des espaces urbains d'autre part, par la végétation riveraine et la végétalisation urbaine.

03.

Aux bailleurs et aux équipes de recherche

Financer des combinaisons d'actions de conservation et de restauration plutôt que des mesures isolées, et intégrer aux prochains travaux les coûts de conversion des terres, les arbitrages économiques locaux et les projections climatiques.



Tourbière du mont Bélair, Québec.

RÉFÉRENCES

Alejo, C., Luers, A., Ventimiglia, A., Arce-Plata, M.-I. et Matthews, H. D. (2026). Maximizing nature-based solutions using artificial intelligence to align global biodiversity, climate, and water targets. Earth's Future, 14, e2025EF007560. https://doi.org/10.1029/2025EF007560

CDB (2022). Cadre mondial de la biodiversité de Kunming-Montréal. Décision 15/4 de la Conférence des Parties à la Convention sur la diversité biologique, Montréal, décembre 2022. https://www.cbd.int/gbf

Noon, M. L., Goldstein, A., Ledezma, J. C., Roehrdanz, P. R., Cook-Patton, S. C., Spawn-Lee, S. A. et al. (2022). Mapping the irrecoverable carbon in Earth's ecosystems. Nature Sustainability, 5 (1), 37-46. https://doi.org/10.1038/s41893-021-00803-6

Silvestro, D., Goria, S., Sterner, T. et Antonelli, A. (2022). Improving biodiversity protection through artificial intelligence. Nature Sustainability, 5 (5), 415-424. https://doi.org/10.1038/s41893-022-00851-6

08

IA et biodiversité marine, détecter plus tôt pour agir à temps

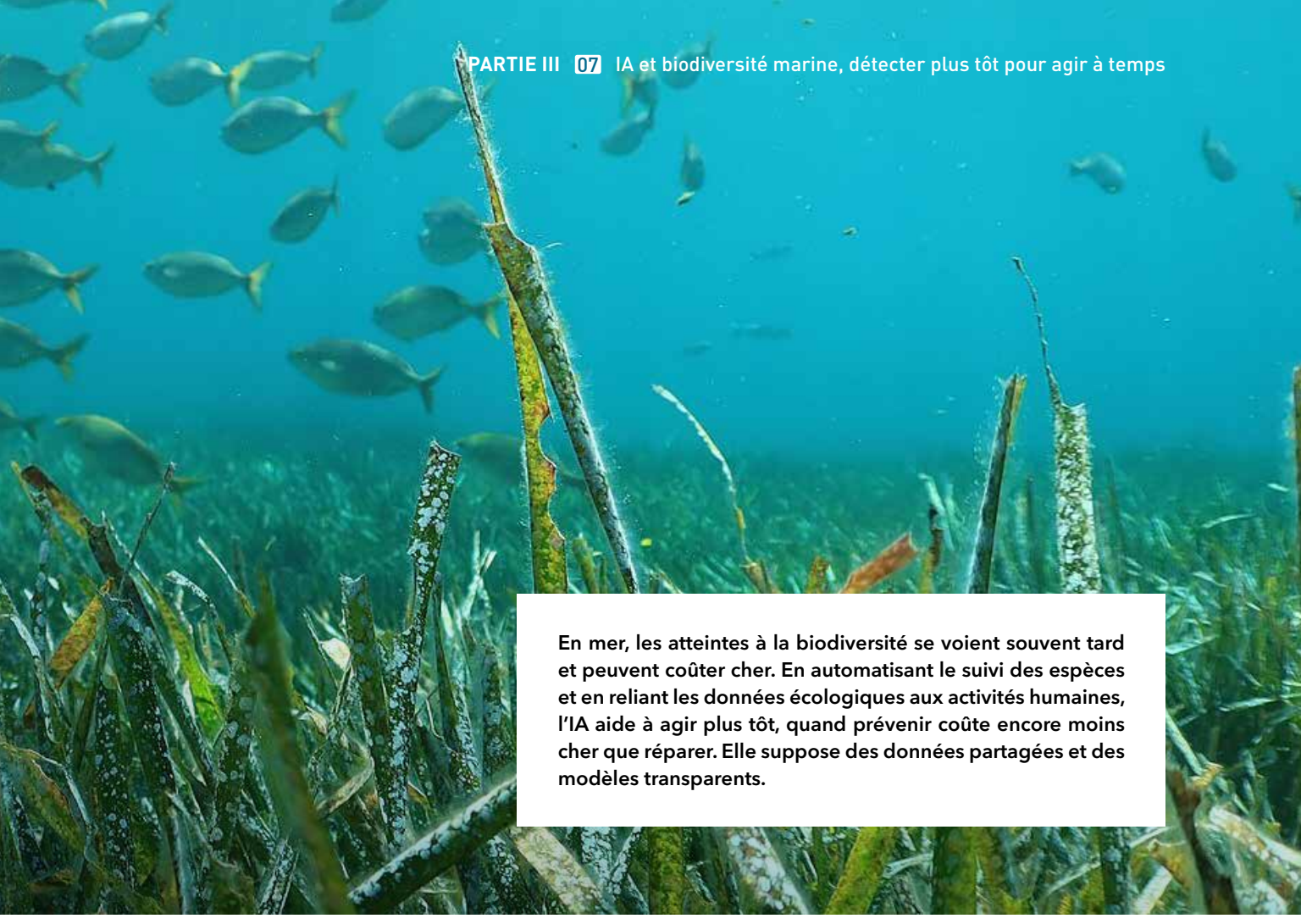


Manon Marco,
Université Côte d'Azur,
Laboratoire Ecology
and Conservation
Science for
Sustainable Seas



Virginie Raybaud,
Université Côte d'Azur,
Laboratoire Ecology
and Conservation
Science for
Sustainable Seas

Sous la surface, la biodiversité recule souvent sans que l'on s'en aperçoive à temps. Les espèces exotiques envahissantes en sont l'exemple le plus net. Leurs dommages peuvent mettre des décennies à apparaître dans les comptes, et plus l'action tarde, plus la facture s'alourdit. L'intelligence artificielle aide à réduire ce retard. Elle reconnaît les espèces de poissons sur des vidéos, accélère leur identification à partir de l'ADN laissé dans l'eau, prévoit où elles vont s'installer et reconstitue l'activité des navires. Cet article présente ces outils, ce qu'ils permettent d'anticiper et ce qu'ils demandent pour servir les territoires littoraux.



En mer, les atteintes à la biodiversité se voient souvent tard et peuvent coûter cher. En automatisant le suivi des espèces et en reliant les données écologiques aux activités humaines, l'IA aide à agir plus tôt, quand prévenir coûte encore moins cher que réparer. Elle suppose des données partagées et des modèles transparents.

1. Une biodiversité sous pression, des dommages qui se révèlent tard

Les sociétés du littoral dépendent de la mer pour se nourrir, travailler et se protéger des tempêtes. Ces bénéfices, appelés services écosystémiques, reposent sur le bon état des écosystèmes (Mouchet et al., 2023). Selon l'IPBES, à l'échelle mondiale, les causes directes du déclin de la nature sont la modification de l'usage des terres et des mers, l'exploitation directe des organismes, le changement climatique, la pollution et les espèces exotiques envahissantes. En mer, c'est l'exploitation directe, surtout la pêche, qui arrive en tête. Les impacts cumulés s'aggravent sur 66 % de la surface des océans, et 33 % des stocks de poissons marins étaient surexploités en 2015 (IPBES, 2019).

Les espèces exotiques envahissantes montrent combien ces pressions peuvent passer inaperçues. La Méditerranée est l'un des points chauds mondiaux des invasions biologiques, surtout à cause du canal de Suez (Katsanevakis et al., 2016). Il peut s'écouler des décennies avant que les impacts d'une espèce marine envahissante soient documentés (Roy et al., 2024). Le même décalage se retrouve dans les comptes. Une étude mondiale récente estime à 46 ans le temps de latence des coûts des dommages (Soto et al., 2025).

66 %

de la surface des océans subit des impacts cumulés croissants

IPBES, 2019

Ce retard coûte cher. Depuis 1960, les dommages documentés des invasions atteignent 1 130,6 milliards de dollars dans le monde, contre au moins 95,3 milliards consacrés à leur gestion (en dollars de 2017). La prévention, avant l'arrivée des espèces, n'en représente que 2,8 milliards, plus de 25 fois moins que les dépenses engagées une fois les espèces installées. Les interventions arrivent en moyenne 11 ans après le signalement des dommages, un retard qui aurait coûté 1 247,2 milliards de dollars de plus qu'une gestion immédiate. Selon le même modèle, chaque dollar consacré sans attendre à la gestion éviterait 53,50 dollars de dommages (Cuthbert et al., 2022).

53,50 $

de dommages évités par dollar consacré sans délai à la gestion des invasions

Cuthbert et al., 2022

En mer, ces coûts sont encore moins connus. Les espèces aquatiques ne pèsent que 5 % des coûts recensés dans la base mondiale InvaCost, alors qu'elles représentent 26 % des envahisseurs connus. Les espèces marines, elles, ne comptent que pour 1 % de ces coûts aquatiques (Cuthbert et al., 2021). Ce faible chiffre tient sans doute davantage au manque de données qu'à l'absence de dommages. Mieux observer la mer est donc la première condition pour agir à temps.

2. Suivre les poissons par la vidéo et l'ADN

Le suivi des peuplements de poissons repose le plus souvent sur les comptages visuels sous-marins, réalisés par des plongeurs le long de transects. La méthode est éprouvée, mais elle coûte cher, demande des spécialistes et dépend de la météo et de la logistique, car la sécurité des plongeurs prime. En milieu très riche, l'observateur peut aussi surestimer ou sous-estimer l'abondance et le nombre d'espèces, avec un écart qui peut atteindre 25 % (Bürgi et al., 2025).

25 %

d'écart, en plus ou en moins, que peut atteindre le comptage d'un plongeur en milieu très riche

Bürgi et al., 2025

L'apprentissage automatique ouvre une autre voie. Des réseaux de neurones spécialisés dans l'analyse d'images identifient les espèces et comptent les poissons sur des vidéos tournées par des plongeurs, par des caméras appâtées posées sur le fond ou par des robots sous-marins téléguidés (Bürgi et al., 2025 ; Kühn et al., 2025). Ces outils servent aussi au suivi des débarquements. En Méditerranée, un système associant le réseau Mask R-CNN à un modèle statistique compte les coryphènes sur des photos de caisses prises à la criée, puis en déduit leur taille moyenne à partir du poids de chaque caisse, bateau par bateau (Palmer et al., 2022).

Une équipe de l'Université Côte d'Azur a appliqué cette approche à des vidéos de plongée tournées dans et autour de deux aires protégées du Var (encadré). Comparé au comptage des mêmes vidéos par un expert, le modèle classe correctement 85 % des couples espèce-site, en présence ou en absence, et l'automatisation réduit fortement le temps et le travail d'analyse. Les vidéos restent toutefois tournées par des plongeurs. À terme, des caméras portées par des robots sous-marins téléguidés pourraient affranchir la collecte des contraintes de météo et de logistique (Bürgi et al., 2025).

85 %

des 280 couples espèce-site bien classés par l'IA (présence ou absence) sur 14 sites filmés dans le Var

Bürgi et al., 2025

L'ADN environnemental complète le tableau. Les organismes laissent dans l'eau des traces d'ADN que l'on peut prélever et séquencer. La méthode détecte souvent une espèce avec plus de sensibilité que les échantillonnages classiques, et des études récentes trouvent une corrélation positive entre la concentration de cet ADN dans l'eau et la biomasse des espèces. Dans un premier essai sur des poissons d'eau douce tropicaux, l'apprentissage profond a rattaché de courtes séquences d'ADN aux espèces avec une précision comparable aux méthodes habituelles, mais 150 fois plus vite (Kühn et al., 2025).

Reliées aux observations des pêcheurs, des plongeurs ou des habitants, ces technologies dessinent des réseaux de surveillance capables de repérer plus tôt une espèce nouvelle. L'évaluation de l'IPBES sur les espèces exotiques envahissantes appelle à des stratégies nationales de surveillance, appuyées par exemple sur les sciences participatives, pour la détection précoce des nouvelles espèces. Elle souligne que l'IA soutient déjà la surveillance, la télédétection et l'aide à la décision (Roy et al., 2024).

3. Prévoir où les espèces s'installeront, et ce que cela coûtera

Observer ne suffit pas, il faut aussi anticiper. Les modèles de distribution des espèces relient la présence d'une espèce aux conditions du milieu, puis projettent son aire selon l'évolution de ces conditions. L'usage de l'apprentissage automatique y est bien établi (Kühn et al., 2025). Sur les côtes françaises, des modèles de niche écologique ont permis de projeter la répartition des laminaires, de grandes algues brunes, pour la période 2041-2050 sous deux scénarios climatiques. En estimant leur biomasse, les auteurs en ont déduit les services que ces forêts sous-marines rendent aujourd'hui et pourraient rendre demain (Pecquet et al., 2022).

La même logique sert à estimer les coûts là où personne ne les a mesurés. Soto et al. (2025) ont croisé des modèles de distribution des espèces, des données macroéconomiques et la base InvaCost. À partir de 162 espèces envahissantes dont les coûts sont bien documentés dans certains pays, ils ont estimé ces coûts dans les pays où ces espèces sont présentes sans qu'aucun coût n'y ait été déclaré. Le coût mondial de ces espèces pourrait ainsi être supérieur de 518 % aux coûts enregistrés. Ramenés au kilomètre carré, les coûts les plus élevés se concentrent dans les régions urbaines et côtières. Appliquées aux espaces maritimes et littoraux, ces méthodes permettraient d'estimer les valeurs économiques exposées par unité de surface et de mieux justifier les investissements de prévention.

Ces estimations nourrissent l'évaluation économique des services écosystémiques. Le Plan Bleu la mobilise en Méditerranée pour éclairer les politiques de développement durable, et rappelle que la notion de valeur économique totale a été conçue pour prendre en compte tous les bénéfices des écosystèmes, sans double comptage (Bourlion et al., 2016). L'apprentissage automatique y ajoute des estimations d'incertitude. Les décideurs peuvent ainsi décider

jusqu'où ils acceptent cette incertitude et faire jouer leur propre expertise sur les choix délicats (Willcock et al., 2018).

4. Partager la mer, des navires de pêche aux jumeaux numériques

L'IA aide aussi à relier la biodiversité aux activités humaines. Depuis 2016, les échouages de petits cétacés portant des traces de capture ont atteint des niveaux élevés sur la façade atlantique française. Le programme Delmoges, conçu par le CNRS et l'Ifremer avec l'Office français de la biodiversité, étudie ces captures accidentelles de dauphins dans le golfe de Gascogne. Dans ce cadre, plusieurs algorithmes d'apprentissage supervisé ont appris, sur les trajets de 20 fileyeurs, à reconnaître les opérations de pêche à partir des positions des navires. Le meilleur (XGBoost) y parvient dans près de 90 % des cas, la pose des filets restant plus difficile à repérer que leur relève. Il devient alors possible de cartographier la longueur des filets et leur temps d'immersion (Sans et Rodriguez, 2023).

D'autres outils s'adressent directement aux pêcheurs. EcoCast produit chaque jour, à partir de données satellitaires comme la température de surface et la chlorophylle, une carte qui compare la présence probable de l'espadon recherché à celle des espèces à éviter (tortues, requins, otaries). Les pêcheurs peuvent ainsi limiter leurs captures accessoires (Kühn et al., 2025).

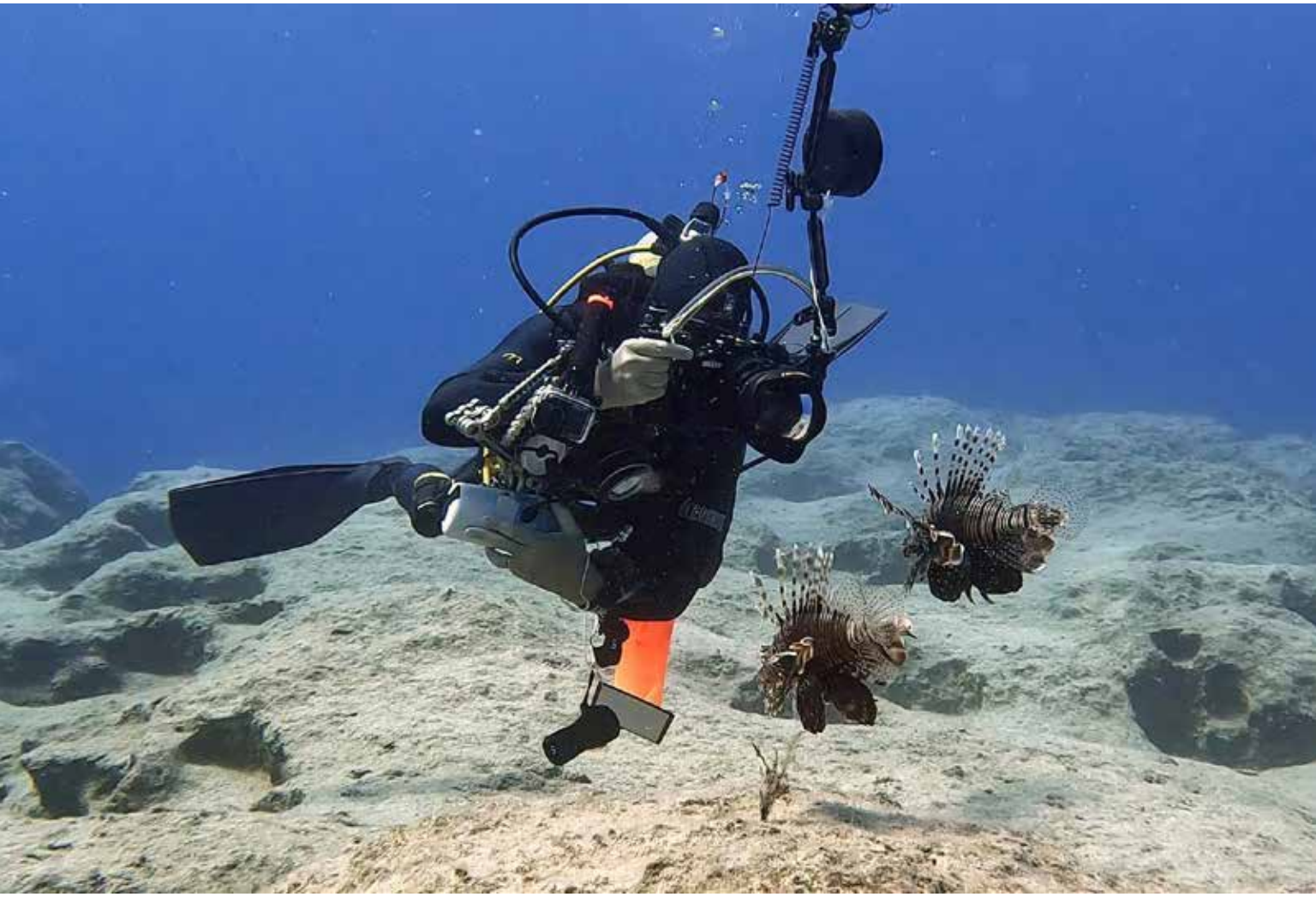
À une autre échelle, la Commission européenne a dévoilé en juin 2024 la première plateforme préopérationnelle du jumeau numérique européen de l'océan. Encore à l'état de prototype, ce double virtuel doit aider à comprendre comment la pollution et les activités humaines affectent l'océan et son rôle dans la régulation du climat et la préservation de la biodiversité (Commission européenne, 2024). Croisés avec la position des activités et les valeurs économiques, ces outils permettent d'envisager des simulations d'aménagement, des arbitrages entre usages concurrents et une planification de l'espace maritime plus réactive.

L'adaptation passe aussi par les filières. En Tunisie, le crabe bleu, signalé pour la première fois en 1993, s'est mis à proliférer en 2014, surtout dans le golfe de Gabès, où il abîme les filets. Avec le gouvernement tunisien, la FAO a formé 90 pêcheurs à Djerba, Gabès et Kerkennah et leur a fourni 1 500 nasses. La première usine de transformation tournée vers le marché asiatique, créée par l'État en 2019 aux îles Kerkennah, y a apporté 50 emplois. Sur le seul mois de mai 2021, les exportations de crabe bleu ont atteint 2 090,9 tonnes pour 7,2 millions de dollars, contre 796,1 tonnes en mai 2020 (FAO, 2021). Repérer tôt une espèce et suivre sa progression aide à préparer ce type de reconversion.

COMMENT UNE IA REPÈRE LES ESPÈCES DE POISSONS DANS UNE VIDÉO DE PLONGÉE

1. **Filmer.** Le plongeur filme un transect en même temps qu'il compte les poissons. Les 64 vidéos étudiées ont été tournées en octobre 2023 sur 14 sites, dans et autour de la zone de non-prélèvement du cap Roux et du site Natura 2000 de la Corniche varoise.
2. **Préparer.** Un programme extrait les images de chaque vidéo et en corrige les couleurs, car les conditions de prise de vue varient beaucoup.
3. **Reconnaître.** Le modèle de détection YOLOv7, retenu parmi cinq architectures testées pour sa rapidité et son bon équilibre entre oublis et fausses détections, repère 20 classes (les 19 espèces locales les plus abondantes et une classe « autres »). Il a d'abord appris sur deux banques publiques d'images de poissons, puis a été affiné sur des milliers d'images de la Côte d'Azur annotées par un expert.
4. **Vérifier.** Les détections sont regroupées par transect, puis par site, en un tableau de présence et d'absence de chaque espèce. Ce tableau est comparé au comptage des mêmes vidéos par un expert en biologie marine. Sur les 280 couples espèce-site, 85 % sont correctement classés.

À retenir. **Uelon l'étude, la machine accélère fortement l'analyse des vidéos et supprime le biais de l'observateur. Elle dépend toutefois d'images annotées par des spécialistes, et les auteurs proposent de rapprocher le protocole de tournage de celui du comptage classique (Bürgi et al., 2025)**



Plongeur scientifique photographiant des rascasses volantes (Pterois miles) à Kaş (Turquie), afin d'entraîner un algorithme d'IA de reconnaissance automatique (projet AIMAS, Artificial Intelligence for the study of Mediterranean Alien Species).

5. Les conditions de la confiance

Ces outils ne valent que par la qualité de leurs données et la confiance qu'on leur accorde. Un modèle entraîné sur des images prises dans un lieu doit souvent être adapté pour servir ailleurs, et un simple prétraitement n'y suffit pas toujours. De même, un modèle de distribution validé seulement sur ses propres données ne garantit pas des projections fiables ailleurs ou plus tard (Kühn et al., 2025). Dans l'étude menée sur la Côte d'Azur, il a fallu affiner le modèle sur des milliers d'images locales annotées par un expert (Bürgi et al., 2025).

Les caméras embarquées sur les navires soulèvent aussi des questions de vie privée, et des biais dans les données d'entraînement peuvent mener au profilage, par exemple soupçonner un pêcheur de pêche illégale sur la base de ses antécédents ou de sa ressemblance avec d'autres contrevenants. La transparence sur l'usage des données et l'explicabilité des modèles conditionnent donc la confiance des scientifiques, des pêcheurs et des gestionnaires (Kühn et al., 2025).

RECOMMANDATIONS

01.

Aux États et aux collectivités du littoral

Investir dans la prévention et l'alerte précoce, en finançant des réseaux de suivi qui associent vidéo, ADN environnemental et sciences participatives, pour repérer les espèces envahissantes avant qu'elles ne s'installent.

02.

Aux organisations de pêcheurs et aux filières de la mer

Accompagner l'adaptation des pêcheries par des engins sélectifs, des circuits courts et de nouveaux débouchés pour certaines espèces exotiques comme le crabe bleu, le poisson-lion ou les poissons-lapins.

03.

Aux autorités chargées de la mer

Intégrer à la planification de l'espace maritime les outils d'IA (positions des navires, cartes d'habitats actualisées chaque jour, jumeaux numériques), pour arbitrer entre conservation, pêche et tourisme selon l'évolution des usages.

04.

Aux organismes de recherche et aux producteurs de données

Partager les données marines selon les principes FAIR, en les organisant autour des variables essentielles de biodiversité, et documenter les modèles d'IA pour que leurs résultats puissent être vérifiés.

RÉFÉRENCES

Bourlion, N., Balavoine, J. et Sauzade, D. (2016). Évaluation économique des services rendus par les écosystèmes : un outil pour le développement durable en Méditerranée ? Les Notes du Plan Bleu, 31, février 2016.

Bürgi, K., Bouveyron, C., Lingrand, D., Derijard, B., Precioso, F. et Sabourault, C. (2025). Towards a fully automated underwater census for fish assemblages in the Mediterranean Sea. Ecological Informatics, 85, 102959.

Commission européenne (2024). European Commission unveils European Digital Twin of the Ocean prototype. Direction générale de la recherche et de l'innovation, 13 juin 2024.

Cuthbert, R. N. et al. (2021). Global economic costs of aquatic invasive alien species. Science of the Total Environment, 775, 145238.

Cuthbert, R. N. et al. (2022). Biological invasion costs reveal insufficient proactive management worldwide. Science of the Total Environment, 819, 153404.

FAO (2021). From invasive species to prized export. Rome, 19 octobre 2021.

IPBES (2019). Résumé à l'intention des décideurs du rapport de l'évaluation mondiale de l'IPBES de la biodiversité et des services écosystémiques. Bonn, secrétariat de l'IPBES.

Katsanevakis, S., Tempera, F. et Teixeira, H. (2016). Mapping the impact of alien species on marine ecosystems: the Mediterranean Sea case study. Diversity and Distributions, 22, 694-707.

Kühn, B. et al. (2025). Machine Learning Applications for Fisheries–At Scales from Genomics to Ecosystems. Reviews in Fisheries Science & Aquaculture, 33, 334-357.

Mouchet, M., Porcher, E., Baulaz, Y., Couvet, D., Ducarme, F., Juillard, L., Mihoub, J.-B. et Sarrazin, F. (2023). Les services écosystémiques. Planet-Vie, École normale supérieure, 4 avril 2023.

Palmer, M., Álvarez-Ellacuría, A., Moltó, V. et Catalán, I. A. (2022). Automatic, operational, high-resolution monitoring of fish length and catch numbers from landings using deep learning. Fisheries Research, 246, 106166.

Pecquet, J., Mouchet, M., Campagne, S., Raybaud, V., Baulaz, Y., Gevaert, F. et Ben Rais Lasram, F. (2022). Combining Ecological Niche Models and ecosystem services indicators to assess impacts of climate change on kelp: application to French coasts. Ecosystems and People, 18(1), 358-377.

Roy, H. E. et al. (2024). Curbing the major and growing threats from invasive alien species is urgent and achievable. Nature Ecology & Evolution, 8, 1216-1223.

Sans, M. et Rodriguez, J. (2023). Development and application of a machine-learning and geocomputation workflow for assessing the gear effort of gillnetters operating in the Bay of Biscay. Ifremer, Plouzané, 30 novembre 2023.

Soto, I. et al. (2025). Using species ranges and macroeconomic data to fill the gap in costs of biological invasions. Nature Ecology & Evolution, 9, 1021-1030. Correction publiée le 23 octobre 2025.

Willcock, S. et al. (2018). Machine learning for ecosystem services. Ecosystem Services, 33, 165-174.

09

IA et réduction des risques climatiques, de la prévision à l'action





Adel Ben Youssef, Université Côte d'Azur, GREDEG, ERF, AISMA et INCIT



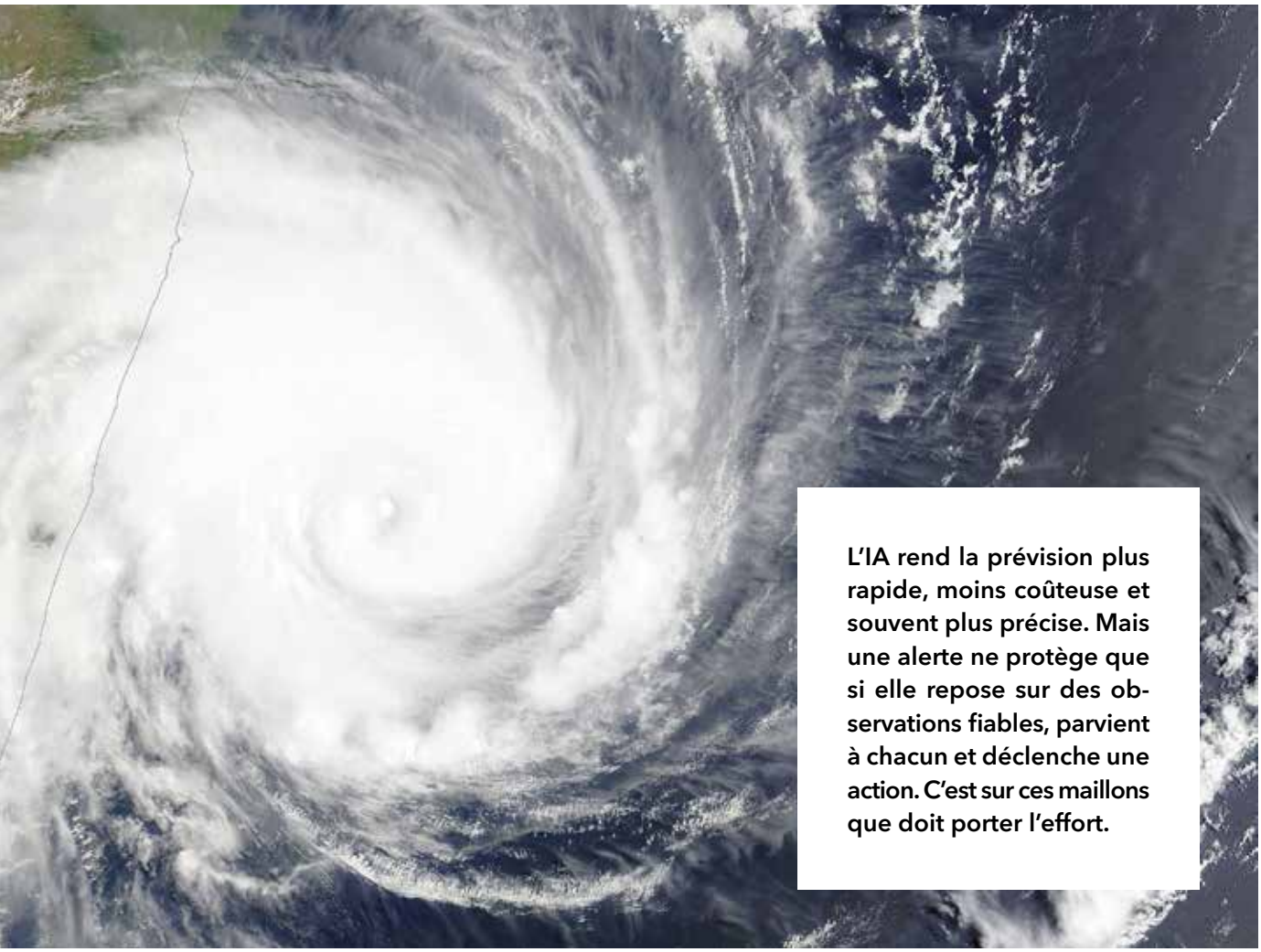
Leila Dagher, Université libano-américaine

Une alerte reçue à temps sauve des vies et limite les pertes. Pourtant, en 2025, quatre pays sur dix ne déclaraient toujours pas de système d'alerte précoce multidanger. Dans le même temps, l'intelligence artificielle a transformé la prévision du temps, avec des modèles plus rapides, bien plus sobres en énergie et souvent plus précis. Cet article fait le point sur ce que l'IA change pour l'alerte précoce, sur ce qu'elle ne remplace pas et sur ce que les pays francophones peuvent en attendre d'ici à 2027.

1. Des alertes qui sauvent des vies, mais pas partout

Entre 2015 et 2024, les catastrophes ont fait chaque année en moyenne plus de 40 000 morts ou disparus et 121 millions de sinistrés. En 2024, les plus destructrices ont été d'origine météorologique, et les cyclones tropicaux ont coûté à eux seuls 135 milliards de dollars (UNDRR et OMM, 2025).

Les systèmes d'alerte précoce comptent parmi les moyens les plus efficaces de réduire ce bilan. Dans les pays dont les systèmes sont jugés substantiels ou complets, la mortalité liée aux catastrophes



L'IA rend la prévision plus rapide, moins coûteuse et souvent plus précise. Mais une alerte ne protège que si elle repose sur des observations fiables, parvient à chacun et déclenche une action. C'est sur ces maillons que doit porter l'effort.

est plus de six fois plus faible que dans ceux où ils restent limités ou modérés : 0,57 décès pour 100 000 habitants contre 3,57 sur la période 2005-2024 (UNDRR et OMM, 2025). Cette corrélation ne suffit pas à prouver l'effet des alertes, mais les estimations économiques vont dans le même sens. Selon la Commission mondiale sur l'adaptation, initiative internationale temporaire lancée en 2018 et copilotée par le World Resources Institute et le Centre mondial pour l'adaptation, estimait dans son rapport **«** Adapt Now: A Global Call for Leadership on Climate Resilience **»**, publié en 2019, que ces systèmes sauvent des vies et des biens d'une valeur au moins dix fois supérieure à leur coût. Un préavis de 24 heures avant une tempête ou une vague de chaleur peut réduire les dommages de 30 %, et 800 millions de dollars investis dans les pays en développement éviteraient de 3 à 16 milliards de dollars de pertes par an (GCA, 2019).

