



DATA2040

DATA 2040

Étude prospective sur le futur
des infrastructures numériques
et datacenters en 2040



Prévisualisation du RAPPORT PUBLIC - MARS 2026

Téléchargement du rapport public complet
Yspot@cea.fr

UNE ÉTUDE CEA EN PARTENARIAT AVEC LE GERPA



PARTENAIRES DE L'ÉTUDE :



REMERCIEMENTS

LES PARTENAIRES DE L'ÉTUDE DATA 2040 :

APL : Christophe Weiss, Georges Ouffoué, Thomas Martin

NEXITY : François Desgardins, Gaspard Hantz

HYPERION : Nicolas Boulinguez, Laurent Pingault,

ECLAIRION : Charles Huot et Pierre Leca

SCHNEIDER ELECTRIC : Juan Ignacio Rubio, Jiyue SHEN, Janine Clamo Cramer, Roland Bohrer

EDF : Fabrice Decellas, Stéphane Dupré Latour, Isabelle Moussaoui

RTE : Maité Jaureguy-Naudin, Vincent Lefieux

ENEDIS : Bastien Gauthier, Gaëlle MBock, Jean-Marc Do Livramento, Martin Caron

TDF : Vi Olivet, Bertrand Deschard

ORANGE : Arnaud Braud, Gaël Fromentoux

MICHELIN : André Devillars

THALES : Thierry Betmont, Grégory Marmin

CREDIT AGRICOLE : Aldrick Zappellini, Julien Tournier, Frédéric Orsoni

SNCF : Pierre Fouillade

Le Ministère des Armées : Benjamin Chauvet, Laurent Vogel

CEA : Jacques-Charles Lafoucrière, Cédric Auliac, Eric Mercier

LES EXPERTS AYANT ENRICHIS L'ÉTUDE DATA 2040 :

SCHNEIDER : Rémi Paccou, Sébastien Cruz-Mermy

HPE : Philippe Rase, Ray Beausoleil

EVIDEN : Girault Gauvain, Eric Eppe, Laurent Cargemel

BIOMEMORY : Erfane Arwani

EXAION : Gilles Deleuze

GENVIA : Patrice Tochon

EQUINIX : Marc Penfeunteun, Régis Castagné

DATA4 : Jérôme Totel, Louis Ouvry, Olivier De Nomazy, Alexandre Delaval

OVH Cloud : Leo-Paul Souart

SCALEWAY : Emilien Maudet

GOOGLE : Maud Texier

ERICSSON : Benoit Parneix

OPCORE : Nicolas Fontes

NOKIA : Rany Pitch, Jean-Christophe Antoine

NALCO : Jean-Michel Cottin

SUPERNOVA INVEST : Carole Cazassus, Leo Fernandes, Damien Bretegnier

INRIA : Selma Souihel, Jacques Sainte-Marie

DGE Num : Emma Le Boulcault, Vincent Coudrain, Adrien Laroche

ADEME : Bruno Laffite,

CEA : Fabien Baligand, Nicolas Bihel, François-Marie Bréon, Christophe Calvin, Jean-Philippe Bourgoin, Patrick Cappe de Baillon, Marc Duranton, Denis Dutoit, Jean-François Fourmigué, Christine Hennebert, Nicolas Lamaison, Benjamin Lucas-Leclin, Pascal Maugis, Blandine Merienne, Jens Merten, Jean-Noël Patillon, Sara Tucci Pergiovanni, Guillaume Ravel

L'ÉQUIPE D'ANIMATION ET FACILITATEURS DE L'ÉTUDE DATA 2040 :

CEA : Bénédicte Almozini, Jean-Baptiste Bel, Philippe Caillol, Tony Maindron, Alexandre Paléologue, Amélie Robuchon, Stéphane Ségard, Timothée Silvestre, Mélusine Suel, Sandra Tochon

GERPA : Régine Monti-Tessier, Stéphane Giron, Jean-Dominique Seval, Vincent Bonneau

Transition Data Lab : Rémi Grimaud

MISE EN FORME DU RAPPORT :

Marie Brochet (CEA)

AVIS AUX LECTEURS

La **prospective n'est pas une prédiction de l'avenir**. Elle n'est **pas non plus une prévision qui serait le prolongement de tendances actuelles** sous forme de « roadmapping ». La prospective est un exercice de réflexion qui s'appuie sur des tendances, signaux faibles et ruptures envisageables pour **décrire les futurs possibles**. Elle vise à **faciliter la prise de décision dans un monde incertain** et l'intégration des horizons de long-terme dans la stratégie. Les travaux présentés dans ce document sont issus d'une production collective qui **ne reflète pas nécessairement toutes les opinions des participants ayant contribué et n'engagent ni les organismes dont ils sont issus, ni le CEA**.

