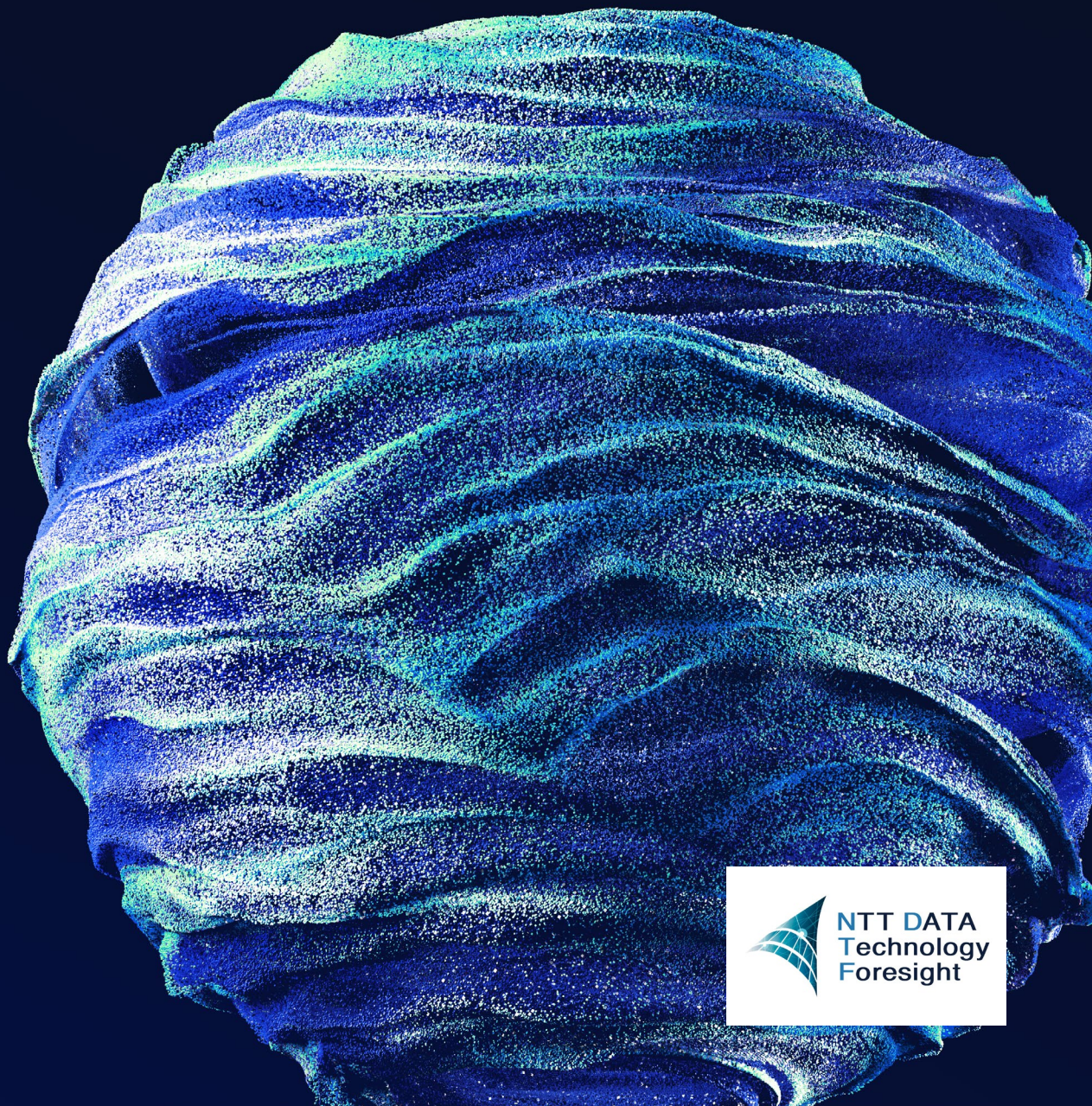


Mars 2026

NTT DATA Technology Foresight 2026

Soutenir la croissance à l'ère de
l'intelligence de masse



Sommaire

03 Avant-propos

04 Prospective technologique : une clé de lecture de l'avenir

06 Vue d'ensemble des macro-tendances :
l'architecture de l'avenir

08 Autonomie orchestrée par l'humain

18 Agentivité incarnée et émotions

28 Une intelligence digne de confiance

38 Infrastructure intelligente

48 Écosystèmes souverains du silicium

58 De l'efficacité illusoire à la suffisance

68 La technologie en contexte :
la prospective à l'échelle des secteurs

87 De l'analyse à l'action

89 À propos de la recherche

90 Contributeurs

90 À propos de NTT DATA

Avant-propos

À l'ère de l'intelligence de masse, l'IA est devenue une capacité à la portée de milliards de personnes, qui soutient le traitement de l'information, la collaboration et la résolution de problèmes.

La créativité humaine est désormais amplifiée par l'IA. Nous voyons l'autonomie orchestrée par l'humain transformer les organisations : les machines prennent en charge des tâches à grande échelle, tandis que les personnes déterminent la direction et la finalité. La technologie n'est plus un simple outil froid, elle devient plus empathique. Grâce à l'agentivité incarnée et aux capacités émotionnelles, les agents numériques commencent à comprendre le contexte humain à partir de signaux non verbaux, rendant les interactions plus naturelles et davantage centrées sur l'humain.

L'avenir que nous envisageons est celui d'une intelligence digne de confiance. À mesure que l'IA s'inscrit dans les processus de décision, de la salle du conseil à l'interface client, la fiabilité devient essentielle. Nous construisons cette intelligence digne de confiance en concevant des algorithmes et des écosystèmes de données dont la responsabilité éthique et la transparence constituent le fondement.

Dans le même temps, notre monde repose sur une infrastructure intelligente, fondation distribuée dans laquelle le cloud n'est qu'un élément parmi d'autres. Les décisions urgentes sont de plus en plus prises en périphérie, ce qui exige l'exécution des charges de travail sur des capacités de calcul spécialisées, tandis que la souveraineté détermine où réside l'intelligence. Les organisations doivent bâtir une infrastructure qui se reconfigure en permanence autour d'une finalité stratégique et de la résilience.

L'essor de l'intelligence de masse exige également un contrôle accru sur les composantes critiques de la chaîne d'approvisionnement technologique. Des écosystèmes souverains du silicium émergent à mesure que les entreprises et les États recherchent des fondations sûres et spécialisées, garantes d'une innovation alignée sur leurs valeurs fondamentales. Et à mesure que nous repoussons les frontières de la productivité, l'objectif n'est plus l'hyperefficacité à tout prix, mais la suffisance. En passant de l'efficacité illusoire à la suffisance, les dirigeants privilégient une prospérité durable plutôt que des gains de court terme.

Chez NTT DATA, notre vision est à la fois ambitieuse et inspirante, pragmatique et ancrée dans la réalité. Grâce à notre propre assistant d'IA fondé sur la prospective, qui renforce la manière dont nous conseillons nos clients, nous aidons les organisations à transformer ces dynamiques en avantage, afin que l'intelligence collaborative — la fusion de l'intention humaine et de la vitesse des machines — devienne un moteur de transformation positive. Celles et ceux qui aborderont cette époque avec confiance, clarté et finalité ne se contenteront pas de s'adapter à l'avenir, ils contribueront aussi à façonner un monde plus intelligent et plus durable.

Prospective technologique : une clé de lecture de l'avenir

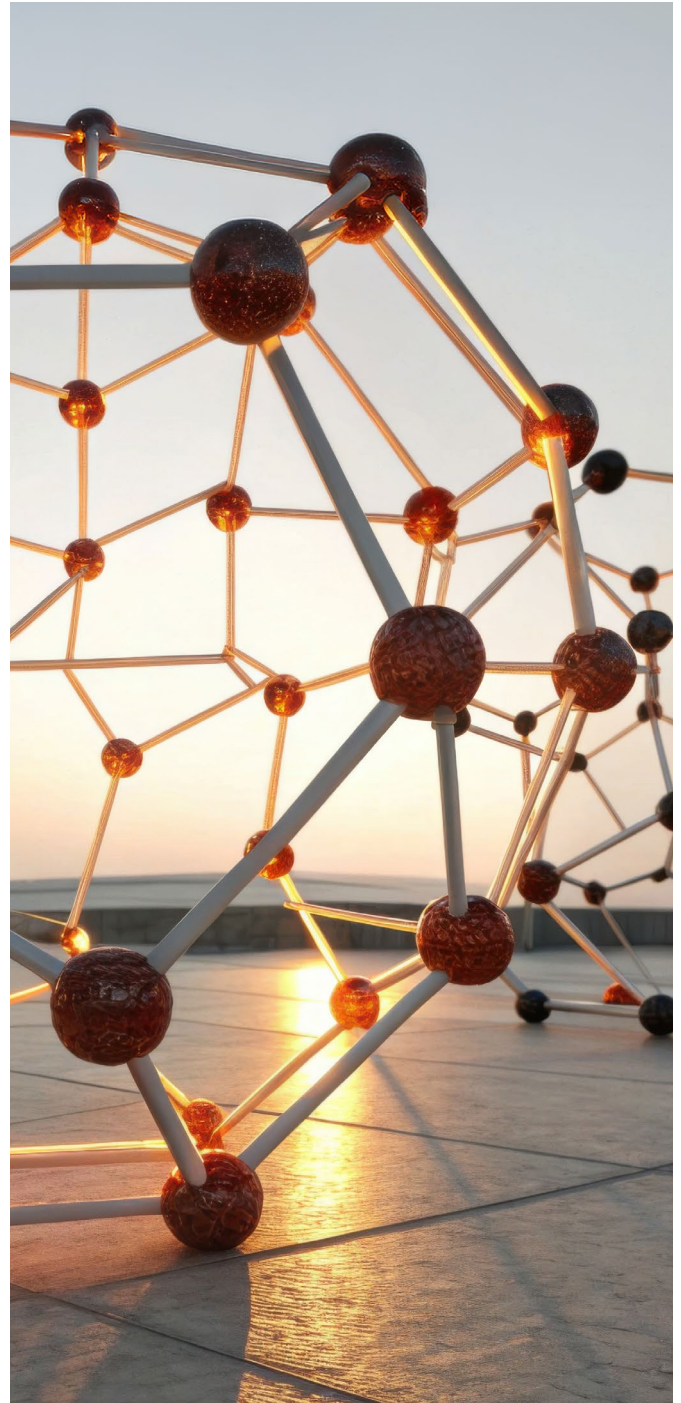
Objectif et méthodologie

Technology Foresight vise à apporter de la clarté stratégique dans un contexte d'accélération des transformations technologiques et sociétales.

Elle n'a pas pour objet de prédire un avenir unique, mais d'éclairer plusieurs futurs plausibles, façonnés par des mutations structurelles profondes. Grâce à l'exploration continue des signaux émergents, des tendances de long terme et des dynamiques transversales, nous aidons les organisations à anticiper les changements non linéaires et à comprendre comment les forces mondiales peuvent influencer sur les marchés, les technologies et les comportements humains.

Notre méthodologie associe veille, expertise et analyse systémique, en intégrant des perspectives sociales, économiques, environnementales, géopolitiques et technologiques. Un processus structuré, accéléré et renforcé par l'IA, permet aux dirigeants d'identifier les signaux précoces, d'en évaluer les implications et d'aligner les décisions d'innovation et d'investissement sur une finalité sociétale de long terme, afin que le progrès technologique soutienne la résilience humaine et planétaire.

Ces analyses ont convergé vers les six macro-tendances technologiques qui structurent ce rapport. Ces macro-tendances ne constituent pas des évolutions isolées. Elles représentent au contraire des trajectoires de transformation interconnectées qui influencent la manière dont l'intelligence est créée, gouvernée, intégrée et déployée à l'échelle des sociétés et des secteurs.





Façonner l'innovation et la stratégie

Technology Foresight constitue un pont stratégique entre l'analyse et l'action.

En reliant les mutations mondiales aux technologies et aux comportements émergents, elle permet aux organisations d'anticiper les champs d'opportunité et de concevoir des innovations répondant aux besoins de demain, et non à la seule demande actuelle. Elle éclaire également l'innovation en révélant des territoires inexploités pour de nouvelles offres, capacités et modèles économiques alignés sur les scénarios d'avenir les plus plausibles.

Sur le plan stratégique, les analyses présentées dans ce rapport aident les organisations à renforcer leur résilience en guidant les choix de portefeuille, le développement des capacités et les partenariats d'écosystème. Elles permettent aux dirigeants de hiérarchiser les investissements et de déterminer où expérimenter, en particulier lorsque la maturité technologique dépasse le degré de préparation des organisations, des régulateurs ou de la société.

Technology Foresight permet aux organisations de naviguer dans l'incertitude avec confiance, intention et responsabilité, en veillant à ce que l'innovation demeure porteuse de finalité, adaptée à l'avenir et alignée sur les transformations de la société.

Vue d'ensemble des macrotendances : l'architecture de l'avenir

Nous sommes entrés dans l'ère de l'intelligence de masse, dans laquelle chaque système, processus et produit est de plus en plus capable d'apprendre, de s'adapter et d'agir de manière autonome, et où l'IA est désormais accessible à des milliards de personnes.

NTT DATA Technology Foresight 2026 examine comment cette transformation peut servir une croissance porteuse de sens grâce à des systèmes à la fois intelligents et transparents, sensibles aux émotions tout en demeurant éthiques, souverains tout en restant connectés.

Les six macrotendances présentées dans ce rapport constituent l'architecture de cet avenir : le passage de l'automatisation et de l'assistance vers l'autonomie et l'incarnation, au moyen de systèmes dotés d'intelligence émotionnelle et gouvernés de façon éthique, soutenus par une infrastructure intelligente, des écosystèmes matériels souverains et un engagement renouvelé en faveur de la durabilité à travers la suffisance.

Ensemble, ces dynamiques annoncent l'essor d'une intelligence interconnectée et adaptative qui transformera la manière dont la valeur est créée dans l'ensemble de la société.

“

L'intelligence de masse amplifie la finalité humaine lorsqu'elle est guidée par des valeurs humaines.

Architecture de l'avenir



Figure 1 : Architecture de l'avenir

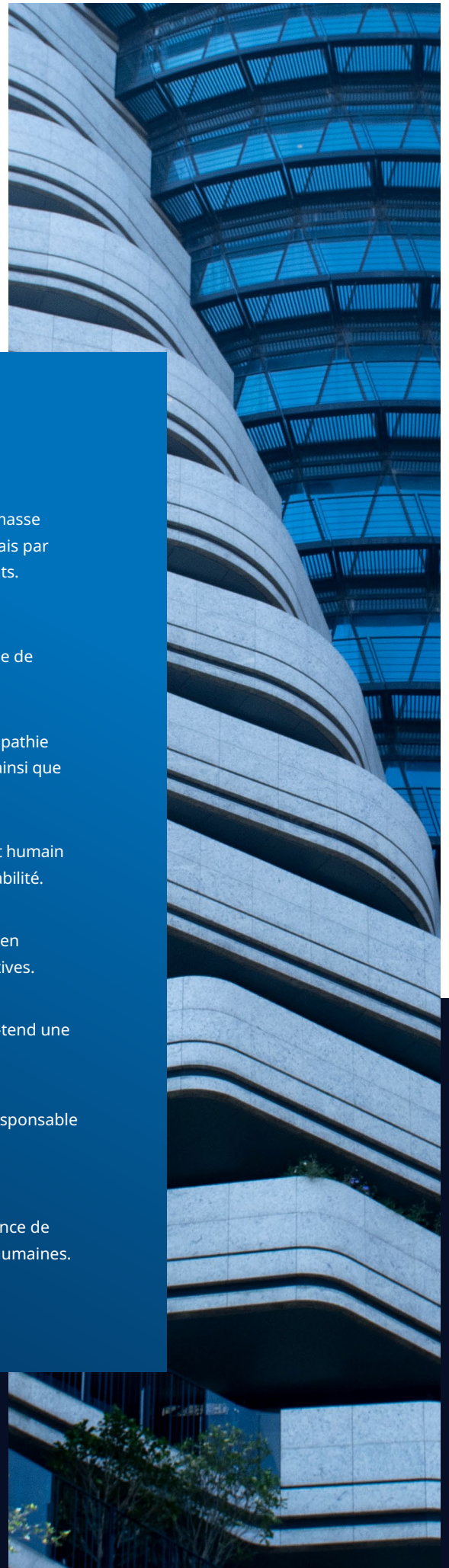
Bien qu'elles soient présentées comme six macro-tendances distinctes, ces forces opèrent comme une transformation unique et convergente. Chaque tendance — autonomie, émotion, confiance, infrastructure, souveraineté et suffisance — renforce les autres et forme un socle cohérent pour l'ère de l'intelligence de masse.

Pourquoi l'humain compte à l'ère de l'intelligence de masse

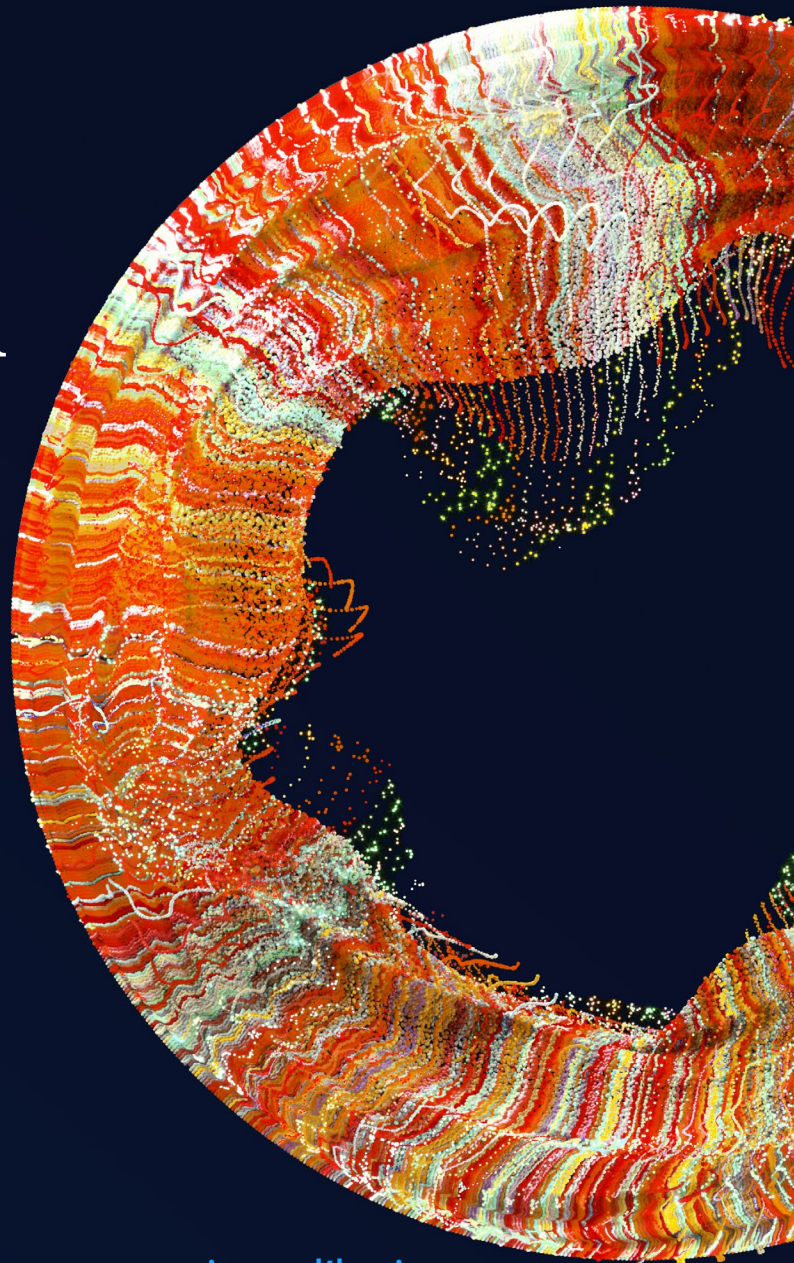
À travers l'ensemble de ces six macro-tendances, l'ère de l'intelligence de masse ne se définit pas par des machines agissant de manière indépendante, mais par une collaboration plus étroite entre les humains et les systèmes intelligents.

- 01** **L'autonomie** démultiplie l'intention humaine grâce à une prise de décision responsable et gouvernée.
- 02** **L'agentivité incarnée** enrichit l'interaction en introduisant l'empathie et la conscience émotionnelle dans les systèmes numériques, ainsi que l'action dans le monde physique.
- 03** **Une intelligence digne de confiance** s'appuie sur le jugement humain pour fixer les limites de la sécurité, de l'équité et de la responsabilité.
- 04** **L'infrastructure intelligente** soutient les priorités humaines en fournissant des fondations résilientes, souveraines et adaptatives.
- 05** **Un silicium souverain** sécurise la capacité de calcul qui sous-tend une innovation pilotée par l'humain.
- 06** **La suffisance** garantit que l'intelligence évolue de manière responsable dans les limites écologiques et sociétales.

Ensemble, ces macro-tendances réaffirment un principe central : l'intelligence de masse amplifie la finalité humaine lorsqu'elle est guidée par des valeurs humaines.



1 Autonomie orchestrée par l'humain



Ce que c'est et pourquoi cela importe aujourd'hui

Les systèmes autonomes constituent l'un des piliers de l'intelligence de masse

L'autonomie a atteint un point d'inflexion. Ce qui relevait au départ de l'automatisation des tâches évolue rapidement vers une intelligence adaptative guidée par une finalité, capable d'agir à travers les fonctions de l'entreprise, les systèmes physiques et les infrastructures sociales. Cette accélération intervient toutefois à un moment où la confiance du public, la pression réglementaire et les attentes éthiques progressent fortement.

L'alignement sur l'intention humaine devient ainsi la nouvelle frontière stratégique. Les organisations ne peuvent plus s'en remettre à des comportements algorithmiques opaques. Elles ont besoin de systèmes autonomes transparents, explicables, auditables et soumis à une gouvernance continue.

À mesure que les entreprises passent des projets pilotes à des opérations autonomes déployées à l'échelle — qu'il s'agisse de robotique, d'automatisation décisionnelle ou d'agents nativement fondés sur l'IA — le défi critique se déplace de la capacité technologique vers une orchestration responsable. Les systèmes qui s'imposeront seront ceux qui amplifient la finalité humaine au lieu de s'y substituer, en faisant de l'autonomie une trame collaborative dans laquelle humains et agents intelligents coproduisent des résultats assortis d'une responsabilité mesurable et d'un haut niveau de confiance.

À mesure que les systèmes autonomes gagnent en maturité, ils deviennent l'un des piliers fondamentaux de l'intelligence de masse, en traduisant l'intention humaine en actions coordonnées et adaptatives dans les environnements numériques et physiques.

Concepts fondamentaux

Alignement sur l'intention humaine

Les systèmes autonomes agissent selon des objectifs et des principes éthiques clairement définis par l'humain, amplifiant l'intention humaine tout en garantissant des résultats responsables et alignés sur les priorités de l'entreprise et de la société.

Autonomie transparente et explicable

Les systèmes doivent être en mesure d'expliquer leur raisonnement et leurs actions dans des termes compréhensibles par l'humain, afin de favoriser la confiance, la conformité et une collaboration efficace entre humains et agents intelligents.

Collaboration distribuée entre humains et machines

Humains et agents d'IA se répartissent dynamiquement les tâches selon leurs forces complémentaires, formant des réseaux coopératifs dans lesquels les humains donnent l'impulsion et l'IA exécute avec adaptabilité.

Cadres de gouvernance et de contrôle éthique

L'autonomie exige une supervision continue, couvrant la conformité réglementaire, les revues éthiques, l'auditabilité ainsi que le suivi des comportements des systèmes et de leur impact sociétal.