C'est l'objet de l'initiative « Alertes précoces pour tous », lancée en 2022 par le secrétaire général des Nations unies pour que chaque habitant de la planète soit protégé par un système d'alerte d'ici à la fin de 2027 (OMM, 2025). Copilotée par l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et le Bureau des Nations unies pour la réduction des risques de catastrophe (UNDRR), elle repose sur quatre piliers, à savoir la connaissance des risques, l'observation et la prévision, la diffusion des alertes et la capacité à y répondre. Les progrès sont réels. En 2025, 119 pays, soit 60 % du total, déclaraient un système d'alerte multidanger, plus du double d'il y a dix ans. Mais 43 % seulement des petits États insulaires en développement et 52 % des pays les moins avancés en disposent, et l'Afrique, malgré les plus forts progrès depuis 2015, reste la région où ces systèmes sont les moins complets (UNDRR et OMM, 2025).

60 %

des pays déclarent un système d'alerte précoce multidanger, mais 43 % seulement des petits États insulaires

UNDRR et OMM, 2025

6 FOIS MOINS

de décès par habitant dans les pays aux systèmes d'alerte substantiels ou complets

UNDRR et OMM, 2025

2. La prévision du temps transformée par l'IA

Depuis des décennies, la prévision numérique repose sur des modèles physiques. Ils partent de l'état observé de l'atmosphère et calculent son évolution en résolvant les équations de la physique sur des supercalculateurs. Depuis 2023, une autre approche a fait irruption. Des modèles d'apprentissage automatique, entraînés sur des décennies de données météorologiques, apprennent directement comment le temps évolue. GraphCast, publié par Google DeepMind fin 2023, produit une prévision mondiale à dix jours en moins d'une minute et fait mieux que le meilleur modèle déterministe en service, celui du Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (CEPMMT), sur 90 % des 1 380 cibles évaluées (Lam et al., 2023).

Les centres opérationnels ont suivi. Le CEPMMT a mis en service son propre modèle d'IA, l'AIFS, le 25 février 2025. Il tourne aux côtés du modèle physique et fait mieux que les meilleurs modèles physiques sur de nombreuses mesures, dont la trajectoire des cyclones tropicaux, avec des gains allant jusqu'à 20 %. Il consomme environ 1 000 fois moins d'énergie pour produire une prévision, et son accès est ouvert (CEPMMT, 2025). Comme le note le rapport mondial sur l'alerte précoce, là où il fallait de grandes équipes et des supercalculateurs, des modèles d'IA une fois entraînés tournent désormais sur un ordinateur portable et livrent leurs résultats en quelques minutes (UNDRR et OMM, 2025).

Le Canada a fait un autre choix. Environnement et Changement climatique Canada (ECCC) a mis en service en mai 2026 un système hybride. Son modèle physique est guidé, pour les grandes structures de l'atmosphère, par un modèle d'IA développé à partir du code ouvert de GraphCast, tandis que les phénomènes plus fins, comme les orages et les fortes pluies, restent calculés par la physique. ECCC en attend des prévisions à six jours aussi précises que ses prévisions actuelles à cinq jours, et des tempêtes hivernales, vagues de chaleur ou rivières atmosphériques annoncées de 8 à plus de 24 heures plus tôt (ECCC, 2026).

3. Des cyclones aux crues, prévoir plus tôt et plus localement

Les progrès touchent aussi les phénomènes les plus destructeurs. Testé sur les cyclones de 2023 à 2025, le modèle WeatherNext Cyclones de Google DeepMind offre en moyenne un jour d'avance, ou plus, sur les meilleurs modèles opérationnels pour prévoir leur trajectoire, leur intensité et leur taille, un progrès comparable à celui d'une décennie de développement. À cinq jours, son erreur moyenne de trajectoire est de 230 km, contre 370 km pour la prévision d'ensemble du CEPMMT. Les prévisionnistes du National Hurricane Center américain ont commencé dès la saison 2025 à tenir compte de ses prévisions expérimentales pour établir leurs prévisions officielles (Alet et al., 2026). Pour les îles de l'océan Indien, du Pacifique ou des Caraïbes, c'est une journée de plus pour évacuer et se préparer.

+1 JOUR

d'avance pour prévoir la trajectoire et l'intensité des cyclones avec un modèle d'IA

Alet et al., 2026

Les crues posent un autre problème. Pour prévoir le débit d'une rivière, les modèles hydrologiques doivent être calibrés sur de longues séries de mesures. Or seuls quelques pour cent des bassins versants du monde sont équipés de stations, et la quantité de données publiques est souvent corrélée à la richesse des pays. Entraîné et testé sur les données de 5 680 stations, le modèle de Google prévoit les crues de bassins dépourvus de mesures avec, jusqu'à cinq jours d'avance, une fiabilité comparable ou supérieure à celle des prévisions immédiates du système mondial GloFAS du programme européen Copernicus. Il porte la qualité des prévisions en Afrique au niveau de celles dont dispose l'Europe, et ses prévisions, gratuites, étaient diffusées en temps réel dans plus de 80 pays lors de sa publication (Nearing et al., 2024).

4. Ce que l'IA ne remplace pas

L'IA ne dispense pas d'observer. L'AIFS part des mêmes conditions initiales que le modèle physique du CEPMMT, qui combinent une prévision à courte échéance et environ 60 millions d'observations contrôlées, venues des satellites, des avions, des navires, des bouées et des stations au sol (CEPMMT, 2025). Or le réseau mondial d'observation de base défini par l'OMM reste incomplet. Au deuxième trimestre de 2025, 18 de ses membres seulement, environ 10 %, en respectaient pleinement les exigences, et aucun des pays les moins avancés. Les équipements ne servent en outre que si leur fonctionnement et leur entretien sont financés dans la durée, ce que les budgets nationaux ne permettent pas toujours (UNDRR et OMM, 2025).

Figure 1 | Quelques modèles d'IA au service de l'alerte précoce



Note. Résultats publiés par les équipes qui ont conçu ces modèles, sur leurs propres jeux de test. Figure établie par la rédaction (Lam et al., 2023 ; CEPMMT, 2025 ; ECCC, 2026 ; Alet et al., 2026 ; Nearing et al., 2024).

LES QUATRE PILIERS DE L'ALERTE PRÉCOCE, ET LA PLACE DE L'IA

1. **Connaître les risques.** L'IA aide à cartographier l'exposition et la vulnérabilité là où les données manquent, à condition de ne pas négliger les groupes marginalisés. C'est le pilier le plus faible, moins d'un tiers des pays déclarent en disposer.
2. **Observer et prévoir.** C'est là que l'IA a le plus progressé, avec des modèles qui livrent une prévision en quelques minutes. Ils supposent toutefois des données et des moyens qui manquent encore à beaucoup de pays.
3. **Diffuser l'alerte.** L'IA peut optimiser le moment, le lieu et la manière d'envoyer les messages, les traduire en plusieurs langues et repérer les zones sans réseau mobile. Elle peut aussi produire de fausses informations qui se propagent à grande vitesse.
4. **Se préparer et agir.** L'IA peut simuler des scénarios et aider à ajuster les plans d'urgence, mais s'en remettre à des méthodes non éprouvées au cœur d'une crise demande une grande prudence (UNDRR et OMM, 2025).

10 %

des membres de l'OMM seulement respectent toutes les normes d'observation de base

UNDRR et OMM, 2025

L'IA a aussi ses angles morts. Une étude publiée en 2026 a confronté le modèle physique du CEPMMT à plusieurs modèles d'IA, dont GraphCast et Pangu-Weather, sur des records de chaleur, de froid et de vent. Les modèles d'IA tendent à en sous-estimer la fréquence et l'intensité, et leurs erreurs grandissent à mesure que le record est battu de loin. Les auteurs jugent nécessaires des vérifications rigoureuses avant de s'en remettre à eux seuls pour l'alerte précoce, alors que ces records se multiplient avec le réchauffement (Zhang et al., 2026). Les bons résultats obtenus sur les cyclones montrent que ces limites peuvent reculer, pas qu'elles ont disparu.

C'est pourquoi l'OMM, réunie en congrès extraordinaire en octobre 2025, a appelé à développer l'IA tout en rappelant qu'elle doit « compléter, et non remplacer » les systèmes et les méthodes de prévision éprouvés. Le Congrès reconnaît que des défis considérables subsistent quant à la capacité de l'IA à prévoir les processus hydrologiques et les phénomènes locaux à fort impact. Il a aussi confirmé le rôle des services météorologiques et hydrologiques nationaux comme



Le grand bras du fleuve Sénégal en crue, avec l'île de Saint-Louis à l'arrière-plan (septembre 2020)..

émetteurs officiels et de confiance des alertes (OMM, 2025).

Une prévision, enfin, ne protège personne si elle ne déclenche pas d'action. Au Bangladesh, en juillet 2024, la prévision d'une crue dans le bassin de la rivière Jamuna a activé un dispositif d'action anticipatoire quatre jours avant le pic. Le Fonds central pour les interventions d'urgence des Nations unies a débloqué 6,2 millions de dollars en 16 minutes, et le Programme alimentaire mondial (PAM) a versé une aide en argent par téléphone mobile à près de 90 000 ménages au moins un jour avant le pic. Une évaluation randomisée menée dans 300 villages a comparé ces versements de 43 dollars à la même aide reçue plusieurs semaines après la crue. Les ménages aidés à temps ont davantage mis à l'abri leurs vivres, leurs médicaments et leurs biens. Dans les semaines suivantes, ils ont connu une meilleure sécurité alimentaire et un meilleur bien-être psychologique, un écart qui s'est réduit une fois les autres ménages aidés. Les évaluateurs estiment le surcoût de l'aide anticipée à environ 11 % et recommandent de la privilégier là où les prévisions, les moyens de paiement et la coordination sont déjà solides (PAM, 2026).

5. Ce que peut faire l'espace francophone

De nombreux pays de la Francophonie comptent parmi les pays les moins avancés ou les petits États insulaires, là où l'alerte précoce reste la moins développée. Ils ne partent pas de rien. L'initiative CREWS, lancée en 2015 lors de la COP21 à Paris, a été le premier mécanisme de financement entièrement consacré à l'alerte précoce, et cinq des douze membres de son comité de pilotage sont des pays de la Francophonie, le Canada, qui le préside depuis juin 2025, la France, le Luxembourg, Monaco et la Suisse. Ses programmes ont aidé, directement ou indirectement, plus de 397 millions de personnes dans plus de 70 pays parmi les moins avancés et les petits États insulaires. Au Tchad, le mécanisme de financement des observations systématiques (SOFF) a permis de remettre en état et d'étendre le réseau météorologique, avec 34 stations aux normes de l'OMM, ce qui améliore déjà la prévision des crues, des sécheresses et des invasions de criquets (UNDRR et OMM, 2025).



Dôme radar au sommet de La Dôle, dans le Jura suisse.

Le dernier kilomètre progresse lui aussi. Le Togo a ouvert la voie en obtenant au début de 2025 l'accord du Fonds vert pour le climat pour un projet de 27 millions de dollars, cofinancements compris, dans le cadre d'un dispositif conjoint avec CREWS, et son agence météorologique a émis 47 alertes selon le protocole d'alerte commun (CAP) entre février 2024 et juillet 2025. En Haïti, les autorités ont conçu 41 panneaux en créole qui illustrent cyclones, sécheresses et inondations, pour rendre les alertes plus compréhensibles. À Madagascar, le gouvernement a ajouté une phase d'anticipation à ses plans de contingence contre les crues et les cyclones, et il a testé en 2024 le déblocage de fonds nationaux avant un cyclone lors d'un exercice de simulation (UNDRR et OMM, 2025).

L'IA peut accélérer ce rattrapage, à condition de miser sur l'ouverture. Des modèles ouverts comme l'AIFS, ou GraphCast sur lequel le Canada a bâti son propre système, permettent à un service national de produire et d'évaluer des prévisions sans développer lui-même un modèle mondial. Dans un projet pilote présenté à l'OMM, les services météorologiques de la Norvège et du Malawi ont testé des « prévisions prêtes à l'emploi » fondées sur l'IA. Le projet a amélioré les prévisions, et il est suivi de près par les pays qui manquent de moyens. Le Congrès de l'OMM a demandé d'aider les services nationaux à accéder à l'IA et à l'utiliser, en privilégiant les données ouvertes et les outils à code source ouvert (OMM, 2025).

Pour l'espace francophone, l'enjeu n'est donc pas de construire son propre modèle mondial. Il est de former des prévisionnistes capables d'utiliser et de vérifier ces modèles sur leurs territoires, de financer les observations qui les nourrissent et de relier chaque alerte à un plan d'action et à un financement prêt à être débloqué. La langue commune facilite la formation et le partage d'outils entre services météorologiques, du Sahel aux îles de l'océan Indien. L'échéance de 2027 approche..

RECOMMANDATIONS

01.

Aux gouvernements francophones

Financer les quatre piliers de l'alerte précoce, pas seulement la prévision, et inscrire dans la loi le rôle du service météorologique national comme émetteur officiel des alertes.

02.

Aux services météorologiques

Évaluer les modèles d'IA ouverts sur leur territoire, en particulier pour les extrêmes, avant de s'en servir, et les combiner aux modèles physiques et au jugement des prévisionnistes.

03.

Aux bailleurs de fonds

Financer les stations, les radars et leur entretien sur la durée, car sans observations les modèles d'IA n'ont ni point de départ ni moyen d'être vérifiés.

04.

Aux entreprises de l'IA

Publier les performances de leurs modèles région par région et pour les extrêmes, et partager codes, poids et données avec les services publics.

05.

À l'espace francophone

Soutenir un réseau francophone de formation à l'IA pour la prévision et l'action anticipatoire, en lien avec l'OMM et l'initiative CREWS.

RÉFÉRENCES

Alet, F. et al. (2026). Operational tropical cyclone forecasting with AI. Nature, 657 (8132), 680-688.

CEPMMT (2025). ECMWF's AI forecasts become operational. Communiqué, Reading, 25 février 2025.

ECCC (2026). Canada to launch hybrid AI weather model to strengthen forecasting for severe weather, communiqué, Gatineau, 9 avril 2026, et Environnement et Changement climatique Canada lance un modèle météorologique basé sur l'intelligence artificielle pour améliorer les prévisions du temps violent, document d'information, 27 mai 2026.

GCA (2019). Adapt Now: A Global Call for Leadership on Climate Resilience. Commission mondiale sur l'adaptation, septembre 2019.

Lam, R. et al. (2023). Learning skillful medium-range global weather forecasting. Science, 382 (6677), 1416-1421.

Nearing, G. et al. (2024). Global prediction of extreme floods in ungauged watersheds. Nature, 627 (8004), 559-563.

OMM (2025). Le Congrès météorologique mondial approuve des mesures pour promouvoir l'utilisation de l'IA aux fins des prévisions et des alertes. Communiqué, Genève, 24 octobre 2025.

PAM (2026). Waidler, J. et al. Acting Early: Impact Evaluation of Anticipatory Action in Bangladesh. Rapport OEV/2024/028, Rome, septembre 2026.

UNDRR et OMM (2025). Global Status of Multi-Hazard Early Warning Systems 2025. Genève, présenté à la COP30, Belém, 12 novembre 2025.

Zhang, Z. et al. (2026). Physics-based models outperform AI weather forecasts of record-breaking extremes. Science Advances, 12 (18), eaec1433.



Des outils d'IA peuvent contribuer à mieux maîtriser les consommations et à optimiser la production à différents stades du cycle de l'eau. Leurs bénéfices se mesurent toutefois dans le temps et à grande échelle, ce qui suppose une feuille de route, des données de qualité, des compétences et un financement pérenne. Sans ces conditions, les bénéfices risquent de rester limités à l'expérimentation.

10

L'IA est-elle une solution pour mieux gérer une ressource en eau en tension ?



Slim Bouakez,
Water-Sec



Guillaume R. Féry,
Vilvic & Associés

Pourquoi faudrait-il compter sur l'intelligence artificielle (IA) pour optimiser la gestion de la ressource en eau ? À l'échelle mondiale, la réponse tient au retard pris dans la mise en œuvre des objectifs de développement durable (ODD) des Nations unies, en particulier de l'ODD 6 (eau propre et assainissement). À quatre ans de l'échéance de 2030, aucune de ses six cibles évaluées n'est en bonne voie. Dans ce contexte, des outils d'IA peuvent aider à mieux maîtriser les consommations et à optimiser la production, à différents stades du cycle de l'eau et dans différents usages (industriels, agricoles, urbains).

1. L'impératif de l'efficience dans le cycle de l'eau

La tension sur la ressource en eau ne cesse de grandir. Elle naît d'une demande croissante liée à des facteurs démographiques et de développement, qui se heurte à une offre limitée, mal répartie et de plus en plus fragilisée par le changement climatique, les pollutions et la surexploitation de la ressource.

Quelques constats illustrent la tension actuelle sur la ressource en eau. Près des trois quarts de la population mondiale vivent dans des pays en insécurité hydrique, et plus de la moitié des grands lacs du monde ont perdu de l'eau depuis le début des années 1990. Les glaciers reculent aussi, et dans plusieurs régions ils ont déjà perdu plus de 30 % de leur masse depuis 1970. Environ 70 % des grands aquifères sont en déclin de long terme (UNU-INWEH, 2026). Enfin, selon les données de 2024, quelque 2,1 milliards de personnes, soit une sur quatre, n'ont toujours pas accès à une eau potable gérée en toute sécurité, et aucune des six cibles évaluées de l'ODD 6 n'est en bonne voie (Nations unies, 2026).

75 %

De la population mondiale, ou presque, vit dans un pays en insécurité hydrique

UNU-INWEH, 2026

+ DE 50 %

Des grands lacs du monde ont perdu de l'eau depuis le début des années 1990

UNU-INWEH, 2026

Deux grandes tendances alimentent ces tensions, la hausse de la demande en eau et la fragilisation de la ressource naturelle.

Augmentation de la demande en eau. La croissance démographique contribue à la demande, aux côtés des modes de consommation, des systèmes de production et des pertes des réseaux (leur importance relative varie selon les territoires). Le seuil de 8 milliards d'humains a été franchi en novembre 2022, et la planète devrait compter environ 9,7 milliards d'habitants en 2050 (Nations unies, 2024). L'agriculture est de loin le plus gros poste, avec 72 % des prélèvements mondiaux d'eau douce en 2022 (FAO, 2025). L'industrie (textile, chimie, extraction minière, semi-conducteurs) est très consommatrice et souvent polluante, mais reste loin derrière l'agriculture. Enfin, la concentration urbaine crée des pics de demande localisés, souvent éloignés des sources d'approvisionnement, par exemple au Cap, à Mexico ou à Bangalore.

70 %

Des grands aquifères connaissent un déclin de long terme

UNU-INWEH, 2026

72 %

Des prélèvements mondiaux d'eau douce vont à l'agriculture (2022)

FAO, 2025

Diminution et fragilisation de la ressource naturelle. Le changement climatique constitue un facteur majeur, dont le poids relatif varie selon les bassins, qui modifie les régimes de précipitations, multiplie les sécheresses, fait fondre les glaciers et, avec la hausse des températures, accroît l'évaporation. Le deuxième est la surexploitation des nappes phréatiques, pompées plus vite qu'elles ne se rechargent. Le troisième tient aux pollutions agricoles, industrielles et urbaines, qui contaminent les nappes et limitent l'usage de la ressource. Enfin, la dégradation des écosystèmes qui jouaient un rôle de régulation et de recharge augmente la pression sur les ressources.

Ces tendances se superposent géographiquement. C'est cette convergence qui explique pourquoi les tensions sur l'eau devraient s'intensifier plutôt que se résorber d'ici 2050.

2. L'IA dans la continuité de l'informatisation des métiers de l'eau

L'informatique et l'automatisme ont contribué à l'émergence d'outils dans de nombreux secteurs, comme celui de la distribution d'eau. Des applications logicielles se sont ainsi développées dans la cartographie informatisée, la gestion de la maintenance, la supervision, la détection des fuites, la relation clients, le comptage intelligent et le relevé à distance, etc. Les exemples sont aussi très nombreux dans l'agriculture ou la gestion des bâtiments.

Mais alors, pourquoi traiter l'intelligence artificielle comme un fait à part dans cette évolution continue de l'usage de techniques pour optimiser le cycle de l'eau ? Qu'est-ce qui a changé, qu'est-ce qui a rendu les applications d'IA possibles et que peut-on en attendre ? Un élément central est l'intégration des informations et la puissance du traitement des données à travers les systèmes. L'interopérabilité et l'uniformisation des formats ouverts ont rendu possibles la récupération et la manipulation de grands volumes de données, et parfois en temps réel.

Il convient cependant de différencier les multiples solutions communément désignées « IA » dans le domaine de l'eau. Le tableau 1 en propose une typologie. La maturité de certains outils est variable et certaines applications en sont encore à un stade de test. Selon une enquête de l'UNESCO, les professionnels de l'eau utilisent l'IA surtout pour la modélisation et la prévision hydrologiques, et les hydrologues manquent encore de confiance envers ces outils (UNESCO et Deltares, 2025).

3. Applications, quelles priorités pour l'IA dans le secteur de l'eau ?

La variété des outils d'IA dédiés au cycle de l'eau est très large. Les solutions offertes proviennent d'acteurs établis dans le secteur mais aussi d'un grand nombre de start-up et de petites compagnies. La sophistication, le degré d'interopérabilité, le modèle d'affaires et le niveau d'intégration des systèmes sont variables. Leur maturité technologique, mesurée par le niveau TRL (technology readiness level), varie beaucoup elle aussi.

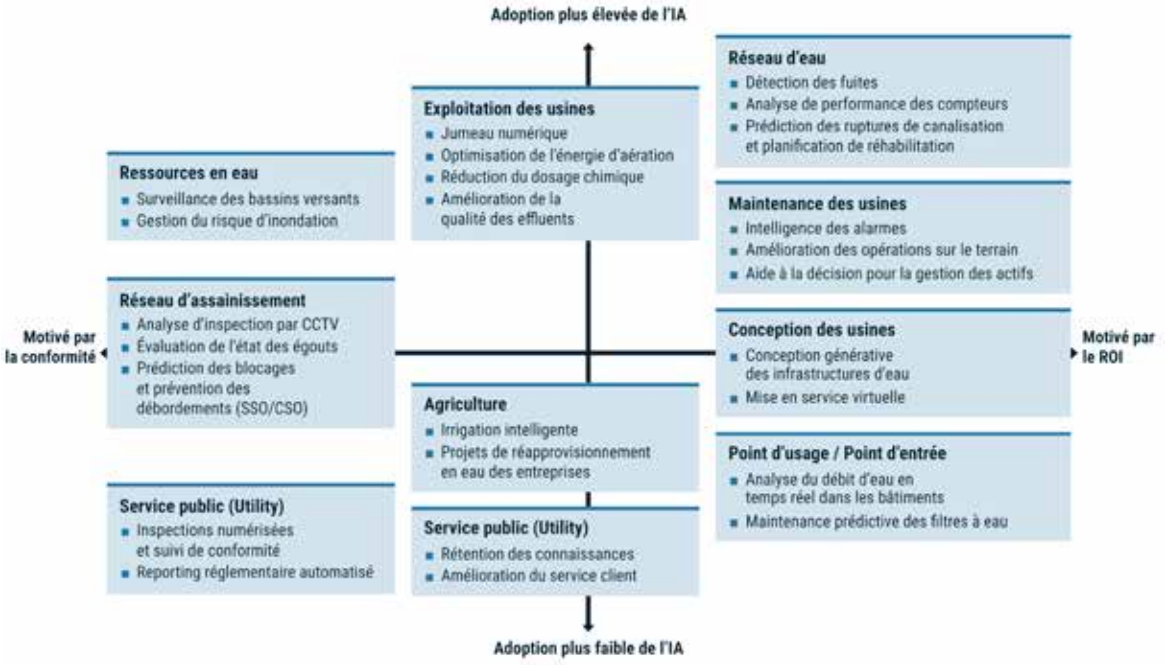
La figure 1 propose une cartographie des applications, en particulier dans l'eau et l'assainissement, selon le niveau d'adoption de l'IA et selon que son usage est motivé par la conformité réglementaire ou par le retour sur investissement (Shen et Qian, 2025).

Face à la diversité des solutions proposées, les utilisateurs finaux (compagnies d'eau, gestionnaires d'immeubles, acteurs de l'irrigation, hôteliers, industriels, énergéticiens, gouvernements locaux ou nationaux, etc.) doivent être sélectifs et retenir les solutions qui répondent à leurs besoins tout en offrant le meilleur retour sur investissement.

Tableau 1 | Typologie des solutions désignées comme « IA » dans le domaine de l'eau

Typologie d'IA	Description	Applications
Analytique avancée	Analyse statistique poussée, modélisation prédictive classique, optimisation.	• Prévision de la demande en eau • Détection des fuites via analyse de tendances • Optimisation des réseaux (pression, pompage) • Gestion des risques inondation/sécheresse
Apprentissage automatique (ML)	Apprentissage supervisé ou non supervisé basé sur des ensembles de données structurées.	• Classification de la qualité de l'eau • Détection d'anomalies dans les capteurs IoT • Segmentation du réseau pour la maintenance • Prédiction de défaillances d'équipements
Apprentissage profond (DL)	Réseaux de neurones profonds pour données complexes et non structurées.	• Analyse d'images pour identifier les fuites sur canalisations • Prévision hydrologique basée sur séries temporelles complexes • Analyse satellite pour le suivi des plans d'eau • Reconnaissance automatique d'objets dans les inspections vidéo
Grands modèles de langage (LLM)	Modèles génératifs ou prédictifs capables de comprendre, résumer ou produire du texte.	• Assistance à l'exploitation (rapports, aide à la décision) • Chatbots pour services clients (facturation, incidents) • Analyse de textes réglementaires et techniques • Synthèse automatique de données opérationnelles
IA embarquée / Edge AI	Exécution locale de modèles d'IA sur capteurs et dispositifs autonomes.	• Détection en temps réel d'anomalies dans les stations de pompage • Analyse embarquée sur compteurs intelligents • Alertes locales en cas de dépassement de seuils de qualité
Systèmes multi-agents et IA décisionnelle	Coordination autonome d'agents logiciels pour optimiser un système complexe.	• Gestion dynamique des réseaux d'eau • Simulation d'urgences (pollutions, crues) • Planification optimale de la maintenance

Figure 1 | Cartographie des applications de l'IA dans l'eau et l'assainissement, selon le niveau d'adoption et le moteur de la décision



Source. D'après Shen et Qian (2025), Global Water Intelligence (GWI), version française fournie par les auteurs.

4. Facteurs clés de succès du déploiement

La réussite des applications d'IA repose en grande partie sur les mêmes conditions que celle des autres solutions numériques. On peut les regrouper en six catégories, résumées dans le tableau 2.



Gaine d'irrigation goutte à goutte posée au pied des cultures.

Tableau 2 | Six facteurs clés de succès des applications d'IA pour l'eau

Domaine	Enjeu et facteur clé de succès	En pratique
Gouvernance, stratégie, feuille de route, priorités, prérequis	L'introduction d'outils d'IA doit s'inscrire dans un projet plus large de modernisation, au sein d'une feuille de route.	Au-delà des pilotes et des tests, les applications s'inscrivent dans un portefeuille de projets financés et hiérarchisés, avec des interlocuteurs métier identifiés. Une vision à moyen terme est indispensable, sur la technique (standards, logiciels libres, etc.) comme sur le financement.
Qualité du déploiement	La conception, le test et le déploiement des outils d'IA doivent suivre une gestion de projet rigoureuse.	La mise en œuvre repose sur des chefs de projet compétents et sur des équipes associant spécialistes du numérique et représentants des métiers tout au long du projet. La transmission et l'adoption doivent faire l'objet d'une attention particulière.
Compétences	L'introduction d'outils d'IA mobilise des compétences parfois nouvelles. Il convient de s'assurer que les équipes sont prêtes.	Évaluer les compétences et les besoins de formation. Définir un plan de conduite du changement et suivre l'adoption et les montées en compétence. Bâtir des réseaux de « champions » et de formateurs.
Données	La performance des applications d'IA dépend de la qualité, de la pertinence et de la représentativité des données, ainsi que de leur disponibilité en quantité suffisante.	Établir une politique de gestion des données robuste et connue des utilisateurs. Définir des standards, des protocoles et une vision dans la durée pour l'acquisition et le traitement des données, y compris sur le plan réglementaire.
Mesure	Les bénéfices attendus doivent être évalués, pour hiérarchiser les applications, puis suivis.	Le suivi des bénéfices et de l'impact des applications d'IA dans les processus métier doit s'inscrire dans la durée et s'accompagner d'une communication adaptée.
Financement	Les budgets d'investissement (CAPEX) et de fonctionnement (OPEX) des infrastructures qui font tourner les applications doivent être pérennes.	Les applications, la gestion des données et le stockage doivent être couverts par des financements dans la durée, sous peine d'interrompre le service. Les OPEX sont parfois sous-estimés ou mal anticipés.

RECOMMANDATIONS

01.

Aux acteurs institutionnels, y compris les ministères et les régulateurs

Garantir la souveraineté numérique et minimiser les vulnérabilités du système. Développer des cadres de gestion des données et renforcer les compétences et les politiques de cybersécurité, en liaison avec les institutions et agences nationales.

02.

À l'espace francophone

Examiner avec les partenaires compétents les besoins d'appui et de formation des acteurs francophones de l'eau, notamment en Afrique subsaharienne, en tenant compte de leurs priorités, des dispositifs existants et des ressources disponibles (Anghileri et al., 2024).

03.

Aux opérateurs de gestion de l'eau, en particulier les compagnies des eaux

Systématiser la définition d'une stratégie numérique et d'une feuille de route qui précise les choix technologiques, l'organisation (formation, gouvernance) et la mesure des bénéfices.



Réparation d'une conduite principale à Cabacú. Le nouveau joint fuit lui aussi.

RÉFÉRENCES

Anghileri, D. et al. (2024). Global Water Challenges in Sub-Saharan Africa and how to strengthen science-policy dialogues on transboundary governance and cooperation. Journal of Environmental Management, 365, 121417. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121417

FAO (2025). AQUASTAT water data snapshot 2025, par M. Hernandez Lagana et P. Mejias Moreno. Rome, Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture. https://doi.org/10.4060/cd7054en

Nations unies (2022). World Population Prospects 2022: Summary of Results. Département des affaires économiques et sociales, Division de la population, New York. UN DESA/POP/2022/TR/NO. 3.

Nations unies (2026). The Sustainable Development Goals Report 2026. Département des affaires économiques et sociales, New York. https://unstats.un.org/sdgs/report/2026/

Shen, Y. et Qian, Y. (2025). AI's rise in water: where does it go from here? Global Water Intelligence, 19 mars 2025. https://www.globalwaterintel.com/articles/ai-s-rise-in-water-where-does-it-go-from-here

UNESCO et Deltares (2025). Applications of AI for water management. Paris et Delft, UNESCO et Deltares. https://doi.org/10.54677/VGVL7976

UNU-INWEH (2026). Global Water Bankruptcy: Living Beyond Our Hydrological Means in the Post-Crisis Era, par K. Madani. Institut de l'Université des Nations unies pour l'eau, l'environnement et la santé, 20 janvier 2026. https://doi.org/10.53328/INR26KAM001

LIMITES ET DÉFIS, QUATRE POINTS DE VIGILANCE

L'IA suscite de grands espoirs dans la gestion de l'eau, et de nombreuses applications sont déjà en service ou en développement à différents stades du cycle de l'eau. Quatre limites appellent toutefois la vigilance.

1. **Cybersécurité.** L'abondance de données et de connectivité crée aussi des vulnérabilités. On constate que beaucoup d'acteurs, s'ils ont pris la mesure du risque, n'ont pas toujours les moyens ni même la vision pour déployer un programme robuste, y compris avec les compétences requises. En parallèle, le stockage et la souveraineté numérique sont parfois traités de manière incomplète.
2. **Ressources disponibles, y compris l'électricité.** La transformation numérique repose sur des infrastructures (réseaux, stockage) et sur l'électricité. Certains pays francophones n'ont pas nécessairement accès à une couverture télécom ou énergétique suffisante pour faire tourner de grands modèles. Les applications d'IA doivent donc être adaptées à leur environnement, par exemple avec des modèles adaptés aux tâches, éventuellement légers et exécutés localement ; une règle de gestion ou un modèle statistique peut aussi suffire, sans modèle de langage, pour être généralisées à la mesure des moyens des utilisateurs.
3. **Ancrer durablement le changement.** De nombreux acteurs du secteur de l'eau ont lancé des pilotes et des tests d'outils d'IA. Toutefois, les bénéfices de ces technologies se mesurent dans le temps et sur une échelle de déploiement élargie. Autrement dit, la capacité à généraliser un nouvel outil, à maximiser son usage et à assurer son fonctionnement dans le temps compte avant tout. Cela requiert une vision dès le lancement de ces initiatives. Il convient souvent d'y intégrer le logiciel libre et l'interopérabilité. Sans ces conditions, les bénéfices risquent de rester limités à l'expérimentation.
4. **IA et environnement.** Réfléchir à une IA frugale est indispensable si l'on ne veut pas réserver ces outils à quelques-uns.