Enfin, les chiffres et estimations qui jalonnent cette étude, qu'il s'agisse de consommation énergétique, d'eau ou de volumes de données, doivent être interprétés comme des **ordres de grandeur relatifs et non pas des valeurs absolues**. Leur unique fonction est d'illustrer des dynamiques et de donner corps à nos scénarios.

PRÉFACE

Face à la dépendance croissante de nos sociétés aux services numériques, les **centres de données constituent aujourd'hui l'épine dorsale de l'économie numérique**. Interconnectés par des réseaux toujours plus performants, ils soutiennent des secteurs tels que la santé, la défense et la sécurité civile, l'administration, la recherche, la finance ou l'industrie.

Au cœur de cette économie numérique, la valeur que représentent les données produites par ces secteurs clés est tout autant stratégique que monétaire. Depuis 2010, le trafic Internet mondial a été multiplié par vingt-cinq, et **la récente vague de l'intelligence artificielle générative** bouleverse encore davantage ce paysage. **L'émergence de « gigadatecenter » hyperscale**, atteignant parfois plusieurs gigawatts de puissance, transforme les équilibres techniques, énergétiques et géopolitiques à l'échelle mondiale.

Dans ce contexte de compétition accrue entre grandes puissances — principalement les États-Unis et la Chine —, la course au gigantisme numérique soulève des **questions essentielles : soutenabilité énergétique et hydrique, dépendance aux matières critiques, infrastructures télécoms, vulnérabilités cyber, ou encore acceptabilité sociétale**. Ces enjeux dépassent largement la seule dimension technologique. Ils appellent à une réflexion collective sur les modèles d'infrastructures et les choix d'indépendance qui façonneront l'Europe numérique de demain.

C'est dans cet esprit qu'a été lancée l'étude prospective **DATA 2040**, portée par le CEA – Direction de la Recherche Technologique (DRT), au sein de sa Direction Innovation, dont la raison d'être est d'apporter **une vision à long terme sur les mutations technologiques et leurs impacts**. Dans la continuité d'autres travaux prospectifs comme celui mené sur le quantique (Quantum

2042), cette démarche illustre la volonté du CEA de conjuguer innovations et stratégies industrielles sur l'ensemble de la chaîne de la valeur.

La prospective, par nature, ne cherche pas à prédire l'avenir mais à **éclairer les futurs possibles**. Elle repose sur une **approche systémique et multipartenariale**, croisant les regards d'experts, d'industriels et d'acteurs publics. À partir de jeux d'hypothèses construits et validés collectivement, quatre scénarios contrastés ont été construits pour explorer les trajectoires possibles du numérique et des datacenters à l'horizon 2040. Ces scénarios constituent **autant d'outils d'aide à la décision pour anticiper les risques, identifier les leviers d'action et préparer des stratégies face à l'incertitude**.

Au-delà du présent rapport d'étude, **DATA 2040** a vocation à **fédérer un écosystème d'entreprises et d'acteurs institutionnels** autour de ces enjeux, dans une logique conservée de **partenariat collaboratif (HUB)** pour réaliser des études techniques et des expérimentations qui permettent de lever les verrous technologiques.

Le futur ne sera certainement pas la simple matérialisation de l'un des scénarios, mais un **mélange dynamique de plusieurs trajectoires**. L'ambition de **DATA 2040** est d'aider à mieux comprendre ces possibles, pour bâtir dès aujourd'hui un **numérique soutenable, résilient, « souverain » et au service de la société**.

Nicolas BEDOUIN

Directeur Délégué à la Stratégie Partenariale
CEA / Direction de la Recherche Technologique

EXECUTIVE SUMMARY

Le rapport DATA 2040 explore les futurs possibles des infrastructures numériques à l'horizon 2040, à l'heure où l'explosion de l'IA générative et les besoins en HPC redéfinissent les règles du jeu.

Face à des défis énergétiques et de ressources, cette étude prospective articule son analyse autour de **quatre scénarios contrastés : Croissance accélérée, Instabilité et cycles technologiques, Nouvelle donne numérique européenne, et Résilience et sobriété**. Ces trajectoires interrogent les incertitudes majeures de demain : centralisation (Cloud) ou décentralisation (Edge) ? Polarisation géopolitique ou multipolarisation ? Continuité technologique ou rupture brutale ?