Autonomie adaptative selon les contextes

Les niveaux d'autonomie s'ajustent en fonction du risque de la situation et du degré de supervision requis, afin d'optimiser la confiance, la sécurité et la performance dans les environnements critiques comme dans les environnements routiniers.

Intégration de l'autonomie cognitive et physique

L'intelligence numérique et les systèmes incarnés — robots, véhicules, drones — interagissent avec le monde physique, reliant le raisonnement à l'action dans le réel.

Infrastructure sociétale de l'intelligence

Une autonomie omniprésente forme des systèmes connectés au service des villes, des secteurs et des institutions, créant une intelligence collective répondant aux besoins humains à grande échelle.

Supervision humaine continue et boucles de rétroaction apprenantes

Les humains guident les systèmes autonomes et apprennent en retour de leur fonctionnement, favorisant une coévolution, une meilleure prise de décision et des résultats alignés sur les attentes de la société.

Les différentes formes de supervision humaine, depuis l'aide à la décision supervisée jusqu'aux écosystèmes multiagents autorégulés, déterminent la manière dont l'autonomie change d'échelle.

Pile d'orchestration de l'autonomie



Figure 2 : pile d'orchestration de l'autonomie

Paysage technologique

Le paysage technologique de l'autonomie orchestrée par l'humain se définit par un empilement de capacités permettant aux systèmes intelligents d'agir de manière indépendante tout en restant alignés sur la supervision humaine, l'intention organisationnelle et des trajectoires décisionnelles responsables.

● Aujourd'hui : **Fondements de l'autonomie guidée par l'humain**

Les organisations déploient les briques fondamentales qui permettent aux systèmes autonomes de rester transparents, pilotables et alignés sur la finalité humaine.

Les frameworks d'agents et les outils d'orchestration de l'IA constituent la couche d'exécution, en permettant à des collaborateurs numériques et à des agents spécialisés d'opérer sous intention humaine tout en accélérant la décision. Autour de ce noyau agentique, les outils d'explicabilité, les cadres de suivi des modèles et les plateformes d'observabilité de l'IA fournissent la visibilité de niveau audit nécessaire à un déploiement responsable. Les pipelines de retour humain et les plateformes émergentes de gouvernance de l'IA formalisent la supervision, en traitant les agents comme des actifs d'automatisation intelligente placés sous gouvernance, tandis que les mécanismes de gestion des hallucinations contribuent à rendre les agents génératifs plus prévisibles et à réduire les erreurs d'automatisation.

L'IA en périphérie étend l'autonomie aux environnements physiques — usines, véhicules, drones — en apportant une inférence à faible latence au plus près du lieu d'action. Les modèles vision-langage-action et les capacités d'IA incarnée établissent le lien entre raisonnement numérique et comportement physique, permettant à des robots supervisés par l'humain et à des dispositifs autonomes de collaborer en sécurité dans des situations réelles.

Les pratiques d'IA durable garantissent que ces systèmes peuvent changer d'échelle dans le respect des contraintes énergétiques et de calcul, en alignant l'autonomie sur la suffisance et la résilience de long terme.

● Prochaine étape : **Montée en puissance des capacités de coordination et des couches de décision autonome**

À mesure que les systèmes agentiques se multiplient, les entreprises commencent à adopter les capacités de coordination requises pour une autonomie à l'échelle.

Les cadres d'orchestration multiagents émergent comme le tissu de liaison qui permet à des agents spécialisés de négocier les tâches, de partager le contexte et d'escalader les décisions. Les mécanismes autonomes de routage des décisions déterminent de façon dynamique quand les systèmes agissent de manière indépendante et quand une intervention humaine est requise, renforçant ainsi la sécurité et la conformité. Les couches de raisonnement transparent et les techniques neurosymboliques apportent structure et vérifiabilité à la prise de décision autonome, aidant les organisations à éviter les dérives d'« agent-washing ».

● Au-delà : **Vers une intelligence orchestrée à l'échelle des systèmes**

À plus long terme, l'autonomie devient une capacité systémique intégrée dans les entreprises et dans la société.

Les protocoles de gouvernance autonome commencent à opérationnaliser le policy-as-code, ouvrant la voie à des systèmes autonomes autorégulés capables d'appliquer des contraintes, de détecter les violations et de déclencher des actions correctives. Les infrastructures d'intelligence collective coordonnent des réseaux distribués d'humains et d'agents, faisant émerger une cognition organisationnelle qui s'adapte en continu au contexte.

Les recherches sur les interfaces bio-numériques explorent la manière dont des signaux cognitifs humains pourraient, à terme, entrer dans le tissu d'orchestration, tandis que des sociétés apprenantes adaptatives étendent l'autonomie aux services publics, à la mobilité, à la santé et aux systèmes urbains, transformant l'autonomie d'un ensemble d'outils en une infrastructure sociétale partagée et intelligente.

Radar technologique

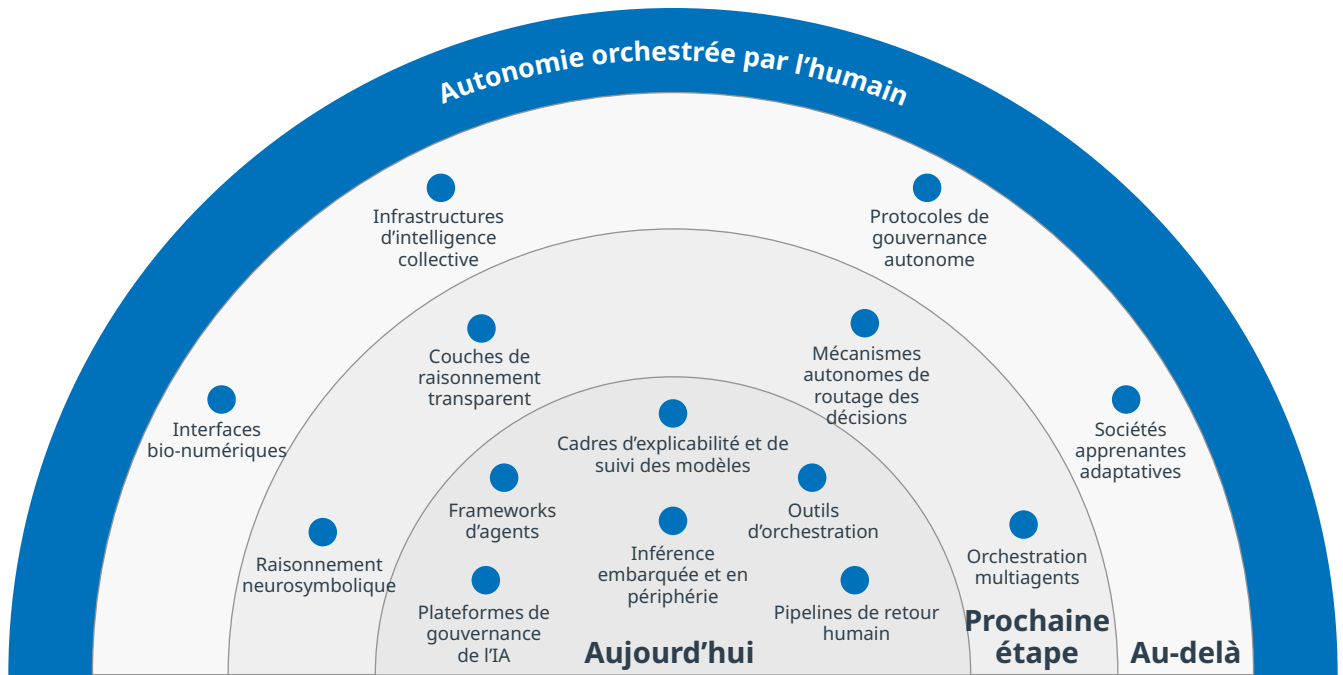


Figure 3 : autonomie orchestrée par l'humain — radar technologique

Signaux et écosystème

Signaux de marché

Segment	Taille du marché 2024 (Md USD)	Taille du marché 2029 (Md USD)	TCAC (2024-2029)
Orchestration des données	2,60	7,16	22,2 %
Orchestration des modèles	1,74	4,51	21,0 %
Orchestration de la GenAI	1,35	3,81	23,0 %
Orchestration d'infrastructure	0,91	2,20	19,4 %
Orchestration multiagents	0,63	1,85	24,1 %

Tableau 1 : autonomie orchestrée par l'humain — taille de marché et prévisions ¹

La demande d'agents orchestrés progresse à mesure que les entreprises passent de modèles isolés à une autonomie coordonnée.

¹ Technavio. AI Workflow Orchestration Market Analysis, Size, and Forecast 2025–2029, Juillet 2025.

Signaux d'adoption en entreprise

Gartner prévoit que jusqu'à

40 %

des applications d'entreprise intégreront, d'ici 2026, des agents spécialisés dans des tâches précises, contre moins de 5 % aujourd'hui.²

D'ici 2029, l'IA agentique résoudra de manière autonome

80 %

des problèmes courants du service client sans intervention humaine, entraînant une réduction de 30 % des coûts opérationnels.³

75 %

des collaborateurs se disent à l'aise pour travailler avec des agents d'IA, mais seuls 30 % se déclarent à l'aise à l'idée d'être encadrés par eux.⁴

Signaux de partenariats sectoriels

La dynamique la plus forte concernera les secteurs de la défense, de la mobilité, de l'industrie manufacturière et de la logistique, qui exigent tous une autonomie auditable sous supervision humaine.

Enseignements sur la courbe d'adoption

2024 à 2026

Les frameworks d'agents fondamentaux, les contrôles humains sur la boucle et les garde-fous de l'autonomie deviennent des pratiques standard.

2026 à 2028

L'orchestration multiagents, les couches de raisonnement transparent et les workflows cognitifs se déploient à grande échelle dans les opérations de l'entreprise.

2028 à 2030

Les mécanismes autonomes de routage des décisions et les écosystèmes coordonnés entre humains et machines gagnent en maturité dans les fonctions critiques.

2030+

Une intelligence orchestrée à l'échelle des systèmes s'intègre dans l'ensemble des secteurs, donnant naissance à des réseaux autonomes adaptatifs alignés sur la confiance.



² Gartner. Communiqué de presse. [Gartner Predicts 40% of Enterprise Apps Will Feature Task-Specific AI Agents by 2026, Up from Less Than 5% in 2025](#), 26 août 2025.

³ Gartner. Communiqué de presse. [Gartner Predicts Agentic AI Will Autonomously Resolve 80% of Common Customer Service Issues Without Human Intervention by 2029](#), 5 mars 2025.

⁴ Workday. [Rapport. AI Agents Are Here—But Don't Call Them Boss](#), © 2026.

Start-up pertinentes

Start-up	Présentation	Création	Stade de financement	Financement total (USD)
Arize AI	Plateforme d'observabilité et de suivi du machine learning (ML), conçue pour détecter, diagnostiquer et expliquer les problèmes de performance des modèles.	2020	Série C	131 M
Character.AI	Plateforme d'accompagnement et de conversation fondée sur l'IA, permettant aux utilisateurs de concevoir et d'interagir avec des personas d'IA personnalisés (« characters ») capables de mémoriser le contexte et d'être partagés avec d'autres.	2021	Série A	193 M
Credo AI	Propose une plateforme de gouvernance de l'IA destinée à garantir que les modèles d'IA restent responsables, conformes et éthiques.	2020	Série B	41,3 M
Crew AI	Framework open source multiagents en Python et plateforme d'entreprise permettant aux équipes de construire, d'orchestrer et de déployer des agents d'IA collaboratifs afin d'automatiser des workflows complexes à l'aide de différents grands modèles de langage (LLM).	2024	Série A	18 M
Fiddler AI	Plateforme d'IA explicable (XAI) destinée à surveiller, expliquer et améliorer les modèles de ML afin de renforcer la transparence et l'équité.	2018	Série B	63,8 M
Labelbox	Plateforme de création, de gestion et d'itération des données d'entraînement pour les applications de ML.	2018	Série D	188,9 M
LangChain	Framework open source conçu pour simplifier la création d'applications fondées sur des LLM.	2022	Série B	160 M
LlamaIndex	Framework de données destiné à connecter des sources de données personnalisées à des LLM.	2022	Venture / série inconnue	28,5 M

Tableau 2 : autonomie orchestrée par l'humain — start-up pertinentes ⁵

⁵ Les informations présentées ici reposent sur des données issues de Crunchbase (<https://www.crunchbase.com/>). Leur exactitude et leur exhaustivité dépendent de la source et peuvent évoluer dans le temps.

Cas d'usage et applications

Les exemples suivants illustrent la manière dont l'autonomie orchestrée par l'humain transforme déjà le fonctionnement des organisations, en combinant des systèmes agentiques et une supervision humaine pour fournir une intelligence à la fois évolutive, digne de confiance et adaptative.

01 Aide autonome à la décision et workflows de supervision

Les entreprises adoptent des agents placés sous supervision humaine, capables de rédiger des documents et du code, de préparer des décisions et de traiter des demandes de service courantes, tout en maintenant une supervision humaine dans la boucle, auditable de bout en bout.

Les décisions de crédit, les examens de sinistres, les synthèses de gestion de dossier ou les décisions d'éligibilité sont produites de manière autonome, mais chaque action reste traçable : le raisonnement de l'agent, les sources mobilisées, les scores de confiance et la logique d'escalade sont tous consignés dans une piste d'audit vérifiable.

Les premiers déploiements montrent des réductions significatives des délais de décision et des taux d'erreur, en particulier dans les environnements supervisés.

02 Autonomie opérationnelle sous supervision humaine dans les systèmes physiques et numériques

Les organisations déploient des agents autonomes et des robots exécutant des tâches opérationnelles — classification des menaces, analyse en laboratoire, inspection, maintenance prédictive — sous supervision humaine stratégique.

En cybersécurité, les agents détectent et catégorisent les menaces avant d'orchestrer des mesures automatisées de confinement, tandis que les analystes interviennent dans les scénarios à haut risque. Dans les laboratoires scientifiques, des chaînes d'analyse autonomes traitent les données et proposent des actions soumises à vérification humaine. Dans l'industrie manufacturière et la logistique, les systèmes d'IA incarnés d'entreprises comme NEURA Robotics et Auterion coordonnent des opérations multirobots avec des taux d'erreur plus faibles lorsque les humains conservent une position de supervision.

Il s'agit d'un basculement, d'une exploitation manuelle vers une intelligence distribuée orchestrée, dans laquelle les agents intelligents exécutent le travail tandis que les humains gouvernent les limites opérationnelles, les règles de sécurité et les seuils de supervision.

03 Autonomie coordonnée à l'échelle des écosystèmes physiques

Les villes, les gestionnaires de réseau électrique et les acteurs de la mobilité adoptent une autonomie orchestrée pour coordonner des flottes, gérer la charge énergétique et optimiser les flux en temps réel.

Les véhicules autonomes et les drones opèrent sous supervision humaine sur la boucle, tandis que des systèmes de contrôle multiagents gèrent le routage, les conditions de circulation ou les priorités de mission. Les opérateurs de services publics appliquent les mêmes principes à l'équilibrage des réseaux intelligents, dans lesquels des agents prévoient la demande, redirigent les flux d'énergie et préviennent les événements de surcharge, en escaladant les exceptions vers des opérateurs humains. Les plateformes de mobilité urbaine orchestrent le trafic, les feux de circulation et les actifs autonomes, en réunissant données, agents et jugement humain au sein d'un réseau décisionnel unifié.

Ces écosystèmes montrent comment l'autonomie devient une trame de coordination qui s'étend des workflows numériques au monde physique — les humains continuant, en permanence, à définir l'intention, les contraintes et les limites éthiques.

Scénarios futurs

Les salles de contrôle de l'IA se généralisent

Les entreprises mettent en place des salles de contrôle de l'IA dans lesquelles les équipes surveillent le comportement des agents, les risques d'hallucination et les workflows cognitifs, à l'image du fonctionnement actuel des centres d'exploitation réseau (NOC) et des centres d'opérations de sécurité (SOC).



Principales incertitudes de ce scénario

- Les organisations traiteront-elles ce dispositif comme une contrainte de conformité ou comme un avantage stratégique ?
- Les outils d'observabilité en temps réel gagneront-ils suffisamment vite en maturité pour le prendre en charge ?

Les workflows cognitifs remplacent les cartographies de processus

Les organisations passent d'une automatisation des processus de type business process management (BPM) à une automatisation fondée sur des chaînes de raisonnement, dans laquelle des agents d'IA négocient les tâches, escaladent les décisions et adaptent dynamiquement les workflows.



Principales incertitudes de ce scénario

- Les cadres cognitifs — mémoire, planification — deviendront-ils suffisamment fiables pour les opérations cœur ?
- Les entreprises accepteront-elles des workflows moins prévisibles, mais plus adaptatifs ?

L'autonomie encadrée par des budgets de risque fixés par l'humain

Les entreprises attribuent à chaque agent autonome un « budget de risque » qui fixe le degré d'incertitude dans lequel il peut agir, à l'image des limites de risque dans la finance.



Principales incertitudes de ce scénario

- Les régulateurs imposeront-ils des seuils d'autonomie ?
- Serons-nous capables de quantifier et d'auditer l'incertitude avec suffisamment de précision pour l'opérationnaliser ?



Enseignements stratégiques



Traiter l'autonomie comme un écosystème gouverné, non comme une collection d'agents

Les organisations doivent concevoir une autonomie orchestrée garantissant que les agents, les modèles et les workflows opèrent selon des règles de supervision claires, des mécanismes d'escalade définis et des pistes d'audit robustes.

À mesure que les applications d'entreprise intégrant des agents se généralisent, les dirigeants doivent mettre en place très tôt des cadres de gouvernance afin d'éviter des déploiements fragmentés et à haut risque.



Investir dans la supervision humaine sur la boucle comme capacité centrale

Les déploiements les plus performants sont ceux dans lesquels les humains demeurent des orchestrateurs stratégiques. Une autonomie supervisée réduit les taux d'erreur et prévient les défaillances de gouvernance susceptibles de conduire à l'abandon de projets agentiques.

Les dirigeants doivent accorder la priorité à la formation, aux boucles de rétroaction et à de nouveaux rôles chargés d'administrer les systèmes autonomes plutôt que de les remplacer.



Intégrer l'autonomie dans les systèmes opérationnels et physiques afin de créer une résilience mesurable

De la cybersécurité à l'industrie manufacturière en passant par la mobilité, l'autonomie procure des gains de performance significatifs lorsqu'elle est associée à une inférence en périphérie à faible latence et à l'IA incarnée.

Les organisations doivent identifier les opérations critiques dans lesquelles l'autonomie peut réduire les délais de décision et renforcer la continuité sous contrainte.



- Concevons-nous l'autonomie pour amplifier l'intention humaine — ou simplement pour automatiser des tâches ?
- Nos équipes sont-elles en mesure d'orchestrer, de superviser et d'apprendre des systèmes autonomes plutôt que d'entrer en concurrence avec eux ?
- Sommes-nous capables d'expliquer et de justifier les décisions autonomes — auprès des clients, des régulateurs et de la société — lorsque les résultats sont contestés ou dommageables ?

2 Agentivité incarnée et émotions

Ce que c'est et pourquoi cela importe aujourd'hui

Des systèmes qui répondent aux données et à l'expérience humaine

L'IA n'est plus confinée aux interfaces textuelles ni à des tâches isolées. Elle évolue désormais vers des formes émotionnelles, incarnées et socialement réactives. Les humains numériques, les robots humanoïdes et les interfaces sensibles aux émotions s'inscrivent de plus en plus dans la vie quotidienne, de l'éducation et de la santé à la mobilité et aux services publics. Cette évolution intervient à un moment crucial, alors que les sociétés sont confrontées à la solitude, aux pénuries de compétences et à une demande croissante d'expériences plus inclusives et davantage centrées sur l'humain.

Les systèmes sensibles aux émotions ouvrent la voie à la confiance, à l'engagement et à une interaction empathique, en permettant aux machines d'interpréter les gestes, l'intonation et les états affectifs, puis d'y répondre d'une manière intuitive et soutenante.

À l'échelle de la société, ces capacités transforment la prestation de services et redéfinissent les attentes vis-à-vis des systèmes numériques, faisant de l'empathie synthétique un moteur structurel du bien-être collectif, de la productivité et de l'accessibilité.

Mais à mesure que l'IA émotionnelle s'intègre dans l'infrastructure sociale, l'exigence d'une conception éthique devient plus pressante, avec la nécessité d'établir des normes solides en matière de confidentialité, d'authenticité et d'autonomie humaine.

En ajoutant la conscience émotionnelle et l'interaction incarnée à l'intelligence machinique, cette tendance élargit la dimension relationnelle de l'intelligence de masse et permet l'émergence de systèmes qui répondent non seulement aux données, mais aussi à l'expérience humaine elle-même.



Concepts fondamentaux

Systèmes sensibles aux émotions en tant qu'infrastructure sociale

Les technologies affectives évoluent d'outils isolés vers des composantes fondatrices de l'éducation, de la santé, de la mobilité et de la gouvernance, intégrant l'empathie au cœur des écosystèmes numériques.

Empathie sensorimotrice et boucles de rétroaction affectives

Les systèmes interprètent des signaux multimodaux — expression faciale, posture, intonation — et ajustent leurs réponses en temps réel, créant des boucles de rétroaction réciproques qui renforcent la compréhension et la confiance.

De l'interaction émotionnelle à la transformation structurelle

L'intelligence affective transforme le fonctionnement des services et des relations, en intégrant une conception guidée par l'émotion dans les systèmes sociétaux, industriels et institutionnels.

Coévolution de l'empathie humaine et synthétique

À mesure que l'empathie artificielle gagne en maturité, les attentes émotionnelles humaines évoluent, redéfinissant la communication, l'apprentissage et le lien social.

Transformation socioéconomique par la numérisation affective

Les infrastructures sensibles aux émotions soutiennent de nouveaux modèles d'inclusion, de résilience et d'accessibilité, faisant de l'empathie un moteur du progrès social et économique.

Présence émotionnelle incarnée dans les environnements humains

Les agents synthétiques mobilisent la voix, le mouvement et le geste pour exprimer une présence et une empathie, créant des espaces partagés intuitifs à travers les environnements physiques et virtuels.

L'émotion synthétique comme catalyseur de confiance et de communication

L'émotion simulée améliore la clarté et la signalisation de l'intention, renforçant la confiance dans la durée au sein des interactions personnelles, organisationnelles et civiques.

Écosystèmes de travail et de collaboration dotés d'intelligence émotionnelle

La conscience émotionnelle améliore la productivité et l'équilibre des collaborateurs dans les environnements de travail hybrides, en soutenant une culture du travail plus empathique et des environnements numériques plus durables.

Conception éthique et sociétale des systèmes émotionnels

L'IA émotionnelle exige des normes fortes en matière de confidentialité, de transparence et d'autonomie afin de garantir l'inclusivité, la sécurité et l'intégrité des systèmes sensibles aux émotions.

Le passage à des agents incarnés place l'émotion au premier plan, transformant l'interaction d'un échange fonctionnel en un engagement relationnel.