11

Intelligence rurale et artificielle, les enseignements du delta du Mékong

Ce que l'expérience vietnamienne apporte au débat francophone



Ngô Thị Thu Trang, Université des sciences sociales et humaines, Université nationale du Viet-Nam à Hô Chi Minh-Ville

Le Viet-Nam subit un changement climatique très marqué, intrusion d'eau salée, affaissement des terres, mutations rapides du milieu. Il y répond par des politiques qui font du delta du Mékong un laboratoire de l'agriculture bas carbone, autour d'un projet d'un million d'hectares de riz de haute qualité et à faibles émissions, où les outils d'observation et l'IA économe peuvent trouver leur place. L'expérience vietnamienne montre qu'une innovation technologique n'est efficace que calibrée localement et mise au service d'une politique publique. Elle offre aux autres pays francophones un terrain d'observation.



L'expérience du delta du Mékong met en lumière l'importance d'objectifs publics explicites, de pratiques agronomiques éprouvées, de la mesure des émissions, du cadre foncier et des liens entre coopératives et acheteurs. Ces enseignements peuvent inspirer d'autres territoires. Le choix d'un outil d'IA et son éventuel transfert demandent une validation dans le contexte d'usage, sans imposer systématiquement un réentraînement complet.

1. Un delta qui s'enfonce et se salinise

Le delta du Mékong est l'une des régions agricoles les plus productives au monde. Il produit plus de la moitié du riz vietnamien et assure plus de 95 % des exportations de riz du pays (Banque mondiale, 2025). Il est aussi l'un des deltas les plus vulnérables de la planète. La montée de la mer et le manque d'eau douce venue de l'amont exposent 1,3 à 1,7 million d'hectares de terres cultivables à la salinisation (Phuong et al., 2024). L'étude de Minderhoud et al., publiée en 2017, estimait que le pompage des eaux souterraines faisait s'affaisser le delta d'environ 1,1 cm par an en moyenne, et de plus de 2,5 cm par endroits, avec une comparaison à la montée de la mer dépendant de la période et du secteur retenus (Minderhoud et al., 2017). En amont, les barrages hydroélectriques et l'extraction de sable ont réduit les apports de sédiments et accéléré l'érosion côtière (Banque mondiale, 2025).

Ces changements peuvent fragiliser les moyens de subsistance, parmi d'autres facteurs économiques et sociaux de migration. La Banque mondiale (2025) estime que près de 1,7 million de personnes ont quitté le delta en une décennie, laissant derrière elles des ménages vieillissants.

1,7 MILLION

de départs du delta du Mékong sur la décennie étudiée par la Banque mondiale (rapport 2025)

Banque mondiale, 2025

Face à cette crise, le gouvernement vietnamien a changé de paradigme avec la résolution 120/NQ-CP de 2017 sur le développement durable du delta. Elle demande de respecter les lois de la nature, d'éviter de la contraindre brutalement et de « vivre activement avec » les crues, l'eau saumâtre et l'eau salée (Gouvernement du Viet-Nam, 2017). C'est dans ce cadre qu'a été lancé le projet d'un million d'hectares de riz de haute qualité et à faibles émissions (Phuong et al., 2024).

2. Un million d'hectares, un projet d'État

Le projet « Développement durable d'un million d'hectares de riz de haute qualité et à faibles émissions, associé à la croissance verte dans le delta du Mékong d'ici 2030 », approuvé par la décision 1490/QĐ-TTg du 27 novembre 2023, illustre cette nouvelle philosophie d'adaptation. Il couvre douze provinces et se déploie en deux phases, d'abord 180 000 hectares en 2024-2025, puis 820 000 hectares supplémentaires de 2026 à 2030. Ce programme agricole est aussi une refonte du paysage rural, dans laquelle la technologie sert des objectifs fixés par la politique publique, réduction des semences, des engrais, des pesticides et de l'eau, vérification des émissions, contrats entre coopératives et entreprises.

TẤN ĐẠT, UNE COOPÉRATIVE BIO LIÉE À SES ACHETEURS

À Trung Ngãi (Vĩnh Long), la coopérative Tấn Đạt est passée au riz biologique à partir de 2014. Ses 65 membres cultivent une centaine d'hectares en bio, dont une trentaine certifiés selon les référentiels américain, européen, japonais et canadien (Nông nghiệp Việt Nam, 2023).

1. Une marque propre, des emballages tracés jusqu'à l'origine et des livraisons régulières, d'une quinzaine de tonnes, à des entreprises.
2. Des chercheurs de l'Institut du riz du delta du Mékong ont accompagné la conversion.
3. Depuis 2019, la coopérative anime une alliance provinciale de coopératives rizicoles qui cultive 400 hectares.

La valeur vient du débouché et de l'organisation, avant toute technologie.

Le bilan à deux ans, présenté en mars 2026, dépasse les objectifs de la première phase, 354 839 hectares couverts, soit 197 % de la cible. Dans les modèles pilotes, l'usage des semences a baissé de 45 %, celui des engrais de 30 % et celui de l'eau d'irrigation de 20 %, les coûts de production ont reculé d'environ 40 % et les émissions de gaz à effet de serre de 3 à 4 tonnes d'équivalent CO_2 par hectare et par saison (IRRI, 2026). Ces modèles reposent sur la formation technique, le semis mécanisé en ligne avec enfouissement de l'engrais et la mesure des émissions. Trois couches technologiques peuvent appuyer le programme.

3. Des contraintes de déploiement et des possibilités pour l'IA embarquée

Le déploiement se heurte aux limites physiques et humaines du milieu rural vietnamien, qui peuvent limiter l'usage de services numériques centralisés selon les sites. Les réseaux mobiles sont coupés lors des tempêtes tropicales et les parcelles manquent d'électricité stable, ce qui pose la question de l'autonomie des capteurs. Les exploitations sont très fragmentées, 83 % des ménages rizicoles du delta cultivant moins de 2 hectares en 2020 (GSO, 2021), et le faible équipement des petits producteurs exclut toute installation lourde. S'y ajoutent des facteurs sociologiques, des interfaces à traduire en vietnamien et dans les langues des minorités, notamment khmère, une main-d'œuvre vieillissante et une méfiance initiale envers le conseil automatisé.

354 839 HA

Couverts par le programme en mars 2026, soit 197 % de la cible de la première phase

IRRI, 2026

3 À 4 T

D'équivalent CO_2 évitées par hectare et par saison dans les modèles pilotes

IRRI, 2026

Pour franchir ces obstacles, des modèles embarqués peuvent être adaptés lorsque la connectivité est limitée, sous réserve de comparer leur utilité à des automatismes ou des règles simples. Des modèles compressés sur des puces à faible consommation, dans les capteurs de salinité ou les drones, peuvent fonctionner en temps réel sans dépendre du nuage. Leur déploiement et leur valeur ajoutée restent à documenter au regard des paquets de pratiques promus par le gouvernement, le programme 1M5R (« un impératif, cinq réductions », semences certifiées obligatoires, réduction des doses de semis, des engrais, des pesticides, de l'eau et des pertes post-récolte) et le programme 3R3G (« trois réductions, trois gains »).

83 %

Des ménages rizicoles du delta cultivent moins de 2 hectares (2020)

GSO, 2021

Les bénéfices de ces paquets sont documentés de longue date. Dans l'essai de référence de Tien Giang, le semis a baissé de 29 %, le pompage d'eau de 31 %, de 3 250 à 2 250 m³ par hectare, et sa fréquence de 37 %, ce qui limite les

conditions anaérobies productrices de méthane. Les pilotes 1M5R ont réduit la densité de semis de 29 à 50 % et les engrais minéraux de 22 à 50 % (Banque mondiale, 2021). L'IA embarquée peut aider à appliquer ces pratiques parcelle par parcelle et à les vérifier, condition de la mesure, du rapportage et de la vérification des émissions qu'exige le projet.

À l'horizon 2030, le scénario de transformation agricole active (PAT) modélisé par la Banque mondiale (2021) donne la mesure de l'enjeu. Par rapport à la poursuite des tendances, la valeur ajoutée agricole du delta serait près de 2,5 fois supérieure en 2030, et les journées de travail augmenteraient d'environ 300 millions par an, soit environ 1,2 million d'équivalents annuels selon la convention de travail retenue dans le scénario, avec deux fois plus d'ingénieurs agronomes et deux fois et demie plus d'ouvriers qualifiés. Le recyclage des 29 millions de tonnes de paille produites chaque année, brûlées au champ à plus de 80 %, éviterait 6 à 10 millions de tonnes d'équivalent CO_2 par an. Ce scénario repose sur la diversification et les bonnes pratiques. L'IA en est un instrument, non la cause.

Tableau 1 | Trois couches technologiques au service du million d'hectares

Couche	Ce qui est fait	Qui l'exploite, qui la finance
Observation de la Terre et cartographie prédictive	Images Landsat et indice de végétation MODIS pour suivre les cultures, riz simple, double ou triple et aquaculture, et repérer où la troisième récolte devient difficile à tenir (Mondal, Le et Lakshmi, 2022)	Planification agroécologique adaptative, à l'échelle du delta
Modèles hydrologiques et prévision	Le modèle SWAT, couplé à six modèles climatiques, projette les débits du Mékong (Mondal, Le et Lakshmi, 2022). Bulletins hebdomadaires de salinité en saison sèche	Institut de recherche hydraulique du Sud et centre national de prévision, pour le ministère et les provinces
Capteurs de terrain et IA embarquée	Capteurs de salinité connectés, contrôle de l'irrigation alternée, drones de pulvérisation. Modèles compressés sur des puces à faible consommation, fonctionnant sans le nuage	Coopératives et entreprises partenaires du programme

4. Localité de performance et levier foncier

La performance d'un modèle doit être évaluée dans son contexte d'usage. Un algorithme de prédiction du rendement développé pour le delta du Mékong peut être sensible aux sols, aux cultures, au climat et aux pratiques représentés dans ses données. Avant son utilisation dans un autre delta, il faut en tester la validité sur des données représentatives. Selon les résultats, un recalibrage, un affinage ou un réentraînement peut être nécessaire ; la dépendance géographique n'interdit pas tout transfert.

Le second levier est juridique. Pour faciliter le passage à l'échelle, le Viet-Nam a adopté la loi foncière de 2024 (Assemblée nationale du Viet-Nam, 2024). Son article 177 relève le plafond des droits d'usage de terres agricoles qu'un particulier peut recevoir par transfert, et ses articles 192 et 193 encadrent la concentration et l'accumulation des terres, ce qui favorise le regroupement des micro-parcelles. L'article 182 permet de changer de culture sur une rizière, par exemple d'y associer l'aquaculture, tant qu'elle peut revenir au riz, et d'y installer de petits équipements de production. L'article 218 autorise, sous conditions, un usage combiné des terres agricoles, pour l'agrotourisme par exemple, sans changer leur classification. Ce cadre donne une base juridique plus claire à la rotation riz-crevette et à l'équipement des parcelles.

5. Le Viet-Nam et le reste de l'espace francophone

Les expériences francophones présentent des niveaux de déploiement, des objectifs et des organisations différents ; les exemples qui suivent permettent d'en examiner les complémentarités, sans établir un classement entre pays. En France, le programme Agroécologie et Numérique, copiloté par INRAE et Inria depuis 2022, privilégie des modèles hybrides, qui associent modèles agronomiques, connaissances d'experts et données, et des outils numériques frugaux, et les deux instituts ont prolongé leur partenariat pour 2026-2030 (INRAE et Inria, 2026). Au Maroc, l'initiative Al Moutmir du groupe OCP, adossée à l'Univer-

sité Mohammed VI Polytechnique, revendique plus de 550 000 utilisateurs de son application, une solution de pilotage de l'irrigation à la parcelle, AquaSense, et des gains de productivité de l'eau pouvant atteindre 25 % en arboriculture (Médias24, 2026). En Côte d'Ivoire, la Digital Farming School, créée avec l'UM6P et l'INP-HB avec l'appui d'OCP Africa, doit accueillir en novembre 2026 sa première promotion de cinquante étudiants, formés en deux ans au développement d'outils agricoles numériques (Afrik Soir, 2026). Le Sénégal a inscrit l'IA dans sa Stratégie de souveraineté alimentaire 2025-2034, l'Union africaine dans son plan agricole 2026-2035 (MASAE, 2024 ; UA, 2025).

Le point faible est ailleurs. La troisième édition du défi Innovate Africa, lancée en 2026 par la FAO et Smart Africa, porte un titre révélateur, « de l'idéation au déploiement », et ses promoteurs soulignent que, de nombreuses solutions prometteuses restent à l'état de pilote et sont rarement intégrées aux systèmes agricoles nationaux ou déployées à grande échelle (FAO et Smart Africa, 2026). Le centre de réflexion ECDPM appelle à des stratégies nationales d'IA fondées sur l'innovation inclusive et la co-création avec les agriculteurs, et relève le peu de coordination entre politiques agricoles et politiques d'IA (Musoni et Adeniyi, 2025).

C'est là que se situe l'apport de l'expérience vietnamienne. Elle ne montre pas une IA plus sophistiquée. Elle met en évidence plusieurs conditions à articuler. Une décision publique chiffrée et datée, un million d'hectares en 2030. Des paquets de pratiques éprouvés, 1M5R et 3R3G, mesurés avant tout capteur. Un dispositif de mesure, de rapportage et de vérification des émissions qui donne à la donnée une valeur marchande, la marque « riz vietnamien vert à faibles émissions » de l'association de la filière et ses premières exportations, 500 tonnes vers le Japon (IRRI, 2026). Un cadre foncier et des coopératives liées à leurs acheteurs. L'utilité de l'IA embarquée doit être évaluée au regard de ces conditions, et son déploiement effectif documenté. Ces enseignements organisationnels peuvent inspirer d'autres contextes : le transfert de modèles nécessite une validation et, si les résultats le justifient, une adaptation.

Figure 1 | Quatre expériences, enseignements à comparer et conditions de transfert à évaluer





RECOMMANDATIONS

01.

Au ministère de l'Agriculture et de l'Environnement

Appliquer pleinement la loi foncière de 2024 pour faciliter la diversification vers les modèles riz-crevette ou riz-lotus, plus rentables et plus écologiques. Construire une infrastructure nationale de données agricoles partagées, pilotée dans le delta. Définir les besoins et évaluer les effets environnementaux, sociaux et fonciers avant de choisir les outils, en concertation avec les acteurs concernés.

02.

Aux services de vulgarisation agricole et aux organisations de masse

Élargir la formation et déployer des programmes d'IA économe adossés aux paquets 1M5R et 3R3G, dont les bénéfices sont mesurés indépendamment de l'outil. Traduire les interfaces dans les langues locales.

03.

Aux bailleurs et aux entreprises

Financer en priorité des systèmes locaux de capteurs à faible coût et d'IA embarquée gérés par de petites coopératives, en prévoyant dès le départ qui en paiera la maintenance, par exemple par des contrats d'achat.

04.

Aux scientifiques

Conduire des recherches appliquées sur l'IA dans l'agriculture du delta du Mékong, documenter ce qui se réapprend d'un delta à l'autre et ouvrir ces travaux aux équipes francophones confrontées aux mêmes salinités.

RÉFÉRENCES

Afrik Soir (2026). Agriculture numérique : la Digital Farming School lance sa première promotion en Côte d'Ivoire. 9 septembre 2026.

Assemblée nationale du Viet-Nam (2024). Loi foncière n° 31/2024/QH15 du 18 janvier 2024. Hanoï.

Banque mondiale (2021). Agricultural Land Use and Sustainable Livelihoods in the Mekong Delta: Alternative Scenarios and Policy Implications. Washington. http://hdl.handle.net/10986/38142

Banque mondiale (2025). Living or Leaving: Life in the Mekong Delta Region of Viet Nam. Washington. http://hdl.handle.net/10986/44086

FAO et Smart Africa (2026). Innovate Africa Challenge, 3e édition, « From Ideation to Deployment ». Juillet 2026.

Gouvernement du Viet-Nam (2017). Résolution 120/NQ-CP du 17 novembre 2017 sur le développement durable du delta du Mékong adapté au changement climatique. Hanoï.

Gouvernement du Viet-Nam (2023). Décision 1490/QĐ-TTg du 27 novembre 2023, projet d'un million d'hectares de riz à faibles émissions d'ici 2030.

GSO (2021). Kết quả Điều tra nông thôn, nông nghiệp giữa kỳ năm 2020 (enquête rurale et agricole de 2020). Hanoï.

INRAE et Inria (2026). Sciences des données et IA au service des transitions : INRAE et Inria élargissent leur partenariat stratégique. Communiqué du 26 février 2026.

IRRI (2026). Mekong Delta's Low-Emission Rice Program Surpasses Targets, Sets New Standards for Sustainable Production. 24 avril 2026.

MASAE (2024). Stratégie de souveraineté alimentaire (2025-2034). Dakar, Sénégal, décembre 2024.

Médias24 (2026). SIAM 2026 : AI Moutmir, un accompagnement agricole fondé sur la science et l'innovation. 24 avril 2026.

Minderhoud, P. S. J. et al. (2017). Impacts of 25 years of groundwater extraction on subsidence in the Mekong delta, Vietnam. Environmental Research Letters, 12(6), 064006.

Mondal, A., Le, M.-H. et Lakshmi, V. (2022). Land use, climate, and water change in the Vietnamese Mekong Delta (VMD) using earth observation and hydrological modeling. Journal of Hydrology: Regional Studies, 42, 101132.

Musoni, M. et Adeniyi, D. (2025). How AI can benefit smallholder farmers in Africa: Opportunities for EU-Africa cooperation. ECDPM Discussion Paper n° 396, Maastricht.

Nông nghiệp Việt Nam (2023). Extended organic rice road: pioneering cooperative planting of over 100 acres of organic rice. 13 novembre 2023.

Phuong, T. T. et al. (2024). Impact of Climate Change on Agricultural Production and Food Security: A Case Study in the Mekong River Delta of Vietnam. Sustainability, 16(17), 7776. https://doi.org/10.3390/su16177776

UA (2025). Stratégie et plan d'action du PDDAA 2026-2035.

12

L'IA, au cœur de la transition énergétique, peut-elle modifier nos comportements ?



Jauad El Kharraz, Réseau méditerranéen pour l'énergie propre et Initiative TERAMED



Lanouar Charfeddine, Université du Qatar



mane Abdel Jelil, Ministère de l'Environnement (Mauritanie) et RUKN Partners

La transition énergétique suppose de produire, mais aussi de consommer autrement. L'intelligence artificielle peut optimiser les réseaux, prévoir la demande d'électricité et la production renouvelable, réduire les pertes et accompagner certains changements d'usage. Mais elle doit économiser plus qu'elle ne consomme.



Une utilisation responsable de l'IA dans le secteur énergétique suppose d'évaluer son bilan global, en mettant en regard les économies d'énergie et les réductions d'émissions obtenues, l'empreinte environnementale du système numérique et ses effets sur l'équité sociale.

1. Optimiser des systèmes plus complexes

Les systèmes énergétiques se transforment rapidement, avec le développement des énergies renouvelables, l'électrification des usages, les véhicules électriques, le stockage, les mini-réseaux, l'autoconsommation et la tarification dynamique. Cette complexité crée un besoin d'anticipation et d'optimisation auquel l'intelligence artificielle peut contribuer.

L'Agence internationale de l'énergie a chiffré ce potentiel pour la première fois de manière systématique. Si les applications existantes étaient largement adoptées par le secteur électrique, elles permettraient d'économiser jusqu'à 110 milliards de dollars par an d'ici 2035, dans l'exploitation et la maintenance des centrales, et de libérer jusqu'à 175 gigawatts de capacité de transport supplémentaire sur les lignes déjà construites (dans les hypothèses de déploiement retenues), tandis que la détection des défauts par l'IA réduirait de 30 à 50 % la durée des coupures (AIE, 2025). Une partie de la capacité manquante n'exige donc pas de nouvelles infrastructures, mais une meilleure exploitation de celles qui existent.

Dans les usages finaux, le potentiel est important mais inégal. L'adoption généralisée des applications existantes ferait économiser à l'industrie plus que la consommation d'énergie du Mexique, et aux transports l'équivalent de l'énergie de 120 millions de voitures (AIE, 2025). Dans les bâtiments, le potentiel reste limité par le rythme de la numérisation.

175 GW

De capacité de transport libérables sur les lignes existantes par une large adoption des applications actuelles

AIE, 2025

Le secteur de l'énergie ne tire pas encore pleinement parti de ces outils. Parmi les obstacles relevés par l'Agence, deux ne sont pas technologiques, à savoir l'accès insuffisant aux données et le manque de compétences numériques (AIE, 2025). Ils pèsent davantage là où les opérateurs manquent déjà de moyens. Environ 10 % seulement de la consommation mondiale d'électricité est couverte par des politiques d'ouverture des données électriques (AIE, 2026a). Le secteur dispose aussi d'un long savoir-faire d'ingénierie et d'optimisation, que l'IA doit prolonger plutôt qu'ignorer.

Un rapport plus récent de l'Agence, consacré à la modernisation des réseaux, élargit ce constat. Les régimes thermiques dynamiques, l'optimisation de topologie et le contrôle avancé des flux permettraient de raccorder aux réseaux existants, sans les renforcer, jusqu'à 330 gigawatts de production, de stockage et de demande supplémentaires, à peu près les capacités de production installées de la France et de la Corée du Sud réunies (AIE, 2026b). L'Agence ne chiffre pas à part l'apport de l'IA, dont la valeur tient à la prévision, à l'optimisation, à la connaissance de l'état du réseau, à la résilience et à la gestion des risques. Ces outils se déploient en quelques mois, là où une nouvelle ligne demande des années.

330 GW

de capacité raccordable aux réseaux existants sans nouvelle ligne, environ la capacité installée de la France et de la Corée du Sud réunies

AIE, 2026b

L'Agence ajoute une conclusion qui intéresse directement la Francophonie. Les principaux obstacles sont institutionnels et organisationnels plutôt que techniques, et le partage de ressources techniques, les financements ciblés et l'accès aux compétences comptent particulièrement pour les économies émergentes et en développement (AIE, 2026b). La relation entre l'IA et le réseau reste à double sens, les centres de données étant une demande nouvelle susceptible d'aggraver la congestion.

2. Bâtiments, villes, réseaux

Dans les bâtiments, l'intelligence artificielle peut aider à ajuster le chauffage, la ventilation, la climatisation et l'éclairage en fonction de l'occupation des locaux, de la météo et des prix de l'énergie. À Noisy-le-Grand, le projet RECITAL combine le suivi des consommations, l'amélioration du fonctionnement des équipements et la planification des rénovations. Selon la fiche publiée par la Banque des Territoires le 20 mai 2026, 173 actions ont été identifiées et une réduction de 10 % des dépenses énergétiques est annoncée. L'IA aide notamment à déterminer quels travaux réaliser en priorité, en fonction du budget disponible. Dans les villes, ces outils peuvent aussi appuyer l'éclairage public, les réseaux de chaleur ou la mobilité.

Ces applications ne produisent des gains que si elles sont bien intégrées. L'IA énergétique doit donc être conçue avec les opérateurs, les collectivités et les usagers, et non ajoutée comme une couche technique supplémentaire.

Pour l'espace francophone, la question de l'échelle est décisive. Environ 565 millions de personnes n'avaient pas accès à l'électricité en Afrique subsaharienne en 2023, soit 85 % du déficit mondial (Banque mondiale et BAD, 2025). Là où le réseau est défaillant, la priorité n'est pas d'optimiser une courbe de charge mais de sécuriser une alimentation.

565 M

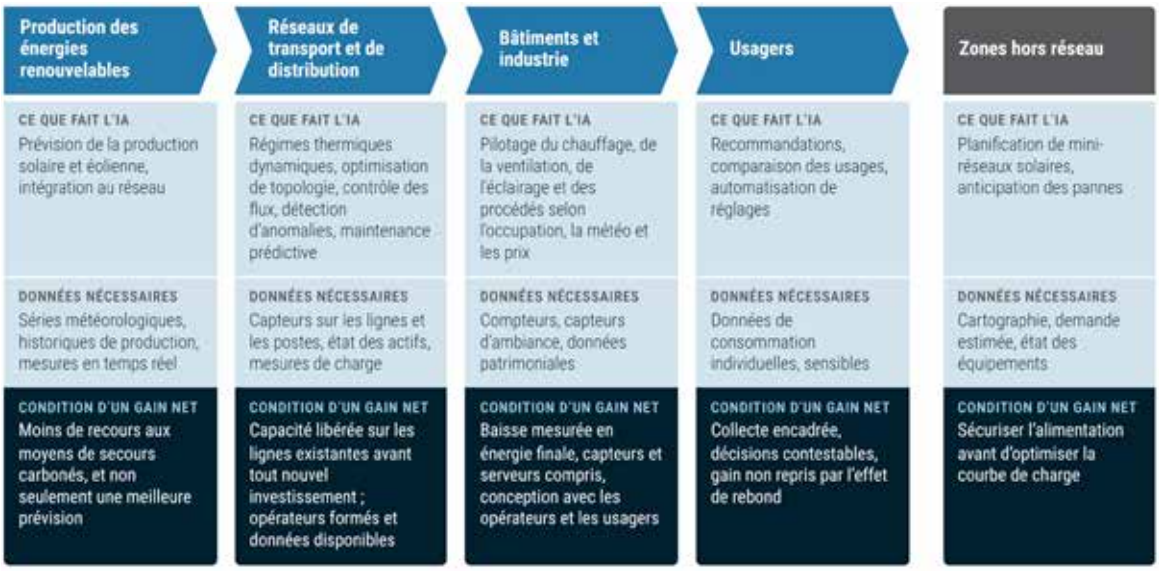
De personnes sans accès à l'électricité en Afrique subsaharienne en 2023, soit 85 % du déficit mondial

Banque mondiale et BAD, 2025

La Mauritanie montre que verdissement du réseau et accès ne vont pas de pair. En 2023, 44 % de l'électricité destinée au réseau de la SOMELEC était déjà d'origine renouvelable, et l'objectif est de 70 % en 2030. Mais l'accès à l'électricité n'atteint que 6 % en milieu rural, contre 91 % en ville, et plus d'un cinquième de l'énergie produite n'est pas facturée, le rendement technico-commercial étant de 77 % fin 2023 (Mauritanie, 2024). Réduire ces pertes, c'est dégager des ressources pour financer l'accès. La détection des pertes et la prévision de la production éolienne et solaire sont des terrains où une IA analytique pourrait montrer un gain mesurable, à condition que le comptage suive.

Les choix d'infrastructures doivent répondre aux besoins et aux contraintes de chaque territoire, en combinant, selon les cas, réseaux interconnectés, mini-réseaux et solutions locales. Pour beaucoup d'entre eux, le PNUD juge plus crédible une trajectoire « applications d'abord, infrastructures légères », appuyée sur les services existants, en attendant que la demande, les compétences et le réseau justifient de grands investissements de calcul (PNUD, 2026). Dans l'énergie, cela peut vouloir dire une IA embarquée dans les onduleurs et les compteurs des mini-réseaux, l'alimentation d'usages productifs comme le pompage agricole, la chaîne du froid ou les centres de santé, et des outils adossés aux grands projets régionaux de dessalement, d'hydrogène vert et d'interconnexion.

Figure 1 | Où l'IA agit dans le système énergétique, avec quelles données et à quelles conditions



LA QUESTION CENTRALE

Avant d'équiper un réseau, un bâtiment ou une usine, une seule question mérite d'être posée. Cette intelligence artificielle permet-elle réellement de consommer moins, mieux, plus proprement et de façon plus juste ?

1. **Moins.** Une baisse mesurée en énergie finale, capteurs, serveurs et maintenance compris, et non une baisse de facture.
2. **Mieux.** Que le gain ne soit pas repris par la croissance des usages qu'il rend moins coûteux.
3. **Plus propre.** Une meilleure intégration des énergies renouvelables et un moindre recours aux moyens de secours carbonés.
4. **Plus juste.** Que le bénéfice ne se concentre pas sur les usagers déjà équipés et informés.

3. Modifier les comportements ?

L'intelligence artificielle peut rendre visibles des consommations habituellement invisibles. Elle peut proposer des recommandations, comparer des usages, détecter des gaspillages ou automatiser certains réglages. Mais changer les comportements ne se résume pas à fournir une information. Les pratiques énergétiques dépendent des prix, du revenu, du logement, du climat, des équipements, du travail et des normes sociales.

Il faut éviter de faire porter toute la responsabilité de la transition sur les individus. La transition énergétique repose sur une responsabilité partagée entre pouvoirs publics, entreprises et citoyens. Les recommandations produites par l'IA doivent tenir compte des conditions de logement, de l'exposition aux températures extrêmes, de la santé des occupants et de leurs moyens financiers. Réduire le chauffage ou la climatisation ne peut se faire au détriment de la santé et des besoins essentiels. L'IA peut aider à adapter les usages, mais son efficacité dépend aussi de la qualité des bâtiments, des infrastructures, des politiques publiques et des choix industriels.

Un mécanisme bien documenté limite par ailleurs les gains attendus. Un progrès d'efficacité abaisse le coût d'un usage et peut en accroître

le volume, l'effet de rebond étant estimé entre 72 et 86 % pour l'électricité résidentielle auprès de 2 356 ménages français (Belaïd, Ben Youssef et Lazaric, 2020). L'AIE le relève elle-même pour les transports, où les véhicules autonomes, plus efficaces, pourraient détourner des usagers des transports collectifs à mesure que leur coût baisse (AIE, 2025). Un gain d'intensité ne devient une baisse d'empreinte que s'il n'est pas absorbé par la croissance des usages.

4. Données sensibles et contrôle humain

Les données énergétiques peuvent révéler des habitudes de vie, présence au domicile, horaires, équipements, activités économiques. Leur collecte doit être encadrée. Les usagers doivent savoir quelles données sont collectées, pourquoi, pour combien de temps et avec quelles protections. La transition énergétique ne doit pas devenir une surveillance invisible.

L'automatisation doit rester contrôlable. Un système peut recommander ou ajuster certains usages, mais les citoyens et les institutions doivent conserver la capacité de comprendre et de contester les décisions, surtout lorsqu'elles affectent le confort, la sécurité ou le coût de l'énergie. Cette exigence rejoint un enjeu de sécurité, puisque les cyberattaques contre les opérateurs énergétiques ont triplé en quatre ans et que l'IA sert autant aux attaquants qu'aux défenseurs (AIE, 2025).

5. L'exigence de sobriété

Une application d'IA destinée à économiser l'énergie doit démontrer son gain net pour un service comparable. L'eau, les émissions, les matériaux et les effets sociaux doivent également être évalués, en explicitant les arbitrages entre indicateurs. Son bilan doit intégrer les capteurs, les serveurs, les communications, la maintenance et la



Passerelle de compteur intelligent dans une armoire de comptage.

durée de vie des équipements. L'ordre de grandeur du dénominateur est désormais connu. Les centres de données ont consommé environ 415 térawattheures d'électricité en 2024, soit 1,5 % de la consommation mondiale, et cette demande devrait plus que doubler pour atteindre environ 945 térawattheures en 2030, puis 1 200 en 2035, et plus de 1 700 dans un scénario d'adoption rapide (AIE, 2025). Les émissions liées à leur approvisionnement électrique passeraient de 180 millions de tonnes de CO_2 aujourd'hui à 300 millions en 2035 dans le scénario de base de l'Agence, et jusqu'à 500 millions dans ce scénario d'adoption rapide (AIE, 2025).

945 TWH

De demande électrique des centres de données en 2030, contre 415 TWh en 2024

AIE, 2025

Cette consommation est très concentrée. Les États-Unis (45 %), la Chine (25 %) et l'Europe (15 %) représentaient ensemble 85 % de la consommation électrique mondiale des centres de données en 2024 (AIE, 2025). Dans l'Union européenne, ils pèsent environ 3 % de la demande, mais plus de 20 % en Irlande (Parlement européen, 2025). La charge se concentre localement plus qu'il n'y paraît dans les moyennes, ce qui déplace la question vers les réseaux qui l'accueillent.

Ces centres pourraient toutefois devenir un actif pour le réseau plutôt qu'une charge. Un centre de données consacré à l'IA est dix fois plus intensif en capital qu'une fonderie d'aluminium, ce qui rend très coûteux l'arrêt de ses serveurs pour soulager le réseau, mais beaucoup disposent d'une réserve de capacité inutilisée, de groupes de secours et de stockage qui pourraient être mobilisés avec les bonnes incitations (AIE, 2025).

Cette matérialité de l'IA ouvre aussi une « fenêtre d'opportunité verte ». Les pays dotés d'un gisement solaire, éolien ou géothermique peuvent devenir des hôtes compétitifs de calcul bas carbone, si le réseau, la régulation et les institutions suivent (PNUD, 2026). En novembre 2025, les autorités marocaines ont annoncé le lancement du projet « Igoudar Dakhla », un complexe de centres de données à Dakhla dont l'alimentation doit être entièrement assurée par des énergies renouvelables (MTNRA, 2025). Cette fenêtre peut se refermer vite, et elle suppose de vérifier les retombées locales et de prévoir des engagements en formation, en renforcement du réseau public et en souveraineté sur les données.