Les datacenters ne sont plus de simples infrastructures digitales, ils sont devenus des **actifs géopolitiques stratégiques**. On assiste à l'émergence d'un **nouveau paradigme « Compute is a new Oil »** en complément de « Data is gold » où s'opère une **convergence entre l'Énergie et le Digital**. Cette course à la puissance peut entraîner une **pression sur les réseaux électriques et les ressources en eau**, créant des zones de tension (cf. saturation des réseaux en Irlande). Le **rôle du Datacenter devra évoluer** pour ne plus seulement être un consommateur mais devenir un **acteur de flexibilité du réseau électrique** (effacement, stockage, production) et d'un continuum Digital-Énergie.

Cette **révolution digitale est irréversible**, mais sa trajectoire reste à définir. Pour l'Europe et la France, l'enjeu est double. Premièrement, elle doit **s'affirmer dans la compétition mondiale**. Si le retard infrastructurel sur les USA est marqué, **l'Europe dispose néanmoins de leviers stratégiques** pour renforcer son autonomie via **l'innovation technologique et la normalisation sur l'intégralité de la chaîne de valeur**. Deuxièmement, il faudra passer d'une logique de l'efficacité à la résilience car l'optimisation des systèmes ne suffit plus. Face aux chocs potentiels (conflits, crises climatiques), **l'approche doit devenir systémique**. Il ne s'agit plus seulement de subir la croissance, mais de coordonner le développement d'infrastructures dynamiques, capables de s'adapter aux perturbations.

DATA 2040 pose la **question fondamentale de la gouvernance de cette croissance** : laisser faire les lois du marché de manière subie et désordonnée, ou orchestrer une stratégie industrielle et territoriale cohérente ? L'avenir des infrastructures numériques se jouera sur leur capacité à **conjuguer puissance de calcul et sobriété, performance et résilience**.

MESSAGES CLÉS DES PARTENAIRES



TÉLÉCOM

- **Les réseaux de communication évoluent vers des architectures hybrides**, intégrant de manière croissante des solutions terrestres et satellitaires afin d'améliorer couverture, continuité de service et résilience.

- **La virtualisation des réseaux (SDN : SDN – Software-Defined Networking et NFV : Network Functions Virtualization) s'impose comme une tendance structurante**, permettant une automatisation accrue et une meilleure flexibilité opérationnelle, tout en intensifiant la concurrence des acteurs « over-the-top » sur les services à valeur ajoutée.

- **La France bénéficie aujourd'hui d'une latence moyenne faible (≈7 ms sur la plupart des métropoles en France)** et d'une bande passante suffisante pour les usages courants, mais un cycle de renouvellement majeur des infrastructures télécoms sera nécessaire à l'horizon 2033.

- **La collecte massive de données industrielles issues de l'IoT ne se traduit pas par des volumes élevés de données**, car elle repose majoritairement sur de petits paquets d'informations à faible poids unitaire.

HPC, IA, EDGE

- **Certaines applications industrielles critiques exigent que les données restent sur le site de production**. D'autres pourraient être hébergées dans des datacenters, mais **nécessitent alors une latence inférieure à 5 ms**, ce qui implique de disposer de

datacenters de proximité, situés à moins de 300 km.

- **Le modèle économique de l'IA générative dans l'industrie reste incertain**, tant que les cas d'usage, les niveaux de performance attendus et les taux d'erreur acceptables ne sont pas clairement stabilisés.

- **Un nouveau paradigme de calcul distribué émerge**, fondé sur la migration dynamique d'agents d'IA vers les lieux où se trouvent les données, afin de mutualiser et d'allouer les ressources de calcul de manière plus efficiente (« **fluid computing** »).

- **Le déploiement à grande échelle des infrastructures EDGE (IoT, véhicules autonomes)** pose un défi majeur de financement, les modèles économiques associés n'étant pas encore clairement établis.

HARDWARE & STOCKAGE

- **Les technologies de stockage basées sur l'ADN pourraient, à long terme, réduire drastiquement les coûts** et offrir des durées de conservation extrêmement longues pour les données dites « froides ».

- **Les architectures matérielles deviennent de plus en plus hétérogènes**, combinant CPU, GPU, TPU, QPU, ainsi que de nouvelles hiérarchies mémoire (CXL), afin de dépasser les limites actuelles liées au « **memory wall** » de l'IA.

- **L'inférence devrait constituer le principal moteur de croissance du marché de l'IA** avec l'apparition d'architectures de calcul spécialisées (ex. Cerebras).