Spectre de l'interaction incarnée

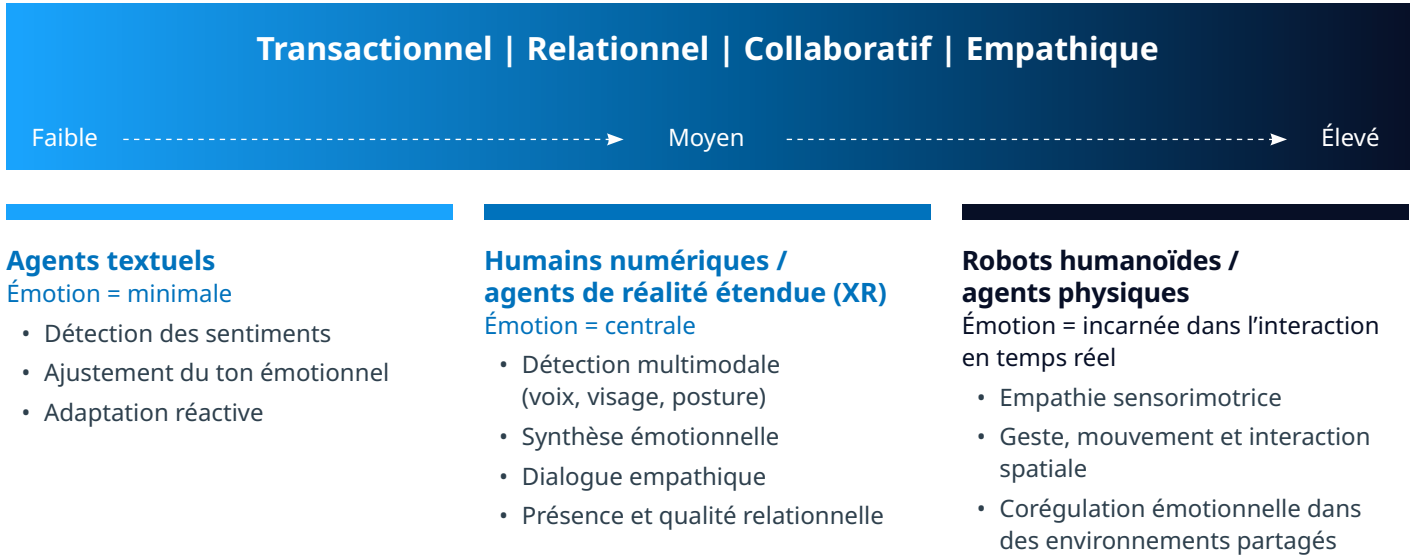


Figure 4 : spectre de l'interaction incarnée



Paysage technologique

L'agentivité incarnée et les émotions reposent sur un ensemble de capacités en rapide maturation, associant détection multimodale, interfaces expressives et intelligence émotionnelle synthétique. Ces technologies font passer l'IA d'une interaction cognitive à des systèmes relationnels et empathiques, capables de percevoir, d'interpréter et de répondre aux affects humains dans des contextes variés.

● Aujourd'hui : Capacités matures qui constituent l'infrastructure émotionnelle d'aujourd'hui

Les déploiements actuels s'appuient sur des frameworks d'informatique affective, la reconnaissance des émotions, l'analyse des sentiments en temps réel et la détection multimodale des affects, qui améliorent la précision par rapport aux modèles unimodaux.

Des capteurs affectifs portables validés cliniquement — activité électrodermale (EDA) et variabilité de la fréquence cardiaque (HRV) — atteignent jusqu'à 84 % de précision dans la détection du stress, ouvrant la voie à des applications dans la santé, le bien-être et la mobilité.⁶

L'interaction sensible aux émotions est portée par la synthèse parole-émotion, les assistants virtuels avancés, les compagnons d'IA ainsi que les plateformes adaptatives d'apprentissage et de bien-être, qui réduisent le temps de prise en charge et améliorent à la fois la rétention et les indicateurs de bien-être.

L'incarnation physique prend forme à travers la robotique sociale et d'assistance ainsi que les dispositifs de retour haptique, tandis que les mécanismes de protection contre les deepfakes et les dispositifs de sûreté affective préservent l'intégrité émotionnelle et limitent les risques de manipulation.

● Prochaine étape : Montée en puissance des technologies rendant possible l'interaction émotionnelle incarnée

La prochaine vague technologique apporte une incarnation plus poussée et une intelligence multimodale plus riche.

L'IA incarnée, les agents conversationnels incarnés et les frameworks d'empathie sensorimotrice permettent l'émergence de systèmes qui répondent non seulement aux signaux émotionnels, mais aussi au mouvement, à la posture et au contexte.

Les humains numériques évoluent vers des interfaces adaptatives et expressives sur le plan émotionnel. Les moteurs d'émotion synthétique, les systèmes de jumeaux affectifs et les frameworks de copilotes empathiques introduisent une modélisation émotionnelle longitudinale ainsi qu'une adaptation contextualisée.

Au niveau de l'intelligence, les modèles vision-langage-action unifient perception, communication et action, rendant possible l'orchestration des tâches numériques et physiques à partir d'une compréhension émotionnelle.

● Au-delà : Technologies de frontière créant des environnements affectifs autonomes

À plus long terme, l'évolution technologique pointe vers des systèmes capables d'une adaptation émotionnelle autonome.

Les agents généralistes incarnés combinent perception multimodale, action et raisonnement affectif. Les interfaces neuroadaptatives ajustent les environnements ou les interactions en fonction de la charge cognitive et émotionnelle.

Les coprocesseurs d'empathie synthétique apportent aux équipements en périphérie une inférence émotionnelle à faible latence, tandis que des environnements affectifs autonomes — des lieux de travail aux établissements de santé — adaptent en continu l'éclairage, le son et les flux d'interaction en fonction des états émotionnels collectifs.

⁶Kyriakou K, Resch B, Sagl G, et al. Detecting Moments of Stress from Measurements of Wearable Physiological Sensors. Sensors (Basel). 2019;19(17):3805. Published 2019 Sep 3. doi:10.3390/s19173805

Radar technologique

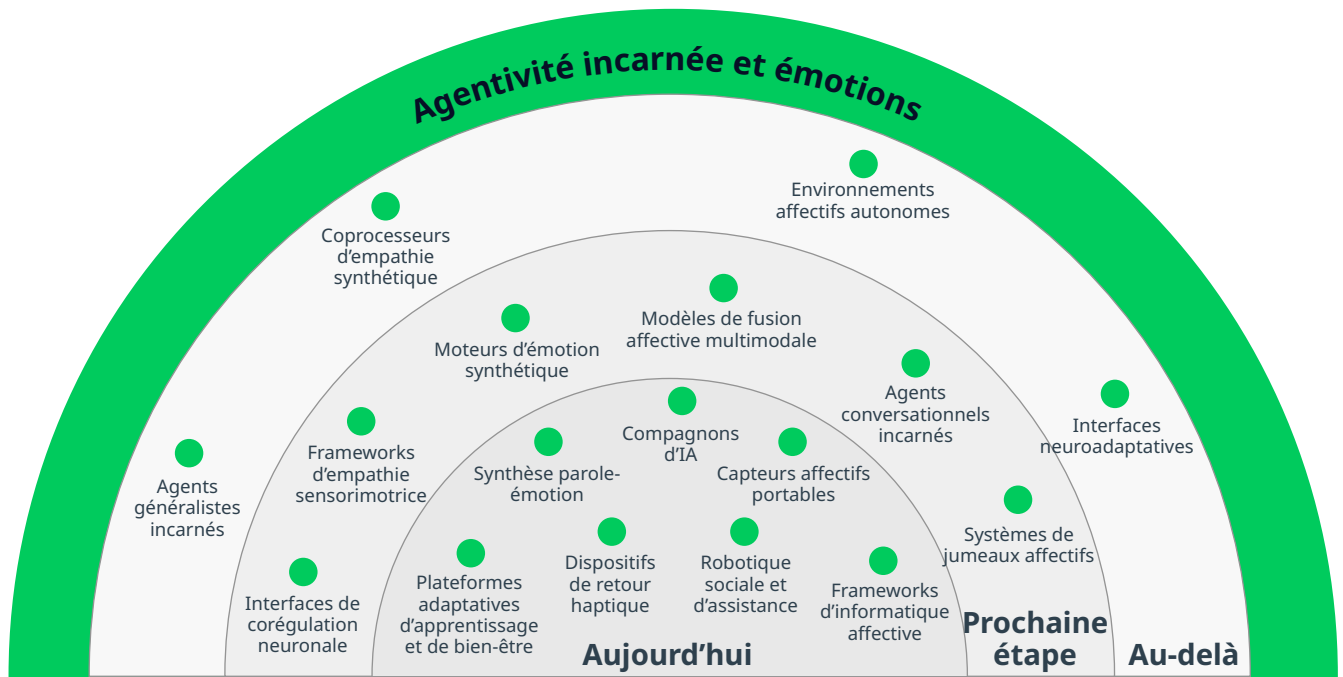


Figure 5 : agentivité incarnée et émotions — radar technologique

Signaux et écosystème

Signaux de marché

Segment	Taille du marché 2024 (Md USD)	Taille du marché 2029 (Md USD)	TCAC (2024-2029)
Informatique affective mondiale	88,57	347,43	31,4 %
IA émotionnelle mondiale	5,99	17,42	23,8 %
Marché mondial des avatars humains numériques	5,29	32,2	43,9 %
Analyse émotionnelle mondiale	3,91	9,26*	18,2 %

Tableau 3 : agentivité incarnée et émotions — taille de marché et prévisions ⁷

* Estimations internes

L'IA émotionnelle et les humains numériques enregistrent une forte croissance à mesure que les secteurs intègrent des interactions sensibles aux émotions dans leurs modèles de service.

⁷ Sources : [rapports Technavio](#), Global Affective Computing Market 2025–2029; Global Emotion AI Market 2025–2029; Global Digital Human Avatar Market 2025–2029; Global Emotion Analytics Market 2024–2028

Signaux d'adoption en entreprise

En 2025, l'IA émotionnelle est qualifiée de technologie « centrale », avec

88 %

des responsables marketing qui l'utilisent dans leur travail quotidien.⁸

Le suivi de l'expérience client constitue déjà le premier domaine d'application de l'IA émotionnelle, représentant plus de

31 %

de la demande totale.⁹

L'engagement des patients représente

62 %

des usages de l'IA dans la santé, y compris les humains numériques, tandis que l'efficacité administrative en représente 60%.¹⁰

Signaux de partenariats sectoriels

L'activité la plus soutenue se concentre dans la santé, la sécurité automobile, l'éducation, l'expérience client (CX) et la prise en charge des personnes âgées, des secteurs qui dépendent tous de la précision émotionnelle et de la confiance.

Enseignements sur la courbe d'adoption

2024 à 2026

La détection émotionnelle multimodale devient le standard technique.

2026 à 2028

Les humains numériques, les agents de réalité étendue (XR) et les interfaces adaptatives aux émotions passent à l'échelle de la production.

2028 à 2030

L'IA émotionnelle devient un composant de notre infrastructure sociale, intégrée aux soins, à la mobilité, à l'éducation et à l'expérience client.

2030+

L'empathie synthétique et la corégulation entre humains et IA redessinent les modèles d'interaction sociétale.



^{8,9} Electro IQ, *Emotion AI Statistics by Market Size, Segmental Analysis, Impact, Usage and Facts (2025)*, November 29, 2025.

¹⁰ Market.US, *Global AI-Powered Digital Humans Market Size, Share and Analysis Report*, Décembre 2025.

Start-up pertinentes

Start-up	Présentation	Création	Stade de financement	Financement total (USD)
Empatica	Développe des biomarqueurs numériques et des systèmes d'IA fondés sur des capteurs portables pour le suivi de la santé, en particulier dans l'épilepsie et le stress.	2011	Série B	35,6 M
Furhat Robotics	Conçoit et développe des robots sociaux dotés de caractéristiques humanoïdes et de capacités d'IA conversationnelle.	2014	Seed	9,8 M
HeyGen	Propose des outils d'IA pour générer des vidéos d'avatars de qualité studio, des traductions multilingues synchronisées sur les lèvres et des séquences personnalisées pour le marketing, la vente, la formation et la communication interne.	2020	Série A	74 M
Hume AI	Se concentre sur le développement d'une IA empathique à partir de modèles entraînés sur les expressions émotionnelles et vocales humaines.	2021	Série B	72,8 M
Intuition Robotics	Développe des compagnons numériques empathiques et des robots sociaux comme ElliQ afin d'améliorer la vie des personnes âgées.	2016	Venture / série inconnue	83 M
LuxAI	Spécialisée dans des solutions robotiques de rupture pour l'éducation, la santé et le divertissement.	2018	Grant	71,4 K
Ultraleap	Développe des technologies de suivi des mains et de retour haptique pour l'informatique immersive (réalité augmentée / réalité virtuelle, AR/VR ; métavers).	2013	Série D	166,8 M

Tableau 4 : agentivité incarnée et émotions — start-up pertinentes ¹¹

¹¹ Les informations présentées ici reposent sur des données issues de Crunchbase (<https://www.crunchbase.com/>). Leur exactitude et leur exhaustivité dépendent de la source et peuvent évoluer dans le temps.

Cas d'usage et applications

Les exemples suivants illustrent l'émergence de l'agentivité incarnée et des émotions dans des secteurs où le bien-être humain, la confiance et la qualité de l'interaction sont déterminants.

01 Assistants de soin et de bien-être adaptatifs sur le plan émotionnel

Des agents sensibles aux émotions accompagnent les cliniciens et les aidants en détectant en continu le stress, l'anxiété ou la charge cognitive au moyen de signaux multimodaux (voix, expressions faciales, EDA/HRV).

Ces agents incluent des robots d'assistance, des assistants thérapeutiques et des systèmes portables de suivi affectif. Les données cliniques montrent que les dispositifs affectifs portables réduisent la charge de suivi, tandis que les agents virtuels sensibles aux émotions diminuent le temps de prise en charge des patients et améliorent l'observance thérapeutique.

Ces systèmes augmentent la capacité des équipes, facilitent l'intervention précoce et apportent une présence empathique dans les environnements de prise en charge des personnes âgées, de gestion des maladies chroniques et de soutien en santé mentale.

02 Interaction et collaboration en entreprise sensibles aux émotions

Les outils d'entreprise de nouvelle génération intègrent la reconnaissance des émotions dans les interactions du quotidien.

Des facilitateurs de réunion sensibles aux émotions détectent le désengagement, la frustration ou le risque d'épuisement, et ajustent le déroulé de l'interaction ou proposent des suggestions de soutien.

Des coachs de leadership affectif fournissent aux managers des éclairages émotionnels en temps réel afin d'améliorer la communication, de réduire les conflits et de préserver l'équilibre des équipes, contribuant ainsi à réduire le risque d'épuisement dans les équipes hybrides.

Dans l'éducation et la formation, des tuteurs adaptatifs sur le plan émotionnel répondent à la confusion ou au stress, améliorant l'engagement et les résultats d'apprentissage.

03 Personnalisation des services et de l'expérience fondée sur l'émotion

Les systèmes sensibles aux émotions transforment les parcours de service en réagissant en temps réel aux affects des utilisateurs.

Les dispositifs de récupération de service affective identifient précocement la frustration, permettant à des humains numériques ou à des agents d'IA d'ajuster leur ton, d'escalader de manière proactive ou d'adapter les solutions proposées.

Le suivi des émotions du conducteur devient une fonction de sécurité clé dans la mobilité, et la plupart des nouveaux véhicules devraient intégrer de telles capacités de détection.

Parallèlement, le divertissement et l'engagement des consommateurs évoluent grâce à des compagnons et animateurs personnalisés, sensibles aux émotions, qui mobilisent des moteurs d'émotion synthétique et une expressivité adaptative pour créer des expériences immersives, empathiques ou soutenantes.

Scénarios futurs

Les métriques affectives entrent dans les tableaux de bord de l'entreprise

Les systèmes d'IA commencent à suivre en temps réel le ressenti des équipes, le stress et le climat émotionnel, et à injecter ces métriques dans les tableaux de bord RH ou opérationnels.



Principales incertitudes de ce scénario

- Les collaborateurs accepteront-ils d'être suivis sur le plan émotionnel ?
- Comment les régulateurs de la vie privée traiteront-ils les signaux affectifs ?

Les humains numériques deviennent des points de passage opérationnels

Des humains numériques, choisis pour leur stabilité émotionnelle et leur constance, prennent en charge l'onboarding, le triage des demandes de service, l'accompagnement et la désescalade des conflits.



Principales incertitudes de ce scénario

- Comment les clients réagiront-ils face à des personas d'IA émotionnellement compétentes ?
- Les modèles émotionnels pourront-ils maintenir leur cohérence à travers les modalités et les contextes ?

Les systèmes d'influence comportementale sont soumis à une réglementation de niveau pharmaceutique

Les pouvoirs publics classent certains types de nudges affectifs ou d'ingénierie de l'influence parmi les « interventions comportementales » réglementées.



Principales incertitudes de ce scénario

- Qui décide de ce qui constitue une influence nuisible et une influence bénéfique ?
- Un alignement mondial sur la régulation de l'IA affective est-il réellement atteignable ?



Enseignements stratégiques



Intégrer l'intelligence émotionnelle dans tout système en interaction avec l'humain

La reconnaissance des émotions, la détection multimodale et les interfaces adaptatives sur le plan émotionnel ne relèvent plus de l'expérimentation. Elles deviennent des fonctionnalités attendues dans la santé, l'éducation, le service client et la collaboration en entreprise.

Les organisations doivent commencer par intégrer des signaux affectifs dans les produits et workflows existants afin de générer des améliorations mesurables en matière d'engagement, de satisfaction et de performance, en privilégiant d'abord des cas d'usage à faible risque, comme la récupération de service.



Traiter les données émotionnelles comme des actifs hautement sensibles

Les signaux émotionnels — tension dans la voix, indices faciaux, biométrie, micro-expressions — emportent des implications psychologiques et comportementales qui exigent une gouvernance plus stricte que celle appliquée aux données personnelles traditionnelles.

Les entreprises doivent établir très tôt des politiques relatives aux données émotionnelles. Celles-ci doivent inclure des protocoles de consentement explicites, des exigences de transparence, des processus d'atténuation des biais et des garde-fous contre la manipulation. L'intégrité émotionnelle deviendra un facteur de différenciation clé dans les secteurs fondés sur la confiance.



Se préparer à des agents dotés d'intelligence émotionnelle qui travaillent, enseignent et prennent soin aux côtés des humains

Les humains numériques, les copilotes affectifs et les assistants incarnés opéreront bientôt aux côtés des collaborateurs dans des rôles de coaching, de facilitation, de soutien au bien-être et de service en première ligne.

Les organisations doivent dès maintenant concevoir des workflows hybrides, former les managers à interpréter les enseignements émotionnels et clarifier la répartition des rôles entre empathie humaine et empathie synthétique.

Les premiers acteurs à s'engager dans cette voie bénéficieront d'avantages significatifs en matière de résilience des effectifs, d'engagement client et de personnalisation des services.



- Comment notre organisation veillera-t-elle à ce que des systèmes dotés d'intelligence émotionnelle renforcent le bien-être et l'autonomie humaine, au lieu d'influencer ou d'automatiser les émotions d'une manière que nous ne pourrions ni superviser ni expliquer pleinement ?
- Où plaçons-nous la limite entre soutien empathique et manipulation émotionnelle, et qui est responsable de son application ?
- Sommes-nous prêts à traiter l'émotion et les données affectives comme des actifs hautement sensibles sur l'ensemble de leur cycle de vie ?

3 Une intelligence digne de confiance



Ce que c'est et pourquoi cela importe aujourd'hui

Le pilier stabilisateur de l'intelligence de masse

À mesure que les systèmes d'IA deviennent plus autonomes, plus interconnectés et plus profondément intégrés aux opérations critiques, la confiance s'impose comme la couche opérationnelle essentielle de la civilisation numérique. Les organisations font face à des cybermenaces de plus en plus adaptatives, à une progression rapide de la désinformation générée par l'IA et à une dépendance croissante à l'égard de modèles opaques. Dans le même temps, l'autonomie et les capacités émotionnelles qui émergent dans l'ensemble des secteurs accroissent encore les enjeux d'intégrité, de sécurité et de transparence.

Au-delà de la gouvernance d'entreprise, une intelligence digne de confiance devient un socle sociétal, au service de la transparence, de la responsabilité et de la confiance à grande échelle.

Cela suppose de passer d'une cybersécurité conventionnelle à des écosystèmes de défense adaptatifs, autoapprenants et proactifs, capables de protéger à la fois les données et l'intelligence machinique elle-même.

Les architectures zero trust, la transparence cognitive et la provenance vérifiable des données ne relèvent plus des seules bonnes pratiques. Elles sont désormais des prérequis en matière de sécurité, de conformité réglementaire et de confiance sociétale.

Les systèmes qui s'imposeront seront ceux qui rendent l'intelligence explicable, protégée et alignée sur les valeurs humaines, afin que le progrès repose sur un socle de fiabilité et de garantie éthique.

Concepts fondamentaux

Systèmes d'IA adaptatifs et résilients

Des systèmes capables d'autoévaluation et de détection d'anomalies maintiennent leur performance en contexte d'incertitude, garantissant la continuité dans des environnements opérationnels exposés à des menaces dynamiques.

Architectures zero trust

Chaque utilisateur, dispositif et algorithme fait l'objet d'une authentification et d'une validation continues, ce qui réduit la confiance implicite et limite les surfaces d'attaque.

Cyberdéfense active et sécurité prédictive

L'IA anticipe les attaques, simule des comportements adverses et orchestre des contre-mesures adaptatives.

Gouvernance et supervision éthique des systèmes intelligents

Les politiques et les structures institutionnelles inscrivent l'équité, la responsabilité et la conformité au cœur des opérations d'IA.

Résilience sociale et institutionnelle grâce aux réseaux de confiance

Les réseaux d'intelligence partagée, les standards et les cadres interorganisationnels renforcent l'assurance collective et la résilience.

Transparence cognitive et intelligence explicable

Comprendre la manière dont l'IA parvient à ses conclusions permet la vérification, la responsabilisation et un comportement système prévisible.

Authenticité et alignement des connaissances machine

Les données, les modèles et les inférences doivent rester inviolables et alignés sur les objectifs humains, grâce à des mécanismes capables de détecter la dérive, l'empoisonnement ou la désinformation.

Intégrité des données et assurance de provenance

La vérification cryptographique et la traçabilité préservent l'origine et la cohérence de l'information à travers les systèmes.

Collaboration humain-machine et calibration de la confiance

Des interfaces transparentes aident les humains à calibrer leur degré de confiance dans l'IA, en équilibrant assurance et supervision.

Dimensions culturelles et psychologiques de la confiance numérique

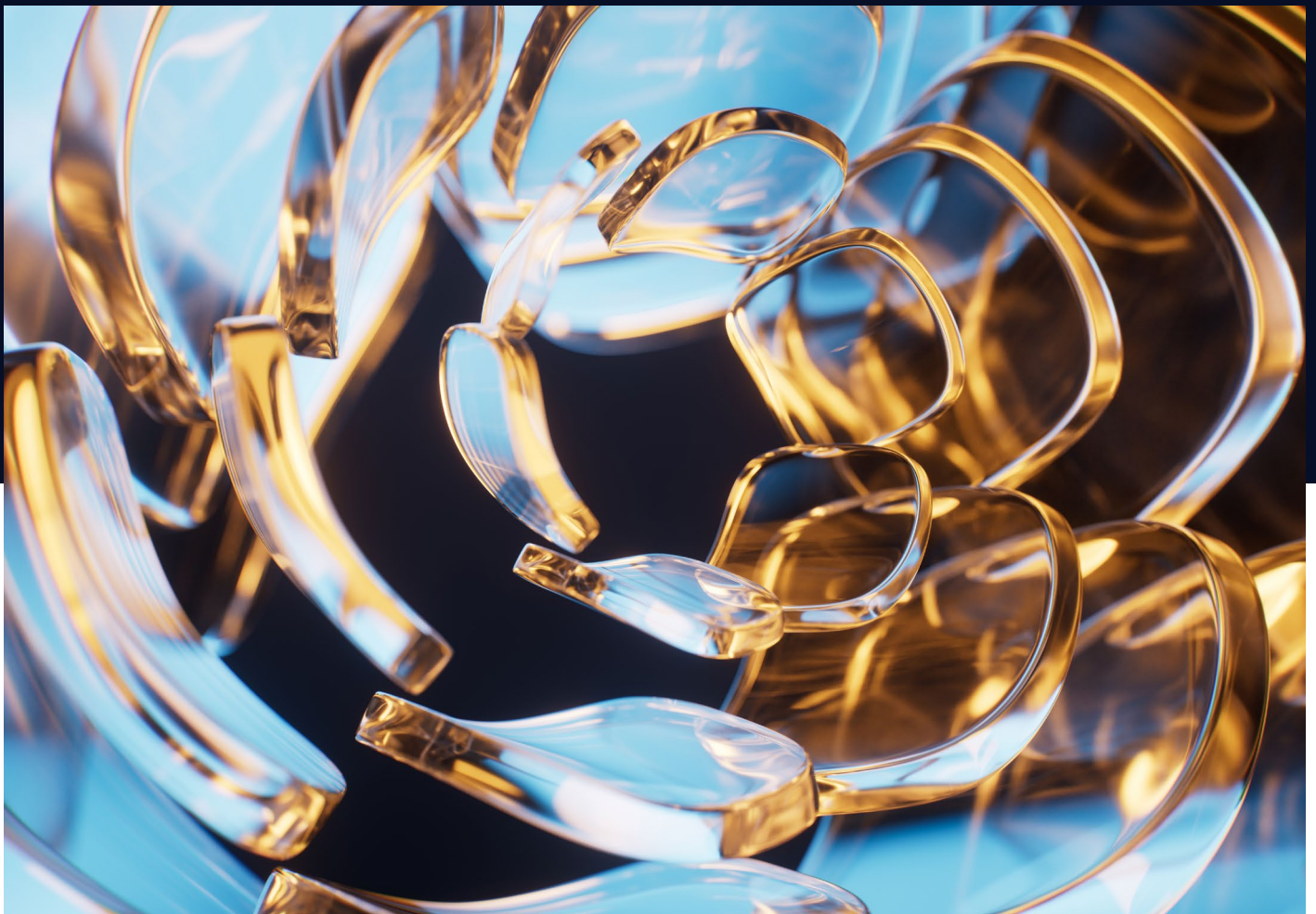
La compréhension des attentes sociétales favorise la conception de systèmes perçus comme équitables, fiables et maîtrisables.