Dans la Francophonie, les priorités varient. Modernisation des réseaux interconnectés, mini-réseaux, résilience insulaire et efficacité des bâtiments publics peuvent se combiner selon les situations nationales et locales. La coopération peut aider à partager outils sobres, retours d'expérience et formations. Les compétences sont le premier chantier, les entreprises de l'énergie interrogées par l'Agence plaçant le manque de compétences numériques en tête des freins à l'adoption de l'IA (AIE, 2026a). Les filières à bâtir, entre énergie, données et IA, doivent aussi s'ouvrir aux femmes, qui ne représentent que 32 % des emplois mondiaux à temps plein dans les énergies renouvelables et 28 % des postes scientifiques et techniques (IRENA, 2025).

Les usages présentés relèvent notamment de la prévision, de l'optimisation et de l'IA embarquée. Des modèles analytiques légers peuvent être pertinents, sans que cette catégorie soit toujours la plus sobre. L'IA générative peut aussi servir certains travaux documentaires. Chaque projet doit comparer les solutions, y compris sans IA, sur la qualité du service rendu, le coût, la maintenance et l'empreinte sur le cycle de vie.

RECOMMANDATIONS

01.

Aux opérateurs de réseaux et aux régulateurs

Exploiter d'abord la capacité des réseaux existants avant de construire, et inciter les centres de données à offrir leur flexibilité au réseau.

02.

Aux collectivités et aux porteurs de projets

Évaluer chaque projet sur son bilan net en énergie finale, capteurs et serveurs compris. Concevoir les outils avec les usagers, encadrer leurs données et garder un recours humain.

03.

À la coopération francophone

Lever deux freins relevés par l'AIE, compétences numériques et accès aux données, en mutualisant outils sobres, données réutilisables lorsque leur partage est autorisé et formations, dans le respect de la souveraineté des États, des droits des personnes et des communautés, de la confidentialité et de la sécurité.

04.

Aux ministères des pays francophones du Sud

Conditionner l'autorisation des centres de données à un approvisionnement renouvelable dédié ou à une contribution au réseau, et financer des formations hybrides ouvertes aux femmes et aux jeunes.

05.

Aux fournisseurs d'énergie et aux associations de consommateurs

Aider les ménages et les prosommateurs à suivre leur consommation, repérer les gaspillages et décaler les usages flexibles, et mesurer les économies réelles, sans sacrifier le confort ni la confidentialité.

RÉFÉRENCES

AIE (2025). Energy and AI. Agence internationale de l'énergie, Paris. https://www.iea.org/reports/energy-and-ai

AIE (2026a). Key Questions on Energy and AI. Agence internationale de l'énergie, Paris, 16 avril 2026.

AIE (2026b). Modernising Grids in the Age of Electricity. Agence internationale de l'énergie, Paris, 21 septembre 2026.

Banque mondiale et BAD (2025). Mission 300, Connecting 300 Million People to Electricity. Fiche d'information, août 2025.

Banque des Territoires (20 mai 2026), Le projet RECITAL : l'IA comme vecteur d'économies d'énergie à Noisy-le-Grand. https://www.banquedesterritoires.fr/realisation/projet-recital .

Belaïd, F., Ben Youssef, A. et Lazaric, N. (2020). Scrutinizing the direct rebound effect for French households using quantile regression and data from an original survey. Ecological Economics, 176, 106755.

IRENA (2025). Renewable energy: A gender perspective, deuxième édition. Abou Dhabi.

Mauritanie (2024). Pacte national de l'énergie pour la République islamique de Mauritanie, Mission 300. Banque mondiale et BAD, décembre 2024.

MTNRA (2025). Signature de deux accords stratégiques à Dakhla dans les domaines de l'intelligence artificielle et de la transition énergétique. Ministère de la Transition numérique et de la Réforme de l'administration, 14 novembre 2025.

Parlement européen (2025). AI and the energy sector. Briefing EPRS PE 775.859, Bruxelles, juillet 2025.

PNUD (2026). The Energy Sprint of the AI Race: A Green Window of Opportunity for Developing Countries? New York, mai 2026.

13

Forger une intelligence urbaine appropriée, les villes face aux défis de la durabilité





Adelina Zeqiri, Université Côte d'Azur

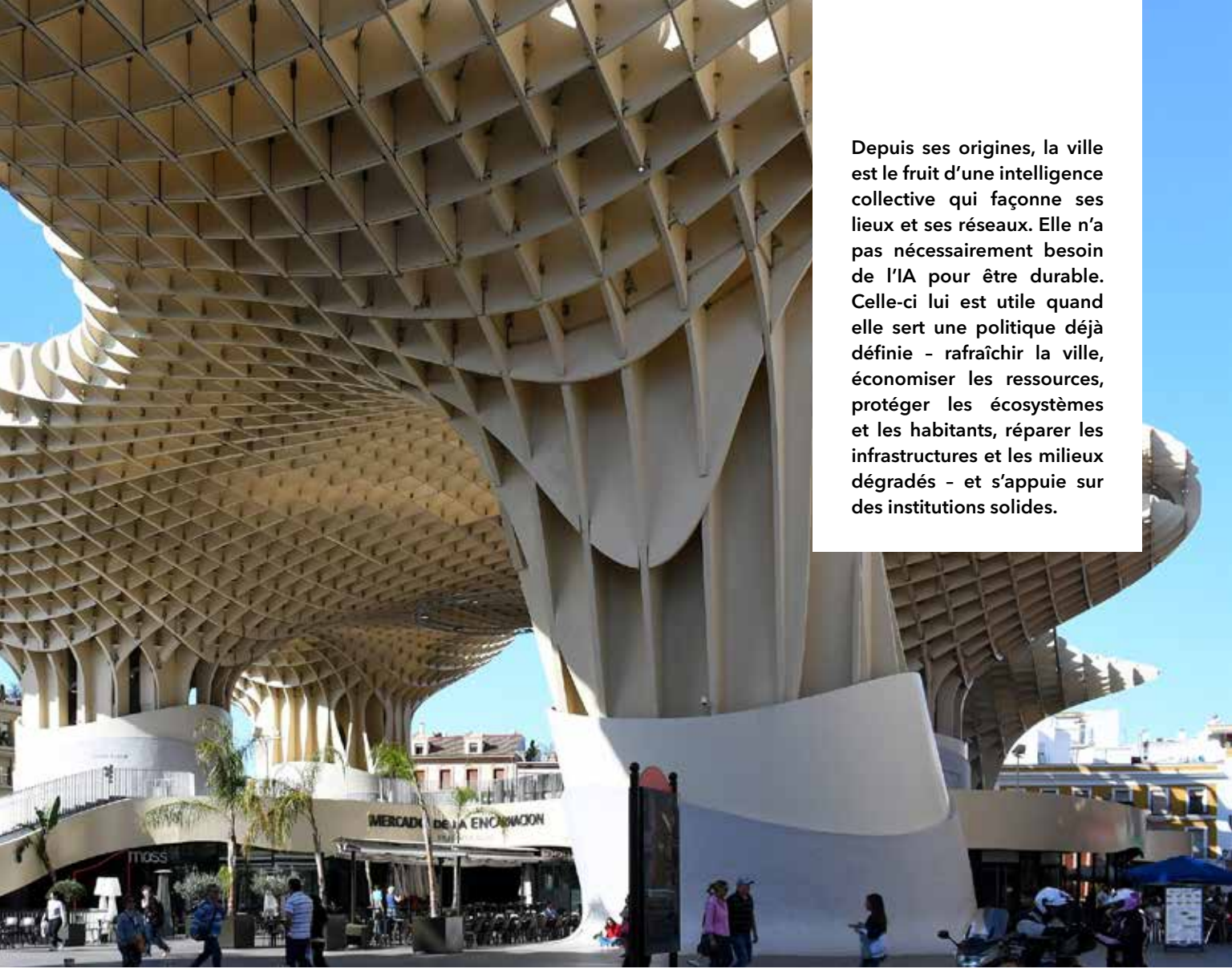


Jihad Farah, Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD) et Université de Liège



Davide La Torre, SKEMA Business School

La ville concentre les consommations d'énergie et d'eau, les émissions de gaz à effet de serre, les îlots de chaleur et les vulnérabilités sociales. Elle concentre aussi les données et les capacités institutionnelles. C'est pourquoi l'intelligence artificielle urbaine avance vite, parfois plus vite que la capacité des collectivités à en évaluer les effets.



Depuis ses origines, la ville est le fruit d'une intelligence collective qui façonne ses lieux et ses réseaux. Elle n'a pas nécessairement besoin de l'IA pour être durable. Celle-ci lui est utile quand elle sert une politique déjà définie – rafraîchir la ville, économiser les ressources, protéger les écosystèmes et les habitants, réparer les infrastructures et les milieux dégradés – et s'appuie sur des institutions solides.

1. Le climat, un défi majeur pour la durabilité urbaine

La durabilité d'une ville se joue dans ce qu'elle concentre – l'eau et ses pertes en réseau, l'énergie des bâtiments, les émissions de la mobilité, les déchets, et dans sa capacité à protéger ses habitants, car la chaleur et les moyens de s'en protéger ne se répartissent pas également entre quartiers ni entre ménages. Le changement climatique pèse sur chacun de ces enjeux.

Sur le littoral méditerranéen, l'îlot de chaleur urbain, que le dérèglement climatique aggrave, est devenu l'un des risques les plus tangibles. La Métropole Nice Côte d'Azur le décrit comme un danger appelé à s'intensifier, aux effets potentiellement importants sur le confort d'été et sur la santé des personnes les plus fragiles, et rappelle qu'il faut d'abord comprendre les paramètres qui conduisent à sa formation avant de faire évoluer les règles d'urbanisme (Métropole Nice Côte d'Azur, 2021).

Face à cette concentration, les collectivités disposent d'un avantage réel. Elles détiennent des données, des compétences techniques et une capacité d'action réglementaire que peu d'autres échelons possèdent. Cette intelligence institutionnelle explique la rapidité avec laquelle les outils numériques se déploient dans les villes, et c'est elle aussi qui rend nécessaire une évaluation de ce qu'ils produisent.

2. Deux terrains, Séville et Nice

La réponse la plus remarquée de Séville à la chaleur ne doit rien à l'intelligence artificielle. Présenté le 21 juin 2022 par la municipalité et le centre de résilience Arsht-Rock de l'Atlantic Council, avec l'Agence espagnole de météorologie, l'Université de Séville et d'autres partenaires scientifiques et institutionnels, le programme proMETEO Sevilla catégorise les vagues de chaleur selon leurs conséquences sanitaires et donne un nom à celles dont l'impact peut être le plus fort, comme on le fait depuis longtemps pour les ouragans et les tempêtes. Un algorithme relie les prévisions météorologiques à leur impact sanitaire, sur trois niveaux

de gravité, et permet d'alerter jusqu'à cinq jours à l'avance (Arsht-Rock, 2022).

La vague de chaleur Zoe, annoncée le 24 juillet 2022, a été la première au monde à recevoir officiellement un nom. Le dispositif a fait l'objet d'une évaluation ex post portant sur ses deux premières années, qui compare les attentes du modèle aux décès quotidiens observés (Martín-Olalla et al., 2024). Ce qui produit l'effet ici n'est donc pas un modèle d'apprentissage automatique, c'est un modèle statistique de surmortalité traduit en catégories publiques et adossé à une organisation d'alerte.

La seconde réponse sévillane est physique. Sur l'Isla de la Cartuja, ancien site de l'Exposition universelle de 1992, le projet CartujaQanat a remis en service la technique ancienne des qanats, généralement attribuée à la Perse. Deux galeries enterrées, alimentées par des pompes solaires, rafraîchissent un espace public. Le dispositif a coûté cinq millions d'euros, financés à 80 % par le Fonds européen de développement régional, et le lieu a été inauguré en octobre 2022, avec un objectif de baisse de 10 °C dans l'espace traité (Ayuntamiento de Sevilla, 2022 ; Urban Innovative Actions, 2023).

Nice suit un chemin différent, plus documentaire. La Métropole a inscrit la lutte contre les îlots de chaleur dans son plan climat-air-énergie territorial 2019-2025, et le Cerema, partenaire de la Région Sud, y a testé un prédiagnostic des îlots de chaleur sur Nice, Saint-Laurent-du-Var et Cagnes-sur-Mer, fondé sur la méthode internationale des zones climatiques locales, qui classe le tissu urbain selon le bâti, la végétation et l'imperméabilisation des sols (Cerema, 2022).

24 JUIL. 2022

Zoe, à Séville, première vague de chaleur au monde à recevoir officiellement un nom

Martín-Olalla et al., 2024

10 °C

De baisse de température visée par CartujaQanat, qui remet en service une technique ancienne, les qanats

Urban Innovative Actions, 2023

La comparaison n'appelle aucun classement, les deux villes n'ayant ni le même climat ni le même héritage urbain. Elle fait apparaître en revanche une constante. Dans les deux cas, l'outil numérique sert à décrire et à alerter. La baisse de température vient de travaux physiques, arbres, sols perméables ou galeries enterrées, et la protection des personnes d'une règle d'alerte adossée à une organisation sanitaire (figure 1). Aucun des deux terrains ne documente un effet thermique attribuable à un modèle d'apprentissage, et il serait imprudent de le laisser croire. L'intelligence dont ces deux villes font preuve est d'abord celle de leurs institutions.

Les deux villes se heurtent à la même question au moment de l'évaluation, celle de l'attribution. Quand une rue devient plus fraîche après un chantier, la part revenant aux arbres, aux revêtements, à l'ombrage ou à la météo de l'année reste difficile à établir sans protocole de mesure défini avant les travaux. Prévoir le protocole dès la programmation renforce l'attribution des effets. Une évaluation rétrospective reste possible, avec des limites à expliciter.

3. Ce que l'IA peut apporter à la ville

Les usages de l'intelligence artificielle dans la ville se rangent en quatre familles, l'observation, la prévision, l'optimisation et l'information des habitants (tableau 1). Leur valeur ajoutée diffère. L'observation, cartographie thermique, suivi de la végétation, détection des fuites, mobilise surtout des traitements d'images et de mesures et, au besoin, des modèles de classification, la famille d'IA la plus mûre et la plus sobre. La France dispose ainsi d'une cartographie nationale des indicateurs d'îlot de chaleur urbain, publiée en données ouvertes, qui couvre les plus grandes villes de France métropolitaine (Kyriakodis et al., 2023 ; CSTB, 2024).

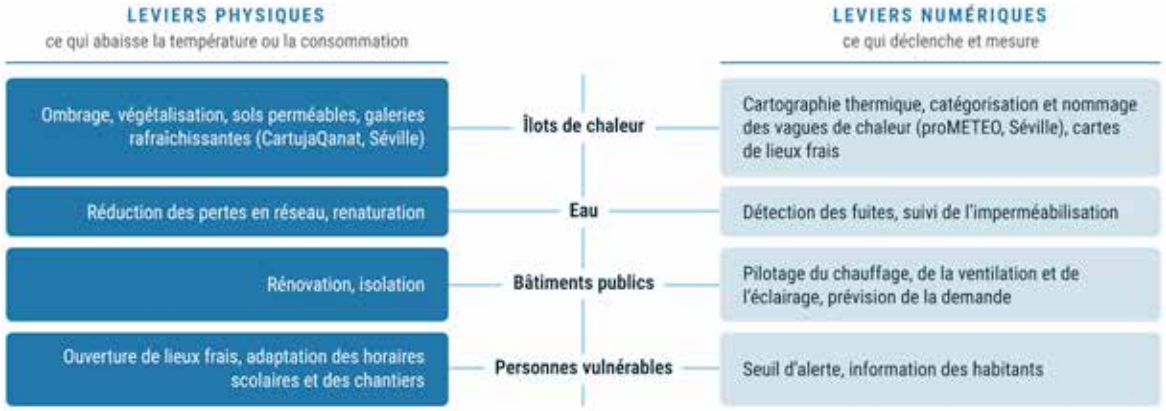
L'exemple de Séville montre que l'utilité d'une prévision dépend de la capacité des acteurs concernés à la traduire en actions concrètes. L'information des habitants ne demande souvent qu'une carte et un canal de diffusion, l'apport d'un outil génératif, notamment pour rédiger ou traduire des messages, doit être comparé à son coût et aux solutions disponibles. C'est dans l'optimisation que l'apport de l'IA est le plus net – tournées de collecte, éclairage, pilotage des bâtiments publics, où le système agit au lieu de recommander. Les questions de contrôle humain et de maintenance s'y posent aussi avec le plus d'acuité.

Ces limites ne doivent pas occulter le potentiel de l'IA pour améliorer l'action publique. Comme Internet en son temps, elle pourrait transformer les façons de concevoir et de mettre en œuvre les politiques publiques. Sa capacité à synthétiser un dossier, un corpus réglementaire ou des milliers de demandes d'habitants peut démultiplier ce que font les services, dans un monde plus incertain. Encore faut-il une perspective stratégique, qui dise ce que la ville attend de l'IA, et un modèle économique adapté à ses besoins et à ses moyens – abonnement à un service, développement interne, mutualisation entre villes ou modèles ouverts, chacun avec ses coûts, ses compétences et sa dépendance.

À titre de comparaison, sans mesurer spécifiquement les projets urbains, l'enquête mondiale publiée par McKinsey en août 2026 indique que près de neuf répondants sur dix déclarent que leur organisation utilise régulièrement l'IA, mais 44 % seulement disent en être au stade du passage à l'échelle de l'entreprise, et 37 % lui attribuent un effet sur le résultat d'exploitation (McKinsey & Company, 2026).

Les raisons sont nombreuses, mais une grande partie est institutionnelle. Passer d'une succession de pilotes, dont beaucoup restent inaboutis, à une infrastructure productive et sécurisée ne se décrète pas. Un pilote ne fait avancer que s'il s'inscrit dans une stratégie claire et dans un dispositif d'apprentissage adapté à la culture de l'administration, qui évalue, retient et généralise ce qui marche. L'IA ne devient une infrastructure que greffée sur une intelligence institutionnelle établie, une gestion mature des données, des moyens de vérifier la conformité de l'action aux règlements et aux choix stratégiques, des systèmes d'information adaptés.

Figure 1 | Leviers physiques et leviers numériques dans la ville méditerranéenne, ce que fait chacun



QUATRE QUESTIONS AVANT D'ÉQUIPER UNE VILLE

1. **Quelle décision publique le système doit-il éclairer ?** Si la réponse est de mieux connaître la situation, sans décision associée, le projet produira de l'information sans produire d'effet.
2. **Quelles données existent déjà et suffisent-elles ?** Les données satellitaires ouvertes, les relevés météorologiques et les fichiers de bâti couvrent souvent le besoin avant tout investissement en capteurs.
3. **Qui exploitera le système dans cinq ans ?** Si seul le prestataire peut le faire, sa pérennité dépend de cette relation contractuelle. Si son fonctionnement repose sur les moyens temporaires du projet, sa continuité au-delà du financement initial reste incertaine.
4. **Une solution non numérique produirait-elle le même résultat à moindre coût ?** L'ombrage, la végétalisation et la désimperméabilisation restent les leviers dont l'effet thermique est le mieux établi.

37 %

des répondants attribuent à l'IA un effet sur leur résultat d'exploitation, alors que près de neuf sur dix l'utilisent régulièrement

McKinsey & Company, 2026

4. Gouvernance, données et compétences

Les deux terrains montrent comment se construit cette intelligence institutionnelle. À Séville, le système d'alerte repose sur des partenaires scientifiques et institutionnels, et son évaluation est publique. Pour CartujaQanat, un partenariat formalisé désigne quatre cogestionnaires de l'espace rénové, la municipalité, la société gestionnaire du parc technologique de la Cartuja, l'Université de Séville et EMASESA, la société métropolitaine de l'eau, chargés de son entretien et de son animation jusqu'en 2026 (Urban Innovative Actions, 2023). À Nice, le prédiagnostic a été réalisé par un établissement public, le Cerema, avec une méthode simplifiée fondée sur les zones climatiques locales, un concept reconnu internationalement. Dans les deux villes, les méthodes sont publiées, donc vérifiables par d'autres.

La maîtrise des données peut devenir fragile lorsque la cartographie ou le pilotage sont confiés à un prestataire sans garanties suffisantes. Les contrats doivent préciser les droits d'accès, d'usage, de réutilisation et de restitution des données, la réversibilité et l'auditabilité des méthodes. Selon le dispositif, ils doivent aussi traiter la confidentialité, la sécurité, la continuité du service, les conditions de sortie et le transfert de compétences. Ces clauses réduisent les risques de dépendance sans les éliminer à elles seules.

Les données de mobilité, de consommation énergétique ou de fréquentation peuvent en outre révéler des habitudes individuelles. Leur agrégation et leur anonymisation doivent être établies avant le déploiement, et non ajoutées après coup.

Reste la compétence interne. Un système qu'aucun agent ne sait exploiter ni maintenir devient une dépendance, quelle que soit sa qualité initiale. La question à poser au moment de la décision n'est donc pas seulement de savoir qui installe le dispositif, mais qui le fera fonctionner dans cinq ans, avec quel budget de maintenance et quelle formation.



Promenade du Paillon, Nice.

5. Une trajectoire pour les villes francophones à moyens limités

Toutes les villes ne disposent pas des moyens de Séville ou de Nice. Une trajectoire réaliste commence par ce qui produit un effet sans instrumentation lourde. Le diagnostic thermique d'abord, qui peut s'appuyer sur des données satellitaires ouvertes plutôt que sur un réseau de capteurs propriétaire. La règle de déclenchement ensuite, seuil d'alerte, ouverture de lieux frais, adaptation des horaires scolaires et des chantiers, qui ne coûte presque rien et protège immédiatement les personnes vulnérables.

Viennent ensuite les travaux, ombrage, végétalisation, désimperméabilisation, réduction des pertes des réseaux d'eau, dont l'effet est durable et ne dépend d'aucun logiciel. L'instrumentation et les modèles arrivent en dernier, pour affiner des politiques déjà engagées et en mesurer les résultats. Cet ordre suit la logique du financement, puisque chaque étape garde sa valeur même si la suivante n'est jamais engagée.

La coopération francophone peut accélérer cette trajectoire en mutualisant ce qui coûte le plus cher aux petites collectivités : la méthode de diagnostic, la formation des agents et les clauses contractuelles types. Elle peut aussi organiser l'échange des expériences. Lancée fin 2023 par la ville de San José, en Californie, la GovAI Coalition réunit plus de 3 000 membres issus de plus de 900 administrations publiques de plusieurs pays, qui partagent informations et ressources (Edinger, 2026). Un espace comparable pour les villes francophones leur permettrait de savoir ce qui a marché et ce qui a échoué, avant qu'elles engagent leurs propres moyens.

La ville n'a pas attendu l'intelligence artificielle pour être intelligente. C'est en s'appuyant sur cette intelligence collective, et en la partageant, que les villes francophones tireront de l'IA ce qu'elle peut réellement leur apporter.

Tableau 1. | Quatre familles d'usages urbains, les modèles qu'elles mobilisent et ce qu'elles exigent

Famille	Modèles et données	Ce que cela exige	Ce qui produit l'effet
Observation	Traitement d'images satellitaires, aériennes et LiDAR, classification supervisée, analyse de séries de débit	Données ouvertes souvent suffisantes, méthode auditable	Rien par lui-même, l'observation oriente les travaux
Prévision	Séries temporelles, données météorologiques, seuils sanitaires	Une organisation d'alerte et une règle de déclenchement publiées	L'alerte et les mesures de protection qu'elle déclenche
Optimisation	Recherche opérationnelle, contrôle prédictif des bâtiments	Bâtiments instrumentés, agents formés, budget de maintenance	La consommation évitée, mesurée en énergie finale
Information	Cartes de lieux frais, alertes, messages	Un canal qui atteint les personnes vulnérables	Le comportement de protection adopté

RECOMMANDATIONS

01.

Aux villes et aux métropoles

Arrêter la décision avant l'outil, seuil d'ouverture des lieux frais, budget annuel de renaturation, règle d'alerte, et fixer le protocole de mesure avant les travaux. N'engager un pilote d'IA que dans une stratégie qui prévoit son évaluation et la suite, généralisation ou arrêt.

02.

Aux acheteurs publics et aux services juridiques

Prévoir les droits d'accès, d'usage, de réutilisation et de restitution des données, la réversibilité et l'auditabilité. Compléter selon le cas par des garanties de sécurité, de confidentialité, de continuité et de transfert de compétences. Prévoir la protection des données personnelles dès la conception et vérifier l'efficacité des mesures d'anonymisation.

03.

À la coopération francophone

Mutualiser ce qui coûte le plus cher aux petites collectivités – la méthode de diagnostic thermique, la formation des agents et les clauses contractuelles types, et ouvrir un espace où les villes partagent ce qui a marché et ce qui a échoué.

RÉFÉRENCES

Arsht-Rock (2022). Seville Becomes First City in the World to Name and Categorize Severe Heat Waves. Communiqué, 21 juin 2022.

Ayuntamiento de Sevilla (2022). El Ayuntamiento inaugura Cartuja Qanat, un proyecto de transformación urbana basado en tecnologías bioclimáticas innovadoras… Actualité municipale, 24 octobre 2022.

Cerema (2022). Vers une cartographie des îlots de chaleur urbains dans la métropole de Nice. Cerema, en partenariat avec la Région Sud, mars 2022.

CSTB (2024). Cartographie nationale des indicateurs liés à l'îlot de chaleur urbain. Jeu de données, data.gouv.fr, Licence ouverte 2.0.

Edinger, J. (2026). San Jose City Council Makes GovAI Coalition a Nonprofit. Government Technology, 8 avril 2026.

Kyriakodis, G.-E., Roujean, J.-L., Saulquin, B., Guiot, T. et Lonjou, V. (2023). Meta-National Database of Buildings in France. Integration of heat-related indicators of French administrative areas. Actes de la 6e conférence IC2UHI, Melbourne, p. 662-671.

Martín-Olalla, J. M. et al. (2024). From heat wave Zoe to heat wave Vera: a two-year ex post evaluation of the categorization and naming heat wave system ProMeteo in Seville, Spain. Prépublication Research Square, non évaluée par les pairs. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4754232/v1

McKinsey & Company (2026). The state of AI in 2026: On the road to ROI. Enquête mondiale, 25 août 2026.

Métropole Nice Côte d'Azur (2021). Îlots de chaleur urbain. Page du site de la Métropole, mise à jour en 2025.

Urban Innovative Actions (2023). CartujaQanat, Journal 3. A 10°C reduction with ZeroNet energy consumption in open spaces is possible. Sevilla made it. Juin 2023.

14

Intelligence artificielle et industrie intelligente en Afrique





Sama Mbang, AISMA, Alliance pour l'industrie 4.0 et la fabrication intelligente en Afrique (ONUDI)



Rafik Fekih, AISMA, Alliance pour l'industrie 4.0 et la fabrication intelligente en Afrique (ONUDI)



Jean-Bosco Byiringiro, AISMA, Alliance pour l'industrie 4.0 et la fabrication intelligente en Afrique (ONUDI)



Brando Okolo, AISMA, Alliance pour l'industrie 4.0 et la fabrication intelligente en Afrique (ONUDI)

L'industrie manufacturière africaine se construit au moment où les technologies de l'industrie 4.0 sont déjà disponibles. Cette simultanéité ouvre une possibilité rare, concevoir des outils de production plus sobres dès l'origine, sans répéter les trajectoires industrielles les plus intensives en carbone. Elle expose aussi à un risque de dépendance technologique, car le maillon le plus facile à acheter, le modèle, est aussi celui qui rapporte le moins tant que l'énergie, l'instrumentation et la maintenance ne suivent pas.



L'enjeu n'est pas d'importer l'usine intelligente, mais de construire une capacité industrielle africaine capable de choisir, d'adapter et de maintenir ses propres solutions. L'intelligence artificielle y est le dernier maillon d'une chaîne, et son rendement est borné par le plus faible des maillons précédents.

1. L'industrie africaine face à la double transition

Les statistiques industrielles de l'ONUDI situent l'Afrique, en 2024, à 3,2 % du produit intérieur brut mondial et à 2,0 % de la valeur ajoutée manufacturière mondiale. L'industrie manufacturière y pèse 10,6 % du produit intérieur brut contre 16,5 % dans le monde, et la valeur ajoutée reste concentrée dans les secteurs de basse technologie, produits alimentaires, minéraux non métalliques et boissons en tête (ONUDI, 2025). L'essentiel de l'appareil productif reste donc à construire.

Cela renverse la question environnementale. Ailleurs, il s'agit de décarboner un appareil existant. En Afrique, il s'agit de choisir une trajectoire d'équipement, et les choix faits aujourd'hui, en termes de machines importées, de zones industrielles, ou encore de contrats d'énergie, engagent des décennies. Le jumeau numérique de l'usine permet désormais de les tester avant la première pierre, comme dans l'automobile, et d'éviter un surdimensionnement coûteux en capital comme en énergie.

2,0 %

Part de l'Afrique dans la valeur ajoutée manufacturière mondiale en 2024

ONUDI, 2025

Kremer (1993) a décrit la production comme une chaîne de tâches dont la valeur finale est le produit des qualités d'exécution, non leur somme, si bien qu'un maillon défaillant annule la contribution des autres. Un dispositif d'industrie intelligente enchaîne sept maillons – énergie fiable, instrumentation des machines, connectivité, maintenance et pièces, compétences, gouvernance et sécurité des données de production, et seulement en dernier lieu un modèle. Le premier maillon est le plus fragile. En 2023, 565 millions de personnes n'avaient pas accès à l'électricité en Afrique subsaharienne, soit 85 % du déficit mondial (AIE et al., 2025), et les entreprises manufacturières exposées aux coupures affichent une productivité totale des facteurs inférieure de 9 % en moyenne (Apeti et Ly, 2023). Un modèle de maintenance prédictive dans une usine non instrumentée dont l'alimentation cède plusieurs heures par semaine ne produit à peu près rien. Une analyse multicri-

tère fondée sur 50 entretiens d'experts dans 27 pays le confirme : la préparation des données, l'intégration de l'existant et l'interopérabilité y pèsent la moitié du poids des critères (Ben Youssef, Zeqiri et Mbang, 2026).

565 M

de personnes sans accès à l'électricité en Afrique subsaharienne en 2023, soit 85 % du déficit mondial

AIE et al., 2025

– 9 %

de productivité totale des facteurs, en moyenne, pour les entreprises manufacturières exposées aux coupures

Apeti et Ly, 2023

2. Ce que l'IA fait en atelier, maintenance, qualité, énergie, sécurité

Quatre usages sont mûrs : le comptage énergétique et la détection des dérives, la maintenance prédictive à partir de capteurs de vibration et de température, le contrôle qualité par vision et les alertes de sécurité. Ils fonctionnent sur des données produites sur place, exigent peu de calcul et tolèrent une connectivité intermittente. Des entretiens avec 43 experts montrent que de nombreuses PME gagnent plus qu'elles ne l'attendaient en passant à un suivi énergétique par IA, qui révèle des pertes invisibles (Ben Youssef, Omrani et Zeqiri, 2026).

Le lien avec l'environnement passe par quatre effets. Moins de rebuts, grâce au contrôle qualité. Moins de consommations, grâce au comptage. Des équipements qui durent, grâce à la maintenance, et là où les pièces sont importées, prolonger la vie d'une machine est un gain de circularité. Enfin la traçabilité des approvisionnements et le suivi des émissions, qui supposent des données partagées entre entreprises et des facteurs d'émission nationaux audités, donc un investissement institutionnel avant tout déploiement.

3. Cameroun et Rwanda, deux situations contrastées

Au Cameroun, l'industrie manufacturière représente 14,5 % du produit intérieur brut, mais les industries de moyenne-haute et haute technologie ne pèsent que 4,5 % de la valeur ajoutée manufacturière, et le pays se classait 125e sur 153 à l'indice de performance industrielle compétitive en 2023 (ONUDI, 2025). Une enquête auprès d'un échantillon représentatif d'entreprises industrielles estime le coût d'une coupure d'une heure entre 3,62 et 5,42 euros par kilowattheure et montre qu'un préavis pourrait le réduire d'environ 20 à 33 % (Diboma et Tamo Tatietse, 2013). La situation s'est aggravée depuis. En 2024, 93 % des entreprises interrogées par la Banque mondiale avaient subi des coupures, 10,4 par mois en moyenne, et 56 % possédaient ou partageaient un groupe électrogène, contre 40 % en 2016 (Banque mondiale, 2025). La première intelligence artificielle utile y est donc celle qui mesure l'alimentation, prévoit la charge et aide à planifier la production autour des interruptions anticipées. La stratégie nationale d'IA présentée en juillet 2025 prévoit des nœuds de

Quatre conditions de réussite

1. **Une énergie fiable avant l'automatisation.** L'alimentation du site est-elle mesurée ? Sans cette donnée, la performance annoncée du modèle n'est pas vérifiable.

2. **Des compétences de maintenance disponibles localement.** Qui assurera la maintenance à partir de la troisième année ? Si seul le fournisseur peut intervenir, il faut prévoir les conditions de continuité du service et de changement de prestataire. Si la maintenance dépend du financement temporaire du projet, des ressources pérennes doivent être prévues pour prendre le relais.