ÉNERGIE & REFROIDISSEMENT

- **En France, la consommation d'eau de la filière datacenter reste faible par rapport à d'autres secteurs industriels**, et n'est pas critique dès lors que des technologies de refroidissement sobres en eau sont privilégiées.

- **L'accès à l'énergie et les délais de raccordement constituent le principal facteur limitant du développement des datacenters**, la problématique française étant moins la production que la capacité et la rapidité de raccordement et les longueurs des procédures administratives.

- **Les coûts d'investissement et d'énergie liés au HPC deviennent un enjeu stratégique y compris pour les grands groupes industriels**, I, freinant la capacité à suivre la croissance rapide des besoins de calcul.

- **Un amortissement progressif de la consommation énergétique des datacenters est envisagé à horizon 10 ans**, avec des taux de croissance plus modérés que ceux observés au cours des trois dernières années.

- **Les datacenters pourraient être incités à devenir plus flexibles sur le plan énergétique** (effacement, modulation de charge), bien que cette logique soit en tension avec leur modèle historique de redondance et de disponibilité maximale.

MODÈLES DE DATACENTERS

- **La demande reste très orientée vers les grands datacenters et les hyperscalers** principalement financés par les fonds d'investissement et les grandes entreprises technologiques, tandis

que le marché des datacenters EDGE de petite et moyenne taille demeure de niche actuellement.

- **Il y a encore une part d'incertitude pour les 5 ans à venir sur le marché des datacenters concernant l'IA qui reste encore à la marge en France actuellement** ; comme dans les années 2000, dans le secteur des Datacenters, le risque de bulle existe et une décélération peut advenir du fait du non remplissage des datacenters actuels.

- **Le recours croissant aux jumeaux numériques entraînera des besoins importants en puissance de calcul**, dont une part significative sera probablement externalisée vers le cloud.

- **Les acteurs du minage de cryptomonnaies reconvertissent progressivement leurs infrastructures vers le HPC pour l'IA**, tout en offrant des capacités d'effacement et d'arbitrage énergétique lors des périodes de surproduction aux USA (ex. ERCOT au Texas).

SOUVERAINETÉ & RÉSILIENCE

- **La notion d'autonomie stratégique est plus pertinente que celle de souveraineté technologique**, l'indépendance totale étant irréaliste ; dans ce cadre, le ministère des Armées entretient des relations avec les GAFAM, dont la nature varie en fonction des usages et des enjeux de souveraineté, tout en développant des solutions propres avec des fournisseurs français et européens. Les acteurs du domaine de la défense et de la sécurité sont particulièrement attentifs à la recherche d'un juste équilibre

- **Les technologies duales, à usage civil et militaire**, constituent des leviers majeurs de **résilience industrielle, technologique et stratégique**.

- **Le futur reposera sur des infrastructures énergétiques suffisantes, modulaires et résilientes**, couplées à des **réseaux de communication redondants et autonomes**, intégrant notamment des solutions satellitaires.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	3
AVIS AUX LECTEURS	4
PRÉFACE	5
EXECUTIVE SUMMARY	6
MESSAGES CLÉS DES PARTENAIRES	7
INTRODUCTION	10
ACRONYMES ET DÉFINITIONS	11
MÉTHODE PROSPECTIVE.....	13
VARIABLES CLÉS	14
GÉOPOLITIQUE	14
DATACENTERS	15
ÉNERGIE.....	17
EAU ET REFROIDISSEMENT	21
IA, HPC ET EDG.....	24
HARDWARE ET MÉMOIRES	27
RÉSEAUX & TÉLÉCOMMUNICATIONS	28
MINAGE ET BLOCKCHAIN.....	29

HYPOTHÈSES QUANTITATIVES & SCÉNARIOS.....	32
SCÉNARIO « CROISSANCE ACCÉLÉRÉE »	34
SCÉNARIO « INSTABILITÉ ET CYCLES TECHNOLOGIQUES»	38
SCÉNARIO « NOUVELLE DONNE NUMÉRIQUE EUROPÉENNE»	42
SCÉNARIO « RÉSILIENCE ET SOBRIÉTÉ»	46
CONCLUSIONS.....	51
RECOMMANDATIONS	56
ANNEXE	58



CONTACTS

Timothée Silvestre

Responsable de l'étude prospective

Timothee.silvestre@cea.fr

Sandra Tochon

Chef de projet

sandra.tochon@cea.fr

Philippe Caillol

Directeur Innovation de la Recherche Technologique du CEA

philippe.caillol@cea.fr