Une intelligence digne de confiance constitue un pilier stabilisateur de l'intelligence de masse, garantissant que des systèmes toujours plus autonomes, connectés et adaptatifs demeurent transparents, sûrs et alignés sur les valeurs humaines.

Chaîne de confiance



Figure 6 : chaîne de confiance



Paysage technologique

Le paysage technologique d'une intelligence digne de confiance s'articule autour d'un ensemble de capacités qui rendent les systèmes intelligents transparents, vérifiables et sûrs par conception.

● Aujourd'hui : **Fondements essentiels de la confiance**

Les organisations déploient des mécanismes fondamentaux destinés à garantir l'intégrité et la responsabilité dans l'ensemble des systèmes d'IA.

Parmi eux figurent l'IA explicable (XAI), les outils d'interprétabilité des modèles, les plateformes d'audit et de conformité de l'IA, ainsi que les systèmes de traçabilité et de provenance des données. Ensemble, ces dispositifs produisent des preuves de niveau audit, indispensables à la préparation réglementaire. Des socles de sécurité tels que le zero trust, les infrastructures d'identité conçues autour de la protection de la vie privée et le chiffrement homomorphe appliqué à l'IA protègent les chaînes sensibles. Avec la montée des manipulations multimodales, les standards d'authenticité des contenus promus par la Coalition for Content Provenance and Authenticity (C2PA), les systèmes de chaîne de confiance des modèles et les mécanismes de protection contre les deepfakes sont devenus des garde-fous essentiels. La robustesse face aux attaques adverses se renforce grâce au red teaming appliqué à l'IA, tandis que les mécanismes de gestion des hallucinations contribuent à maintenir les systèmes génératifs dans un cadre prévisible et aligné.

● Prochaine étape : **Montée en puissance de la gouvernance et de l'assurance en temps réel**

À mesure que l'IA gagne en autonomie, les entreprises étendent leurs capacités afin d'opérationnaliser la confiance à grande échelle.

Les plateformes d'observabilité et d'auditabilité de l'IA assurent une supervision continue de la dérive, de la traçabilité et du comportement des systèmes en inférence, tandis que les cadres de gouvernance et de conformité des agents déterminent des limites d'exploitation sûres pour les agents d'IA. Les workflows de gouvernance évoluent grâce à l'automatisation GRC appliquée à l'IA, aux agents de conformité aux politiques et aux modèles autovalidants, capables de détecter et de corriger les incohérences. Pour sécuriser leur résilience de long terme, les organisations intègrent un chiffrement à l'épreuve des ordinateurs quantiques, soutenu par l'émergence de réseaux de confiance interorganisationnels qui partagent signaux et renseignement sur les menaces.

● Au-delà : **Infrastructure de confiance à l'échelle des systèmes**

À plus long terme, la confiance dépasse le cadre de l'entreprise individuelle pour s'étendre à des infrastructures numériques partagées.

Des registres mondiaux de confiance pour l'IA vérifieront l'identité des modèles, leur provenance et leur conformité au-delà des frontières organisationnelles, tandis que des protocoles de traçabilité cognitive normaliseront la manière dont les décisions sont enregistrées dans des écosystèmes d'IA complexes. Dans le contexte sociétal, des pare-feu contre la désinformation pilotés par l'IA constitueront des couches de protection face aux attaques sophistiquées fondées sur les médias synthétiques et les stratégies d'influence.

Radar technologique

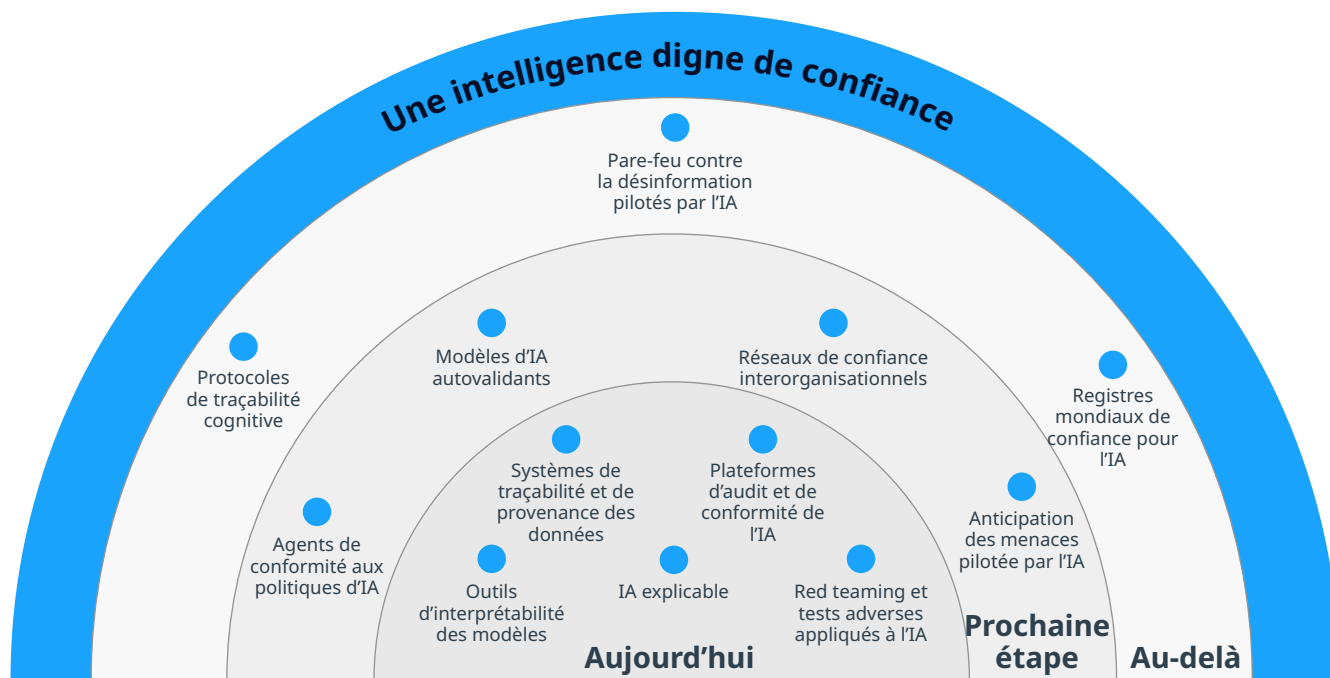


Figure 7 : une intelligence digne de confiance — radar technologique

Signaux et écosystème

Signaux de marché

Segment	Taille du marché 2024 (Md USD)	Taille du marché 2029 (Md USD)	TCAC (2024-2029)
Gestion de la confiance, du risque et de la sécurité de l'IA (TRISM)	2,34	6,22 *	21,6 %
Observabilité de l'IA	1,20	3,60 *	24,6 %
IA appliquée à la cybersécurité	28,00 *	79,80 *	21,7 %

Tableau 5 : une intelligence digne de confiance — taille de marché et prévisions ¹²

* Estimations internes

Les fonctions de confiance convergent vers des piles unifiées couvrant la gouvernance, l'observabilité, la provenance et la cybersécurité.

¹² Sources :

GlobalNewswire. 2025. *AI Trust, Risk and Security Management Trends Analysis and Growth Forecasts, 2025-2030: Market to Reach \$7.44 Billion - Generative AI Foundation Models Spur Demand for Advanced AI TRISM Tools*. 21 mai 2025.
 Market Intello. *AI Observability Market Research Report 2033*. 2025.
 Fortune Business Insights. 2026. *Artificial Intelligence in Cybersecurity Market Size, Share & Industry Analysis*. 9 février 2026.

Signaux d'adoption en entreprise

D'ici 2028, sous l'effet des exigences liées aux nomenclatures de l'IA (AI bill of materials, BOM),

85 %

des produits de données incluront un BOM des données détaillant les modalités de collecte, les modifications apportées, les opérations de nettoyage et la manière dont le consentement a été obtenu.¹³

90 %

des entreprises adopteront des cadres de gouvernance des agents dans les **18 prochains mois**.¹⁴



La supervision continue remplace la validation périodique ; **les architectures de confiance s'imposent comme l'architecture standard de l'entreprise.**

Signaux de partenariats sectoriels

Une intelligence digne de confiance est particulièrement forte dans les services financiers, la santé, le secteur public et les plateformes numériques, qui exigent tous des comportements d'IA vérifiables et une provenance traçable.

Enseignements sur la courbe d'adoption

- 2024 à 2026**
La gouvernance productrice de preuves, la provenance et la supervision continue deviennent des exigences de base.
- 2026 à 2028**
Les architectures de confiance — associant sécurité, observabilité et traçabilité — s'institutionnalisent largement dans les entreprises.
- 2028 à 2030**
La confiance devient une infrastructure opérationnelle, rendant possibles des décisions d'IA vérifiables dans les domaines réglementés et critiques pour la sécurité.
- 2030+**
Des réseaux de confiance fédérés émergent, soutenant la validation interorganisationnelle et l'IA à l'échelle mondiale.



¹³ IDC. 2024. [IDC FutureScape : prévisions mondiales 2025 en matière de sécurité et de confiance](#), Octobre 2024.

¹⁴ Everest Group. Webinaire. [AI Safety: The Next Frontier in Trust & Safety](#), 28 octobre 2025.

Start-up pertinentes

Start-up	Présentation	Création	Stade de financement	Financement total (USD)
Alma Security	Spécialisée dans les plateformes CNAPP (Cloud-Native Application Protection Platforms), destinées à sécuriser les environnements cloud et les applications.	2022	Amorçage / stade précoce	5,5 M
Aporia	Plateforme de supervision, d'explication et de validation de modèles de machine learning en production.	2019	Série A (acquise)	30 M
FairNow	Spécialisée dans l'automatisation de la conformité et de la gestion des risques pour un usage responsable de l'intelligence artificielle et du machine learning (AI/ML) en entreprise.	2023	Amorçage / stade précoce	3,5 M
Qodo	Fournit des outils et des plateformes de gouvernance et de conformité des données.	2022	Série A	50,6 M
Scribe Security	Propose une plateforme de sécurité et de conformité pour la chaîne d'approvisionnement logicielle, avec un focus sur les nomenclatures logicielles (SBOM).	2021	Amorçage / stade précoce	7 M
Theom	Plateforme de gouvernance de l'accès aux données s'appuyant sur des modèles de sécurité par graphes afin de protéger les données dans des environnements cloud.	2020	Série A	36,4 M
WitnessAI	Propose des outils destinés à auditer, évaluer et garantir la sûreté ainsi que l'usage éthique des LLM.	2023	Accompagnement non dilutif	27,5 M
Xapien	Propose une plateforme de recherche alimentée par l'IA pour les due diligences, la conformité et les vérifications d'antécédents.	2018	Série A	18,5 M

Tableau 6 : une intelligence digne de confiance — start-up pertinentes ¹⁵

¹⁵ Les informations présentées ici reposent sur des données issues de Crunchbase (<https://www.crunchbase.com/>). Leur exactitude et leur exhaustivité dépendent de la source et peuvent évoluer dans le temps.

Cas d'usage et applications

Les exemples suivants illustrent la manière dont l'essor d'une intelligence digne de confiance permet de nouveaux cas d'usage transsectoriels, combinant gouvernance, provenance, explicabilité et sécurité adaptative.

01 Assurance continue de l'IA dans les workflows réglementés

Les entreprises intègrent directement aux systèmes de décision des plateformes d'audit et de certification de l'IA, des mécanismes de provenance des modèles, le suivi des versions et des couches d'explicabilité.

Chaque décision de modèle — approbation de prêt, recommandation de triage médical ou décision d'éligibilité — produit des preuves de niveau audit, comprenant la traçabilité, le consentement et les métadonnées de version du modèle.

Des signaux prédictifs mettent en évidence la dérive ou les écarts d'équité, tandis que les évaluations de red teaming s'exécutent automatiquement en arrière-plan. Les produits d'IA évoluent vers l'exigence de preuves de niveau audit concernant les données d'entraînement, ce qui confirme que l'assurance continue devient une exigence structurelle plutôt qu'un simple complément de conformité.

02 Anticipation adaptative des menaces et exploitation sécurisée de l'IA

Les organisations déploient du renseignement prédictif sur les menaces, des analyses comportementales de confiance, des analyses prédictives des menaces et des mécanismes automatisés de détection des vulnérabilités pour sécuriser les écosystèmes d'IA.

Les modèles apprennent en continu à partir de schémas adverses, simulent des attaques et détectent des anomalies dans les comportements des utilisateurs, des agents et des systèmes.

Il s'agit d'un basculement d'une défense réactive vers une cyberdéfense active et une sécurité prédictive, dans lesquelles l'IA anticipe les menaces, orchestre des contre-mesures et valide l'intégrité des données grâce à des fonctions de provenance.

03 Assistants de connaissance de confiance et de vérification des faits

Les entreprises déploient des assistants de vérification des faits intégrés à des couches d'explicabilité, à des mécanismes de provenance des contenus et à des signaux d'authenticité C2PA afin de sécuriser les flux d'information.

Ces assistants valident les affirmations, détectent les contenus synthétiques ou manipulés et génèrent des citations traçables pour les communications internes comme externes.

La vérification de provenance et la détection des médias synthétiques sont essentielles pour préserver l'authenticité, la transparence et la confiance sociétale dans des écosystèmes interconnectés.

Scénarios futurs

Les contenus à provenance vérifiée deviennent une fonctionnalité de base

La majorité des contenus d'entreprise — rapports, décisions, pipelines de données — exigent des estampilles cryptographiques de provenance (C2PA, chaîne de confiance).



Principales incertitudes de ce scénario

- L'adoption sera-t-elle tirée par la réglementation ou par la pression concurrentielle ?
- La vérification de provenance peut-elle changer d'échelle sans ralentir les opérations ?

Les scores de confiance appliqués à l'IA pilotent les décisions d'acquisition

Les entreprises achètent des systèmes d'IA sur la base de métriques de confiance normalisées : robustesse, transparence, risque d'usage abusif et intégrité de la provenance.



Principales incertitudes de ce scénario

- Qui définira les standards mondiaux de la confiance ? ISO ? Les pouvoirs publics ? Les alliances industrielles ?
- Les scores de confiance peuvent-ils refléter de manière pertinente le risque réel ou seront-ils manipulés ?

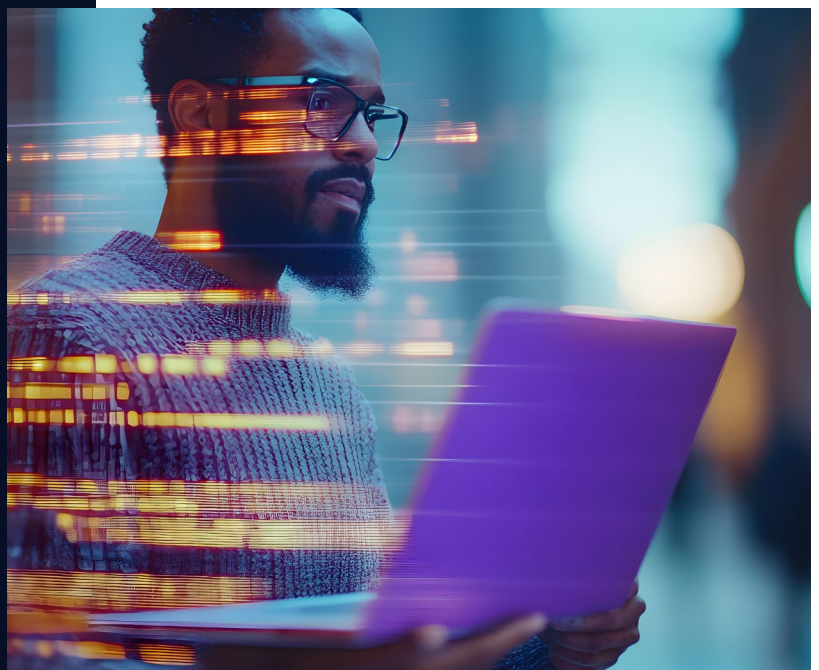
L'identité et l'intégrité des données à l'épreuve des ordinateurs quantiques brisent l'enfermement propriétaire

Des systèmes d'identité à l'épreuve des ordinateurs quantiques permettent aux agents d'IA, aux données et aux profils de gouvernance de circuler en sécurité entre clouds et écosystèmes souverains.



Principales incertitudes de ce scénario

- Les standards mondiaux résistant aux ordinateurs quantiques convergeront-ils ou se fragmenteront-ils selon des logiques géopolitiques ?
- Les fournisseurs pourront-ils résister à la pression du marché visant à maintenir des systèmes d'identité propriétaires ?



Enseignements stratégiques



Faire de la confiance une capacité en temps réel, non une couche de conformité

Les organisations doivent passer d'audits périodiques à une assurance continue de l'IA, en intégrant directement dans les pipelines d'IA l'explicabilité, la provenance, la supervision de la dérive et la production automatisée de preuves. La confiance devient une exigence opérationnelle qui détermine si l'IA peut être déployée en toute sécurité dans des environnements à forts enjeux.



Renforcer la sécurité de l'IA avant de généraliser l'autonomie

À mesure que les systèmes d'IA deviennent plus agentiques, les entreprises doivent les renforcer par du renseignement prédictif sur les menaces, des analyses comportementales de confiance et des mécanismes automatisés de détection des vulnérabilités. La protection des modèles, des données et des workflows agentiques contre l'empoisonnement, la manipulation et les risques liés aux médias synthétiques est essentielle pour préserver l'intégrité des systèmes.



Construire des réseaux de confiance interorganisationnels

Aucune organisation ne peut, à elle seule, se défendre contre l'évolution des risques liés à l'IA. Des standards partagés de provenance, des cadres d'authenticité des contenus et des échanges de renseignement de confiance deviennent des infrastructures critiques, permettant aux secteurs de coordonner leurs défenses et d'accélérer leur préparation réglementaire.



- Si chaque décision d'IA au sein de notre organisation devait être vérifiée de manière indépendante dès demain, quelle part de notre patrimoine actuel d'IA serait capable de produire, à la demande, des preuves fiables et auditables ?
- Nos mécanismes de confiance sont-ils en mesure de suivre le rythme des menaces adaptatives, de la dérive des modèles et des manipulations générées par l'IA ?
- Nos cadres de gouvernance sont-ils conçus pour des modèles pris isolément, ou pour des écosystèmes d'agents, de données et de décisions agissant de concert ?

4 Infrastructure intelligente



Ce que c'est et pourquoi cela importe aujourd'hui

Le socle opérationnel de l'intelligence de masse

L'infrastructure numérique connaît une transformation profonde. Des couches d'infrastructure autrefois cantonnées à des fonctions de back-end passives deviennent cognitives, anticipatrices et souveraines, transformant la manière dont les organisations gèrent les charges de travail, les ressources et la résilience. Cette évolution intervient alors même que la demande de calcul explose — portée par l'IA, les objets connectés et l'intelligence distribuée — tandis que les contraintes liées à l'énergie, à la souveraineté et à la durabilité se renforcent.

L'infrastructure intelligente confère un avantage stratégique : la capacité à percevoir, modéliser, simuler et optimiser des environnements entiers avant même que les décisions ne soient prises.

Le calcul haute performance, la continuité entre edge et cloud ainsi que la simulation renforcée par le quantique permettent aux pouvoirs publics et aux entreprises de passer d'opérations réactives à des fondations numériques prédictives, résilientes et transparentes. À mesure que les États recherchent une autonomie accrue sur les données et le calcul, l'infrastructure intelligente devient l'épine dorsale de l'innovation comme de la souveraineté.

Elle constitue également le socle opérationnel de l'intelligence de masse — un environnement dans lequel calcul, connectivité et capacités de détection apprennent et s'optimisent en continu pour soutenir l'activité intelligente à toutes les échelles.

Concepts fondamentaux

Systèmes d'infrastructure cognitive

L'IA, l'IoT et l'intelligence continue transforment l'infrastructure en systèmes adaptatifs capables de percevoir, d'apprendre et d'optimiser en temps réel.

Écosystèmes décisionnels augmentés par l'IA

Des moteurs hybrides d'analyse et de raisonnement soutiennent des décisions en temps réel fondées sur des preuves, en conciliant agilité, coût et durabilité.

Fondations numériques souveraines

Des écosystèmes transparents, sûrs et interopérables donnent aux États et aux entreprises la maîtrise des données, du calcul et de la gouvernance de l'infrastructure.

Continuum numérique-physique interconnecté

Les jumeaux numériques et les capteurs relient les systèmes physiques à des modèles virtuels, permettant des simulations avancées, des opérations prédictives et des environnements plus sûrs.

Conception d'infrastructures résilientes et anticipatrices

La modélisation prédictive identifie précocement les points de tension, inscrivant la résilience dans la planification et l'exploitation.

Calcul haute performance et simulation renforcée par le quantique

Des capacités de calcul avancées modélisent des systèmes complexes — villes, réseaux, logistique, matériaux — et permettent des tests virtuels avant toute décision dans le monde réel.

Infrastructure hybride sans couture

Le cloud, l'edge et les terminaux interopèrent comme un environnement unifié, permettant une optimisation allant du niveau capteur au pilotage stratégique.

Optimisation systémique durable

L'intelligence continue rend possible l'optimisation des émissions, des ressources, de l'équité et de l'efficacité en tant que résultats opérationnels mesurables.

Cadres adaptatifs de gouvernance et de confiance

Une supervision transparente, la participation et des garde-fous éthiques appliqués à l'IA renforcent la confiance dans l'infrastructure automatisée.

Intégration sociotechnique au service de résultats centrés sur l'humain

L'infrastructure réussit lorsqu'elle garantit un accès équitable, l'inclusion et le bien-être des personnes.

Au cœur de l'infrastructure intelligente se trouve un modèle distribué dans lequel l'intelligence à l'échelle du cloud, l'inférence locale et les capacités de détection embarquées opèrent comme un ensemble coordonné.