3. **Des données de production exploitables.** Le modèle repose-t-il sur des données que le site produit déjà ? Sinon, le projet est un projet de métrologie, et son budget doit le préciser.

4. **Un modèle économique qui survive au projet.** Qui paie l'exploitation une fois la subvention terminée, et le gain est-il exprimé en intensité ou en niveau ? Un gain par unité produite ne dit rien de l'empreinte totale du site.

Même chaîne, maillon faible différent. Au Cameroun, la contrainte prioritaire est la fiabilité énergétique. Au Rwanda, c'est la capacité d'absorber, d'intégrer et de maintenir les technologies. L'outil à financer en premier diffère donc.

calcul en périphérie alimentés par des micro-réseaux solaires, mais ne cite pas l'industrie parmi ses priorités (MINPOSTEL, 2025).

Au Rwanda, la base manufacturière est plus étroite, avec 8,3 % du produit intérieur brut. Selon l'ONUDI, la valeur ajoutée manufacturière a progressé de 9,6 % en 2024, et les industries de moyenne-haute et haute technologie en représentaient déjà 16,1 % en 2023, année où le pays se classait 136e sur 153 à l'indice de performance industrielle compétitive (ONUDI, 2025). Le Rwanda a aussi construit un cadre favorable au numérique, avec le Centre pour la quatrième révolution industrielle lancé en 2022 avec le Forum économique mondial et une politique nationale d'IA adoptée en 2023 (World Economic Forum, 2022 ; MINICT, 2023).

Inyange Industries, l'une des principales entreprises agroalimentaires du pays, en donne un exemple. Selon la GSMA (association internationale des opérateurs de téléphonie mobile), elle a adopté des systèmes de suivi connectés, des capteurs numériques, l'analyse de la production en temps réel et des plateformes numériques de contrôle qualité, pour gagner en efficacité et réduire le gaspillage. Le rapport fait état d'une amélioration déclarée de 15 % de la productivité et d'une mise en conformité plus rapide avec les normes d'exportation régionales (GSMA, 2025). Il souligne toutefois que les compétences restent un goulet d'étranglement, faute d'intégrateurs de systèmes, d'informaticiens d'usine et de techniciens formés à la robotique ou à l'étalonnage des capteurs.

Tableau 1 | Les usages de l'IA en atelier, par niveau de maturité industrielle du site

Usage	Famille d'IA	Ce qu'il apporte à l'environnement
Niveau 1 • site sans instrumentation, alimentation instable · ce qui est déjà possible		
Comptage énergétique du site	Embarquée	Révèle les pertes et les consommations à vide, avant tout modèle
Surveillance conditionnelle simple	Embarquée	Évite pannes et pertes grâce à des capteurs autonomes de vibration et de température, alertes locales sans réseau
Niveau 2 • site instrumenté et compté · les usages mûrs		
Maintenance prédictive	Embarquée et analytique	Allonge la vie des équipements, réduit les pièces importées et les arrêts
Contrôle qualité par vision	Analytique, sur images	Réduit les rebuts et la matière perdue
Optimisation énergétique	Analytique	Ajuste la charge et les horaires de production à l'énergie disponible
Sécurité des opérateurs	Embarquée	Détecte les situations à risque, réduit les arrêts accidentels
Niveau 3 • site connecté, données gouvernées, filière organisée · ce qui reste à construire		
Traçabilité de la chaîne d'approvisionnement	Analytique, données partagées	Rend les intrants et leur origine vérifiables
Suivi des émissions du site	Analytique	Mesure l'empreinte réelle, à condition de facteurs d'émission nationaux audités

4. Compétences, emploi et organisation du travail

L'emploi manufacturier africain a progressé de près de 35 % depuis 2015, mais la productivité du travail a reculé de 10 % sur la même période (ONUDI, 2025). Les compétences qui manquent le plus ne sont pas celles des spécialistes de données. Ce sont les techniciens d'instrumentation et de maintenance, les gestionnaires d'énergie et ceux qui savent conserver, lire et interroger les données d'une machine. Des entretiens avec 43 experts de 27 pays placent les compétences de la main-d'œuvre et la vision de

onditions de réussite des transitions numérique et écologique conjointes (Ben Youssef, 2025). La formation devrait être assurée par les centres techniques et les établissements d'enseignement professionnel, en lien avec les organisations patronales pour définir les compétences attendues. Les fournisseurs d'équipements peuvent y contribuer, mais la formation doit permettre aux professionnels de travailler avec différentes technologies. Les laboratoires-écoles offrent un cadre pratique pour développer cette autonomie. À Yaoundé, l'InnoTech Lab, lancé en 2020 par la Digital Transformation Alliance, que préside l'un des auteurs, a été équipé grâce à l'AUDA-NEPAD d'une plateforme de conception 3D, d'imprimantes 3D et de bancs d'essai en mécatronique et en énergies renouvelables (AUDA-NEPAD, 2020).

+ 35 %

D'emplois manufacturiers en Afrique de 2015 à 2023, quand la productivité du travail reculait de 10 %

ONUDI, 2025

L'organisation du travail change avec l'outil, la maintenance passant de la réparation subie à la planification, ce qui suppose quelqu'un qui lit les alertes et décide. L'expérience de l'automobile le montre, on ne numérise utilement qu'un processus déjà stabilisé et standardisé par une démarche d'amélioration continue visant à réduire les pertes de temps, de matières et de ressources dans les processus de production – un préalable peu coûteux. Sutton (2012) montre que ce qui manque aux économies en développement n'est pas la technologie mais l'ensemble organisé de savoir-faire qui permet de s'en servir, et une petite unité ne déploiera jamais seule un dispositif d'industrie intelligente. Contre la dépendance à un fournisseur unique, trois clauses suffisent souvent : des interfaces ouvertes, la propriété des données de production par l'entreprise, et une maintenance assurée localement à partir de la troisième année.



Usine des Brasseries du Cameroun, quartier Bali, Douala.

5. Conditions de déploiement et rôle des politiques régionales

Les financements doivent suivre les besoins et les étapes nécessaires au bon fonctionnement des solutions. La priorité est de fiabiliser l'alimentation électrique des sites et de mesurer leurs consommations : ces investissements permettent déjà d'identifier des économies, même sans IA. Il convient ensuite d'équiper progressivement les installations existantes de capteurs et de dispositifs de suivi, en adaptant les équipements plutôt qu'en les remplaçant systématiquement. Des standards ouverts, comme OPC UA, facilitent les échanges entre équipements de fournisseurs différents.

La formation à la maintenance et la définition des règles de gestion des données doivent accompagner ces investissements dès le départ. Des modèles d'IA légers peuvent ensuite être déployés au plus près des capteurs, avec un fonctionnement adapté aux interruptions de connexion. Cette progression suppose que les financements consacrés à l'IA couvrent aussi les équipements de base, la formation et l'entretien.

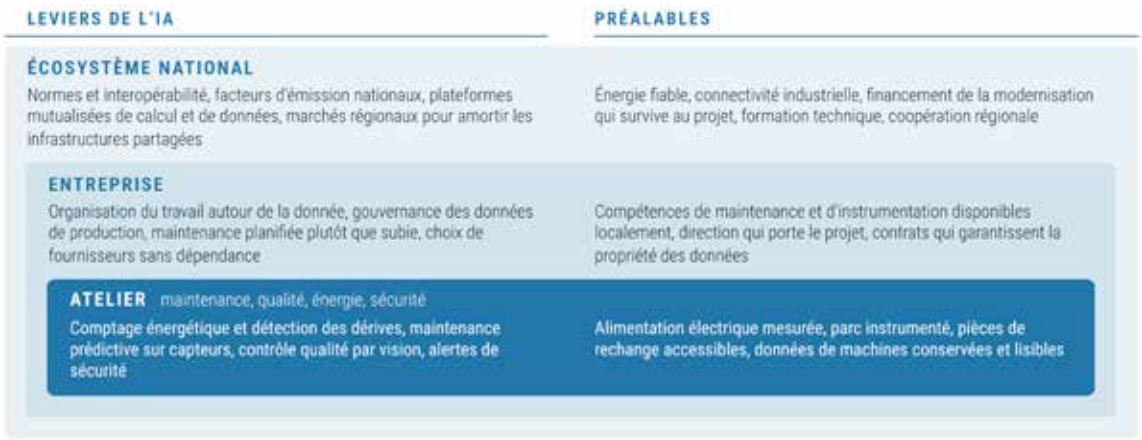
Pour les petites unités de production, la mutualisation des équipements à l'échelle d'une zone d'activité ou d'une filière, ainsi que la location à l'usage, peuvent rendre ces investissements plus accessibles. L'appui des banques de développement peut contribuer à

leur financement, à condition de prévoir les ressources nécessaires à leur fonctionnement dans la durée.

La coopération régionale peut faciliter l'amortissement de ces investissements en élargissant les marchés et en partageant les coûts. La Zone de libre-échange continentale africaine (ZLECAf) offre un cadre à cette intégration. L'Alliance pour l'industrie 4.0 et la fabrication intelligente en Afrique, lancée par l'ONUDI en novembre 2023, favorise également la coopération entre experts, industriels et décideurs (ONUDI, 2023).

Ces initiatives peuvent s'appuyer sur la Stratégie continentale sur l'IA (UA, 2024) et sur la stratégie pour la science, la technologie et l'innovation STISA 2025-2034, qui soutient l'industrialisation durable (UA, 2025). Leur traduction dans les stratégies nationales d'IA gagnerait à préciser les besoins des entreprises industrielles, notamment des petites unités de production : accès aux équipements, formation, maintenance et gestion des données. Cette intégration suppose des objectifs concrets, des moyens adaptés et une coordination entre politiques industrielles et numériques.

Figure 1 | Trois échelles, atelier, entreprise, écosystème national, leviers et préalables



Lecture. *Chaque échelle conditionne la précédente. Les leviers d'un atelier ne produisent rien sans les préalables de l'entreprise, et ceux de l'entreprise sans ceux de l'écosystème.*



Embarquement des conteneurs au port autonome de Kribi (Cameroun).

RECOMMANDATIONS

01.

Aux ministères de l'industrie et aux agences de promotion

Conditionner tout appui public à un projet d'industrie intelligente à la preuve que l'alimentation du site est mesurée et que le parc est instrumenté, ces deux investissements produisant un gain vérifiable même si le projet numérique est ensuite abandonné.

02.

Aux centres techniques et aux organisations patronales

Porter analyse, maintenance et formation à l'échelle de la zone industrielle ou de la filière plutôt qu'à celle de l'entreprise, et inscrire dans les contrats d'équipement des interfaces ouvertes et la propriété des données de production.

03.

À la coopération internationale et francophone

Financer les maillons dans l'ordre où ils conditionnent les suivants (énergie, instrumentation, compétences, gouvernance des données, puis modèles) et assortir chaque objectif d'efficacité d'un objectif exprimé en niveau. Inscrire l'industrie dans les stratégies nationales d'IA.

RÉFÉRENCES

AIE, IRENA, UNSD, Banque mondiale et OMS (2025). Tracking SDG 7: The Energy Progress Report 2025. Washington.

Apeti, A. E. et Ly, A. (2023). Power Constraints and Firm-Level Total Factor Productivity in Developing Countries. Policy Research Working Paper n° 10510, Banque mondiale, Washington.

AUDA-NEPAD (2020). DTA – SIFA Partnership, a Game Changer in the Skills Development Ecosystem in Cameroon. 15 octobre 2020, nepad.org.

Banque mondiale (2025). Enterprise Surveys, Cameroon 2024 Country Profile, et indicateurs des enquêtes 2016 et 2024. Washington, www.enterprisesurveys.org.

Ben Youssef, A. (2025). Twin Transition: Digital Transformation Pathways for Sustainable Innovation. Sustainability, 17(21), 9491.

Ben Youssef, A., Omrani, N. et Zeqiri, A. (2026). AI for Good: Advancing Sustainability in Smart Manufacturing. IEEE Transactions on Engineering Management, 73, p. 27-38.

Ben Youssef, A., Zeqiri, A. et Mbang, S. (2026). Digital twin use-case prioritisation for sustainability in smart manufacturing: A multi-criteria decision analytics approach. Socio-Economic Planning Sciences, 106, 102553.

Diboma, B. S. et Tamo Tatietse, T. (2013). Power interruption costs to industries in Cameroon. Energy Policy, 62, p. 582-592.

GSMA (2025). Enabling smart manufacturing in Africa. GSMA Intelligence, Londres.

Kremer, M. (1993). The O-Ring Theory of Economic Development. The Quarterly Journal of Economics, 108(3), p. 551-575.

MINICT (2023). National Artificial Intelligence Policy. Ministry of ICT and Innovation, Government of Rwanda.

MINPOSTEL (2025). Stratégie nationale d'intelligence artificielle, présentée aux Concertations nationales sur l'IA, Yaoundé, 7 juillet 2025.

ONUDI (2023). UNIDO launches the Alliance for I4.0 and Smart Manufacturing in Africa (AISMA). Vienne, 30 novembre 2023, aisma-alliance.org.



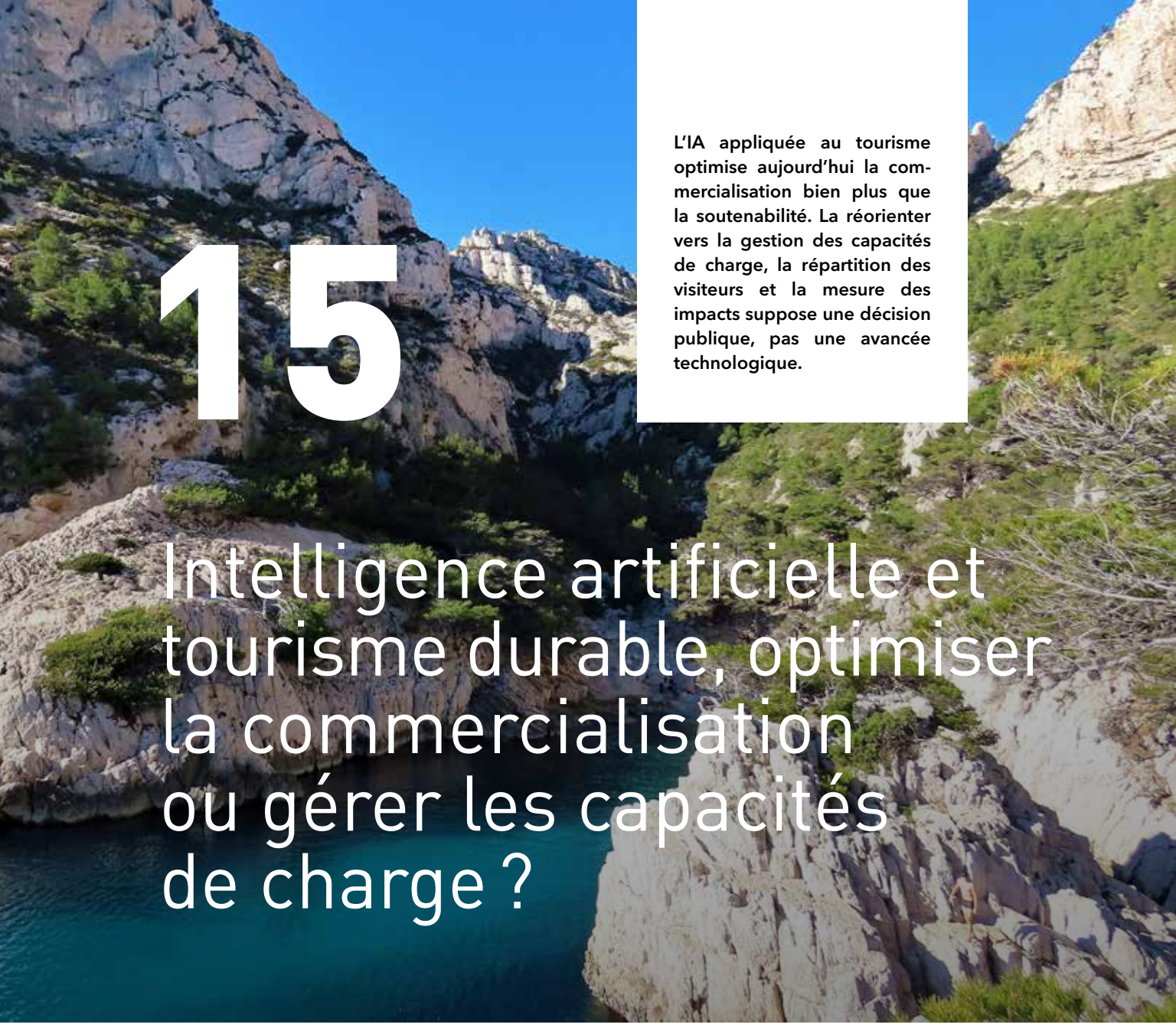
ONUDI (2025). Factsheet Africa. Highlights from the International Yearbook of Industrial Statistics 2025. Vienne.

Sutton, J. (2012). Competing in Capabilities: The Globalization Process. Oxford University Press, Oxford.

UA (2024). Continental Artificial Intelligence Strategy: Harnessing AI for Africa's Development and Prosperity. Addis-Abeba, juillet 2024.

UA (2025). Science, Technology and Innovation Strategy for Africa 2034 (STISA-2034). Addis-Abeba.

World Economic Forum (2022). Rwanda Launches Centre for Fourth Industrial Revolution, Joins Global Network. 31 mars 2022.



L'IA appliquée au tourisme optimise aujourd'hui la commercialisation bien plus que la soutenabilité. La réorienter vers la gestion des capacités de charge, la répartition des visiteurs et la mesure des impacts suppose une décision publique, pas une avancée technologique.

15

Intelligence artificielle et tourisme durable, optimiser la commercialisation ou gérer les capacités de charge ?



Adelina Zeqiri,
Université Côte d'Azur



Adjara Diouf,
Institut de la Francophonie pour le développement durable (IFDD



Cinzia Colapinto,
Université Ca' Foscari de Venise

Le tourisme est un secteur majeur pour beaucoup de pays francophones, et une source importante de pressions sur l'environnement, par la mobilité, la consommation d'eau, le bétonnage du littoral et la concentration des visiteurs sur quelques semaines et quelques sites. L'intelligence artificielle y est déjà installée, surtout du côté de la demande. La question est de savoir si elle peut servir la durabilité, et pas seulement la croissance des flux.

1. Les pressions du tourisme et les leviers d'action de l'IA

L'empreinte environnementale du tourisme se construit tout au long du voyage : transport jusqu'à la destination, déplacements sur place, hébergement, activités et consommation de biens et de services. La mesurer uniquement par nuitée ne suffit donc pas : il faut aussi prendre en compte les trajets et les visiteurs à la journée. En 2019, le tourisme mondial générait 5,2 gigatonnes d'équivalent CO_2, soit 8,8 % des émissions mondiales. Entre 2009 et 2019, son intensité carbone – les émissions par unité de dépense – n'a diminué que de 0,3 % par an, tandis que les dépenses touristiques augmentaient de 3,8 % par an à prix constants. Les gains d'efficacité ont ainsi été largement dépassés par la croissance de l'activité (Sun et al., 2024).

À cette empreinte mondiale s'ajoutent des pressions locales, parfois très fortes. La consommation directe d'eau liée au tourisme représente moins de 1 % de la consommation mondiale, mais cette proportion masque d'importantes disparités : les visiteurs se concentrent dans certains lieux et à certaines périodes, notamment dans des destinations où l'eau est déjà rare (Gössling et al., 2012).

La notion de capacité de charge touristique permet d'aborder ces limites : elle désigne le niveau de fréquentation compatible avec la préservation des milieux, la qualité de vie des habitants et les conditions de visite. Elle dépend des caractéristiques du site, des équipements disponibles et des modalités de gestion. Sur une plage, un sentier ou dans un centre ancien, une fréquentation excessive peut provoquer érosion, congestion, accumulation de déchets ou conflits d'usage. Les coûts sont alors supportés en partie par les habitants, les collectivités et les écosystèmes, sans être nécessairement intégrés au prix du séjour.

L'IA peut aider à anticiper ces concentrations, à suivre les consommations et à adapter la gestion des flux. Son utilité dépend toutefois des objectifs fixés et des mesures prises pour respecter les limites du territoire.

8,8 %

Des émissions mondiales en 2019 sont dues au tourisme, soit 5,2 gigatonnes d'équivalent CO2

Sun et al., 2024

0,3 %

De gain d'efficacité par an, face à une croissance des dépenses touristiques de 3,8 %

Sun et al., 2024

L'intelligence artificielle intervient à trois niveaux, et de façon très inégale. En amont, là où se forme la demande, elle est partout. Dans l'hébergement, elle progresse. Sur la capacité de charge, là où le milieu se dégrade, elle est presque absente. Cet écart est le sujet de l'article.

2. Ce que l'intelligence artificielle fait déjà

Dans le tourisme, les applications d'IA les plus établies répondent principalement à des objectifs commerciaux : prévoir la demande, ajuster les tarifs, améliorer le taux d'occupation ou personnaliser les recommandations de séjour. Elles reposent notamment sur l'apprentissage automatique, qui analyse les données pour repérer des tendances et anticiper les comportements. Leur déploiement reste toutefois inégal selon la taille et les moyens des entreprises. Ces outils visent à accroître les réservations et les revenus, ainsi qu'à améliorer la rentabilité ; ils ne poursuivent pas nécessairement un objectif de réduction de l'empreinte environnementale.

Le partenariat signé le 29 mai 2026 entre le ministère kényan du Tourisme et de la Faune sauvage et Google Kenya en donne un bon exemple. Infrastructure d'IA, tableau de bord des tendances de recherche, planificateur de voyage génératif et campagnes ciblées y servent un objectif affiché, doubler les arrivées internationales (Capital FM, 2026). Aucune des composantes annoncées ne dit quelle fréquentation les aires protégées peuvent absorber.

L'IA générative s'installe désormais avant la décision de voyage. Une enquête menée en janvier 2025 auprès de dix-huit mille consommateurs dans quatorze pays montre qu'elle est devenue, pour ceux qui l'utilisent chaque semaine, le premier canal de découverte des voyages, devant les réseaux sociaux et les agences en ligne, et que 57 % des voyageurs souhaitent un assistant d'IA capable d'organiser leur séjour de façon autonome, d'une marque à l'autre (Accenture, 2025).

En France, cette évolution se concrétise avec MarIAnne, le planificateur de voyages d'Atout France, déployé sur France.fr en 2024. À partir du budget, des dates et des centres d'intérêt renseignés par l'utilisateur, cet outil d'IA génère un itinéraire personnalisé et suggère des hébergements, des restaurants et des activités. Il intervient ainsi dès la préparation du séjour et peut orienter les lieux et les prestations envisagés par le voyageur (Gouvernement français, 2025 ; Institut national de la consommation, 2025).

57 %

Des voyageurs souhaitent un assistant d'IA qui organise leur séjour de façon autonome

Accenture, 2025

L'effet rebond peut absorber une partie, la totalité, voire plus que les économies attendues d'une amélioration d'efficacité ; ce dernier cas est parfois appelé retour de flamme. Les outils intervenant au moment où se forme la demande de voyage ajoutent un mécanisme à examiner : ils peuvent stimuler les départs ou modifier les destinations. Une baisse de l'empreinte par nuitée ne garantit donc pas une baisse de l'empreinte totale.

3. Ce que l'intelligence artificielle pourrait faire

Des outils connectés peuvent aider à réduire la consommation de ressources, sans nécessairement recourir à l'IA. Une étude portant sur plus de 17 500 douches dans six hébergements au Danemark, en Espagne et au Royaume-Uni en fournit un exemple : dans l'établissement où un afficheur indiquant la durée de la douche a été testé seul, le temps d'écoulement de l'eau a diminué d'environ 26 % (Pereira-Doel et al., 2025).

À Séoul, un dispositif de collecte des déchets alimentaires a été expérimenté pendant un an dans des logements du quartier de Gangnam. Les auteurs ont observé une baisse de 33 % des déchets au cours du dernier mois, tout en soulignant qu'elle pouvait être temporaire. Le dispositif associant un suivi connecté et une facturation au poids, cette baisse ne peut pas être attribuée à la technologie seule (Hong et al., 2014).

Ces exemples montrent l'intérêt de la mesure et du retour d'information aux usagers. Ils ne démontrent toutefois pas un bénéfice propre à l'IA : les résultats reposent ici principalement sur des capteurs, l'affichage des consommations ou une incitation tarifaire.

Le financement peut également influencer le déploiement de ces outils. Pour l'eau, l'énergie ou les déchets, les économies réalisées peuvent contribuer à rentabiliser l'investissement de l'exploitant. Les bénéfices du suivi de la fréquentation, de la protection des sites sensibles ou de la comptabilité carbone profitent souvent à plusieurs acteurs. Leur financement suppose alors de préciser qui porte le dispositif, qui en bénéficie et comment ses coûts sont partagés.

Une enquête récente permet de sortir des seules études de cas. Zeqiri et Ben Youssef (2026) ont mené 46 entretiens entre mai 2024 et décembre 2025, dont 35 sur la Côte d'Azur, auprès de responsables de destinations, d'hébergeurs, de collectivités et d'entreprises technologiques, dans douze contextes urbains méditerranéens, de la Côte d'Azur et de Barcelone à Alexandrie, Tunis, Sfax, Casablanca et Tripoli. Cinq usages en ressortent : la gestion de destination par la prévision et les tableaux de bord, l'expérience du visiteur, la visibilité des petites entreprises, la surveillance des milieux et du patrimoine, enfin la montée en compétences et la coopération entre acteurs. Deux enseignements comptent ici. La Côte d'Azur, destination parmi les mieux équipées, ne se distingue pas par sa technologie mais par la disponibilité de ses données et la coordination de ses acteurs. Le cinquième usage constitue une condition de réussite des quatre autres : une gouvernance claire des données, des systèmes capables d'échanger entre eux et des équipes formées sont nécessaires pour déployer durablement l'IA. Ces témoignages éclairent les usages et les difficultés rencontrées, mais ne fournissent pas de résultats chiffrés permettant d'en évaluer les effets.

Un système de prévision peut estimer où et quand les visiteurs se rendront. Il ne détermine toutefois pas, à lui seul, le niveau de fréquentation acceptable d'un site. Celui-ci dépend des limites écologiques du lieu, de ses infrastructures et des choix collectifs concernant les retombées économiques, l'emploi et la qualité de vie des résidents.

Pour maîtriser cette fréquentation, les autorités peuvent limiter le nombre de visiteurs, par des quotas ou des réservations, ou agir sur les tarifs. Les travaux de Weitzman (1974) éclairent le choix entre ces instruments en situation d'incertitude : une limite quantitative est particulièrement pertinente lorsque le dépassement d'un seuil risque d'entraîner une forte aggravation des dommages : un instrument tarifaire peut offrir davantage de souplesse lorsque le coût de réduction de la fréquentation est incertain.

Pour être applicable et juridiquement solide, une limite de fréquentation doit reposer sur des critères documentés et un cadre juridique adapté. Celui-ci doit préciser le nombre de visiteurs autorisés, les périodes concernées, les modalités de contrôle et les éventuelles sanctions. Le comptage doit également être fiable et vérifiable.

Ainsi, la calanque de Sugiton, dans le Parc national des Calanques connaissait des pics de 2 500 visiteurs par jour et une érosion qui met à nu les racines de la pinède. Depuis 2022, l'accès est plafonné l'été à 400 personnes par jour sur réservation gratuite, six fois moins que le pic observé, et la mesure a été reconduite jusqu'en 2027 (Parc national des Calanques, 2026). Au Rwanda, le Parc national des Volcans associe limitation des visites, tarification et partage des retombées. L'observation des gorilles est limitée à huit visiteurs par groupe et à une heure, afin de réduire le dérangement et les risques de transmission de maladies humaines. Cette protection reste essentielle : selon l'UICN, la population mondiale de gorilles de montagne était passée d'environ 680 individus en 2008 à plus de 1 000 en 2018 grâce aux efforts de conservation, tout en restant classée « en danger ». En mai 2017, le Rwanda Development Board a porté le prix du permis de 750 à 1 500 dollars américains et doublé, de 5 à 10 %, la part des recettes touristiques des parcs nationaux consacrée aux communautés riveraines. Ces fonds soutiennent notamment des écoles, des infrastructures de santé, l'accès à l'eau et des activités génératrices de revenus. En août 2026, le RDB faisait état de près de 1 300 projets financés en vingt ans autour des différents parcs du pays, pour plus de 23 milliards de francs rwandais (UICN, 2018 ; RDB, 2017 et 2026).

400

Visiteurs par jour admis l'été à la calanque de Sugiton depuis 2022, contre des pics de 2 500

Parc national des Calanques, 2026

Aucun de ces dispositifs n'a eu besoin d'un modèle. Un formulaire de réservation et un tarif ont suffi, et c'est précisément ce qui délimite la place de l'IA. La décision de plafonner relève de l'autorité compétente : l'IA peut éclairer ses paramètres et aider à sa mise en œuvre sous contrôle humain, notamment pour prévoir la fréquentation du lendemain, pour dimensionner les créneaux, signaler les jours où le report vers le site voisin s'annonce, mesurer l'érosion à partir d'images et de capteurs pour réviser le seuil sur des faits. C'est de l'IA analytique et de l'IA embarquée, des outils légers, à la portée d'un parc.

4. Le verrou des données

Les usages de l'IA présentés dans la partie de la figure 1 consacrée au tourisme durable dépendent tous de l'accès à des données adaptées. Anticiper un pic de fréquentation, définir une limite d'accueil ou ajuster un tarif nécessite de connaître l'état des ressources, le nombre de visiteurs et leurs comportements.

Les collectivités ne disposent pas toujours de ces informations, dont une partie est détenue par les plateformes de réservation, les transporteurs et les hébergeurs. Elles doivent pourtant gérer les conséquences locales de la fréquentation, notamment sur l'eau, les déchets et les milieux naturels.

Les données d'hébergement ne suffisent pas : un modèle fondé uniquement sur les nuitées laisse de côté les visiteurs à la journée, qui peuvent contribuer fortement aux pics de fréquentation. Au Québec, le Système d'information touristique Québec (SIT Québec) décrit les hébergements, les attraits et les services proposés aux visiteurs. Ces données sur l'offre doivent être complétées pour connaître la fréquentation réelle. L'Enquête nationale sur les voyages de Statistique Canada apporte notamment des informations sur les déplacements des résidents canadiens, leurs destinations et les motifs de leurs visites. À l'échelle d'un site, des comptages complémentaires restent nécessaires pour repérer les pointes de fréquentation, notamment celles liées aux visiteurs à la journée.

Pour être utile à la gestion des destinations, le partage des données doit répondre à trois exigences. D'abord, les autorités doivent pouvoir accéder régulièrement à des indicateurs agrégés de fréquentation. Cet accès gagnerait à être encadré par des règles publiques, par exemple liées à l'autorisation d'exercer ou à la collecte de la taxe de séjour, dans le respect du droit applicable et de la protection des données. Ensuite, la destination doit pouvoir récupérer l'historique de ses données dans un format réutilisable lorsqu'elle change de prestataire. Enfin, les méthodes de collecte et de calcul doivent pouvoir être contrôlées par un tiers indépendant, particulièrement lorsque les indicateurs servent à fixer des limites de fréquentation juridiquement contraignantes.

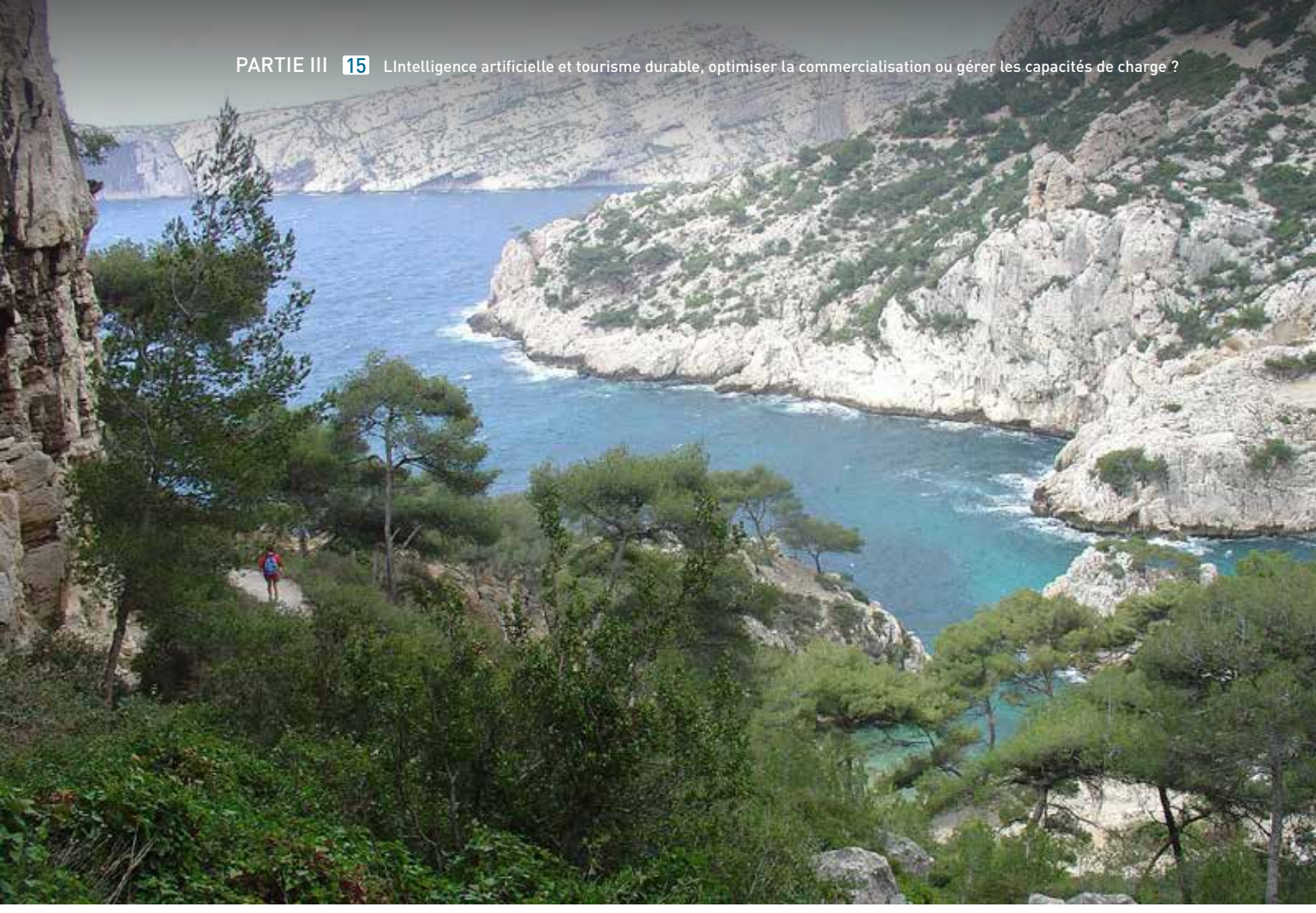
Ces exigences répondent aux difficultés d'accès aux données et de maîtrise de leur utilisation signalées par les gestionnaires méditerranéens interrogés. Les résoudre est une condition importante pour déployer durablement l'IA au-delà des expérimentations.

TROIS INDICATEURS À CONSTRUIRE

Les nuitées, le taux d'occupation et les recettes décrivent l'activité et peuvent contribuer à estimer certaines pressions, sans suffire à établir une capacité de charge. Les indicateurs suivants constituent un socle à compléter par les volumes absolus, la saison, la disponibilité des ressources, les flux simultanés, l'état des milieux et les objectifs locaux.

1. **Pression hydrique par nuitée en période de pointe.** Elle rapporte les prélèvements du secteur à la fréquentation réelle des semaines de tension, et non à la moyenne annuelle, qui masque le problème. Elle doit être rapprochée des prélèvements absolus, de l'eau disponible et des autres usages pour éclairer un seuil de capacité hydrique.
2. **Taux de concentration des visiteurs sur les sites sensibles.** Il mesure la part de la fréquentation absorbée par les milieux dont la capacité de charge a été évaluée. Il aide à suivre la concentration et les reports, mais doit être complété par les flux simultanés et les capacités propres à chaque site pour éclairer un quota.
3. **Part des déplacements internes réalisés en mobilité bas carbone.** Elle porte sur le seul segment que les destinations maîtrisent réellement, à la différence du transport d'approche.

Une fois ces trois indicateurs en place, l'IA a de quoi travailler, prévoir la semaine de tension hydrique, anticiper le report, suivre la part modale. Les données et objectifs nécessaires doivent être définis en fonction des tâches retenues ; ces trois indicateurs ne constituent pas un préalable universel à tout usage d'IA.



Le sentier qui descend au fond de la calanque de Sugiton.

Figure 1 | Le potentiel de l'IA le long du parcours du visiteur

Avant le voyage
rêver, comparer, réserver
FINALITÉ COMMERCIALE

- **Prévision de la demande**
  MATURITÉ ▬▬▬ Mûr
  Le même moteur peut prévoir les pics de fréquentation sur les sites, et non plus seulement le remplissage
- **Tarification dynamique**
  MATURITÉ ▬▬▬ Mûr
  Moduler le prix de l'accès selon la pression sur le milieu, et non selon la seule disponibilité
- **Personnalisation et recommandation**
  MATURITÉ ▬▬▬ Mûr
  Orienter les visiteurs vers les sites et les périodes les moins fréquentés

Dans l'hébergement
dormir, se doucher, manger
FINALITÉ DE DURABILITÉ

- **Pilotage de l'eau et de l'énergie**
  MATURITÉ ▬▬▭ Intermédiaire
  Régler chauffage, climatisation et éclairage selon l'occupation, signaler fuites et surconsommations
- **Gestion des déchets alimentaires**
  MATURITÉ ▬▬▭ Intermédiaire
  Mesurer le gaspillage par service pour ajuster achats et portions

Sur le site
plage, sentier, centre ancien
FINALITÉ DE DURABILITÉ

- **Suivi de fréquentation et allocation d'accès**
  MATURITÉ ▬▬▭ Intermédiaire
  Prévoir les pics et répartir les visiteurs entre créneaux et entre sites, une fois la jauge fixée
- **Détection de pression sur les sites sensibles**
  MATURITÉ ▬▭▭ Émergent
  Repérer piétinement et érosion à partir de capteurs et d'images, avant que le dommage soit irréversible

La destination entière
le territoire, pas le site
FINALITÉ DE DURABILITÉ

- **Comptabilité carbone de destination**
  MATURITÉ ▬▭▭ Émergent
  Estimer les émissions du territoire à partir des données de transport, d'hébergement et d'activités

5. Priorités pour les destinations francophones, et garde-fous

L'empreinte carbone du tourisme est fortement concentrée : en 2019, vingt pays représentaient près des trois quarts du total mondial, aussi bien selon l'origine des voyageurs que selon leur destination. Le Canada et la France figuraient dans ces deux classements (Sun et al., 2024). Les priorités diffèrent donc au sein de l'espace francophone : réduire les émissions là où elles sont élevées et encadrer le développement touristique pour éviter une dépendance durable aux activités les plus carbonées. Dans les petits États insulaires, ces choix doivent également tenir compte de la pression de la fréquentation sur l'eau, les déchets, les milieux naturels et les services à la population.

L'efficacité des investissements dépend autant de leur préparation et de leur coordination que des moyens engagés. La première étape consiste à définir les objectifs de gestion et à réunir les données nécessaires : comptage des accès, prise en compte des visiteurs à la journée, connaissance des sites et de leur sensibilité écologique. Ces informations restent utiles même sans recours à l'IA. Elles permettent ensuite de fixer, lorsque cela est nécessaire, des limites de fréquentation adaptées et révisables. La mutualisation doit être envisagée dès cette phase, pour partager les coûts, les compétences et certains outils de prévision ou de gestion à l'échelle de la destination.

Les risques doivent être examinés en parallèle. Une meilleure gestion peut faciliter une hausse de la fréquentation et atténuer les bénéfices environnementaux attendus. Un quota peut aussi déplacer la pression vers les sites voisins : leur vulnérabilité doit donc être prise en compte. Les modalités d'accès demandent également une attention particulière. Des tarifs élevés peuvent exclure les visiteurs aux revenus modestes, tandis qu'une réservation exclusivement numé-



rique pénalise les personnes peu connectées. Des tarifs adaptés, des possibilités de réservation hors ligne ou une attribution par tirage au sort peuvent répondre à certaines de ces difficultés. Le partage des recettes, comme au Rwanda, poursuit un objectif complémentaire : faire bénéficier les communautés riveraines des retombées du tourisme.

Enfin, le recours à l'IA exige de protéger les données des visiteurs, de définir clairement les responsabilités et de prévoir un contrôle humain ainsi qu'une possibilité de contestation lorsqu'une décision affecte l'accès à un site.



RECOMMANDATIONS

01.

Aux organismes de gestion de destination

Publier, pour chaque site sensible, un seuil de fréquentation, l'instrument qui le fait respecter et l'acte qui le rend opposable, avant de déployer le moindre outil de prévision. Retenir un mode d'allocation qui ne rationne ni par le seul prix ni par la seule rapidité de connexion.

02.

Aux ministères du tourisme et aux bailleurs

Financer le comptage des accès et la mesure de l'excursionnisme avant tout projet d'IA. Conditionner ensuite ces projets à la réversibilité des données, à l'auditabilité des modèles et au financement de leur maintenance une fois la subvention terminée.

03.

Aux organisations de coopération internationale et régionale et aux réseaux de destinations touristiques

Mutualiser à l'échelle régionale la prévision, le pilotage énergétique et la formation aux compétences numériques, hors de portée d'un hébergeur isolé. Utiliser l'IA pour éclairer et mettre en œuvre les instruments de gestion, sous contrôle humain et sans lui déléguer la décision publique.

RÉFÉRENCES

ccenture (2025). Me, my brand and AI: The new world of consumer engagement. Consumer Pulse Research, 18 214 consommateurs dans quatorze pays, janvier 2025, et résultats pour le voyage diffusés en juin 2025.

Capital FM (2026). Tourism Ministry inks AI-powered tourism partnership with Google through Magical Kenya to drive visits. Nairobi, 29 mai 2026.

Gössling, S., Peeters, P., Hall, C. M., Ceron, J.-P., Dubois, G., Lehmann, L. V. et Scott, D. (2012). Tourism and water use: Supply, demand, and security. An international review. Tourism Management, 33(1), p. 1-15.

Hong, I., Park, S., Lee, B., Lee, J., Jeong, D. et Park, S. (2014). IoT-Based Smart Garbage System for Efficient Food Waste Management. The Scientific World Journal, 2014, 646953.

Parc national des Calanques (2026). Réservation Sugiton. Page du site du parc et arrêté AR-2026-14 du 15 juin 2026, Marseille.

Pereira-Doel, P., Font, X., Wyles, K. et Pereira-Moliner, J. (2025). Reducing Shower Duration in Tourist Accommodations: A Covert True Experiment of Continuous Real-Time Eco-Feedback and Persuasive Messaging. Journal of Travel Research, 64(5), p. 1100-1120.

Rwanda Development Board (2017). Increase of Gorilla Permit Tariffs. Communiqué, Kigali, 6 mai 2017.

Sun, Y.-Y., Faturay, F., Lenzen, M., Gössling, S. et Higham, J. (2024). Drivers of global tourism carbon emissions. Nature Communications, 15, 10384.

Weitzman, M. L. (1974). Prices vs. quantities. The Review of Economic Studies, 41(4), p. 477-491.

Zeqiri, A. et Ben Youssef, A. (2026). AI for SDG-Aligned Tourism Governance: What Mediterranean Cities Can Learn from Multi-City Experiences. FEMISE Working Paper n° 1, FEMISE et IEMed.



PARTIE IV

LES PRÉALABLES

Ce qu'il faut réunir avant le modèle



Les trois articles de cette partie portent sur ce qu'il faut réunir avant même de choisir un outil. Il y a d'abord les compétences. L'IA déplace des tâches à l'intérieur des métiers plus qu'elle ne fait disparaître des métiers entiers. Les organismes de l'environnement ont moins besoin de spécialistes de l'apprentissage automatique que d'hydrologues ou d'énergéticiens qui savent préparer leurs données, rédiger une commande et discuter un résultat. Ces savoir-faire s'acquièrent en grande partie au travail, sur des cas réels. Encore faut-il que les débutants gardent des occasions d'apprendre, car les tâches simples qu'on leur confiait sont justement celles que l'IA absorbe le plus vite. Vient ensuite la commande publique, qui pèse lourd dans les dépenses des États. Un acheteur peut y inscrire des exigences environnementales à chaque étape, et une fiche conçue au Québec décrit six bonnes pratiques pour le faire, de la définition du besoin à la publication des performances du système une fois en service. La partie s'achève sur la finance durable. L'IA sert déjà à compter les financements climatiques, à vérifier ce que publient les entreprises, à modéliser les risques et à instruire les prêts. Elle peut alléger le travail des institutions qui peinent à monter des dossiers recevables. Elle peut aussi écarter du financement les territoires dont l'historique est court, parce qu'un modèle de risque entraîné sur des données venues d'ailleurs y voit du danger là où il manque seulement d'information.

DANS CETTE PARTIE

16 — P. 114
Intelligence artificielle et compétences, former des spécialistes ou donner aux métiers les moyens de s'en servir ?
Mounir Dahmani, Mohamed Essaaidi et Cheikh Abdou Lahad Thiaw

17 — P. 120
Approvisionnement public en IA durable
Antoine Glory, Nathalie Noël et Adel Ben Youssef

18 — P. 125
IA et finance durable, ce que les modèles voient, ce qu'ils ignorent, et qui obtient le financement ?
Stéphane Goutte, Jelena Jovovic, Cécile Martin-Phipps et Tounao Kiri

16

Intelligence artificielle et compétences, former des spécialistes ou donner aux métiers les moyens de s'en servir ?



Mounir Dahmani, Université de Gafsa



Mohamed Essaaidi, Université Mohammed V de Rabat



Cheikh Abdou Lahad Thiaw, Université Cheikh Anta Diop de Dakar

L'intelligence artificielle ne transforme pas les professions d'un seul bloc. Elle déplace des tâches et, avec elles, les compétences utiles. Dans l'eau, l'énergie, les forêts ou l'agriculture, un projet peut buter moins sur l'algorithme que sur des données mal tenues, un besoin mal défini ou l'incapacité à discuter le résultat produit. Dans les organismes de l'espace francophone qui envisagent de recourir à l'IA, la formation des professionnels déjà en poste doit compléter celle des spécialistes du numérique, selon les besoins et les moyens propres à chaque contexte.

Former davantage d'experts en apprentissage automatique ne suffira pas. Les organismes ont surtout besoin de professionnels qui connaissent leur métier et savent préparer les données, cadrer une commande, interpréter un résultat et le contester si nécessaire. Cette compétence intermédiaire s'acquiert en grande partie au travail, sur des cas réels.



1. Des tâches plutôt que des métiers

Une technologie remplace rarement un métier en bloc. Elle prend en charge certaines tâches et en revalorise d'autres. Autor, Levy et Murnane (2003) l'ont montré pour l'informatique, qui substituait certaines tâches routinières tout en complétant l'analyse et la relation. L'IA générative déplace cette frontière vers des activités cognitives naguère réservées aux professionnels, comme rédiger une note, résumer un rapport, traduire, écrire du code ou répondre à un usager.

L'Organisation internationale du travail (OIT) estime qu'un travailleur sur quatre dans le monde occupe un emploi exposé à l'IA générative. Cette part atteint 34 % dans les pays à revenu élevé, contre 11 % dans les pays à faible revenu. Les emplois au niveau d'exposition le plus élevé représentent 3,3 % de l'emploi mondial. Cette catégorie, composée surtout d'emplois de bureau, pèse plus dans l'emploi des femmes que dans celui des hommes (4,7 % contre 2,4 %). L'OIT rappelle que ces indices mesurent un potentiel de transformation, non une prévision de pertes d'emplois (Gmyrek et al., 2025).

1 SUR 4 TRAVAILLEUR

dans le monde occupe
un emploi exposé à l'IA générative

Gmyrek et al., 2025

Une exposition estimée faible ne signifie pas que l'enjeu est secondaire. Un indice d'exposition mesure la possibilité que des tâches soient affectées, et non la disponibilité des outils ou leur adoption effective. La structure sectorielle de l'emploi explique aussi les écarts entre pays. Les administrations, les banques et les services aux entreprises regroupent une partie des postes formels potentiellement plus exposés, qui constituent aussi une voie d'entrée pour les jeunes diplômés.

2. Ce que montrent les premières mesures

Les observations directes restent rares. Dans une entreprise américaine de logiciels, une étude menée auprès de 5 172 agents de service client, dont 80 % basés aux Philippines, observe que l'introduction progressive d'un assistant conversationnel augmente de 15 % en moyenne le nombre de demandes résolues par heure (Brynjolfsson, Li et Raymond, 2025).. Le gain vient surtout des agents les moins expérimentés, qui progressent en vitesse comme en qualité ; il est beaucoup plus faible chez les plus chevronnés (Brynjolfsson, Li et Raymond, 2025). Selon les auteurs, l'outil diffuserait une partie des pratiques des meilleurs agents et raccourcirait l'apprentissage des débutants.

Les données d'emploi invitent toutefois à regarder l'entrée dans le métier. À partir de données de paie d'ADP couvrant des millions de salariés américains jusqu'en juin 2026, Brynjolfsson, Chandar et Chen (2026) ne trouvent pas de signe de déplacement massif de l'emploi à l'échelle de l'économie. Pour les 22–25 ans des professions les plus exposées, l'emploi se situe environ 19 % sous le niveau qu'il aurait atteint s'il avait suivi la trajectoire des jeunes des professions moins exposées. Il s'agit d'un écart relatif, non d'une baisse de 19 % de l'emploi des jeunes. L'écart semble passer surtout par des embauches moins nombreuses et se concentre dans les professions où l'IA automatise des tâches plutôt qu'elle ne complète le travail. Les auteurs présentent ces résultats comme descriptifs, non causaux. L'écart s'atténue lorsqu'on tient compte du niveau d'études et il est plus marqué dans l'échantillon ADP que dans les enquêtes nationales.

19 %

Écart relatif d'emploi des 22–25 ans des métiers les plus exposés à l'IA par rapport à la trajectoire de leurs pairs moins exposés (États-Unis, juin 2026).

Brynjolfsson et al., 2026

Ces résultats posent un problème de formation. Les tâches simples par lesquelles un débutant apprend son métier sont précisément celles que l'IA peut absorber le plus vite. Si elles se raréfient, l'apprentissage devra être organisé autrement. Selon le Forum économique mondial, les employeurs s'attendent à ce que 39 % des compétences clés des travailleurs changent d'ici 2030, et 63 % d'entre eux voient le déficit de compétences comme un frein majeur sur la période. Ils estiment que 59 salariés sur 100 auront besoin d'une formation, tandis que 11 risquent de ne pas y avoir accès (FEM, 2025). L'échantillon couvre surtout de grandes entreprises, mais l'ordre de grandeur est révélateur.

3. Ce que l'IA demande aux métiers de l'environnement

Dans l'énergie, une enquête de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) auprès des entreprises fait du manque de compétences numériques le premier obstacle à une adoption plus large de l'IA. L'AIE note aussi que les sociétés spécialisées en IA connaissent souvent mal les marchés et la réglementation de l'énergie (AIE, 2026). Les données de LinkedIn, qui décrivent les profils et les embauches observés sur sa plateforme, indiquent que 53 % des embauches vertes concernent des postes dont l'intitulé n'est pas vert, et que 3,1 % des talents verts du G7, hors Japon, déclarent au moins une compétence d'ingénierie en IA. Ces données rendent visible une combinaison encore peu fréquente sur LinkedIn, mais ne peuvent être généralisées sans précaution à tous les travailleurs ni à l'espace francophone (LinkedIn, 2025).

3,1 %

Des profils de talents verts sur LinkedIn (G7, hors Japon) déclarent une compétence d'ingénierie en IA

LinkedIn, 2025

Cette rareté ne signifie pas qu'il faille transformer chaque professionnel en spécialiste de l'IA. L'OCDE souligne que la plupart des travailleurs exposés n'auront pas besoin de compétences avancées en apprentissage automatique. Dans les professions les plus exposées, la demande porte notamment sur la gestion, la conduite de projet et l'administration (Green, 2024). Pour les usages environnementaux, le constat est le même. Des données locales bien produites et bien gouvernées comptent souvent autant que la sophistication du modèle.

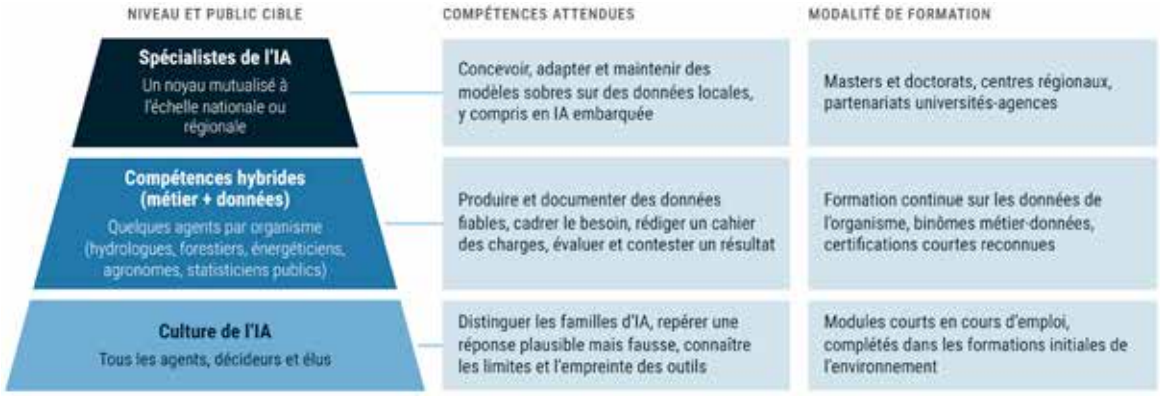
Le besoin le plus difficile à couvrir se trouve ainsi autour du modèle, plutôt que dans le modèle lui-même. Il faut savoir entretenir des capteurs, préserver la continuité d'une série, documenter un jeu de données et traduire un problème métier en variable mesurable. Il faut aussi pouvoir rédiger un cahier des charges, évaluer un fournisseur, lire une prévision avec son incertitude et décider quand ne pas la suivre. Rien de cela n'impose de programmer un réseau de neurones ; tout suppose de connaître le métier. Ces compétences forment le niveau hybride de la FIGURE 1.

4. Le point de départ francophone

L'espace francophone réunit des marchés du travail très différents. Les résultats observés dans les grandes entreprises ou dans les économies fortement numérisées ne peuvent être transposés directement à l'ensemble de ses États et gouvernements. Les besoins de formation doivent tenir compte de la place de l'agriculture, des petites entreprises et de l'emploi informel, mais aussi des équipements disponibles, des langues de travail et des possibilités d'accès à la formation. Pour les métiers de l'environnement, la priorité doit être définie à partir des tâches réellement exercées et des problèmes à résoudre : produire des données fiables, entretenir les équipements, interpréter les résultats et déterminer si le recours à l'IA apporte un bénéfice.

Les données de l'UIT sur la région Afrique, qui ne se confond ni avec l'ensemble de la Francophonie ni avec les seuls pays francophones d'Afrique, indiquent qu'en 2025, 36 % de la population utilisait Internet, contre 74 % dans le monde. L'utilisation en zone urbaine y est 2,6 fois plus fréquente qu'en zone rurale. Cet écart peut compliquer l'usage régulier de services de l'eau, des forêts ou de l'agriculture déployés loin des grands centres. Il renseigne sur l'accès numérique, pas directement sur l'adoption de l'IA (UIT, 2025). La langue ajoute une autre contrainte, car les grands modèles peuvent moins bien fonctionner lorsque les langues et corpus locaux sont peu représentés.

Figure 1 | Trois niveaux de compétences pour l'IA environnementale



Note. Les niveaux sont ordonnés selon les effectifs à former et le coût relatif de la formation. Élaboration des auteurs à partir de Green (2024) et de l'AIE (2026).

L'OIF décrit D-CLIC comme un dispositif de renforcement des compétences numériques et de formation aux métiers du numérique, avec des parcours certifiants courts destinés notamment aux 18–35 ans. Les filières de la phase pilote couvraient la communication, le marketing, l'interface utilisateur et la création numérique (OIF, s. d.). La Stratégie de la Francophonie numérique 2022–2026, adoptée en décembre 2021, prévoit de soutenir ce type de formations certifiantes (OIF, 2021). Ces parcours répondent à un besoin d'insertion et peuvent servir de point d'appui à des modules qui relient les compétences numériques à des situations de travail en environnement.



Mesure du débit à l'alpage de Plaun, Flims (Suisse).

36 %

De la population de la région Afrique de l'UIT utilisait Internet en 2025, contre 74 % dans le monde

UIT, 2025

Il pourrait être intéressant de dresser, par pays francophone, un inventaire des parcours actifs et des filières environnementales encore peu couvertes, puis piloter des modules appliqués à des données réelles de l'eau ou de l'agriculture.

Il y a aussi une question de rétention des compétences. Un spécialiste de l'IA, coûteux à former, possède des compétences très transférables et recherchées. Un hydrologue, un forestier ou un énergéticien formé à la gouvernance des données reste immédiatement opérationnel dans son domaine. Pour des budgets de formation contraints, la différence compte.

5. Former qui, à quoi, et dans quel ordre

Dans les organismes environnementaux, la priorité peut être donnée aux compétences de mesure et de gestion des données, qui restent utiles même si aucun modèle n'est finalement déployé. Les décideurs et les acheteurs publics ont ensuite besoin d'une culture suffisante de l'IA pour interroger un fournisseur et apprécier les preuves qu'il avance. Les compétences très spécialisées peuvent être concentrées dans des équipes plus petites, mutualisées entre organismes ou pays voisins et adossées à des universités ou à des centres régionaux travaillant sur le climat, l'eau ou l'énergie.

La formation gagne surtout à partir du travail réel. Un agent apprend davantage en traitant les données de son organisme et un problème qu'il doit effectivement résoudre qu'en suivant un module détaché de ses pratiques. Le binôme entre professionnel du métier et spécialiste des données est, à ce titre, particulièrement utile. Des certifications courtes reconnues d'un pays francophone à l'autre permettraient ensuite de rendre ces acquis visibles et transférables.

Cette stratégie doit aussi préserver les conditions d'apprentissage. Lorsque l'IA absorbe les tâches confiées aux débutants, l'employeur doit créer d'autres situations où ils peuvent acquérir de l'expérience et conserver la capacité de travailler sans l'outil. La formation ne doit pas davantage être abandonnée au fournisseur, car apprendre à utiliser un produit n'est pas apprendre à le juger. Enfin, l'accès à la montée en compétences doit être suivi de près. Les emplois les plus exposés à l'IA, surtout des emplois de bureau, pèsent davantage dans l'emploi des femmes, qui restent aussi moins présentes parmi les talents verts dans les données de LinkedIn (2025). Le sexe, le territoire et la catégorie d'emploi doivent donc faire partie du suivi des plans de formation.

CINQ SAVOIR-FAIRE QUI NE DEMANDENT PAS DE SAVOIR PROGRAMMER

Avant de financer un projet d'IA, un organisme environnemental peut vérifier qu'au moins un agent maîtrise chacun des savoir-faire suivants. Aucun n'exige de développer un modèle ; tous conditionnent l'utilité de l'outil.

1. **Formuler le problème.** Traduire une mission, par exemple réduire les pertes d'un réseau d'eau, en une grandeur mesurable, un seuil et une échéance.
2. **Juger un jeu de données.** Repérer les ruptures de série, la dérive d'un capteur ou une zone non couverte, et savoir ce que ces défauts interdisent de conclure.
3. **Lire une prévision.** Distinguer une valeur d'un intervalle et identifier la décision qui reste valable malgré l'incertitude.
4. **Vérifier une réponse générée.** Remonter à la source d'un chiffre ou d'une référence produits par un outil génératif.
5. **Renoncer.** Comparer la qualité des données, le bénéfice attendu, les risques, le coût sur le cycle de vie et l'empreinte. Choisir une règle simple, un tableur ou une campagne de mesure lorsque ces options répondent mieux au besoin.

Avec ces cinq savoir-faire, l'organisme garde la maîtrise du projet et de la relation avec le prestataire.

RECOMMANDATIONS

01.

Pour les ministères de l'environnement, de l'eau, de l'énergie et des forêts, et leurs agences.

Prévoir, dans chaque projet d'IA, une ligne de formation des agents du métier avant l'achat de l'outil. Identifier quelques agents à former aux compétences hybrides et protéger le temps d'apprentissage des jeunes recrues lorsque les tâches d'entrée sont automatisées.

Échéance et indicateurs. Dans les 12 mois suivant chaque décision d'achat, suivre la part des projets dotés d'un plan de transfert des compétences, le nombre d'agents formés et l'accès des jeunes recrues à des tâches d'apprentissage supervisées.

02.

Pour les ministères de l'éducation et de la formation professionnelle, et les universités.

Introduire la mesure, la gestion des données et la culture de l'IA dans les filières de l'eau, de l'agronomie, de la foresterie et de l'énergie. Ouvrir en parallèle des certifications courtes aux agents déjà en poste.

Échéance et indicateurs. Lancer des pilotes sous 24 mois, puis suivre le nombre de filières révisées, de certifications ouvertes et délivrées, le taux d'achèvement et la répartition des bénéficiaires par sexe et territoire.

03.

Pour la coopération internationale et francophone

Compléter les dispositifs destinés aux métiers du numérique par un volet consacré aux métiers de l'environnement. Mutualiser à l'échelle régionale certains spécialistes et la reconnaissance des certifications. Demander, pour les projets financés, un plan de compétences dont l'accès soit suivi par sexe et par territoire.

Échéance et indicateurs. Intégrer ces critères au prochain appel à projets, puis suivre les financements comprenant un plan de compétences, les mutualisations actives, la reconnaissance interpays des certifications et l'accès aux formations par sexe et territoire.

L'IA ne remplace ni l'expertise technique ni celle des métiers environnementaux. Elle appelle à les articuler. Des équipes mixtes doivent cadrer les besoins, fiabiliser les données et vérifier les résultats, tout en protégeant l'apprentissage des débutants. Chaque déploiement doit démontrer un bénéfice opérationnel et environnemental mesurable.

RÉFÉRENCES

Agence internationale de l'énergie (AIE). (2026). Key Questions on Energy and AI. Paris : IEA, 16 avril 2026. https://www.iea.org/reports/key-questions-on-energy-and-ai

Autor, D. H., Levy, F. et Murnane, R. J. (2003). The skill content of recent technological change: An empirical exploration. The Quarterly Journal of Economics, 118(4), 1279–1333. https://doi.org/10.1162/003355303322552801

Brynjolfsson, E., Chandar, B. et Chen, R. (2026). Canaries in the Coal Mine? Six Facts about the Recent Employment Effects of Artificial Intelligence. Stanford Digital Economy Lab, version révisée le 12 août 2026. https://digitaleconomy.stanford.edu/publications/canaries-in-the-coal-mine/

Brynjolfsson, E., Li, D. et Raymond, L. (2025). Generative AI at Work. The Quarterly Journal of Economics, 140(2), 889–942. https://doi.org/10.1093/qje/qjae044

Forum économique mondial (FEM). (2025). The Future of Jobs Report 2025. Genève : World Economic Forum. https://www.weforum.org/publications/the-future-of-jobs-report-2025/

Gmyrek, P., Berg, J., Kamiński, K., Konopczyński, F., Ładna, A., Nafradi, B., Rosłaniec, K. et Troszyński, M. (2025). Generative AI and Jobs: A Refined Global Index of Occupational Exposure. ILO Working Paper 140. https://doi.org/10.54394/HETP0387

Green, A. (2024). Artificial intelligence and the changing demand for skills in the labour market. OECD Artificial Intelligence Papers, 14. https://doi.org/10.1787/88684e36-en

LinkedIn. (2025). LinkedIn Green Skills Report 2025. LinkedIn Economic Graph, novembre 2025. https://economicgraph.linkedin.com/research/green-skills-resources

Organisation internationale de la Francophonie (OIF). (2021). Stratégie de la Francophonie numérique 2022–2026. Conférence ministérielle de la Francophonie, 39e session, 10 décembre 2021. https://www.francophonie.org/sfn2022-2026

Organisation internationale de la Francophonie (OIF). (s. d.). D-CLIC, formez-vous au numérique. Consulté le 25 septembre 2026. https://www.francophonie.org/dclic

Union internationale des télécommunications (UIT). (2025). Measuring digital development: Facts and Figures 2025. Genève : UIT. https://www.itu.int/dms_pub/itu-d/opb/ind/d-ind-ict_mdd-2025-3-pdf-e.pdf

17

Approvisionnement public en IA durable



Antoine Glory,
CEIMIA



Nathalie Noël,
CEIMIA



Adel Ben Youssef, *Université Côte d'Azur, GREDEG, ERF, AISMA et INCIT*

Projet mené par le pôle canadien de Future Earth, IVADO et le CEIMIA, avec le CIRAIG et l'ECPAR, Québec, Canada

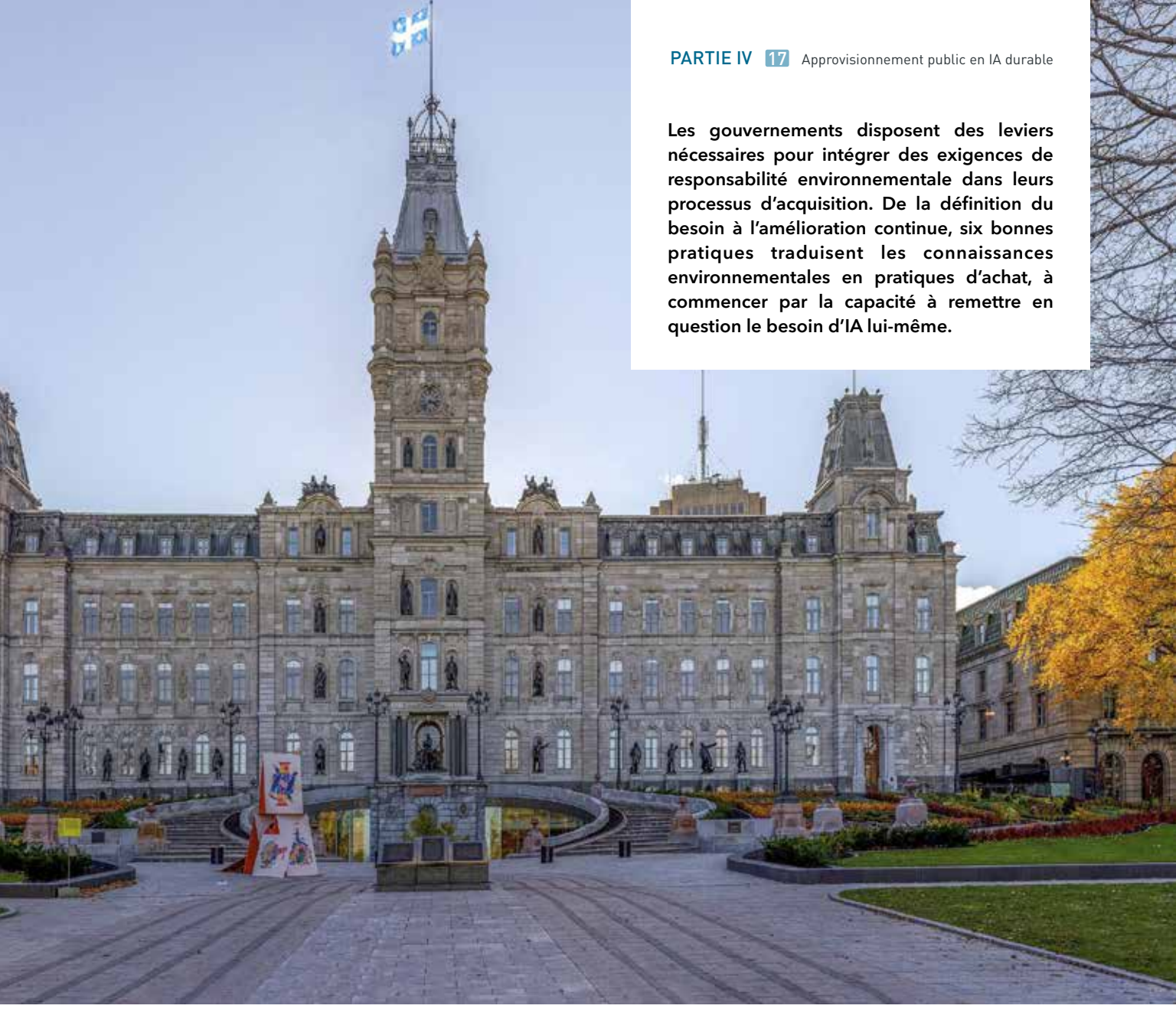


Alors que les cadres de gouvernance, d'éthique et de réglementation numérique de l'intelligence artificielle (IA) évoluent toujours plus vite, les marchés publics sont souvent négligés comme levier pour façonner les marchés. Ils représentent pourtant, en 2023, 12,7 % du PIB des pays de l'OCDE et près de 30 % de leurs dépenses publiques (OCDE, 2025).