Couches de l'infrastructure intelligente

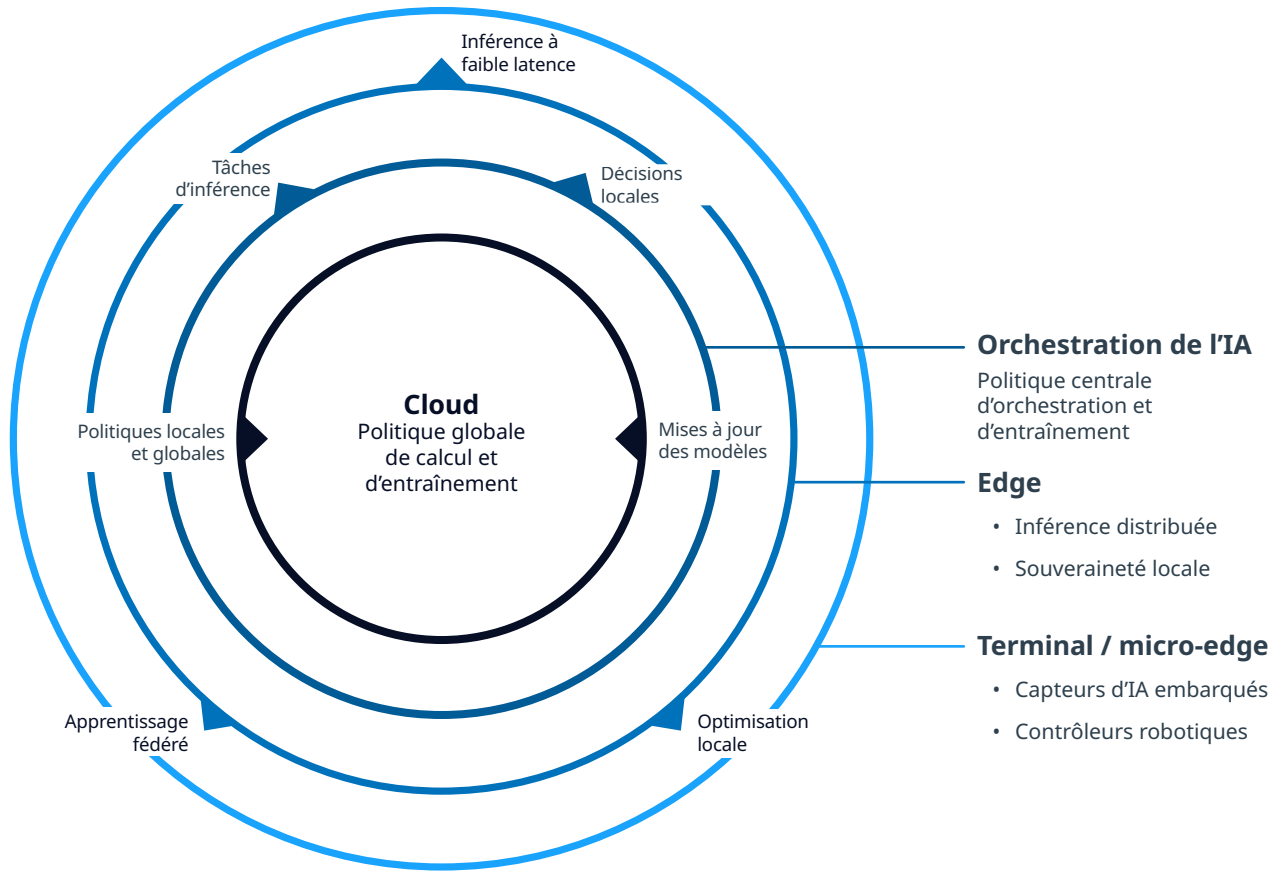


Figure 8 : couches de l'infrastructure intelligente



Paysage technologique

L'infrastructure intelligente se situe à l'intersection du calcul optimisé par l'IA, des architectures hybrides cloud-edge et des fondations numériques souveraines. Son paysage technologique évolue selon trois horizons.

● Aujourd'hui : Fondements d'une infrastructure intelligente

Les organisations renforcent les couches centrales de leurs écosystèmes numériques pour se préparer à un environnement opérationnel intensif en IA.

Cette évolution s'accélère à mesure qu'une part croissante des charges de travail exige une intelligence en temps réel au niveau de l'edge, alors que seule une minorité d'entreprises a modernisé son infrastructure au point de pouvoir soutenir l'IA à l'échelle.

Dans ce contexte, les outils d'orchestration cloud-edge deviennent essentiels pour répartir intelligemment les charges de travail, tandis que les initiatives locales de cloud souverain garantissent un contrôle juridictionnel et une gestion conforme des données. Les standards de données ouvertes et d'interopérabilité permettent en outre une intégration fluide entre systèmes hybrides. Ensemble, ces technologies constituent le socle d'une infrastructure connectée, conforme et réactive, capable de soutenir l'essor d'opérations pilotées par l'IA.

● Prochaine étape : Montée en puissance de la transparence, de la durabilité et de l'intelligence distribuée

À mesure que l'IA s'insère plus profondément dans les opérations, l'infrastructure doit évoluer pour soutenir davantage de transparence, de résilience et d'intelligence distribuée.

Les infrastructures auto-réparatrices et anticipatrices introduisent une résilience prédictive qui améliore la fiabilité et réduit les arrêts non planifiés. Elles sont complétées par une orchestration hybride cloud-edge-device, qui permet d'exécuter les charges de travail de manière optimale à travers des environnements physiques et numériques distribués.

Pour protéger les données tout en étendant l'intelligence jusqu'à l'edge, l'apprentissage fédéré et l'analytique préservant la confidentialité permettent aux organisations de produire des analyses là où les données sont créées, sans compromettre la conformité. Dans le même temps, l'infrastructure de calcul durable s'accélère à mesure que les entreprises adoptent des opérations sensibles à l'énergie, preuve que la durabilité est de plus en plus intégrée à la conception de l'infrastructure au lieu d'être traitée comme une simple exigence de reporting externe.

Pour gouverner cette complexité, des moteurs de gouvernance adaptative introduisent explicabilité, auditabilité et automatisation des politiques à travers les systèmes pilotés par l'IA. Ensemble, ces capacités élèvent l'infrastructure, qui passe d'une gestion réactive à une intelligence distribuée, coordonnée de manière proactive, avec des améliorations opérationnelles mesurables.

● Au-delà : Vers des écosystèmes d'infrastructure autonomes et souverains

À plus long terme, l'infrastructure évolue vers un tissu hautement autonome, aligné sur la souveraineté et interopérable à l'échelle mondiale.

Les couches d'infrastructure cognitive intègrent l'IA, le calcul haute performance et les réseaux de capteurs afin de soutenir une prédiction et une optimisation continues à travers les systèmes. À mesure que ces capacités gagnent en maturité, des écosystèmes d'infrastructure pleinement autonomes émergent, coordonnant les flux de calcul, d'énergie et de données avec une intervention humaine minimale.

Au-delà des organisations prises individuellement, des cadres mondiaux d'infrastructure interopérables permettront une collaboration transfrontalière sur les ressources de calcul, les pratiques de durabilité et la gouvernance numérique. Dans le même temps, des réseaux de calcul souverains donneront aux États et aux régions un contrôle durable sur les capacités critiques d'IA, garantissant une résilience numérique de long terme. Ces trajectoires montrent que l'infrastructure devient une couche opératoire intelligente et stratégique pour les économies comme pour les sociétés.

Radar technologique

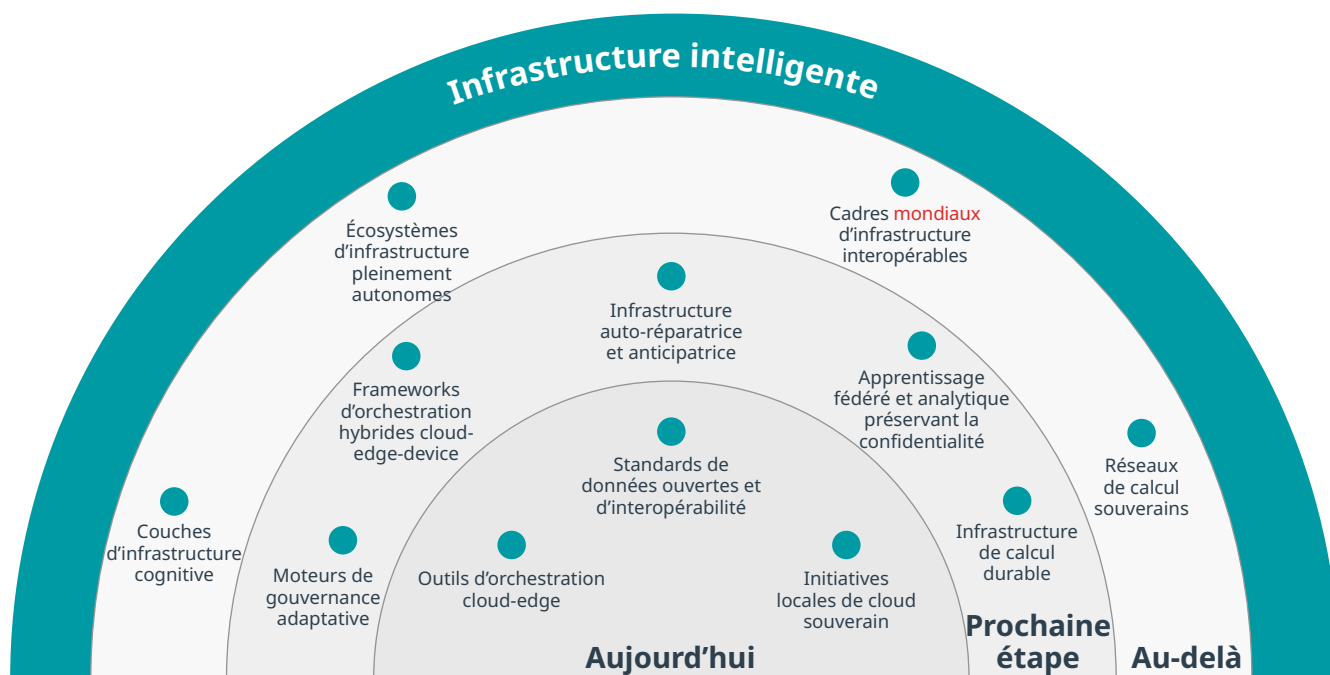


Figure 9 : infrastructure intelligente — radar technologique

Signaux et écosystème

Signaux de marché

Segment	Taille du marché 2024 (Md USD)	Taille du marché 2029 (Md USD)	TCAC (2024-2029)
Infrastructure edge pour l'IA	3,65	11,37	25,5 %
Infrastructure mondiale pour l'IA	56,97	186,27	26,7 %
Marché des infrastructures composites	8,09	32,97	32,4 %
Marché hybride du calcul cloud-edge	0,83	2,71	26,8 %

Tableau 7 : infrastructure intelligente — taille de marché et prévisions ¹⁶

Les fonctions de confiance convergent vers des piles unifiées couvrant la gouvernance, l'observabilité, la provenance et la cybersécurité.

¹⁶ Sources : Technavio, Global AI Edge Infrastructure Market 2025-2029. The Business Research Company, Global AI Infrastructure Market Report 2025 ; Global Composable Infrastructure Market Report 2025.

Signaux d'adoption en entreprise

75 % à
85 %

des preuves de concept en GenAI échouent en raison de lacunes d'infrastructure. ¹⁷

Environ

20 %

des infrastructures sont mises à niveau pour des charges de travail d'IA. ¹⁸



Le cloud souverain et l'interopérabilité **accélèrent l'adoption d'infrastructures prêtes pour l'audit.**

Signaux de partenariats sectoriels

L'infrastructure intelligente est particulièrement forte dans les secteurs où la latence, la souveraineté et la résilience sont déterminantes : industrie manufacturière, secteur public, énergie, télécommunications, finance et santé.

Enseignements sur la courbe d'adoption

- **2024 à 2026**
L'adoption des architectures hybrides cloud-edge, des zones de cloud souverain et des fondations riches en télémétrie s'accélère.
- **2026 à 2028**
L'inférence distribuée, les jumeaux numériques et les infrastructures auto-réparatrices se déploient à l'échelle des secteurs.
- **2028 à 2030**
Une orchestration autonome et sensible aux impératifs de durabilité permet une optimisation en temps réel du calcul, de l'énergie et des opérations.
- **2030+**
Des écosystèmes d'infrastructure intelligents et souverains deviennent des fondations essentielles de la résilience nationale comme de la résilience des entreprises.



^{17,18} Everest Group. Rapport thématique. Navigating AI Infrastructure: The Backbone of the AI-Driven Era. 13 septembre 2024.

Start-up pertinentes

Start-up	Présentation	Création	Stade de financement	Financement total (USD)
Airbyte	Plateforme open source d'intégration de données (ETL/ELT)* permettant de répliquer des données issues de diverses sources vers des entrepôts de données.	2020	Série B	181,5 M
Itential	Propose une plateforme d'automatisation low-code destinée à la gestion et à l'orchestration des infrastructures réseau et TI.	2014	Growth Stage	25,5 M
Liqid	Entreprise d'infrastructure composable proposant des logiciels permettant de mutualiser et d'allouer dynamiquement GPU, CPU, stockage et réseau pour l'IA, le calcul haute performance (HPC) et d'autres charges de travail intensives en données dans les centres de données.	2013	Post-Series C	160 M
OpenDrives	Fournisseur de solutions de stockage haute performance et de services de gestion des données pour les secteurs des médias, du divertissement et de l'entreprise.	2011	Série B	31 M
Rafay	Propose une plateforme d'exploitation Kubernetes pour automatiser et gérer des applications conteneurisées à travers plusieurs clusters et plusieurs clouds.	2017	Série B	33 M
Systalyze	Start-up spécialisée dans l'infrastructure et l'optimisation de l'IA, qui analyse et corrige les inefficiences des charges de travail d'IA afin de permettre aux entreprises d'exécuter leurs modèles plus rapidement et à moindre coût sur leur propre infrastructure.	2025	—	—

Tableau 8 : infrastructure intelligente — start-up pertinentes ¹⁹

*ELT : extract, load, transform | ETL : extract, transform, load

¹⁹ Les informations présentées ici reposent sur des données issues de Crunchbase (<https://www.crunchbase.com/>). Leur exactitude et leur exhaustivité dépendent de la source et peuvent évoluer dans le temps.

Cas d'usage et applications

Les exemples suivants illustrent la manière dont l'infrastructure intelligente permet aux secteurs d'orchestrer des environnements physiques et numériques complexes grâce à une intelligence continue, au calcul hybride cloud-edge et à des fondations numériques souveraines.

01 Infrastructure publique intelligente : villes prédictives, efficaces et souveraines

Les villes et les agences publiques adoptent la maintenance prédictive des actifs publics, l'orchestration intelligente du trafic ainsi que des systèmes d'optimisation de l'eau et des déchets afin d'améliorer la fiabilité des services et l'efficacité dans l'usage des ressources.

L'orchestration cloud-edge et les jumeaux numériques permettent aux opérateurs d'infrastructure de détecter les défaillances en amont, d'optimiser les flux en temps réel et de tester virtuellement des interventions avant leur déploiement. Ces systèmes reposent de plus en plus sur des fondations de cloud souverain, permettant la conformité, la résidence des données et une collaboration sécurisée entre administrations.

02 Opérations industrielles adaptatives : jumeaux numériques, IA en edge et systèmes auto-réparateurs

Les acteurs de l'industrie manufacturière, de la logistique et de l'énergie déploient des jumeaux numériques industriels et de l'inférence d'IA en edge dans des environnements hybrides cloud-edge afin d'obtenir une prise de décision à faible latence et des opérations résilientes.

L'observabilité pilotée par l'IA et les infrastructures auto-réparatrices permettent une optimisation continue des lignes de production, la maintenance prédictive des équipements et une reprise autonome après incident.

Le passage à des tissus de calcul distribués, à la télémétrie en temps réel et à des infrastructures anticipatrices réduit les temps d'arrêt et améliore les performances à travers les réseaux industriels.

03 Écosystèmes distribués et durables de l'énergie et des données

Les énergéticiens et les grandes entreprises développent une gestion dynamique de l'énergie, des stratégies de centres de données net zéro et des corridors numériques souverains coordonnant le calcul, le stockage ainsi que la production et la distribution d'énergie entre régions.

Les jumeaux numériques modélisent les émissions et les comportements énergétiques à l'échelle des réseaux, tandis qu'un ordonnancement sensible aux impératifs de durabilité répartit les charges de travail en fonction de la disponibilité énergétique et de l'intensité carbone. L'orchestration hybride cloud-edge soutient l'optimisation énergétique locale, l'équilibrage des réseaux et l'intégration des sources renouvelables distribuées.

La forte dynamique d'investissement dans les infrastructures de calcul durable et les opérations optimisées sur le plan énergétique est portée par la pression réglementaire et par la croissance continue des technologies d'infrastructure sensibles à l'énergie.

Scénarios futurs

L'auto-remédiation devient la norme dans les opérations cloud

La plupart des incidents cloud sont résolus sans intervention humaine. Les équipes d'exploitation passent de la correction des problèmes à la validation des politiques.



Principales incertitudes de ce scénario

- Les entreprises accepteront-elles une réduction de la supervision humaine ?
- Les régulateurs exigeront-ils des mécanismes de reprise en main humaine pour les charges de travail critiques ?

Les réseaux de jumeaux numériques remplacent la supervision traditionnelle

Les entreprises adoptent des jumeaux numériques de l'infrastructure en temps réel comme « source de vérité » opérationnelle, simulant les changements avant leur mise en œuvre.



Principales incertitudes de ce scénario

- Les jumeaux numériques atteindront-ils un niveau de fidélité suffisant pour conserver la confiance à grande échelle ?
- La latence ou le coût de la simulation deviendront-ils un facteur limitant ?

Les architectures edge-first supplantent les approches cloud-first

Le calcul s'orchestre depuis les terminaux edge vers le centre ; le cloud assure la coordination plutôt qu'un calcul centralisé.



Principales incertitudes de ce scénario

- L'intelligence d'orchestration gagnera-t-elle assez vite en maturité pour que des siliciums optimisés pour l'edge remplacent, pour la plupart des décisions en temps réel, le calcul centralisé sur GPU ?
- Les organisations adopteront-elles une orchestration distribuée ou redouteront-elles une perte de contrôle ?



Enseignements stratégiques



Traiter l'infrastructure comme une couche d'intelligence stratégique, et non comme une simple utilité technique

Les organisations doivent passer de fondations TI statiques à des architectures hybrides cloud-edge optimisées pour l'IA, riches en télémétrie. Cela suppose de moderniser de manière proactive les réseaux, le stockage et les capacités de calcul pour soutenir l'inférence en temps réel, la souveraineté et la durabilité.



Intégrer dès maintenant souveraineté et interopérabilité dans les décisions d'architecture

Alors que l'adoption du cloud souverain s'accélère et que les standards d'interopérabilité deviennent essentiels, les choix d'infrastructure doivent garantir gouvernance, contrôle juridictionnel et modularité vis-à-vis des fournisseurs. Investir dans les standards ouverts, la composabilité et les siliciums spécialisés réduit les risques de dépendance et prépare les organisations aux évolutions réglementaires.



Opérationnaliser la durabilité par l'intelligence, et non par le reporting

L'ordonnancement sensible à l'énergie et les jumeaux numériques transforment les considérations environnementales, sociales et de gouvernance (ESG), qui cessent d'être une contrainte de conformité pour devenir un levier d'optimisation opérationnelle en temps réel. Les organisations qui intègrent la durabilité dans les opérations d'infrastructure — et pas seulement dans des tableaux de bord — obtiennent des réductions mesurables de coûts, de consommation énergétique et d'émissions.



- Si notre infrastructure était entièrement auto-optimisatrice, alignée sur la souveraineté et sensible à l'énergie, comment redéfinirions-nous notre modèle opérationnel pour en tirer pleinement parti ?
- Comprendons-nous quelles décisions doivent être automatisées par une infrastructure intelligente et lesquelles doivent impérativement rester pilotées par l'humain ?
- Dans quelle mesure notre stratégie d'infrastructure est-elle résiliente face à des chocs d'approvisionnement énergétique, à des tensions géopolitiques ou à des exigences accrues de souveraineté réglementaire ?

5 Écosystèmes souverains du silicium

Ce que c'est et pourquoi cela importe aujourd'hui

Le socle matériel de l'intelligence de masse

Les tensions géopolitiques, la fragilité des chaînes d'approvisionnement, la demande de calcul portée par l'IA et la montée des préoccupations de sécurité nationale ont fait des semi-conducteurs un actif stratégique déterminant. La maîtrise du silicium équivaut désormais à la maîtrise de la capacité de calcul, des flux de données, de l'intelligence et de l'influence géopolitique. Les États et les secteurs accélèrent donc leurs efforts pour développer des écosystèmes semi-conducteurs de bout en bout, de la conception des puces et de la photonique jusqu'à la fabrication, au packaging et au recyclage.

Cette évolution est décisive aujourd'hui, car les modèles mondiaux d'approvisionnement traditionnels ne peuvent plus garantir ni la résilience, ni la stabilité des coûts, ni la compétitivité technologique.

Dans le même temps, les progrès rapides de l'IA, du calcul haute performance et des architectures de nouvelle génération exigent des capacités de calcul spécialisées et hétérogènes que les chaînes d'approvisionnement historiques ne peuvent plus fournir à elles seules. Les écosystèmes souverains du silicium offrent une voie vers le leadership en matière d'innovation, l'indépendance technologique, une fabrication durable et un avantage collaboratif.

Ils constituent également le socle matériel de l'intelligence de masse, en fournissant les capacités de calcul spécialisées, résilientes et haute performance requises par des systèmes autonomes, riches en données et distribués à l'échelle mondiale.

Concepts fondamentaux

Les semi-conducteurs comme catalyseurs de l'IA et du calcul haute performance

Les puces alimentent l'IA et le calcul haute performance, et définissent la compétitivité dans l'innovation fondée sur les données

Autonomie industrielle et technologique

Des capacités nationales dans les semi-conducteurs réduisent les dépendances externes et renforcent la capacité d'innovation.

Souveraineté des données et maîtrise de l'infrastructure numérique

La maîtrise de la couche silicium fournit des fondations de confiance pour des écosystèmes numériques sûrs et souverains.

Écosystèmes d'innovation et avantage collaboratif

Les partenariats public-privé-académiques accélèrent l'innovation dans les puces en l'alignant sur les priorités nationales.

Chaînes d'approvisionnement durables et éthiques

L'approvisionnement responsable, le recyclage et la fabrication à haute efficacité énergétique pèseront sur la compétitivité future des semi-conducteurs.

Avantage concurrentiel porté par la technologie

Le leadership dans la fabrication avancée et la création de propriété intellectuelle (IP) accroît l'influence mondiale.

Conception et fabrication accélérées par l'IA

L'IA raccourcit les cycles de développement des puces et améliore les rendements, renforçant résilience et agilité.

La photonique comme prochaine frontière de la souveraineté des semi-conducteurs

L'intégration optique permet un calcul ultrarapide et sobre en énergie pour les applications de nouvelle génération.

Réseaux mondiaux résilients et adaptatifs

Des écosystèmes semi-conducteurs flexibles et collaboratifs concilient souveraineté et flux mondiaux d'innovation.

La souveraineté du silicium ne relève pas d'une capacité isolée, mais d'un système de leviers stratégiques couvrant la conception, la fabrication, les matériaux, l'intégration, les connaissances et l'énergie.