1. Un double impact sur l'environnement

Les impacts de l'IA sur l'environnement naturel sont doubles. D'une part, les impacts directs concernent la fabrication, l'utilisation et la mise hors service du matériel (*hardware*) nécessaire à l'entraînement et au déploiement des systèmes d'IA, la consommation d'électricité dans les centres de données pour le développement, l'entraînement et l'inférence des modèles, les émissions de gaz à effet de serre (GES),

Les gouvernements disposent des leviers nécessaires pour intégrer des exigences de responsabilité environnementale dans leurs processus d'acquisition. De la définition du besoin à l'amélioration continue, six bonnes pratiques traduisent les connaissances environnementales en pratiques d'achat, à commencer par la capacité à remettre en question le besoin d'IA lui-même.



la consommation d'eau pour la production de semi-conducteurs et le refroidissement des centres de données, l'épuisement des ressources minérales. D'autre part, les impacts indirects tiennent au renforcement d'activités économiques dommageables pour l'environnement, comme l'extraction de minerais ou de combustibles fossiles. Les gains d'efficacité sont souvent réinvestis pour une production accrue, ce qui amplifie l'impact environnemental global (effet rebond). S'y ajoutent enfin les effets d'échelle inhérents à une diffusion technologique massive (OCDE, 2022).

2. Pourquoi un approvisionnement en IA responsable ?

En 2025, 86 % des pays de l'OCDE étudiés utilisaient l'IA pour leurs processus internes, et 36 % pour appuyer l'élaboration des politiques publiques (OCDE, 2026). On peut atténuer les impacts environnementaux de l'IA sur différents fronts, notamment en changeant les habitudes des utilisateurs, en responsabilisant les fournisseurs d'IA ou en mettant en place une législation spécifique. Sur ce dernier point, un terrain d'action relativement inexploré mais prometteur est celui des marchés publics, par lesquels les organismes du secteur public s'approvisionnent en solutions externes (logiciels, expertises spécialisées ou autres outils technologiques). Seuls 58 % des pays de l'OCDE étudiés apportent d'ailleurs un appui central à l'achat de solutions d'IA (OCDE, 2026). Se concentrer sur le secteur public est particulièrement stratégique, dans la mesure où il est lui-même en position d'impulser des pratiques d'approvisionnement en IA plus durables. Les gouvernements disposent en effet des leviers nécessaires pour intégrer des exigences

de responsabilité environnementale dans leurs processus d'acquisition et traduire les connaissances environnementales en pratiques concrètes. C'est l'ambition du projet présenté ici, qui propose une fiche de bonnes pratiques environnementales destinée aux spécialistes en approvisionnement et aux équipes impliquées dans l'acquisition de solutions d'IA. Structurée en deux volets (compréhension des impacts environnementaux de l'IA d'une part, bonnes pratiques d'approvisionnement de l'autre), elle guidera les décideurs à chaque étape du processus, de la définition du besoin à l'amélioration continue des pratiques.

12,7 %

Du PIB des pays de l'OCDE, part des marchés publics en 2023

OCDE, 2025



Vue aérienne de l'Hôtel du Parlement, Québec..

3. Une collaboration multidisciplinaire

Une équipe multidisciplinaire dédiée a été constituée pour mener le projet à bien. Elle comprend le pôle canadien de Future Earth, IVADO et le CEIMIA. Le CIRAIG a produit la recherche sur l'impact environnemental des solutions d'IA dans le contexte des marchés publics sur laquelle s'est appuyé l'ECPAR afin d'établir les bonnes pratiques d'approvisionnement en IA durable. Le ministère de la Cybersécurité et du Numérique du Québec agit comme partenaire de conception, et un comité multidisciplinaire d'experts des impacts environnementaux de l'IA a supervisé la recherche du début à la fin.

SIX BONNES PRATIQUES, DE LA DÉFINITION DU BESOIN À LA SECONDE VIE DU MODÈLE

1. Définir le besoin pour l'IA et être capable de le remettre en question.
2. Établir un cadre de gouvernance responsable.
3. Anticiper les impacts potentiels de la solution choisie.
4. Préparer le cahier des charges et les stratégies d'atténuation des risques.
5. Former les équipes au cadre d'utilisation.
6. Mesurer et rendre publique la performance de la solution.

4. Six bonnes pratiques

Il convient en premier lieu de **définir le besoin pour l'IA et d'être capable de le remettre en question.** En a-t-on vraiment besoin pour cet usage ? On commence par constituer une équipe pluridisciplinaire pour conseiller la décision (expertise sectorielle et technique), puis on identifie des solutions (IA ou non) et on évalue leurs effets (environnementaux, sociaux, économiques). Enfin, on consulte le marché pour connaître les options et déterminer lesquelles sont pertinentes. À titre d'exemple, il est environnementalement coûteux d'entraîner soi-même son modèle. Mieux vaut partir d'un modèle existant et l'adapter à ses besoins, par affinage ou en l'adossant aux documents de l'organisation (génération augmentée par récupération, ou RAG).

58 %

Des pays de l'OCDE étudiés offrent un appui central à l'achat de solutions d'IA (2025)

OCDE, 2026

86 %

Des pays de l'OCDE étudiés utilisent l'IA pour leurs processus internes (2025)

OCDE, 2026

Il convient ensuite d'établir **un cadre de gouvernance responsable** composé d'une structure multi-acteurs, d'un processus de transparence informant le public de la mise en place du système IA et de mécanismes de contrôle du système. Il faut enfin établir un registre des responsabilités détaillant qui est responsable des différents aspects de la solution, en vérifiant notamment que les modèles sont robustes, impartiaux, équitables et explicables.

Puis, on **anticipe les impacts potentiels** de la solution IA choisie. Pour cela, il est important d'évaluer qualitativement les impacts environnementaux de l'IA sur l'ensemble de son cycle de vie, dès la conception, mais aussi l'impact sur les équipements informatiques. Il faut déterminer des points et seuils de décision associés à l'évaluation des impacts et vérifier que l'implantation de la technologie ne compromet pas les engagements climatiques et de développement durable de l'organisation.

S'ensuit **la préparation du cahier des charges**, où l'on envisage plusieurs processus d'acquisition de solutions d'IA (par exemple appel d'offres public ou ciblé, ou sollicitation d'intérêt). On identifie et on prévoit les stratégies qui permettent d'atténuer les principaux risques identifiés tout au long du cycle de vie.

On **forme ensuite les équipes au cadre d'utilisation.** Les organismes publics concernés doivent comprendre l'IA responsable (les risques, les impacts sociaux, les impacts environnementaux, les aspects éthiques, etc.) comme un engagement à long terme en l'intégrant dans leurs cursus de formation, en passant aussi par la sensibilisation du personnel aux fonctionnalités intensives en ressources. Les tâches génératives sont en effet les plus énergivores. Pour 1 000 requêtes, la génération de texte ou le résumé consomment en moyenne plus de dix fois plus d'énergie que la classification, et la génération d'images plus de 1 450 fois plus que la classification de texte (Luccioni et al., 2024). On précisera aussi les cas d'utilisation légitimes afin de limiter les utilisations non essentielles (en veillant à minimiser le nombre de requêtes adressées à l'IA). Enfin, on pourra informer l'utilisateur de l'impact environnemental de sa requête, par exemple avec des outils qui s'intègrent au code et estiment la consommation d'énergie et les émissions (comme CodeCarbon ou EcoLogits).



Vue aérienne de l'Hôtel du Parlement, Québec.

× 1 450

Énergie de la génération d'images par rapport à la classification de texte (moyennes)

Luccioni et al., 2024

Pour conclure, on veillera à **mesurer et rendre publique la performance de la solution.** On s'assure que le modèle reste performant, précis et sobre une fois déployé, et que les pratiques d'exploitation évoluent dans le bon sens en testant le modèle en continu. Il est important d'éviter une dépendance à des modèles trop lourds en remettant en question le besoin de maintenir les outils d'IA au fil du temps. On prévoit aussi une stratégie pour la seconde vie du modèle d'IA, en interne ou dans la communauté. Les modèles peuvent enrichir une bibliothèque interne partagée avec les organisations collaboratrices, ou être publiés en source ouverte, afin d'éviter des réentraînements coûteux et énergivores.

5. Pistes de recherche futures

Compte tenu du manque de données quantitatives existantes relatives aux impacts environnementaux de l'IA dans le contexte canadien ou québécois, le développement d'indicateurs quantitatifs pour renforcer la pertinence de l'outil nécessiterait une analyse plus approfondie du sujet. En plus de la structure actuelle de la boîte à outils, les organismes publics pourraient bénéficier d'une version numérique du guide dotée d'un format interactif. Enfin, ce travail pourrait être reproduit dans d'autres régions géographiques et/ou approfondir des sous-catégories de marchés publics grâce à des outils sectoriels spécifiques.

RECOMMANDATIONS

01.

Aux directions des achats publics

Exiger, avant tout achat, une justification du besoin d'IA et l'examen d'une solution sans IA. Préférer l'adaptation d'un modèle existant à l'entraînement d'un nouveau modèle. Inscrire au cahier des charges l'évaluation des impacts sur l'ensemble du cycle de vie, assortie de seuils de décision.

02.

Aux organismes publics utilisateurs

Former les équipes à l'IA responsable, préciser les cas d'utilisation légitimes et informer l'utilisateur de l'impact de ses requêtes. Mesurer et rendre publique la performance de la solution une fois déployée, y compris sa sobriété.

03.

Aux gouvernements et aux organisations francophones

Reproduire la démarche dans d'autres régions, développer des indicateurs quantitatifs et des outils sectoriels, et partager les modèles à code source ouvert afin d'éviter des réentraînements coûteux et énergivores.



L'IA peut améliorer la finance durable lorsqu'elle aide à documenter, vérifier et instruire les projets. Son usage dans l'allocation et la tarification exige une vigilance particulière sur la représentativité des données, les incertitudes et les biais. Un historique court peut fragiliser l'évaluation du risque, sans entraîner systématiquement une surestimation de celui-ci. Une validation adaptée et des responsabilités identifiées sont nécessaires pour éviter de renforcer les obstacles au financement des territoires qui doivent s'adapter.

RÉFÉRENCES

Luccioni, A. S., Jernite, Y. et Strubell, E. (2024). Power Hungry Processing: Watts Driving the Cost of AI Deployment? Actes de la conférence ACM FAccT 2024, p. 85-99. https://doi.org/10.1145/3630106.3658542

OCDE (2022). Measuring the environmental impacts of artificial intelligence compute and applications: The AI footprint. OECD Digital Economy Papers, n° 341. Paris, Éditions OCDE. https://doi.org/10.1787/7babf571-en

OCDE (2025). Government at a Glance 2025. Paris, Éditions OCDE. https://doi.org/10.1787/0efd0bcd-en

OCDE (2026). Digital Government Outlook 2026: From Foundations to Transformational Impact. Paris, Éditions OCDE. https://doi.org/10.1787/0496b2bc-en



18

IA et finance durable, ce que les modèles voient, ce qu'ils ignorent, et qui obtient le financement ?



Stéphane Goutte,
Université
Paris-Saclay



Jelena Jovovic,
Université
du Monténégro



Cécile Martin-Phipps,
Institut de la Francophonie
pour le développement
durable (IFDD)



Tounao Kiri,
Institut de la Francophonie
pour le développement
durable (IFDD)

Financer la transition écologique suppose une longue chaîne de décisions, de la définition de ce qui est « climatique » au choix de qui reçoit l'argent et à quelles conditions. L'intelligence artificielle s'installe à chacun de ces maillons. Elle est utile du côté de l'information, risquée du côté de l'allocation, et ce qui départage les deux est une question d'accès plus que de technique. Dans l'espace francophone, la capacité à produire un dossier recevable compte davantage que l'enveloppe annoncée. L'IA peut en abaisser le coût, ou en faire une barrière de plus.

1. Le vrai goulot n'est pas l'enveloppe

Les chiffres agrégés donnent l'impression qu'un mouvement est amorcé. Les pays développés ont fourni et mobilisé 132,8 milliards de dollars de financement climatique en 2023 et 136,7 milliards en 2024, dépassant pour la troisième année consécutive l'objectif annuel de 100 milliards promis en 2009 (OCDE, 2026). À Bakou, fin 2024, ils se sont engagés sur au moins 300 milliards par an d'ici 2035, assortis d'un appel à porter l'ensemble des flux vers les pays en développement à 1 300 milliards ; un an plus tard, à Belém, les États ont appelé à tripler le financement de l'adaptation d'ici 2035. Tous acteurs confondus, publics et privés, la finance climatique mondiale a dépassé 2 000 milliards de dollars en 2024 (CPI, 2026).

La hausse des montants ne garantit toutefois pas un accès plus simple aux financements. Le rapport conjoint OCDE-OIF montre qu'en 2023, près de 40 % des pays en développement bénéficiaires étaient en relation avec au moins seize bailleurs pour le climat et la biodiversité, contre moins de 20 % en 2015. Cette multiplication des interlocuteurs et des procédures alourdit les démarches, particulièrement pour les administrations aux moyens limités. La nature des financements compte également : en 2023, les prêts représentaient 43 % du financement climatique des membres du Comité d'aide au développement de l'OCDE et 57 % de celui des institutions multilatérales. L'enjeu porte donc autant sur l'accessibilité des ressources et leurs conditions financières que sur leur volume (OCDE-OIF, 2026)

Par ailleurs, cette situation cache pourtant des inégalités géographiques criantes. À l'échelle mondiale, 85 % de ces 2 000 milliards ont été mobilisés sur les marchés domestiques, et le financement public international a reculé de 6 % en 2024 (CPI, 2026). L'essentiel de l'argent ne traverse pas les frontières. L'Afrique a reçu 43,7 milliards par an en 2021-2022, soit 23 % de ses besoins estimés, et les flux y restent concentrés sur un petit nombre de pays (CPI, 2024). Pour la seule adaptation, les besoins des pays en développement sont estimés entre 310 et 365 milliards de dollars par an pour 2035, en dollars constants de 2023, alors que les flux publics internationaux sont retombés à 26 milliards en 2023, et ces flux ont pris pour 58 % la forme de dette en 2022-2023 (PNUE, 2025). Le choix entre prêt et subvention, ainsi que les taux, les échéances et les conditions de remboursement, détermine aussi les conséquences du financement sur l'endettement du bénéficiaire.

85 %

De la finance climatique mondiale (plus de 2 000 Md $ en 2024) est restée sur les marchés domestiques

CPI, 2026

23 %

Des besoins annuels de financement climatique de l'Afrique couverts en 2021-2022

CPI, 2024

Cette géographie ne s'explique pas seulement par la retenue des bailleurs. Elle reflète aussi une capacité très inégale des institutions nationales à produire ce que les bailleurs de fonds et les marchés exigent (inventaires d'émissions, séries de sinistres, dossiers conformes, notations, études préliminaires). C'est sur cette capacité que l'IA peut agir, à chaque maillon de la chaîne. Mais dès qu'on lui confie la décision, ses risques et ses biais doivent être connus et maîtrisés.

2. Ce que l'IA fait sur les quatre maillons

Documenter et vérifier. Le suivi des financements climatiques mobilise plusieurs méthodes, dont les marqueurs de Rio renseignés par les bailleurs pour qualifier les objectifs des projets. Des outils d'analyse automatisée peuvent compléter ces déclarations et faciliter l'examen de leur cohérence. Une étude publiée dans *Nature Climate Change* a ainsi analysé 2,7 millions de descriptifs de projets d'aide déclarés entre 2000 et 2019 pour constituer un inventaire reproductible de projets bilatéraux liés au climat (Toetzke et al., 2022). Les écarts avec les déclarations existantes invitent à approfondir la comparaison des méthodes et des périmètres, sans considérer la classification automatisée comme une validation définitive.

Pour les émissions, la coalition Climate TRACE combine notamment imagerie satellitaire, capteurs et apprentissage automatique afin de produire des estimations accessibles au public, y compris à l'échelle de nombreuses installations. Ces outils peuvent compléter les dispositifs de suivi et faciliter les comparaisons, sous réserve d'en examiner la couverture, les méthodes et les incertitudes. Leur appropriation par les administrations dépend aussi des licences, de l'accès aux données et des compétences disponibles.

26 MD $

de financement public international de l'adaptation observé en 2023, à distinguer des besoins annuels estimés pour 2035 : 310 à 365 Md $ constants de 2023

PNUE, 2025

Qualifier. Le deuxième maillon consiste à extraire et à organiser les informations contenues dans les documents pour faciliter leur examen : une activité répond-elle aux critères environnementaux de la taxonomie applicable ? Un plan de transition présente-t-il des objectifs précis et des moyens cohérents ? Une allégation environnementale est-elle étayée par des éléments vérifiables ? L'IA peut aider à repérer ces informations, mais ne suffit pas à établir leur conformité ou leur crédibilité.

À l'aide du modèle de langage spécialisé ClimateBERT, Bingler et ses coauteurs (2022) ont analysé les publications d'entreprises soutenant les recommandations du

Groupe de travail sur l'information financière relative aux changements climatiques (TCFD). Leurs résultats suggèrent que, dans les documents étudiés, ce soutien déclaré ne s'accompagne pas systématiquement d'une information plus substantielle sur les risques climatiques. Cette analyse porte sur les pratiques de publication, sans constituer une évaluation complète de l'action climatique des entreprises.

La Société financière internationale, membre du Groupe de la Banque mondiale, a également annoncé en février 2024 l'ouverture au public de MALENA, un outil d'analyse des informations environnementales, sociales et de gouvernance. Selon sa présentation officielle, il s'appuie sur plus de quinze années de données issues des marchés émergents et repère plus de 1 000 termes spécialisés pour orienter l'examen des documents (SFI, 2024). Ces outils peuvent accélérer l'analyse, à condition de vérifier les passages identifiés, de conserver un jugement humain et de s'assurer que les conditions d'utilisation protègent la confidentialité des documents transmis.

Modéliser le risque. Le troisième maillon relie un modèle climatique à un aléa, une exposition, une vulnérabilité, puis une perte financière. Les superviseurs l'ont rendu opérationnel. L'Autorité de contrôle prudentiel et de résolution a conduit dès 2020 un exercice pilote sur trente ans avec les principaux groupes bancaires et d'assurance français, et la banque centrale du Maroc a prescrit en 2021 aux banques la mise en place progressive d'un dispositif de gestion des risques climatiques.

L'apprentissage automatique intervient à deux endroits, en amont comme émulateur rapide des modèles climatiques, en aval pour relier l'aléa à la perte. C'est ce second lien qui pose problème, car il exige des séries locales de sinistres et de défauts de paiement, précisément celles qui manquent dans une grande partie de l'espace francophone. Klusak et al. (2023) ont simulé des notations souveraines ajustées du climat pour 109 pays. Ils trouvent des dégradations dès 2030 et un surcoût d'intérêts de 45 à 67 milliards de dollars par an d'ici 2100 dans un scénario de réchauffement contenu, de 135 à 203 milliards dans un scénario élevé. Ces simulations suggèrent que les effets du changement climatique pourraient accroître les coûts d'emprunt. L'usage opérationnel du modèle doit intégrer les incertitudes, les politiques d'adaptation et les spécificités locales.

Élargir l'accès au crédit. Certaines petites entreprises engagées dans la transition écologique disposent d'un historique bancaire limité, ce qui peut compliquer l'évaluation de leur demande de financement. Des recherches sur le crédit montrent que des données alternatives, notamment liées à l'usage du téléphone mobile, peuvent apporter des informations utiles pour estimer la probabilité de remboursement d'emprunteurs peu couverts par les systèmes classiques d'information sur le crédit (Björkegren et Grissen, 2020). L'utilisation de telles données ouvre des perspectives d'inclusion financière, mais appelle des garanties : protection de la vie privée, vérification des biais, explication des décisions et possibilité de recours. Elle doit également éviter de pénaliser les personnes ou les entreprises dont les usages numériques sont limités. L'enjeu est d'améliorer l'évaluation des demandes sans créer de nouvelles formes d'exclusion.

Le droit applicable doit être examiné selon le système et les personnes concernées. Le règlement européen sur l'IA classe à haut risque l'évaluation de la solvabilité des personnes physiques, mais pas celle des personnes morales. Et l'entrée en application de ces obligations, initialement fixée au 2 août 2026, a été reportée au 2 décembre 2027 par le règlement dit « omnibus numérique sur l'IA » (règlement (UE) 2026/1744). La seule évaluation de la solvabilité de personnes morales n'entre donc pas dans cette catégorie particulière de haut risque, sans préjudice des autres qualifications et obligations applicables, notamment bancaires, contractuelles et relatives aux données personnelles.

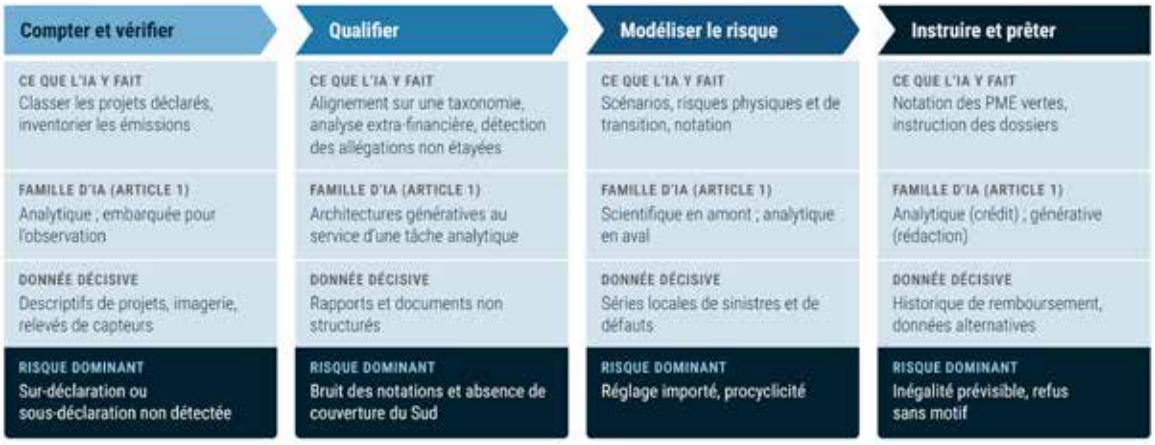
3. Les quatre angles morts des décisions assistées par IA

Vérifier l'adéquation au contexte local. Un modèle de risque doit être évalué sur les populations, les territoires et les activités auxquels il sera appliqué. Des données peu représentatives ou des historiques incomplets peuvent fragiliser ses estimations et affecter les décisions de financement.

À partir de données sur le crédit hypothécaire américain, Fuster et ses coauteurs (2022) montrent que les gains apportés par l'apprentissage automatique peuvent être inégalement répartis entre les groupes d'emprunteurs. Dans leur simulation du marché du crédit, ces modèles peuvent accroître les écarts de taux malgré une meilleure précision prédictive. Ces résultats ne portent pas sur la finance climatique, mais invitent à examiner conjointement la performance des modèles et leurs effets sur l'accès au financement. doi.org

Pour les projets climatiques, il importe notamment de distinguer le risque estimé de l'incertitude liée au manque de données. La validation locale, l'amélioration des informations disponibles et, lorsque cela est nécessaire, le recalibrage ou le réentraînement du modèle doivent accompagner son utilisation. Un contrôle humain et un suivi des effets sur les différentes catégories de bénéficiaires restent essentiels.

Figure 1 | La chaîne de la finance climatique : les apports de l'IA et les risques à maîtrise



Rubrique	Documenter et vérifier	Qualifier	Modéliser le risque	Elargir l'accès au crédit
Apports possibles de l'IA	Classer les projets déclarés et contribuer à l'estimation des émissions	Examiner l'alignement avec une taxonomie et repérer les informations à vérifier	Construire des scénarios et appuyer l'évaluation des risques physiques, de transition et de crédit	Appuyer l'analyse des demandes de financement et la préparation des dossiers
Familles d'IA mobilisées	IA analytique : classification, analyse d'images et de données de capteurs	Traitement automatique du langage ; IA générative pour certaines tâches de synthèse	Modèles scientifiques et IA analytique, selon les usages	IA analytique pour l'évaluation ; IA générative pour l'aide à la rédaction
Données nécessaires	Descriptifs de projets, images et relevés de capteurs	Rapports, documents et critères de référence	Données climatiques, historiques de sinistres et données financières adaptés au contexte	Historique financier et de remboursement ; données alternatives pertinentes
Principaux points de vigilance	Erreurs de classification, omissions et incertitudes d'estimation	Fiabilité des évaluations et couverture géographique ou sectorielle inégale	Validation locale, incertitudes et risque d'amplification des cycles financiers	Protection des données, biais, exclusion et explication des décisions

La comparabilité des notations et la couverture des données. Les notations environnementales, sociales et de gouvernance (ESG) peuvent varier sensiblement selon les fournisseurs. Dans leur étude de six grandes agences, Berg, Kölbel et Rigobon (2022) observent une corrélation moyenne de 0,54 entre les notes. Selon leur décomposition, 56 % de la divergence provient des différences de mesure, le reste tenant principalement aux critères retenus et à leur pondération. Ces résultats invitent à examiner ce que chaque notation mesure avant de l'utiliser dans une décision de financement.

Dans l'Union européenne, le règlement (UE) 2024/3005, applicable depuis le 2 juillet 2026 sous réserve des dispositions transitoires, renforce les exigences de transparence et d'intégrité des activités de notation ESG. Ce cadre ne garantit toutefois pas que toutes les entreprises ou tous les territoires disposent d'une notation.

0,54

Corrélation moyenne entre les notations ESG de six grandes agences

Berg et al., 2022

Lorsqu'un modèle d'IA utilise ces données, sa validation doit donc porter à la fois sur la comparabilité des notes et sur la représentativité des entités couvertes. Pour les acteurs francophones, il importe de vérifier cette couverture pays par pays et secteur par secteur, et de distinguer une absence d'information d'une mauvaise performance environnementale ou sociale. L'utilisation des résultats doit rester explicable et placée sous la responsabilité de l'institution qui décide du financement.

La convergences des modèles et des décisions. Le Conseil de stabilité financière identifie quatre vulnérabilités liées à l'IA dans le système financier, à savoir la concentration des prestataires, la corrélation des décisions de marché, le risque cyber et le risque de modèle (CSF, 2024).

ÉVALUER LA PERTINENCE ET LA PROPORTIONNALITÉ D'UN OUTIL D'IA : UN CAS HYPOTHÉTIQUE

Une banque nationale de développement envisage un outil d'IA pour faciliter l'instruction des demandes de crédit de petites entreprises engagées dans la transition écologique.

1. Quel problème faut-il résoudre ?

Réduire les délais de traitement et améliorer l'évaluation des entreprises disposant d'un historique bancaire limité, sans dégrader la qualité de l'analyse ni l'équité d'accès au financement.

2. Les données sont-elles disponibles et adaptées ?

La banque dispose d'un historique limité de prêts et de remboursements. Des données complémentaires pourraient être mobilisées, notamment celles issues des transactions mobiles, sous réserve de leur pertinence, de leur qualité et des conditions légales de leur utilisation.

3. Quel outil répond au besoin ?

Pour analyser des données structurées, une méthode statistique classique ou un modèle d'apprentissage automatique interprétable doit être évalué en priorité. Le recours à un modèle de langage ne se justifie que pour un besoin distinct, comme l'extraction d'informations dans les dossiers.

4. Les bénéfices justifient-ils les coûts et les risques ?

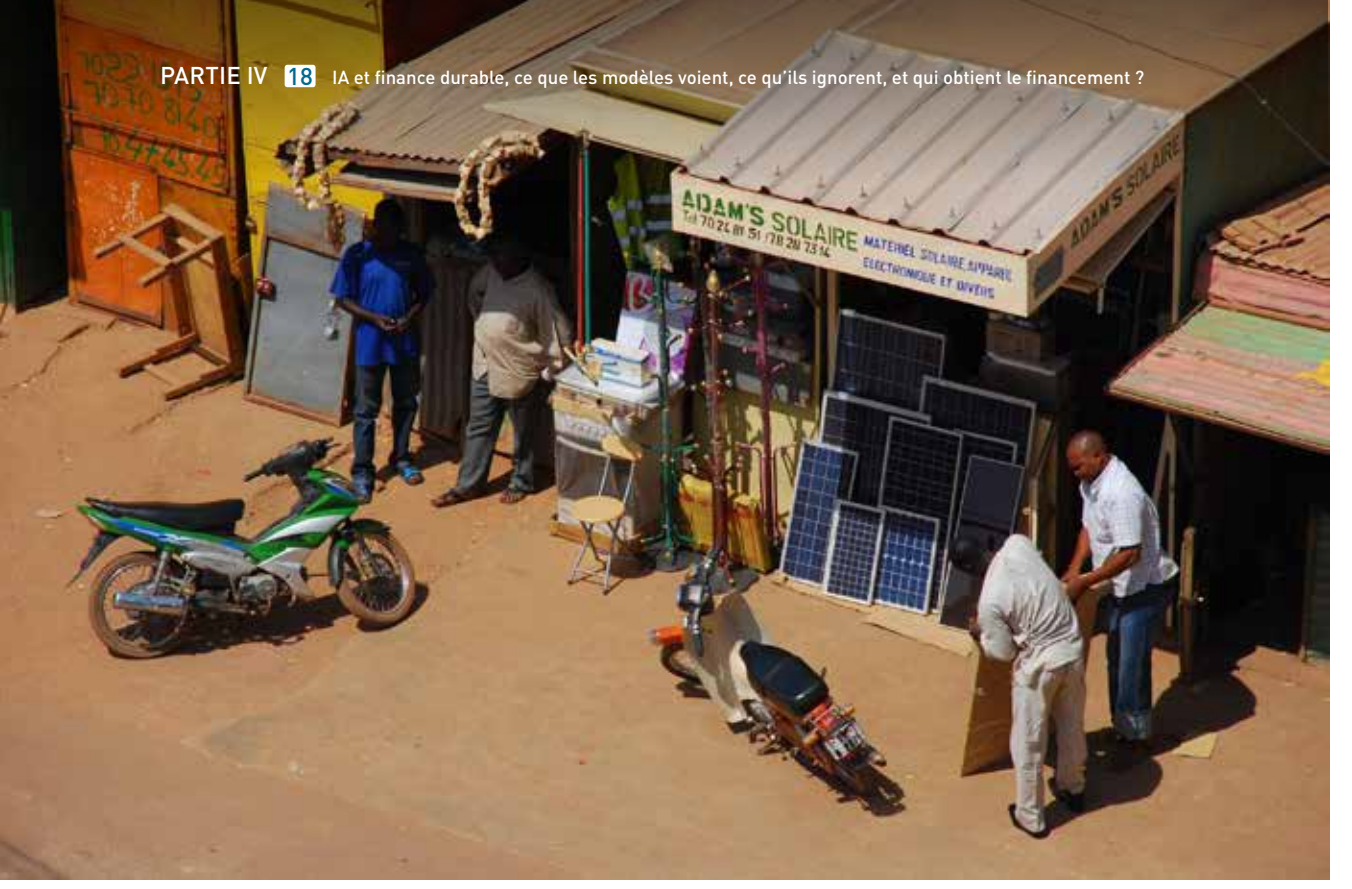
Comparer le dispositif aux méthodes existantes, vérifier ses résultats sur des données représentatives et examiner les écarts de traitement entre catégories d'entreprises. Prévoir les adaptations nécessaires, la maintenance et le suivi des performances.