Leviers de souveraineté

01 **Souveraineté de conception et de propriété intellectuelle**

Maîtrise des architectures de puces, des accélérateurs, des blocs de propriété intellectuelle et des outils d'ingénierie

02 **Souveraineté du packaging avancé et de l'intégration**

Chipelets, intégration 2.5D/3D et assemblage hétérogène de systèmes

03 **Souveraineté de fabrication et des procédés**

Accès à des nœuds de fabrication avancés et spécialisés, et à un savoir-faire approfondi sur les procédés

04 **Souveraineté des connaissances, des talents et du monde académique**

Capacité de R&D de long terme, universités, laboratoires public-privé et filières de compétences

05 **Souveraineté des matériaux, des équipements et des approvisionnements**

Maîtrise des minéraux critiques, des wafers, des outils de lithographie et des écosystèmes fournisseurs

06 **Souveraineté énergétique et environnementale**

Énergie stable et bas carbone, disponibilité de l'eau, refroidissement et installations de fabrication durables

Figure 10 : leviers de souveraineté



Paysage technologique

Les écosystèmes souverains du silicium reposent sur une pile technologique en rapide évolution, associant technologies avancées de fabrication, architectures de calcul hétérogènes, matériels de confiance et accélération écoénergétique. Ces technologies font passer le silicium du statut de commodité mondialisée à celui d'infrastructure stratégiquement gouvernée — capable de fournir des capacités de calcul sûres, souveraines et haute performance pour l'IA, le calcul haute performance et les systèmes nationaux critiques.

● Aujourd'hui : Capacités matures qui structurent l'infrastructure souveraine de calcul d'aujourd'hui

Les déploiements actuels s'appuient sur la fabrication avancée des semi-conducteurs, des modèles de fonderies de confiance et des pôles régionaux de semi-conducteurs, soutenus par des investissements publics massifs.

Ces capacités renforcent la souveraineté industrielle et réduisent l'exposition à des chaînes d'approvisionnement mondiales trop concentrées.

La performance et la flexibilité sont portées par les architectures à base de chiplets et les puces accélératrices pour l'IA, un segment appelé à dominer les déploiements en centres de données et en clouds souverains à mesure que la demande liée à l'IA croît de manière exponentielle.

La transparence souveraine et la confiance sont soutenues par des racines matérielles de confiance sécurisées, le confidential computing et des modèles de traçabilité des semi-conducteurs, tandis que la fabrication durable des puces et le packaging avancé améliorent la performance par watt, au service à la fois de la résilience et de l'efficacité énergétique.

● Prochaine étape : Montée en puissance des technologies qui rendent possible une IA souveraine et un calcul distribué

La prochaine vague technologique introduit davantage d'intelligence, de sécurité et de durabilité à travers l'ensemble du cycle de vie du silicium.

La conception assistée des puces par l'IA et la fabrication de semi-conducteurs accélérée par l'IA raccourcissent les cycles de développement et améliorent les rendements. Ces avancées sont critiques alors que la complexité de conception et la demande nationale en calcul souverain pour l'IA s'accroissent. L'IA en edge et la montée en puissance de l'inférence étendent le calcul souverain aux sites industriels, aux systèmes de mobilité et aux infrastructures nationales, en alignant le silicium sur l'autonomie et les besoins opérationnels en temps réel.

La durabilité devient systémique grâce à un calcul attentif à l'empreinte carbone et à une fabrication neutre en carbone, permettant aux États de concilier croissance des capacités de calcul et engagements environnementaux.

Le durcissement de la sécurité s'intensifie : des plateformes d'IA de confiance sur silicium, le chiffrement à l'épreuve des ordinateurs quantiques et la cryptographie post-quantique (PQC) protègent les charges de travail nationales contre les menaces avancées et émergentes, tout en soutenant la conformité aux exigences de souveraineté et de résidence des données.

Au niveau architectural, l'intégration hybride photonique-électronique commence à ouvrir la voie à des interconnexions à large bande passante et faible consommation pour le calcul haute performance et les infrastructures de cloud souverain.

● Au-delà : Technologies de frontière créant un calcul souverain autonome et haute performance

À plus long terme, l'évolution pointe vers des architectures silicium capables de soutenir des environnements nationaux de calcul autonomes.

La photonique sur silicium à grande échelle et les architectures de calcul optique offrent des débits extrêmement élevés et une efficacité énergétique radicalement améliorée pour la simulation, la modélisation climatique et les charges de travail d'IA de nouvelle génération.

Dans le même temps, les puces bio-inspirées et neuromorphiques avancées introduisent des modèles de calcul événementiel, impulsif et analogique, permettant la détection en temps réel, la robotique autonome et des systèmes edge nationaux soumis à de fortes contraintes énergétiques, à une échelle inédite.

Ensemble, ces technologies de frontière jettent les bases d'un calcul souverain non seulement sûr et autodéterminé, mais aussi adaptatif, ultraefficient et capable d'alimenter les futures infrastructures nationales d'intelligence.

Radar technologique

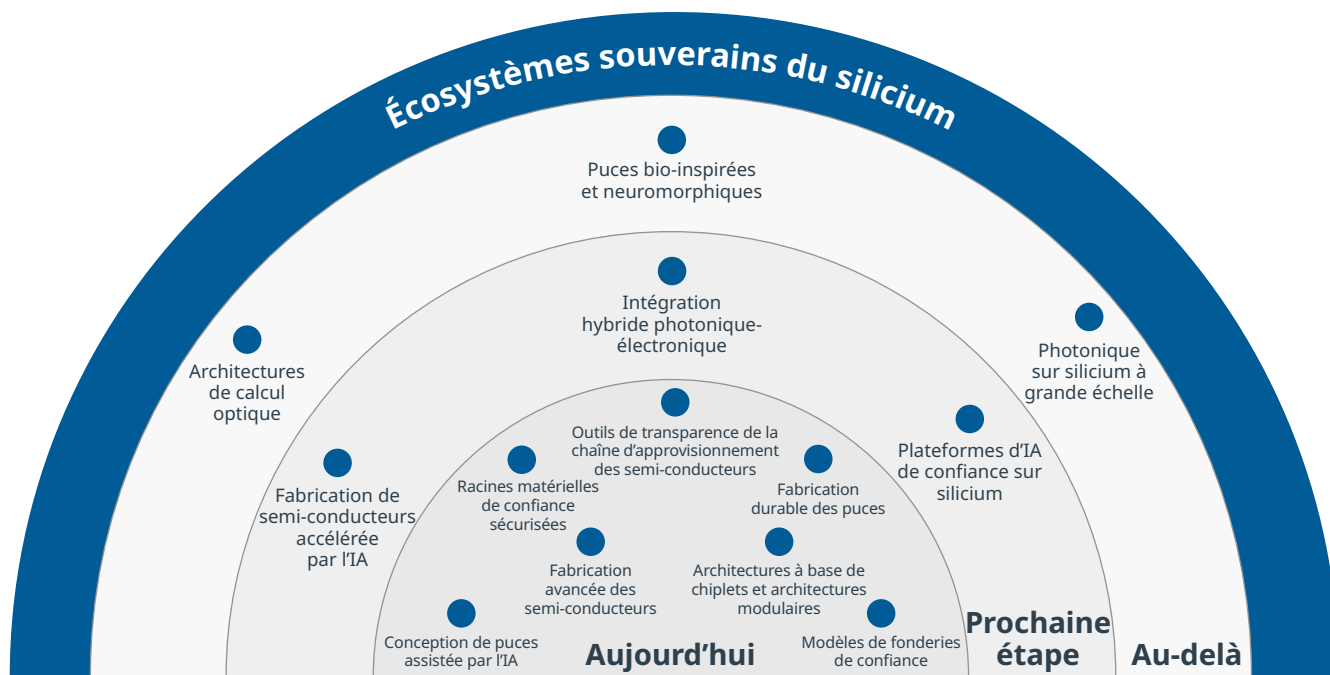


Figure 11 : écosystèmes souverains du silicium — radar technologique

Signaux et écosystème

Signaux de marché

Segment	Taille du marché 2024 (Md USD)	Taille du marché 2029 (Md USD)	TCAC (2024-2029)
Marché mondial des semi-conducteurs	540,7 *	892,6 *	10,6 % *
Packaging avancé	42,0	76,0	10,6 %
Cloud souverain mondial	124,1 *	377,7 *	24,6 %
Marché des puces pour l'IA	120,0	500,0	35,0 %

Tableau 9 : écosystèmes souverains du silicium — taille de marché et prévisions ²⁰

* Estimations internes

La demande de calcul alimentée par l'IA stimule l'investissement dans les semi-conducteurs souverains à une échelle sans précédent.

²⁰ Sources : World Semiconductor Trade Statistics. Communiqué de presse, *Global Semiconductor Market Approaches \$1T in 2026*, 2 décembre 2025 Fortune Business Insights. *Semiconductor market size, share and industry analysis, 2026-2034*, 9 février 2026. Fortune Business Insights. *Sovereign cloud market size, share and industry analysis, 2026-2034*, 9 février 2026. Everest Group. Rapport thématique, *From Silicon to Strategy: Mapping the AI Chip Value Chain*, 2 septembre 2025.

Signaux d'adoption en entreprise

Les serveurs intégrant un accélérateur constituent l'infrastructure privilégiée des plateformes d'IA, représentant

70 %

de la dépense totale consacrée à l'infrastructure serveur pour l'IA.²¹

Le CHIPS and Science Act alloue environ

52,7 Md USD

pour renforcer la fabrication et la recherche en semi-conducteurs aux États-Unis, via des incitations, des financements de R&D et des programmes de développement des compétences.²²



L'Union européenne a lancé l'European Chips Act afin de renforcer la capacité de production de semi-conducteurs et la R&D associée dans les États membres, au moyen d'incitations financières publiques et d'un soutien réglementaire, dans le cadre de sa politique industrielle.

Signaux de partenariats sectoriels

Le besoin de silicium souverain est le plus fort dans les secteurs de la défense, des télécommunications, de l'automobile et de l'automatisation industrielle, tous tributaires d'un calcul de confiance et de haute performance.

Enseignements sur la courbe d'adoption

2025 à 2027

Les déficits de souveraineté deviennent visibles à mesure que la demande de calcul de confiance et de haute performance dépasse les capacités des chaînes d'approvisionnement existantes.

2027 à 2029

Certains États et certaines entreprises consolident leurs piles souveraines du silicium à travers la conception, la fabrication et le packaging domestiques.

2029 à 2032

Les architectures hétérogènes et sobres en énergie — chiplets, photonique, accélérateurs pour l'IA — deviennent les fondations informatiques dominantes.

2032+

Les réseaux souverains de calcul et les écosystèmes avancés du silicium commencent à peser sur les alliances mondiales et sur les rapports de force de l'économie numérique.



²¹ IDC. Communiqué de presse. Artificial Intelligence Infrastructure Spending to Surpass the \$200Bn USD Mark in the Next 5 years. According to IDC, 18 février 2025. ²² National Institute of Standards and Technology (NIST). Federal Programs Supporting the U.S. Semiconductor Supply Chain and Workforce, 18 mars 2024.

Start-up pertinentes

Start-up	Présentation	Création	Stade de financement	Financement total (USD)
Axelera AI	Développe des matériels d'IA à très faible consommation et haute performance pour les usages en edge.	2021	Série B / subvention	203 M
Lightmatter	Conçoit et développe des puces photoniques utilisant la lumière plutôt que l'électricité afin d'accélérer et d'améliorer l'efficacité du calcul AI/ML.	2017	Série D	850 M
Silicon Catalyst	Un incubateur-accélérateur exclusivement dédié à l'accompagnement des start-up du matériel semi-conducteur.	2015	N/A (accélérateur)	—
Xscape Photonics	Développe des technologies avancées de photonique sur silicium pour des communications de données et des capacités de calcul plus rapides et plus sobres en énergie.	2022	Série A	57 M

Tableau 10 : écosystèmes souverains du silicium — start-up pertinentes ²³

²³ Les informations présentées ici reposent sur des données issues de Crunchbase (<https://www.crunchbase.com/>). Leur exactitude et leur exhaustivité dépendent de la source et peuvent évoluer dans le temps.

Cas d'usage et applications

Les exemples suivants illustrent la manière dont les écosystèmes souverains du silicium se traduisent, au-delà de la politique industrielle et de la maîtrise des chaînes d'approvisionnement, en capacités nationales concrètes pour les infrastructures critiques, l'industrie et les systèmes mondiaux.

01 Réseaux souverains de calcul pour l'IA au service des secteurs critiques

Afin de soutenir des secteurs réglementés tels que la santé, la finance, les transports et les services publics, les États déploient des plateformes souveraines d'IA — grappes nationales d'accélérateurs d'IA (GPU et autres accélérateurs spécialisés) reposant sur des puces issues de fonderies de confiance et sur des infrastructures de cloud souverain.

Des accélérateurs d'IA sobres en énergie et un calcul vert activé par la photonique permettent aux secteurs concernés d'exécuter des modèles haute performance avec une consommation nettement plus faible, répondant ainsi aux exigences de durabilité tout en réduisant la dépendance à l'égard de fournisseurs étrangers de calcul.

Ce réseau souverain de calcul fonctionne comme une infrastructure critique partagée pour l'économie numérique, rendant possibles des analyses préservant la confidentialité, des jumeaux numériques nationaux, l'optimisation autonome de la mobilité et une collaboration sécurisée entre secteurs.

02 Autonomie industrielle sécurisée et systèmes nationaux de contrôle en edge

Les secteurs de l'industrie manufacturière, de l'énergie, de la mobilité et de la logistique adoptent une inférence d'IA sécurisée en edge, fondée sur des électroniques de contrôle produites localement et des contrôleurs industriels de confiance.

Cela permet une autonomie opérationnelle pour les usines, les réseaux, les hubs de transport, les ports et la logistique de défense — des environnements où la latence, la sûreté et le risque géopolitique excluent toute dépendance à l'égard de siliciums ou de services cloud externes.

Des modules compatibles avec la PQC et des matériels d'identité souveraine sécurisent chaque dispositif, tandis que l'inférence en edge permet la détection d'anomalies en temps réel, la maintenance prédictive et la prise de décision autonome dans de multiples secteurs.

Le résultat est une infrastructure nationale résiliente, où les décisions critiques pour la sûreté demeurent à l'intérieur de frontières souveraines.

03 Plateformes stratégiques de silicium pour l'espace, les communications et les alliances mondiales

Les opérateurs télécoms, les agences aérospatiales et les secteurs de la défense adoptent des réseaux de communication sécurisés, des accélérateurs souverains pour l'IA et des puces tolérantes aux radiations pour alimenter les systèmes nationaux satellitaires et spatiaux.

Ces plateformes souveraines de silicium soutiennent des liaisons satellitaires chiffrées, la coordination des réponses aux catastrophes, la surveillance climatique, la sécurité maritime et les communications transfrontalières critiques.

Parce que les puces et les systèmes de contrôle sont gouvernés au niveau national, les États gagnent en levier dans la diplomatie de l'innovation, en formant des alliances stratégiques dans les semi-conducteurs, en influençant les standards et en utilisant le silicium souverain comme actif dans les négociations commerciales et les partenariats internationaux.

Des secteurs allant de l'agriculture et de l'assurance à la logistique et à l'exploitation minière s'appuient sur ces systèmes souverains spatiaux et de communication pour des services de précision et une connectivité résiliente.

Scénarios futurs

Des places de marché de chipelets émergent chez les fournisseurs cloud

Les fournisseurs cloud commencent à proposer des configurations modulaires de chipelets afin que les organisations puissent adapter les accélérateurs à leurs charges de travail.



Principales incertitudes de ce scénario

- Les standards des chipelets gagneront-ils assez vite en maturité pour assurer une large compatibilité ?
- Les détenteurs de propriété intellectuelle accepteront-ils un niveau réel de configurabilité ?

Des zones régionales de calcul redessinent l'empreinte mondiale du cloud

Les États créent des hubs régionaux de calcul souverain assortis de chaînes d'approvisionnement domestiques obligatoires, contraignant les clouds à répartir géopolitiquement les charges de travail d'IA.



Principales incertitudes de ce scénario

- Les investissements nationaux permettront-ils d'atteindre un niveau de performance compétitif ?
- La portabilité des données ou des modèles fonctionnera-t-elle de manière fiable entre zones souveraines ?

Les systèmes neuromorphiques, quantiques et photoniques rebattent les cartes du calcul

Lorsque l'évolution des architectures traditionnelles atteint ses limites, les entreprises adoptent des accélérateurs neuromorphiques et photoniques pour les charges d'inférence et de planification à faible consommation énergétique.



Principales incertitudes de ce scénario

- Les écosystèmes logiciels gagneront-ils suffisamment vite en maturité pour soutenir ces architectures ?
- L'orchestration de matériels hétérogènes pourra-t-elle devenir véritablement fluide ?



Enseignements stratégiques



Traiter le silicium comme une infrastructure critique pour les États et pour les entreprises

Les organisations doivent partir du principe que la maîtrise des puces, des accélérateurs et des capacités de calcul sécurisées déterminera leur capacité à opérer, à innover et à satisfaire les exigences de souveraineté. Donner la priorité à des partenariats avec des fonderies de confiance, des écosystèmes domestiques de packaging et des fournisseurs de cloud souverain devient essentiel pour sécuriser la résilience de long terme.



Construire une stratégie de calcul hétérogène et écoénergétique

Les architectures à base de chiplets, les accélérateurs d'IA sobres en énergie et les systèmes activés par la photonique permettent aux entreprises de faire monter en charge les workloads d'IA de manière durable et maîtrisée sur le plan des coûts. Les entreprises doivent concevoir des architectures modulaires, capables de combiner différents accélérateurs et de soutenir l'inférence en edge, afin de réduire leur dépendance à l'égard d'un seul fournisseur ou d'une seule région d'approvisionnement.



Inscrire une confiance enracinée dans le matériel au cœur de chaque déploiement d'IA et d'infrastructure

Les matériels d'identité sécurisés, les modules compatibles avec la PQC et les contrôleurs industriels de confiance doivent devenir le standard de base pour toute application d'IA ou d'infrastructure critique. Cela renforce l'intégrité des données, la sûreté opérationnelle et la conformité à travers des systèmes distribués, des usines et réseaux énergétiques jusqu'aux transports et aux services nationaux.



- Si notre organisation perdait l'accès, pendant six mois, à son approvisionnement actuel en puces ou à ses accélérateurs cloud, quelle part de notre IA, de nos technologies opérationnelles et de notre infrastructure numérique pourrions-nous continuer à faire fonctionner ? Quelles composantes devraient être souveraines pour garantir notre résilience ?
- Concevons-nous nos charges de travail d'IA et d'infrastructure de manière à les rendre portables entre des environnements de calcul hétérogènes et souverains ?
- Quelles composantes de notre écosystème silicium doivent être directement maîtrisées ? Et dans quels domaines des partenariats stratégiques créent-ils davantage de résilience qu'une pleine maîtrise ?

6 De l'efficacité illusoire à la suffisance

Ce que c'est et pourquoi cela importe aujourd'hui

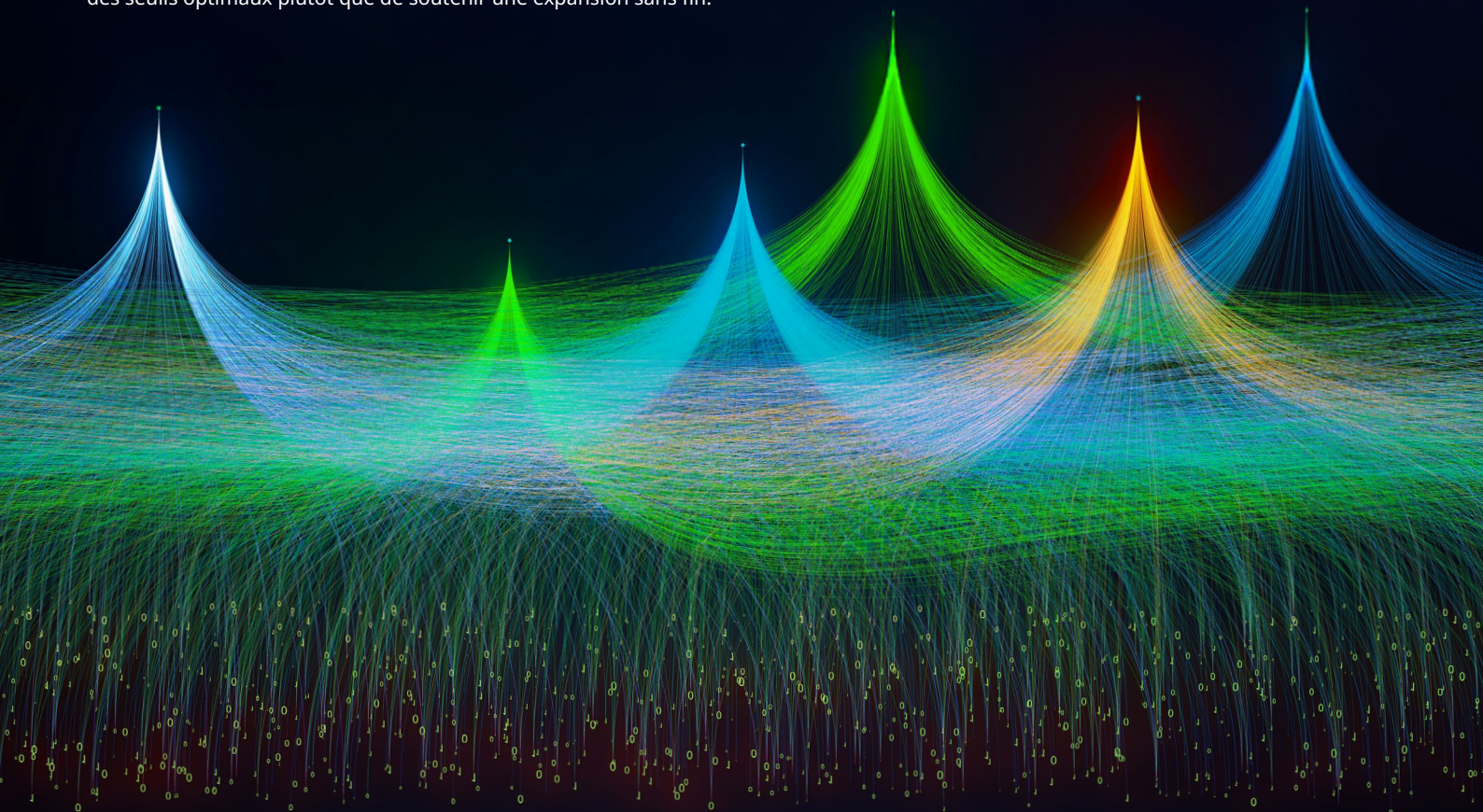
Repenser l'évolution de l'intelligence de masse

Après des décennies d'optimisation centrée sur la vitesse, l'échelle et le coût, les organisations se heurtent désormais aux limites d'une croissance pilotée par l'efficacité. L'instabilité climatique, la rareté énergétique, la pression réglementaire et les attentes sociétales appellent un modèle d'une autre nature — fondé sur la résilience, l'adéquation de long terme et l'alignement écologique. La suffisance s'impose aujourd'hui parce que l'efficacité seule ne garantit plus ni la stabilité ni la crédibilité ; dans certains cas, elle accélère même le risque systémique en maximisant les gains de court terme au détriment des limites planétaires.

Le paradigme de la suffisance redéfinit la technologie comme un instrument de modération intelligente, mobilisant l'IA, les jumeaux numériques et les systèmes intégrés de ressources pour identifier des seuils optimaux plutôt que de soutenir une expansion sans fin.

Cette approche crée une valeur partagée sous la forme d'une moindre empreinte environnementale, d'une résilience accrue des communautés, de meilleures conditions de travail et de pratiques d'entreprise plus dignes de confiance. La suffisance marque ainsi un basculement culturel et stratégique, où le progrès ne se mesure plus au « toujours plus », mais à une croissance utile, responsable et durable.

La suffisance redéfinit également les modalités d'évolution de l'intelligence de masse, en veillant à ce que les systèmes intelligents opèrent dans les limites écologiques et sociétales et orientent leurs capacités vers la résilience de long terme plutôt que vers une expansion sans contrôle.



Concepts fondamentaux

La suffisance comme cadre stratégique

Les organisations passent d'une logique de maximisation de la production à une logique d'optimisation de l'adéquation de long terme dans les limites écologiques, afin de pérenniser leurs modèles d'activité.

Gestion systémique des ressources

La gestion intégrée de l'énergie, de l'eau et des matières réduit l'empreinte globale des ressources à l'échelle des systèmes.

Responsabilisation environnementale intégrée

Les impacts sur l'ensemble du cycle de vie — carbone, biodiversité, eau — sont évalués et atténués à chaque étape de planification, de conception et d'exploitation.

Résilience plutôt qu'optimisation

La performance privilégie l'adaptabilité et la robustesse plutôt que le coût minimal.

Boucles de transparence et de crédibilité

Des outils numériques tels que l'IoT, l'analyse du cycle de vie (ACV) et la blockchain garantissent une performance de durabilité traçable et compatible avec les exigences d'audit.

Co-bénéfices humains et écologiques

La suffisance améliore les conditions de travail, la résilience des communautés et la santé des écosystèmes.

Gouvernance adaptative et responsabilité partagée

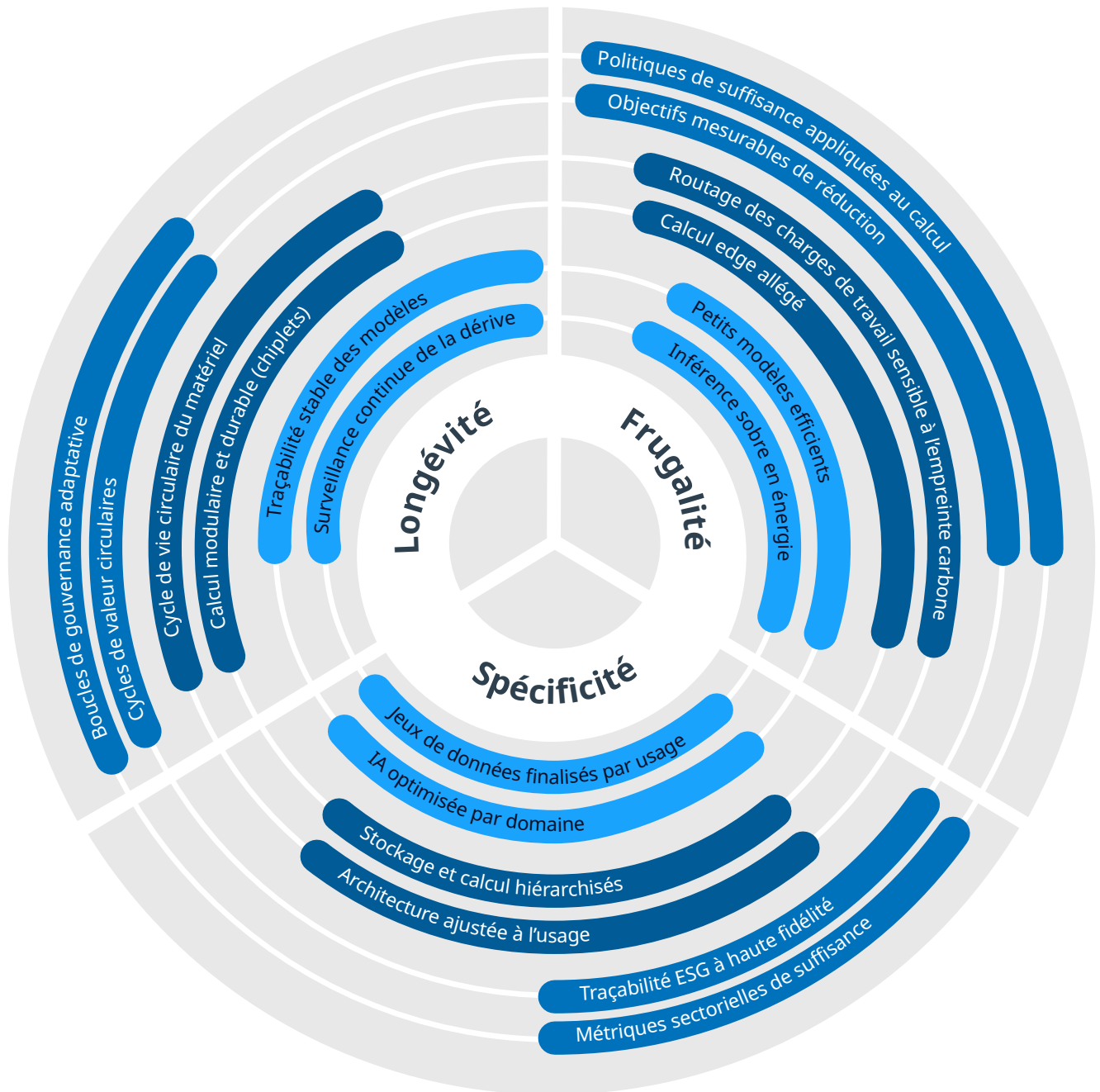
Des standards et des métriques coconstruits alignent les choix opérationnels sur les objectifs de la société.

Catalyseurs technologiques d'un passage à l'échelle responsable

L'IA, l'automatisation et les jumeaux numériques identifient des seuils optimaux de suffisance et relient les gains locaux d'efficacité aux transitions systémiques.

Le cercle de la suffisance cartographie les dimensions fondamentales de la suffisance technologique et montre comment l'IA, l'infrastructure numérique et la gouvernance doivent évoluer afin d'équilibrer performance et usage responsable des ressources dans la durée.

Cercle de la suffisance technologique



Suffisance de gouvernance et de société

(couche d'alignement systémique)

Suffisance de l'infrastructure numérique et des systèmes

(cœur de l'architecture)

Suffisance de l'IA et des données

(cœur de l'intelligence)

Figure 12 : cercle de la suffisance technologique

Paysage technologique

Le paysage technologique de la macrotendance « de l'efficacité illusoire à la suffisance » s'articule autour de capacités qui font passer les organisations d'une optimisation incrémentale à une réduction vérifiable et mesurable.

● Aujourd'hui : **Systemes de réduction opérationnelle**

Les organisations déploient des technologies capables de produire des économies immédiates et quantifiables de ressources.

Le suivi des ressources fondé sur l'IoT et les systèmes de gestion énergétique activés par l'IA offrent une visibilité continue sur les schémas de consommation, permettant de réduire en quelques années l'énergie, l'eau et les déchets. Les systèmes de fabrication circulaire, les plateformes de conception durable et les pratiques de sustainability-by-design intègrent durabilité, réparabilité et sobriété des intrants au cœur du développement des produits et services.

Au niveau des infrastructures, les bâtiments intelligents et les cadres de villes intelligentes optimisent l'usage des ressources pour le chauffage, le refroidissement, l'éclairage, la mobilité et les services aux collectivités, tandis que les systèmes de gestion des énergies renouvelables orchestrent des flux énergétiques bas carbone. Les plateformes de comptabilité carbone fondées sur l'IA et les systèmes de gestion circulaire des actifs informatiques fournissent les données de niveau audit requises pour répondre à des cadres tels que la Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD), la Corporate Sustainability Due Diligence Directive (CSDDD) et les normes de l'International Sustainability Standards Board (ISSB), traduisant un basculement plus large du reporting vers une réduction fondée sur des preuves.

● Prochaine étape : **Circularité prédictive et calcul bas carbone**

À mesure que la suffisance gagne en maturité, les entreprises adoptent des systèmes permettant une optimisation prédictive des ressources à travers l'ensemble de la chaîne de valeur.

Le calcul sensible à l'empreinte carbone et les centres de données net zéro réduisent l'empreinte des opérations numériques en alignant les charges de travail sur la disponibilité d'une énergie bas carbone. Les réseaux entièrement photoniques émergent comme un catalyseur majeur, en atténuant la latence et les pertes d'énergie afin de soutenir une répartition dynamique et bas carbone des charges entre centres de données et régions. Les jumeaux numériques appliqués à la durabilité modélisent les flux d'énergie, de matières et d'émissions avant toute modification, aidant les organisations à anticiper les résultats de réduction plutôt qu'à y réagir.

Les écosystèmes industriels progressent grâce à la fabrication neutre en carbone des puces, à la logistique circulaire augmentée par l'IA et à l'innovation dans les matériaux bas carbone, étendant la suffisance aux chaînes d'approvisionnement, à l'industrie manufacturière et aux infrastructures de semi-conducteurs. Ces capacités reflètent la prévision du rapport selon laquelle les marchés liés à l'économie circulaire et aux logiciels de durabilité connaîtront une croissance régulière jusqu'en 2030.

● Au-delà : **Infrastructure de suffisance à l'échelle des systèmes**

À plus long terme, la suffisance cesse d'être une pratique d'entreprise pour devenir une infrastructure sociétale.

Les jumeaux numériques planétaires intègrent climat, infrastructures et systèmes économiques afin de modéliser des trajectoires de suffisance de long terme dans le respect des limites planétaires. Les simulateurs de politiques de suffisance guidés par l'IA permettent aux États et aux villes de tester, avant leur mise en œuvre, des stratégies de réduction de la demande, des politiques d'achats circulaires et des interventions réglementaires. À l'échelle des systèmes énergétiques, les sources bas carbone de nouvelle génération — au premier rang desquelles la fusion nucléaire — s'imposent comme des fondations potentielles d'une puissance de base stable et abondante, compatible avec la suffisance. Bien qu'encore précommerciales, les avancées rendues possibles par l'IA et le quantique en matière de simulation, de contrôle des plasmas et d'informatique des matériaux accélèrent le passage de la fusion du stade de percée scientifique à celui d'infrastructure énergétique déployable.

Les matériaux bio-intelligents et les économies régénératives décentralisées signalent un déplacement vers une création de valeur régénérative, dans laquelle les cycles de matières, d'énergie et de production deviennent intrinsèquement circulaires. Ces innovations de long horizon s'inscrivent dans l'accent mis par le rapport sur la gouvernance adaptative, les co-bénéfices humains et écologiques, ainsi que sur la résilience systémique comme marqueurs ultimes de la suffisance.

Radar technologique

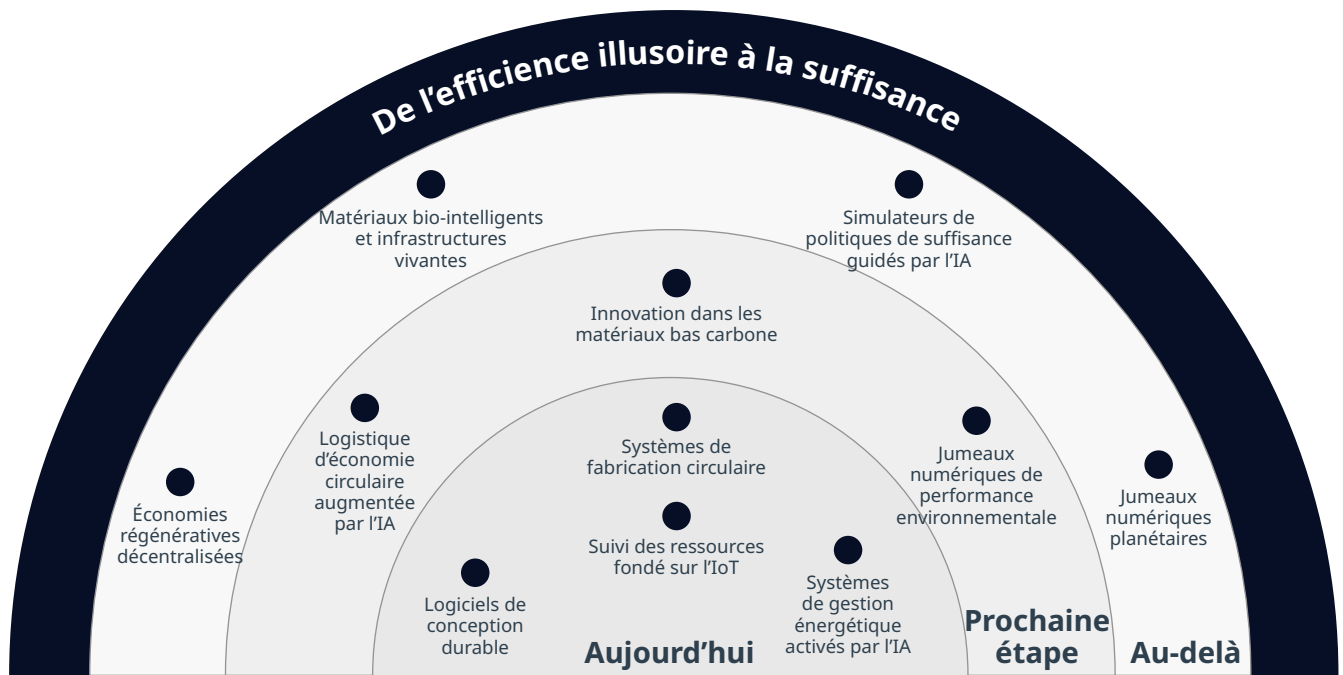


Figure 13 : de l'efficacité illusoire à la suffisance — radar technologique

Signaux et écosystème

Signaux de marché

Segment	Taille du marché 2024 (Md USD)	Taille du marché 2029 (Md USD)	TCAC (2024-2029)
Technologies vertes et durabilité	23,10	65,30*	23,1 %
Économie circulaire	465,20*	794,40*	11,3 %
Services de conseil en durabilité	36,40*	114,20*	25,7 %
Logiciels de gestion de la durabilité / ESG	3,21*	6,88*	16,7 %

Table 11: From illusory efficiency to sufficiency: Market size and forecast ²⁴

* Estimations internes

La suffisance évolue d'une logique de conformité vers une réduction opérationnelle mesurable.

²⁴ Sources: Grand View Research. [Market Analysis Report: Green Technology & Sustainability Market \(2025-2030\)](#), The Business Research Company. [Circular Economy Market Report 2026](#), Mars 2026. Mordor Intelligence. [Sustainability Consulting Services Market Size & Share Analysis - Growth Trends and Forecast \(2026-2031\)](#), Janvier 2026. Grand View Research. [Market Analysis Report: Sustainability Management Software Market \(2024-2030\)](#).

Signaux d'adoption en entreprise

À la mi-2025, plus de

1.400

entreprises avaient fixé des objectifs net zéro, représentant **38%** de l'ensemble des entreprises engagées dans une telle trajectoire.²⁵

D'ici 2030, plus de

65%

des entreprises mondiales utiliseront des logiciels ESG pilotés par une IA agentique pour soutenir un approvisionnement durable.²⁶



Les moteurs réglementaires — CSRD, ISSB, SEC — **accélèrent la mise en place de flux de données ESG vérifiables et de dispositifs de traçabilité.**

Signaux de partenariats sectoriels

Les secteurs de l'industrie manufacturière, de la finance, du commerce de détail, de la santé, de la logistique et de l'énergie sont en tête de l'adoption des dispositifs de traçabilité, de l'intelligence cycle de vie et de la réduction vérifiée.

Enseignements sur la courbe d'adoption

2024 à 2026

Les systèmes de données ESG, les plateformes de traçabilité et l'intelligence cycle de vie gagnent rapidement du terrain sous l'effet de la réglementation.

2026 à 2028

La suffisance opérationnelle change d'échelle grâce à la conception circulaire, aux processus sobres en ressources et à l'optimisation par jumeaux numériques.

2028 à 2030

Les réductions vérifiées de l'énergie, des matières et des émissions deviennent des métriques de performance standard.

2030+

La suffisance devient un modèle opératoire structurel, guidant investissement, innovation et résilience de long terme.



^{25, 26} Science Based Targets, [Data and Trends - Science Based Targets Initiative](#).

Start-up pertinentes

Start-up	Présentation	Création	Stade de financement	Financement total (USD)
Akselos	Fournit une plateforme de simulation fondée sur les jumeaux numériques pour les actifs industriels (navires, infrastructures énergétiques).	2012	Série A/B	29,5 M
CleanHub	Exploite une plateforme aidant les marques à financer et gérer la récupération des déchets plastiques dans l'environnement.	2020	Seed / Venture	11,9 M
Felt	Outil collaboratif, web et cartographique de visualisation de données géospatiales.	2021	Venture / série inconnue	34,5 M
Neara	Plateforme logicielle exploitant jumeaux numériques et IA pour modéliser, simuler et gérer des réseaux complexes d'infrastructures et de services publics.	2016	Série C	60,8 M
Rheaply	Plateforme d'entreprise destinée à l'échange interne de ressources et à la gestion d'actifs, favorisant circularité et durabilité.	2015	Venture / série inconnue	32,8 M
TwinUp	Conçoit des jumeaux numériques géospatiaux en temps réel pour les villes, les infrastructures et l'industrie, permettant aux décideurs de simuler, superviser et optimiser virtuellement des systèmes physiques.	2022	Inconnu	7 M

Tableau 12 : de l'efficacité illusoire à la suffisance — start-up pertinentes ²⁷

²⁷ Les informations présentées ici reposent sur des données issues de Crunchbase (<https://www.crunchbase.com/>). Leur exactitude et leur exhaustivité dépendent de la source et peuvent évoluer dans le temps.

Cas d'usage et applications

Les exemples suivants illustrent la manière dont la suffisance devient un modèle opératoire concret dans les secteurs, sous l'effet de l'intelligence numérique, des chaînes de valeur circulaires et de données environnementales vérifiables.

01 Infrastructure sobre en ressources — micro-réseaux de suffisance et bâtiments pilotés par les données

Les entreprises et les collectivités déploient des modèles de suffisance fondés sur des micro-réseaux qui optimisent à l'échelle locale la production, le stockage et la consommation d'énergie.

Les systèmes de gestion énergétique activés par l'IA équilibrent les charges entre solaire, éolien, hydrogène, batteries et apports du réseau, permettant aux communautés d'évoluer dans des seuils de suffisance qu'elles fixent elles-mêmes plutôt que de maximiser les volumes.

Parallèlement, l'exploitation des bâtiments pilotée par les données mobilise le suivi IoT, les jumeaux numériques et l'analytique prédictive afin de réduire les besoins de chauffage, de refroidissement et d'éclairage.

Ces capacités rendent possibles des réductions significatives d'énergie à l'échelle de campus, tout en produisant des éléments de preuve compatibles avec les exigences d'audit de la CSRD et de l'ISSB.

02 Production circulaire et chaînes d'approvisionnement à faible déchet — l'IA au service de la réduction des déchets

Les industriels recourent de plus en plus à des boucles de fabrication circulaire soutenues par l'analytique cycle de vie, les systèmes de traçabilité des matières et la réduction des déchets pilotée par l'IA.

Les jumeaux numériques modélisent le cycle de vie des composants pour déterminer s'ils doivent être réparés, reconditionnés ou recyclés, aidant ainsi les entreprises à passer d'une logique de fin de vie à des cycles régénératifs.

Les réseaux logistiques intègrent un routage circulaire augmenté par l'IA pour optimiser les chargements, orchestrer la logistique inverse et réduire les pertes de matière dans les entrepôts et les flux de transport. Ces systèmes transforment les chaînes d'approvisionnement linéaires en écosystèmes circulaires à faible intensité de ressources.

03 Prise de décision sensible aux limites planétaires — agriculture de précision et tableaux de bord des seuils

L'agriculture de précision s'appuie sur l'analyse des sols pilotée par l'IA, l'imagerie multispectrale et l'optimisation de la micro-irrigation afin d'accroître les rendements tout en réduisant la consommation d'eau, d'engrais et de carburant, alignant ainsi la productivité agricole sur la suffisance plutôt que sur la maximisation.

Ces systèmes mettent l'accent sur une gestion systémique des ressources et contribuent à stabiliser l'usage des intrants dans un contexte de contraintes environnementales croissantes.

À une échelle plus large, les tableaux de bord des limites planétaires agrègent données satellitaires, inventaires d'émissions, métriques d'usage de l'eau et indicateurs de circularité afin d'orienter les décideurs vers un niveau « suffisant ».

Il en résulte un indice global de suffisance signalant l'approche de limites écologiques. Les États et les entreprises s'appuient sur ces tableaux de bord pour aligner politiques publiques, achats et décisions d'investissement sur des seuils environnementaux vérifiés.

Scénarios futurs

Le routage des charges de travail sensible au carbone devient la norme

Les charges de travail IA et cloud se déplacent automatiquement vers les régions où l'intensité carbone est la plus faible, même au prix de compromis sur la latence ou le coût.



Principales incertitudes de ce scénario

- Les clients accepteront-ils des arbitrages de latence au profit d'un calcul plus sobre ?
- Les API énergétiques et carbone seront-elles normalisées à l'échelle des régions ?

Les politiques de suffisance appliquées au calcul remplacent l'optimisation par les coûts

Les entreprises imposent des plafonds de consommation de calcul par modèle, par équipe ou par client, déplaçant l'innovation d'une logique d'échelle vers une logique d'efficacité.



Principales incertitudes de ce scénario

- Les nouvelles architectures matérielles réduiront-elles assez vite l'énergie par unité de calcul pour éviter des plafonds stricts ?
- La pression concurrentielle poussera-t-elle les entreprises à s'affranchir des politiques de suffisance ?

Le renversement de la taille des modèles devient la norme sectorielle

Des petits modèles hyperspécialisés, optimisés par domaine, surpassent pour la plupart des usages d'entreprise les grands modèles généralistes, donnant naissance à une économie de l'IA « post-échelle ».



Principales incertitudes de ce scénario

- Les outils et la gestion du cycle de vie des petits modèles atteindront-ils une maturité industrielle ?
- À quelle vitesse les organisations pourront-elles migrer des LLM généralistes vers des SLM verticaux ?



Enseignements stratégiques



Passer de l'optimisation à la réduction absolue

L'efficacité ne suffit plus. Les organisations doivent redessiner opérations, produits et infrastructures afin d'obtenir des réductions vérifiables de l'énergie totale, des matières et des émissions, et non de simples améliorations incrémentales. Cela suppose d'intégrer une logique de suffisance dès la conception dans la recherche, le développement produit, les achats, la production, le service et le déclassement.



Construire une colonne vertébrale numérique de traçabilité et de responsabilité

La réglementation exige désormais des données environnementales de haute fidélité, prêtes pour l'audit. Les entreprises doivent donner la priorité aux pipelines de données ESG, aux plateformes de comptabilité carbone, à l'analytique cycle de vie et aux systèmes de gestion circulaire des actifs afin de disposer d'un socle fiable pour les décisions de conformité et de réduction. Les preuves numériques — et non les estimations — détermineront à la fois la préparation réglementaire et la crédibilité vis-à-vis des marchés de capitaux.



Opérationnaliser la circularité à l'échelle des chaînes de valeur

La suffisance devient scalable lorsque les flux circulaires — réparation, réemploi, reconditionnement, récupération — sont opérationnalisés au moyen de l'IA, des jumeaux numériques et de la traçabilité. Les systèmes industriels qui adoptent des boucles circulaires et des analyses de réduction des déchets obtiennent déjà des réductions significatives des pertes de matière. Les entreprises doivent intégrer la circularité à la conception des chaînes d'approvisionnement, à la logistique, au cycle de vie des actifs informatiques et aux processus industriels afin de conjuguer gains de court terme et résilience de long terme.



- Si l'efficacité n'est plus la voie vers l'alignement climatique, quelle composante de notre modèle opérationnel doit être fondamentalement transformée — non pas optimisée, mais réinventée — pour atteindre un niveau « suffisant » plutôt qu'un niveau « supérieur » ?
- Quelles parties prenantes déterminent la suffisance pour notre organisation, et selon quelles modalités ces limites sont-elles gouvernées dans le temps ?
- Sommes-nous prêts à repenser produits, services et incitations autour de la durabilité, du réemploi et de la retenue, même si cela remet en cause des modèles de revenus de court terme ?