5. Qui répond des erreurs et comment les décisions peuvent-elles être contestées ?

Définir les responsabilités, prévoir un contrôle humain effectif et permettre au demandeur d'obtenir une explication compréhensible ainsi qu'un réexamen de sa demande. Ces garanties doivent être établies avant la mise en service.

L'outil appuie l'instruction des dossiers ; la décision de financement et sa responsabilité demeurent celles de la banque.

Dans la finance climatique, le recours à des cartes d'aléas, à des scénarios ou à des modèles similaires pourrait conduire plusieurs financeurs à prendre des décisions convergentes. Une réduction simultanée des financements disponibles pour un territoire pourrait alors limiter ses investissements d'adaptation et accentuer sa vulnérabilité. Ce mécanisme potentiel appelle une évaluation spécifique : il ne constitue pas une conséquence systématique de l'utilisation de modèles communs.



Boutique de panneaux solaires à Ouagadougou (Burkina Faso)..

La responsabilité à expliciter. L'automatisation peut réduire la lisibilité des motifs et des responsabilités si ses modalités ne sont pas encadrées. Les fonds climatiques, les banques de développement et les fournisseurs de notations disposent de cadres de gouvernance différents, dont l'adaptation aux usages de l'IA doit être examinée. Les procédures devraient permettre d'identifier le responsable de la décision, d'en comprendre les motifs et de la contester selon les voies applicables. Une pratique générale de rejet automatisé non motivé ne peut être affirmée sans cas documentés.

4. Faciliter l'accès aux financements

L'accès aux financements internationaux pour le climat mobilise des capacités techniques, administratives et financières importantes. Selon les mécanismes, les porteurs de projets doivent satisfaire à des critères d'éligibilité, produire des études, préparer des propositions détaillées et répondre à des exigences fiduciaires, environnementales et sociales. La diversité des procédures peut accroître les coûts de préparation, particulièrement pour les institutions disposant de moyens limités (OCDE-OIF, 2026).

L'IA générative peut faciliter certaines tâches : préparer une première rédaction, traduire des documents ou repérer les éléments manquants au regard d'une grille d'exigences. Les gains de temps et de coût doivent toutefois être évalués en situation réelle. Les informations produites, les références et les traductions nécessitent une vérification, notamment pour le vocabulaire technique, le français et les langues nationales. La confidentialité des documents transmis doit également être protégée.

Une rédaction plus fluide ne remplace cependant ni les données de terrain ni la qualité du projet. L'IA ne comble pas l'absence de séries hydrologiques, de relevés de sinistres ou d'études permettant de justifier les bénéfices attendus. Son utilisation doit donc accompagner le renforcement des dispositifs d'observation et des compétences des équipes.

Trois pistes peuvent être explorées pour faciliter l'accès aux financements. La première consiste à rendre accessibles des outils documentés et des données réutilisables, selon leurs licences et conditions d'utilisation. La deuxième repose sur la mutualisation des compétences et de certains outils entre institutions, avec des règles claires de protection des données et de responsabilité. La troisième concerne les organismes financeurs : des outils d'analyse multilingue pourraient les aider à examiner les dossiers, à identifier les informations manquantes et à formuler des demandes de clarification plus précises, sans modifier les critères d'éligibilité et d'évaluation.

L'objectif est de réduire les obstacles administratifs et linguistiques tout en préservant la rigueur de l'analyse. Cela suppose des méthodes documentées, un contrôle humain effectif et des décisions expliquées aux porteurs de projets.

RECOMMANDATIONS

01.

Aux banques centrales et régulateurs financiers.

Encadrer, dans leurs mandats respectifs, l'utilisation de l'IA pour l'évaluation des risques climatiques et du crédit. Demander une documentation des données, des méthodes, des limites et des incertitudes, ainsi qu'une validation sur des portefeuilles représentatifs des usages prévus. Examiner les éventuels écarts de traitement entre catégories d'emprunteurs et prévoir des mesures correctrices lorsque cela est nécessaire. Adapter les exigences de transparence aux obligations de confidentialité et de protection des données, sans présumer qu'un modèle entraîné localement garantit l'équité.

02.

Aux banques publiques de développement.

Évaluer les bénéfices des outils d'IA par rapport aux méthodes existantes, en tenant compte de leurs coûts, de leur maintenance et de leurs effets sur l'accès au financement. Mutualiser, lorsque cela est pertinent, les compétences et certains outils ; n'envisager le partage de données que dans un cadre juridique et de gouvernance précisant les finalités, les droits d'accès et les garanties de confidentialité et de sécurité. Maintenir la responsabilité de la banque dans les décisions et permettre aux demandeurs d'obtenir une explication compréhensible des décisions défavorables ainsi qu'un réexamen humain.

03.

Aux fonds climatiques.

Expérimenter des outils d'assistance documentaire multilingue pour faciliter l'examen des dossiers et formuler des demandes de clarification plus précises, après vérification de leur fiabilité dans les langues concernées. Compléter l'appui à la préparation des dossiers par le financement des études, des données de terrain et des compétences nécessaires à la conception et au suivi des projets. Préserver un contrôle humain effectif et éviter qu'une décision défavorable repose exclusivement sur un traitement automatisé, sans explication ni possibilité de réexamen.

RÉFÉRENCES

Berg, F., Kölbel, J. F. et Rigobon, R. (2022). Aggregate Confusion: The Divergence of ESG Ratings. Review of Finance, 26(6), p. 1315-1344.

Bingler, J. A., Kraus, M., Leippold, M. et Webersinke, N. (2022). Cheap talk and cherry-picking: What ClimateBert has to say on corporate climate risk disclosures. Finance Research Letters, 47, 102776.

Björkegren, D. et Grissen, D. (2020). Behavior Revealed in Mobile Phone Usage Predicts Credit Repayment. The World Bank Economic Review, 34(3), p. 618-634.

Climate Policy Initiative (2024). Landscape of Climate Finance in Africa 2024. CPI, octobre 2024.

Climate Policy Initiative (2026). Global Landscape of Climate Finance 2026. Londres, CPI, juin 2026.

Conseil de stabilité financière (2024). The Financial Stability Implications of Artificial Intelligence. Bâle, CSF, novembre 2024.

Fuster, A., Goldsmith-Pinkham, P., Ramadorai, T. et Walther, A. (2022). Predictably Unequal? The Effects of Machine Learning on Credit Markets. The Journal of Finance, 77(1), p. 5-47.

Klusak, P., Agarwala, M., Burke, M., Kraemer, M. et Mohaddes, K. (2023). Rising Temperatures, Falling Ratings: The Effect of Climate Change on Sovereign Creditworthiness. Management Science, 69(12), p. 7468-7491.

OCDE et Organisation internationale de la Francophonie (2026). *Accès au financement pour le climat et la biodiversité : des engagements mondiaux à l'action nationale*. Québec, IFDD, juillet 2026.

OCDE (2026). Climate Finance Provided and Mobilised by Developed Countries in 2013-2024. Paris, OCDE, mai 2026. https://doi.org/10.1787/ab5eb9ad-en

Programme des Nations unies pour l'environnement (2025). Adaptation Gap Report 2025: Running on Empty. Nairobi, PNUE, octobre 2025.

Toetzke, M., Stünzi, A. et Egli, F. (2022). Consistent and replicable estimation of bilateral climate finance. Nature Climate Change, 12(10), p. 897-900.



PARTIE V

CONCLUSIONS ET MESSAGES CLÉS

Ce que disent les dix-huit articles, et à qui



Les dix-huit articles portent sur des secteurs et des pays très différents. Leurs recommandations se rejoignent pourtant sur l'ordre dans lequel il faut agir. On mesure d'abord, on fixe ensuite l'objectif par une décision publique, et l'on ne choisit l'outil qu'après, en sachant déjà qui l'entretiendra. Cette dernière partie rassemble ces recommandations et les classe selon ceux qui peuvent les appliquer. Les États et leurs administrations sectorielles viennent en premier. C'est à eux de financer l'observation, de fixer les objectifs, de former leurs agents et de garder la signature des décisions. Les régulateurs, les acheteurs publics et les superviseurs financiers peuvent obliger les fournisseurs à publier leur empreinte, protéger dans les contrats la propriété des données et refuser les

modèles de risque qui n'ont pas été réentraînés sur des données locales. Les bailleurs peuvent financer la mesure avant les modèles et poser des conditions à leur aide, dont la prise en charge de la maintenance une fois le projet terminé. La Francophonie, de son côté, peut organiser le partage de ce que chaque pays aurait du mal à financer seul, comme des méthodes de mesure, des données, des formations ou des outils sobres, et faire entendre les pays les moins représentés là où se discutent le climat et le numérique. La partie se termine par cinq questions à poser avant de financer un projet d'IA environnementale, et par trois engagements pour lancer une feuille de route commune.

DANS CETTE PARTIE

19 — P. 134

IA et environnement : enseignements croisés et pistes d'action pour l'espace francophone

Cécile Martin-Phipps, Tounao Kiri, Adel Ben Youssef, Henri Eli Monceau



19

IA et environnement : enseignements croisés et pistes d'action pour l'espace francophone

Des données aux compétences, réunir les conditions d'une IA utile au développement durable



Cécile Martin-Phipps, Institut de la Francophonie pour le développement durable (IFDD)



Tounao Kiri, Institut de la Francophonie pour le développement durable (IFDD)

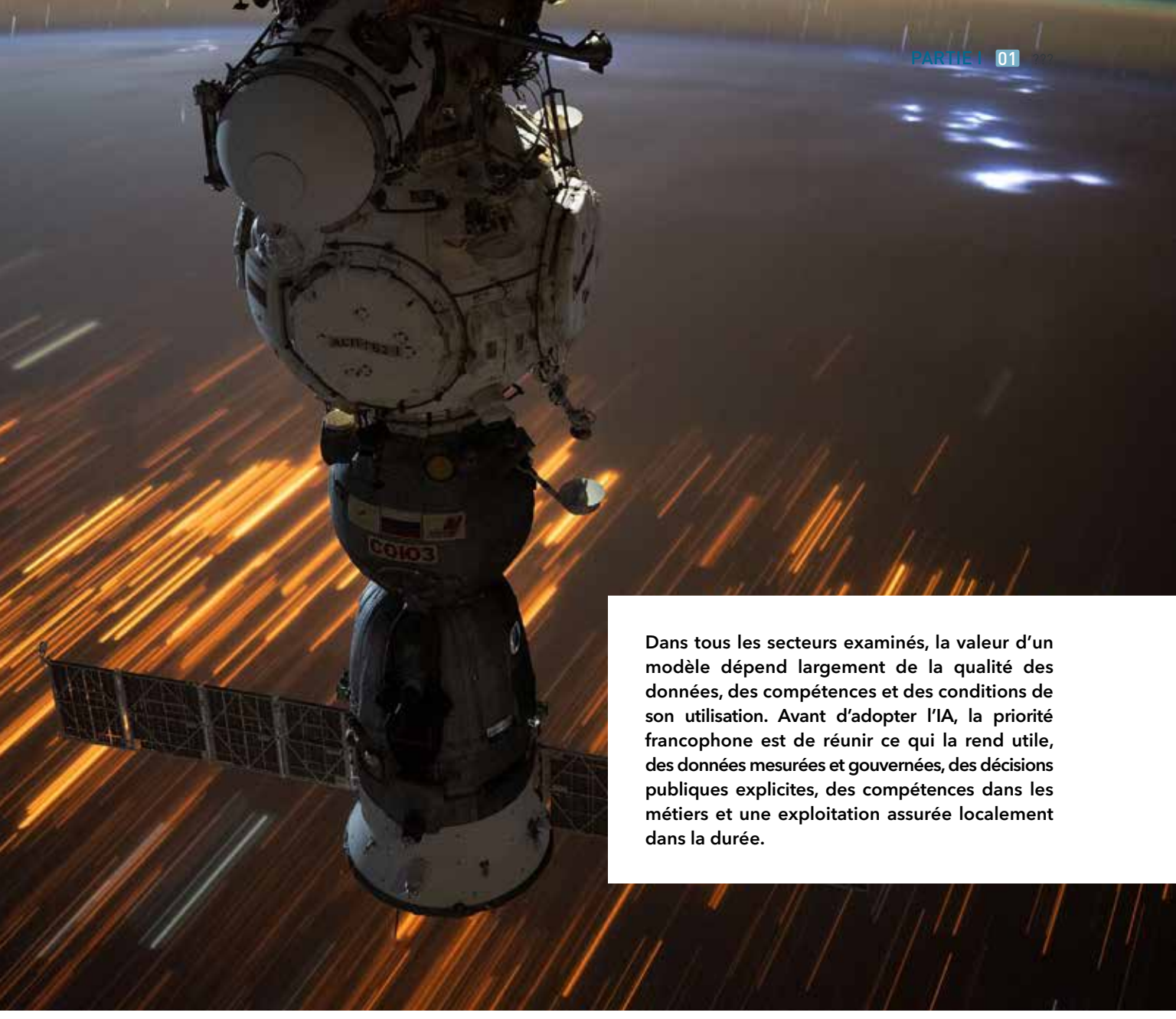


Adel Ben Youssef, Université Côte d'Azur, GREDEG, ERF, AISMA et INCIT



Henri Eli Monceau, Organisation internationale de la Francophonie (OIF) et Conservatoire national des arts et métiers (CNAM)

Les dix-huit articles thématiques du numéro viennent de secteurs, de pays et d'institutions différents, et leurs recommandations se recoupent pourtant avec une régularité frappante. Presque toutes demandent de mesurer avant de modéliser, de décider avant d'outiller et de financer la durée plutôt que la démonstration. Cet article rassemble les recommandations des auteurs et propose des pistes d'action adaptées aux contextes francophones.



Dans tous les secteurs examinés, la valeur d'un modèle dépend largement de la qualité des données, des compétences et des conditions de son utilisation. Avant d'adopter l'IA, la priorité francophone est de réunir ce qui la rend utile, des données mesurées et gouvernées, des décisions publiques explicites, des compétences dans les métiers et une exploitation assurée localement dans la durée.

1. Ce que les secteurs ont en commun

L'investissement dans les dispositifs de mesure et dans la gouvernance des données précède celui consacré à l'IA, et il produit des bénéfices même sans elle. Dans l'industrie, cette idée devient une règle d'ordonnancement, qui consiste à financer les maillons dans l'ordre où ils conditionnent les suivants, l'énergie, l'instrumentation, les compétences, la gouvernance des données, puis les modèles. Les autres secteurs disent la même chose. Le tourisme demande d'arrêter les jauges avant de déployer le moindre outil de prévision, la ville de décider avant de choisir la technologie, le delta du Mékong de fixer l'objectif et le cadre foncier avant tout achat, et les démonstrateurs d'IA frugale de justifier l'IA face à une solution plus simple. Pour les risques climatiques, sans observations, les modèles n'ont ni point de départ ni moyen d'être vérifiés. Une mauvaise prise en compte des réalités locales peut conduire à une appréciation biaisée des risques et à des conditions de financement défavorables.

Quelques chiffres donnent la mesure de ces préalables. Les centres de données ont consommé environ 415 TWh d'électricité en 2024, alors que 565 millions de personnes restaient privées d'électricité en Afrique subsaharienne en 2023. En 2025, seuls 58 % des pays de l'OCDE étudiés apportaient un appui central à l'achat de solutions d'IA, et 85 % de la finance climatique mondiale est restée en 2024 dans son pays d'origine.

415 TWH

D'électricité consommée par les centres de données en 2024, environ 1,5 % de la demande mondiale

AIE, 2025

565 M

De personnes sans accès à l'électricité en Afrique subsaharienne en 2023, 85 % du déficit mondial

AIE et al., 2025

Une même séquence se dégage, mesurer, décider, outiller, maintenir. Huit principes la déclinent (FIGURE 1), et aucun n'est propre à un secteur.

2. Aux États et à leurs administrations sectorielles

Se donner des objectifs environnementaux évaluables plutôt qu'un objectif d'adoption de l'IA, et les arrêter avant tout achat d'outil. Financer durablement ce que les modèles ne remplacent pas. Pour le climat, ce sont les stations d'observation et les quatre piliers de l'alerte précoce. En mer, ce sont les réseaux de suivi qui associent vidéo, ADN environnemental et sciences participatives. Pour le tourisme, ce sont le comptage des accès et la mesure de l'excursionnisme. L'industrie a besoin de mesurer son alimentation électrique et d'instrumenter son parc de machines, l'agriculture d'une infrastructure nationale de données partagées, et les services d'eau de cadres de gestion des données et de cybersécurité.

Garder la signature de la décision. Les autorités nationales compétentes conservent la responsabilité de l'émission des alertes. Tout site touristique sensible dispose d'un seuil de fréquentation publié, de l'instrument qui le fait respecter et de l'acte qui le rend opposable. Pour contribuer à la cible 3 du Cadre mondial de la biodiversité de Kunming-Montréal, dite "30 × 30", les autorités compétentes peuvent mobiliser des outils d'aide à la décision associant la conservation de la biodiversité et la préservation des stocks de carbone, en veillant à la participation des peuples autochtones et des communautés locales, au respect de leurs droits et à la prise en compte des usages locaux. L'empreinte du numérique relève aussi de l'État. Il peut confier au régulateur des communications électroniques un mandat de collecte des données environnementales, soumettre les centres de données à une étude d'impact sur l'eau et à une déclaration annuelle publique, conditionner leur autorisation à un approvisionnement renouvelable ou à une contribution au réseau, et intégrer le numérique dans ses contributions déterminées au niveau national (CDN) et en rendre compte dans un format commun, que le Dialogue mondial sur l'IA pourrait promouvoir sur le modèle des CDN. Coordonner à cette fin les administrations chargées du numérique, de l'énergie, de l'eau et de l'environnement.

Former avant d'acheter. Prévoir dans chaque projet une ligne de formation des agents du métier, identifier quelques agents à former aux compétences hybrides et protéger le temps d'apprentissage des jeunes recrues lorsque les tâches d'entrée sont automatisées. Introduire la mesure, la gestion des données et la culture de l'IA dans les filières de l'eau, de l'agronomie, de la foresterie et de l'énergie, le numérique dans les cursus de sciences de l'environnement, et ouvrir ces formations hybrides aux femmes et aux jeunes.

3. Aux régulateurs, aux acheteurs publics et aux superviseurs

L'achat public est le levier le plus direct. Il s'agit de justifier le besoin d'IA face à une solution plus simple avant tout achat, de préférer l'adaptation d'un modèle existant à l'entraînement d'un nouveau, d'évaluer les impacts sur l'ensemble du cycle de vie, puis de mesurer et de publier la performance de la solution. Plusieurs garanties contractuelles peuvent limiter la dépendance à un fournisseur unique : des interfaces ouvertes, la propriété des données de production, un dispositif durable de maintenance et un transfert progressif de compétences adapté au contexte. S'y ajoutent la réversibilité des données, avec restitution des séries historiques, et l'auditabilité des méthodes par un tiers. Les acheteurs ont besoin d'appui pour rédiger ces clauses et ces critères environnementaux.

58 %

Des pays de l'OCDE étudiés offrent un appui central à l'achat de solutions d'IA (2025)

OCDE, 2026

Les organismes de normalisation élaborent une méthode de référence pour évaluer l'empreinte d'un système d'IA sur tout son cycle de vie, alignée sur les méthodes d'inventaire du climat et élaborée avec la participation des pays qui accueillent centres de données et sites d'extraction, ouvrant la voie à un étiquetage environnemental utilisable par les acheteurs publics, et les régulateurs du numérique un socle commun d'indicateurs, des opérateurs aux centres de données. Les gestionnaires de réseau planifient les raccordements avec la production bas carbone disponible et publient les files d'attente. Ils exploitent d'abord la capacité

des réseaux existants et incitent les centres de données à offrir leur flexibilité. Les banques centrales et les régulateurs financiers exigent que tout modèle de risque climatique ou de notation documente l'origine de ses données d'entraînement, soit testé sur les portefeuilles nationaux et publie l'écart de traitement entre catégories d'emprunteurs. Ils exigent que les modèles soient validés sur des données représentatives du contexte national et, si nécessaire, recalibrés ou adaptés avant leur utilisation.

Les fournisseurs d'IA, de cloud et de centres de données mesurent, réduisent et divulguent leurs impacts sur tout le cycle de vie. Ils publient l'énergie, l'eau et les émissions de l'entraînement et de l'inférence, l'efficacité hydrique à côté de l'efficacité énergétique, et les performances de leurs modèles région par région. Ils facilitent l'accès des services publics aux codes, aux paramètres des modèles et aux données nécessaires à leur évaluation, dans le respect des droits de propriété intellectuelle, de la confidentialité, de la sécurité et de la protection des données.

4. Aux bailleurs et aux partenaires techniques et financiers

Financer les maillons dans l'ordre où ils conditionnent les suivants, et assortir chaque objectif d'efficacité d'un objectif exprimé en niveau. Financer l'observation et la mesure avant tout projet d'IA, qu'il s'agisse de stations et de radars météorologiques, de comptages de visiteurs, ou des photos, sons et inventaires locaux qui permettent d'entraîner des modèles sur les espèces du pays. Privilégier les capteurs à faible coût et l'IA embarquée gérés par de petites coopératives, en prévoyant dès le départ qui en paiera la maintenance. Conditionner l'aide à la mesure du bénéfice environnemental net et au potentiel de réplication, à la propriété et à la réversibilité des données, à l'auditabilité des méthodes et à la couverture de la maintenance une fois la subvention terminée, ainsi qu'à un plan de compétences dont l'accès soit suivi par sexe et par territoire. Ouvrir les financements climatiques à la mesure de l'empreinte numérique et aux infrastructures numériques sobres dans les pays en développement, dans l'esprit des responsabilités communes mais différenciées. Financer des combinaisons d'actions de conservation et de restauration plutôt que des mesures isolées.

Figure 1 | Huit principes communs et les articles qui les portent

PRINCIPE	CE QUE CELA IMPLIQUE	ARTICLES 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Mesurer avant de modéliser	Financer stations, comptages, séries et registres, qui gardent leur valeur même si aucun modèle n'est déployé	●	·	·	·	·	●	·	●	●	●	●	●	●	●	●	●	·	·
Décider avant d'outiller	Fixer par un acte public l'objectif, la jauge ou le besoin, l'IA venant appliquer une décision déjà prise	●	·	·	·	·	·	·	·	·	·	●	·	●	·	●	·	●	·
Proportionner	Retenir la méthode la plus simple et la plus sobre, et savoir remettre en question le besoin d'IA lui-même	●	·	·	·	·	●	·	·	·	·	●	●	·	·	·	·	●	·
Garder la main	Propriété, réversibilité et auditabilité des données et des méthodes, code ouvert, contrôle humain, motif écrit de tout refus	·	·	·	·	·	●	·	●	●	●	·	●	●	●	●	·	·	●
Financer la durée	Couvrir l'exploitation et la maintenance après la subvention, exiger un modèle économique qui survive au projet	·	·	·	·	·	·	·	·	●	·	●	·	·	●	●	·	·	·
Mutualiser	Porter prévision, maintenance, formation, données et calcul à l'échelle de la filière, de la sous-région ou de l'espace francophone	·	·	·	●	●	●	·	·	·	·	·	●	●	●	●	●	·	●
Former dans les métiers	Compétences hybrides associant métier et données, acquises sur des cas réels et sans dépendre du fournisseur	·	●	·	·	●	·	●	·	●	●	●	●	●	●	·	●	●	·
Rendre l'empreinte visible et l'accès équitable	Méthodes de mesure harmonisées, transparence, objectifs en niveau et non en seule intensité, langues nationales, suivi par sexe et par territoire	·	●	●	●	●	●	·	·	●	·	●	●	·	●	·	●	●	●



Le vieux port d'Antalya (Turquie).

85 %

De la finance climatique mondiale (plus de 2 000 Md $ en 2024) est restée sur les marchés domestiques

Climate Policy Initiative, 2026

Les fonds climatiques déploient de leur côté des outils de pré-instruction capables de traiter des dossiers imparfaits en français et dans les langues nationales, orientent leurs programmes de préparation vers la production de données locales et excluent tout rejet automatisé non motivé. Les banques publiques de développement mutualisent, à l'échelle d'une zone monétaire ou d'une sous-région, les données de remboursement et de sinistres climatiques, et notifient par écrit le motif de toute décision défavorable où un modèle est intervenu.

5. Des perspectives de coopération dans l'espace francophone

Rapprocher les expertises environnementales et numériques pour accompagner les États et gouvernements francophones dans un usage responsable de l'IA au service du développement durable. La Francophonie peut contribuer à rapprocher les enceintes du climat et du numérique et à y renforcer la participation des pays sous-représentés, en mobilisant notamment l'expertise du Centre de ressources de l'OIF pour la gouvernance du numérique et de l'intelligence artificielle. Elle peut notamment porter dans ces enceintes l'inscription d'un volet environnemental à l'ordre du jour du Dialogue mondial sur la gouvernance de l'IA, associant le secrétariat de la CCNUCC et le PNUE, et la pérennisation d'un espace consacré au numérique et à l'IA au sein des Conférences des Parties sur le climat. Elle peut aussi plaider pour que le Groupe scientifique international indépendant sur l'IA consacre un volet de ses rapports à l'impact environnemental de l'IA, en lien avec le GIEC, et y favoriser la contribution de chercheurs francophones. Les auteurs proposent six axes de coopération : la mesure et la transparence, l'écoconception et la sobriété, l'encadrement des infrastructures, le renforcement des capacités des pays en développement, la mutualisation de ressources numériques et la diversité linguistique et culturelle.

Mutualiser ce qu'aucun acteur ne peut porter seul, à commencer par explorer la possibilité de développer une méthode commune de mesure et réfléchir à l'opportunité d'un observatoire francophone des centres de données et d'un programme d'entraide entre régulateurs, en lien avec l'UIT et la Banque mondiale, et des réseaux de formation à l'IA, pour la prévision et l'action anticipatoire avec l'OMM et l'initiative CREWS. La mise en commun des ressources et des expertises peut soutenir la prévision, le pilotage énergétique et la formation dans les destinations touristiques, les méthodes de diagnostic et les clauses types pour les villes, ainsi que les outils sobres et les données utiles au secteur de l'énergie. Elle peut également faciliter le partage de compétences spécialisées, la reconnaissance des certifications courtes et l'appui aux opérateurs de l'eau en Afrique subsaharienne. L'ouverture et la mutualisation des données doivent respecter la souveraineté des États, les droits des personnes et des communautés, ainsi que les règles applicables à la confidentialité, à la sécurité et à la protection des données. D'autres pistes consistent à élargir les formations numériques aux métiers de l'environnement et à mieux prendre en compte les besoins de l'industrie dans les stratégies nationales d'IA. Enfin, des outils d'aide à la décision pour les solutions fondées sur la nature, tels que le cadre canadien présenté dans ce numéro, peuvent être adaptés aux contextes nationaux pour contribuer à la cible 3 du Cadre mondial de la biodiversité de Kunming-Montréal, dite « 30 × 30 », en veillant à la participation des peuples autochtones et des communautés locales et au respect de leurs droits et de leurs usages.

CINQ QUESTIONS AVANT DE FINANCER UN PROJET D'IA ENVIRONNEMENTALE

1. Quel problème environnemental concret cherche-t-on à résoudre, et à quoi saura-t-on qu'il est résolu ?
2. Les données nécessaires existent-elles, sont-elles fiables, documentées et légitimement utilisables ?
3. Quelle famille d'IA la tâche appelle-t-elle réellement, et la solution la plus simple a-t-elle été écartée pour de bonnes raisons ?
4. Le dispositif retenu est-il proportionné aux bénéfices attendus, à son coût de maintenance et à son empreinte écologique ?
5. Qui supporte le coût d'une erreur du modèle, et peut-il la contester ?

Un projet qui ne répond pas à ces cinq questions n'est pas mûr, quelle que soit la qualité du modèle proposé.

TROIS PISTES D'ACTION PRIORITAIRES PROPOSÉES PAR LES AUTEURS

01.

Aux États

Adopter la séquence mesurer, décider, outiller, maintenir comme règle d'instruction de tout projet public d'IA environnementale, et n'engager l'achat d'un outil qu'une fois la donnée, la décision et la maintenance assurées.

02.

Aux bailleurs

Inscrire dans les conventions de financement quatre conditions communes, la propriété et la réversibilité des données, l'auditabilité des méthodes, la couverture de la maintenance après le projet et un plan de compétences suivi par sexe et par territoire.

03.

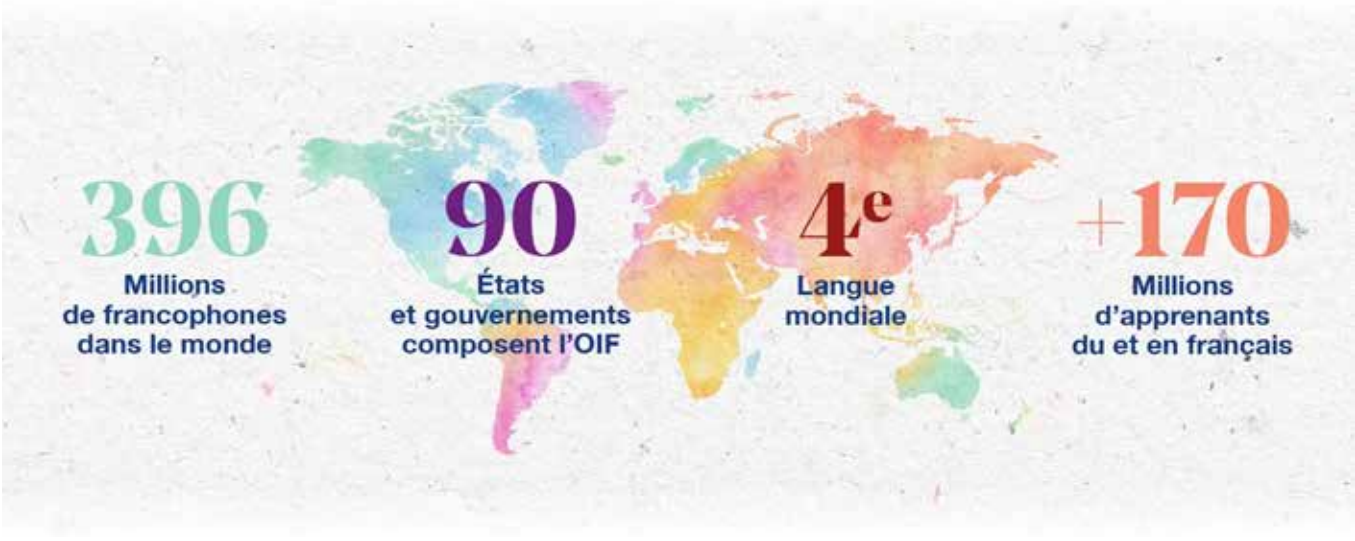
Rapprocher les expertises environnementales et numériques francophones

Renforcer le rapprochement des expertises environnementales et numériques pour accompagner les États et gouvernements membres de l'OIF dans un usage responsable de l'intelligence artificielle au service de leurs priorités en matière de développement durable, et porter ensemble, dans les enceintes du climat comme dans celles du numérique, la question de l'empreinte environnementale de l'IA.

N°2 - NOVEMBRE 2026 **QUAND LE SAVOIR ENRICHIT L'AVENIR**

COMMUNAUTÉS DURABLES

LA FRANCOPHONIE EN CHIFFRES



INTELLIGENCE ARTIFICIELLE ET PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT DANS L'ESPACE FRANCOPHONE

Institut de la Francophonie pour le développement durable (IFDD)
Organe subsidiaire de l'Organisation internationale de la Francophonie (OIF)
200, Chemin Sainte-Foy, bureau 1.40, Québec (Québec) G1R 1T3, Canada
T. +1 418 692-5727 · ifdd@francophonie.org
www.ifdd.francophonie.org

ifdd
INSTITUT DE LA FRANCOPHONIE POUR LE DÉVELOPPEMENT DURABLE
ORGANISATION INTERNATIONALE DE la francophonie