La technologie en contexte : la prospective à l'échelle des secteurs

Les six macro-tendances prennent toute leur portée lorsqu'elles sont examinées à travers le prisme de la transformation sectorielle. Chaque secteur évolue dans un environnement réglementaire, des attentes clients, des réalités opérationnelles et des pressions concurrentielles qui lui sont propres, et fait donc l'expérience de l'intelligence de masse selon des modalités différentes.

Les perspectives présentées ici montrent comment la convergence technologique se traduit en transformation sectorielle et révèlent comment ces six mêmes macro-tendances se manifestent différemment selon les chaînes de valeur, les cadres réglementaires et les modèles opérationnels.

Des usines et des hôpitaux aux banques, aux écosystèmes de mobilité, aux réseaux télécoms et aux assureurs, l'interaction entre l'autonomie, les systèmes sensibles aux émotions, une intelligence digne de confiance, l'infrastructure intelligente et une conception guidée par la suffisance influence non seulement la compétitivité, mais aussi la résilience de secteurs entiers.

La carte thermique ci-dessous met en évidence les secteurs dans lesquels les six macro-tendances exercent l'impact le plus fort, avant d'entrer dans chaque perspective.

Carte thermique de pertinence des tendances

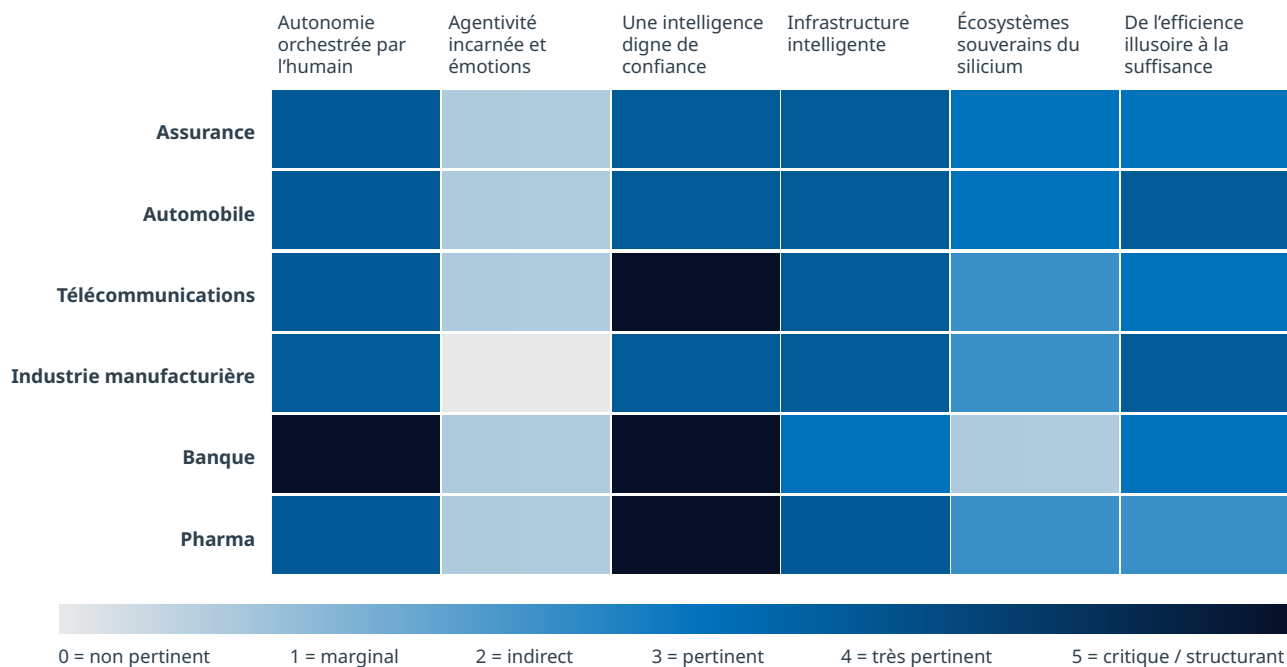


Figure 14 : carte thermique de pertinence des tendances

Perspectives sectorielles

Assurance

Le secteur de l'assurance aborde 2026 confronté à une inflation du risque systémique, à la pression exercée par la distribution intégrée, à des exigences de souveraineté des données et aux ruptures opérationnelles induites par l'IA agentique, l'automatisation et l'IoT.

L'aggravation des catastrophes naturelles liées au climat, l'accumulation du risque cyber, le risque de longévité et la fragmentation géopolitique creusent le déficit de protection à mesure que la capacité de réassurance se tend et que le capital devient plus coûteux.

Dans le même temps, les clients attendent des expériences d'assurance intégrées, préventives, sensibles aux émotions et hyperpersonnalisées, souvent délivrées via des plateformes tierces.

Les acteurs de l'insurtech accélèrent cette évolution en refondant la tarification, la souscription et la gestion des sinistres autour de données en temps réel et d'une détection continue du risque.

Le secteur passe ainsi d'une logique réactive d'indemnisation à une logique prédictive, préventive et pilotée par les données au service de la résilience, soutenue par des agents intelligents, des jumeaux numériques et des écosystèmes de partenaires.

Principaux défis sectoriels



Inflation du risque systémique et résilience des portefeuilles

Les risques climatiques, cyber, démographiques et géopolitiques dépassent les modèles traditionnels, ce qui impose des données plus riches, des jumeaux numériques et des stratégies de réassurance plus efficaces.



Distribution intégrée, dynamique de plateforme et confiance client

L'accès passe de plus en plus par les plateformes du commerce, de la mobilité et de la finance, ce qui exige une intégration native par API, une économie transparente et des interactions sensibles aux émotions.



Souscription, sinistres et opérations pilotés par l'IA

L'automatisation améliore la rapidité et la précision, mais reste tributaire de l'explicabilité, de la maîtrise des biais, de l'équité et de la confiance réglementaire.



Cybersécurité, souveraineté des données et conformité by design

Les événements cyber corrélés, les règles de confidentialité et les exigences de localisation imposent une modernisation fondée sur des architectures modulaires et secure by design.



Prévention, modèles circulaires et intégration de la durabilité

L'IoT, la télématique, les wearables et les données comportementales orientent les assureurs vers une prévention continue et une tarification fondée sur les résultats.

Pertinence des tendances sur la chaîne de valeur de l'assurance

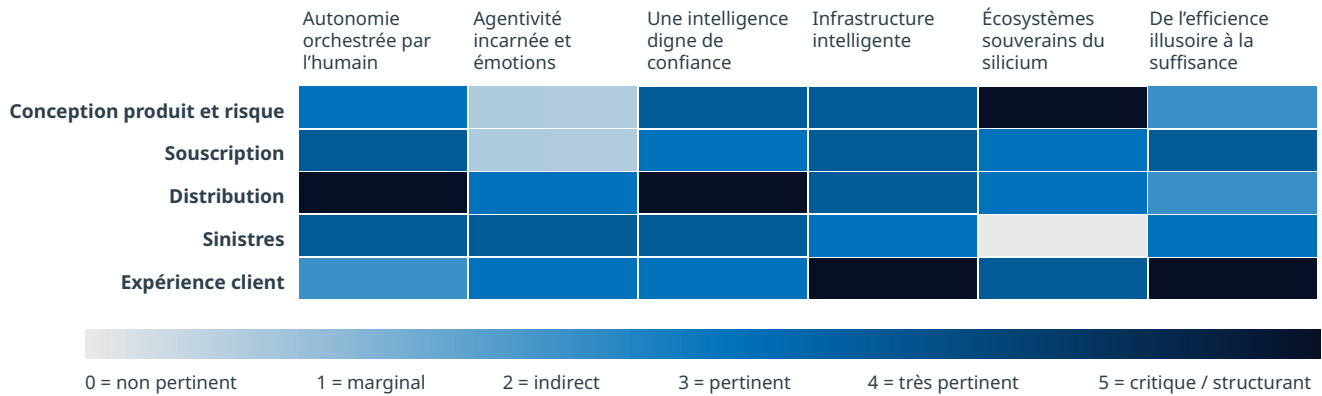


Figure 15 : chaîne de valeur de l'assurance — carte thermique de pertinence

Moteurs de transformation

Opérations d'assurance agentiques et automatisation guidée par l'humain

Les agents d'IA orchestrent la souscription, la gestion des sinistres et les workflows de back-office en plusieurs étapes, en augmentant vitesse et cohérence tout en préservant la responsabilité humaine, les mécanismes d'escalade et le contrôle réglementaire.

Intelligence du risque haute résolution et prévention

L'analytique géospatiale, les jumeaux numériques, l'IoT, la télématique, les wearables et les biosignaux apportent une vision quasi temps réel des risques physiques, cyber et comportementaux, permettant une tarification plus précise, une meilleure prévention et un pilotage plus fin des portefeuilles.

Modèles de distribution intégrés et natifs API

Les plateformes API-first permettent d'intégrer l'assurance de manière fluide dans les parcours de mobilité, de commerce, de banque et de partenaires, déplaçant la croissance depuis des produits autonomes vers des protections contextuelles, fondées sur l'usage et déclenchées par l'événement.

Engagement client sensible aux émotions et aux comportements

L'analytique affective et les insights comportementaux personnalisent la communication, les nudges de prévention et les interactions de gestion des sinistres, renforçant la confiance, l'engagement et la fidélisation dans des parcours de plus en plus numériques.

IA de confiance, cybersécurité et gouvernance de la décision

Des modèles explicables, une gouvernance du cycle de vie de l'IA, la détection des deepfakes et des cyberdéfenses adaptatives garantissent que les décisions de souscription et de gestion des sinistres demeurent auditable, équitables et résilientes à mesure que l'automatisation change d'échelle.

Infrastructure intelligente, modulaire et prête pour les écosystèmes

Des architectures hybrides cloud-edge, des couches de données interopérables et des services modulaires permettent aux assureurs de déployer l'IA à l'échelle, d'intégrer rapidement des partenaires et de réagir dynamiquement aux événements de risque sans sacrifier la fiabilité.

Calcul souverain, résidence des données et préparation post-quantique

Le traitement régionalisé, le confidential computing, la diversification des fournisseurs d'infrastructure et une préparation précoce au post-quantique renforcent la conformité, la résilience et la continuité opérationnelle dans un paysage réglementaire fragmenté.

Cas d'usage sectoriel

Jumeau de risque géospatial et IA de confiance

Un assureur mondial met en place un jumeau de risque géospatial continuellement mis à jour, intégrant imagerie satellite, modèles 3D de biens, cartes d'aléas, données historiques de pertes et analyses d'exposition. En amont d'événements catastrophiques, les équipes simulent le risque de concentration, la sévérité des pertes et les stratégies de réassurance. Pendant et après des événements de perte de grande ampleur, des modèles d'IA de confiance réactualisent le jumeau à partir des images, de l'IoT et des données de sinistres, puis proposent les meilleures actions à engager, depuis l'ajustement du triage jusqu'aux versements paramétriques.

Résultats

- Estimation des pertes plus rapide et plus précise
- Accompagnement client plus précoce
- Réduction de la fraude
- Décisions de portefeuille plus résilientes
- Reporting transparent pour les régulateurs et les réassureurs

Priorités stratégiques

01

Construire des systèmes d'intelligence du risque au service de portefeuilles résilients

Intégrer données géospatiales, IoT, télématique, biosignaux et données de jumeaux numériques afin d'éclairer la souscription, la tarification, l'accumulation et l'allocation du capital.

02

Industrialiser une IA agentique responsable sur l'ensemble de la chaîne de valeur

Déployer des cadres d'IA explicable et gouvernée pour la souscription, les sinistres, la fraude et les opérations client.

03

Basculer vers des modèles intégrés, guidés par l'émotion et centrés sur la prévention

Mobiliser analytique comportementale, biométrie, télématique et API embarquées pour offrir une prévention personnalisée et une protection fluide au sein même des parcours.

Automobile

Le secteur automobile entre en 2026 sous une forte pression pour électrifier de manière rentable, déployer à grande échelle les software-defined vehicles (SDV), sécuriser les approvisionnements en batteries et en semi-conducteurs, et composer avec la fragmentation géopolitique des chaînes industrielles et technologiques.

L'adoption des véhicules électriques continue de progresser, mais les marges restent sous pression en raison du coût des batteries, de l'évolution des subventions, de l'immaturité des réseaux de recharge et d'une concurrence mondiale soutenue, notamment de la part des constructeurs chinois.

Les véhicules deviennent des plateformes numériques connectées en permanence, créant de nouvelles attentes en matière de cybersécurité, de souveraineté des données et de qualité logicielle. Les nouveaux usages de mobilité — abonnement, usage partagé et recharge à domicile — transforment également les modèles de revenus.

La prochaine vague de différenciation reposera sur l'autonomie, les usines intelligentes, les écosystèmes énergétiques intelligents, les matériaux durables et les plateformes circulaires de véhicules électriques, ce qui exige des feuilles de route synchronisées entre matériel, logiciel, énergie et partenariats d'écosystème.



Principaux défis sectoriels



Rentabilité des véhicules électriques, économie des batteries et circularité

Les constructeurs doivent améliorer l'économie unitaire via la réutilisation des plateformes, la diversification des chimies, le recyclage, les flux de seconde vie et des modèles transparents de coût total de possession.



Fiabilité des SDV et qualité des mises à jour OTA

Les véhicules riches en logiciels exigent des pipelines DevOps/MLOps robustes, des safety cases, des mécanismes d'attestation du silicium et une qualité irréprochable des mises à jour afin de préserver confiance et revenus.



Semi-conducteurs, chaîne d'approvisionnement et résilience géopolitique

La diversification des fournisseurs, la co-conception des puces, la relocalisation industrielle et des réseaux d'approvisionnement mieux sécurisés réduisent l'exposition aux goulets d'étranglement critiques.



Infrastructure de recharge, intégration énergétique et expérience client

Une recharge fiable, une intelligence tarifaire et des services énergétiques activés par le vehicle-to-everything (V2X) sont essentiels à la satisfaction client et à l'adoption des véhicules électriques.



Cybersécurité, sûreté et gouvernance des données

Les réglementations de la CEE-ONU, les normes ISO/SAE, les règles de consentement sur les données et les architectures secure by design imposent une supervision et une conformité continues.

Pertinence des tendances sur la chaîne de valeur automobile

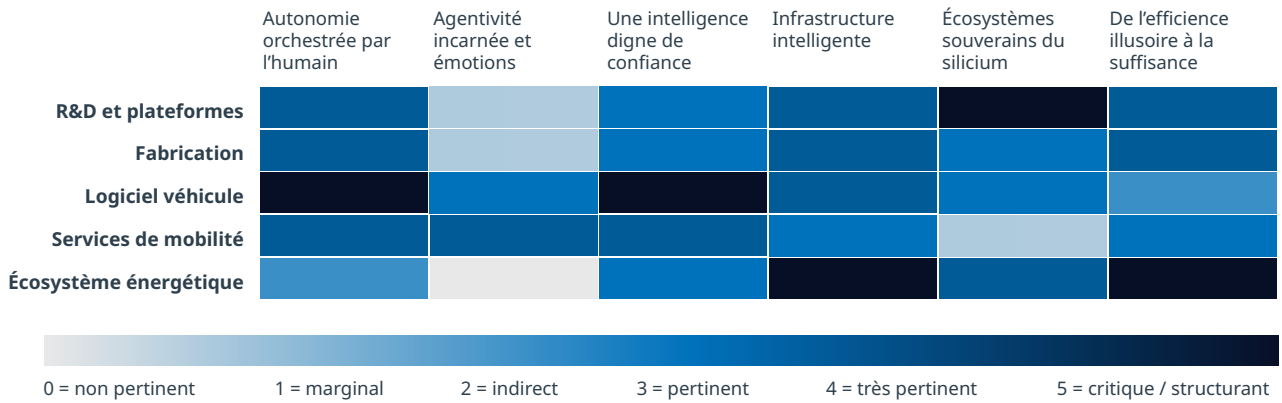


Figure 16 : chaîne de valeur automobile — carte thermique de pertinence

Moteurs de transformation

Opérations agentiques des véhicules, des usines et des flottes

Les agents d'IA coordonnent la planification de la production, le contrôle qualité, les déploiements OTA et l'ajustement du comportement des flottes, permettant des réactions plus rapides et une optimisation continue tout en maintenant une supervision humaine en matière de sûreté et de conformité.

Jumeaux numériques haute fidélité sur l'ensemble du cycle de vie

Des jumeaux numériques des véhicules, des usines, des batteries et des flottes simulent performances, défauts et usage énergétique, réduisent le risque de lancement, accélèrent le développement et améliorent coût de cycle de vie et fiabilité.

Plateformes SDV et évolution continue

Des pratiques industrialisées de DevOps/MLOps, des architectures SDV modulaires et des pipelines OTA sécurisés permettent des mises à jour fréquentes et une meilleure monétisation sans compromettre la sûreté, la qualité ni la confiance client.

Expériences embarquées sensibles aux émotions et au contexte

La détection de l'état du conducteur, l'IA affective et les assistants contextuels personnalisent les interactions, réduisent les distractions et favorisent l'adoption des services numériques et des abonnements.

Logiciel de confiance, cybersécurité et sûreté fonctionnelle

Des piles véhicules secure by design, des cycles de vie logiciels traçables et une validation adaptée aux fonctions critiques protègent véhicules, clients et marques à mesure que connectivité et autonomie progressent.

Écosystèmes intelligents de recharge et d'énergie

L'analytique temps réel coordonne véhicules, infrastructures de recharge, signaux réseau et systèmes énergétiques domestiques afin d'améliorer la disponibilité, de réduire les coûts et d'élever l'expérience de possession.

Pile souveraine et résiliente de semi-conducteurs et de calcul

La co-conception d'un silicium de grade automobile, le double sourcing et la régionalisation du calcul réduisent l'exposition aux chocs d'approvisionnement et aux contraintes géopolitiques tout en améliorant la performance par watt des SDV.

Circularité et systèmes de matériaux durables

Les passeports produits, l'intelligence appliquée au recyclage et les chaînes de réemploi pilotées par l'IA soutiennent la décarbonation, la stabilité matière et la crédibilité ESG.

Cas d'usage sectoriel

Jumeau logiciel et OTA de confiance

Un constructeur mondial met en place un jumeau logiciel intégrant architectures SDV, données terrain, journaux capteurs, sorties de simulation et safety cases. Avant les mises à jour OTA, les équipes simulent les performances, les interactions de sûreté, les dérives et l'impact client. Des modèles d'IA de confiance — validés par la traçabilité, l'attestation cybersécurité et les artefacts de test — actualisent le jumeau au fil des données issues des flottes et recommandent des ajustements de seuil, de localisation ou de déploiement.

Résultats

- Cycles de mise en production plus rapides
- Moins de défauts
- Réduction du risque de rappel
- Hausse du taux d'adoption des abonnements
- Renforcement de la confiance réglementaire

Priorités stratégiques

01

Industrialiser les SDV et les opérations agentiques à travers le produit et la production

Unifier ingénierie, fabrication, qualité et workflows OTA au moyen de jumeaux numériques et d'une autonomie gouvernée.

02

Construire une pile résiliente et souveraine associant énergie, calcul et matériaux

Sécuriser les batteries, la résilience des semi-conducteurs, les flux de données en cloud souverain et les écosystèmes énergétiques intégrés au service de la stabilité et de la performance.

03

Basculer vers des modèles de revenus centrés sur le cycle de vie et l'expérience

Exploiter télémétrie, intelligence émotionnelle, recharge intelligente et abonnements transparents pour maximiser la valeur sur la durée.

Télécommunications

Les télécommunications abordent 2026 sous des pressions simultanées de croissance, de coûts et de souveraineté.

Alors que le trafic continue d'augmenter fortement, les revenus stagnent, créant une course structurelle à la baisse du coût par bit. Les opérateurs doivent arbitrer entre déploiement de la 5G standalone, extension de la fibre, maturité de l'Open RAN et migrations vers des architectures telco-cloud, dans un contexte de capex durablement élevés.

Dans le même temps, les entreprises demandent des réseaux privés 5G, du multi-access edge computing (MEC), du network slicing, l'intégration de l'IoT et des mécanismes d'assurance fondés sur des API, ce qui oblige les opérateurs à évoluer d'un rôle de fournisseurs de connectivité vers celui de plateformes de services fondées sur les résultats.

La volatilité des prix de l'énergie, les attentes de durabilité et les tensions géopolitiques touchant le spectre, les partenariats cloud et l'approvisionnement en silicium poussent en outre les télécoms à opérer comme des fournisseurs d'infrastructures critiques. Les clients attendent des interactions fluides, centrées sur les applications, tandis que les développeurs attendent des réseaux ouverts et programmables.

Ces dynamiques accélèrent le passage du telco au techco, avec le logiciel, l'IA, l'automatisation et les écosystèmes de plateforme au cœur de la compétitivité.



Principaux défis sectoriels



Monétiser la 5G, le MEC et les API

Les opérateurs doivent transformer le network slicing, les réseaux privés sans fil et les API programmables en offres scalables pour les entreprises et les développeurs.



Économie des réseaux, automatisation et réduction du coût unitaire

L'AIOPS, les réseaux autonomes et les cœurs cloud-native sont essentiels pour enrayer l'érosion du coût par bit tout en améliorant la fiabilité.



Expérience client, parcours intégrés et bundles équitables

La différenciation dépend de plus en plus de plans transparents, d'interactions sensibles aux émotions et de bundles d'écosystème — y compris contenus OTT et subventions sélectives du trafic — qui renforcent fidélité et réduction du churn.



Sécurité, résilience et souveraineté des données

L'élargissement des surfaces d'attaque et les nouvelles réglementations imposent le zero trust, le traitement régionalisé, la sécurisation de la chaîne d'approvisionnement et la continuité opérationnelle.



Dépendance vis-à-vis des semi-conducteurs, du cloud et des fournisseurs

L'influence croissante des hyperscalers et des fabricants de puces exige davantage de diversité silicium, des options de cloud souverain et une maturité accrue de l'Open RAN.

Pertinence des tendances sur la chaîne de valeur télécom

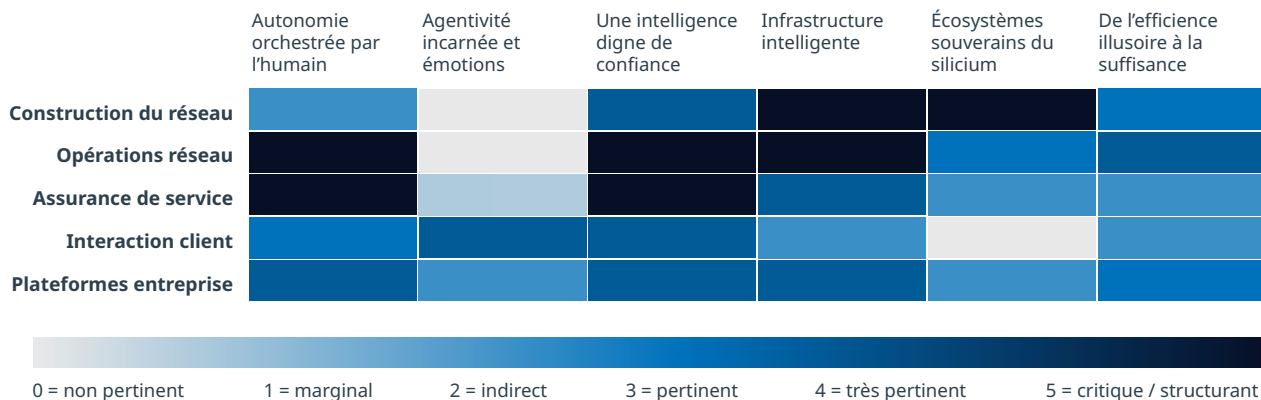


Figure 17 : chaîne de valeur télécom — carte thermique de pertinence

Moteurs de transformation

Opérations réseau agentiques et automatisation guidée par l'humain

Un pilotage en boucle fermée fondé sur l'IA automatise assurance, optimisation et reprise à travers le RAN, le transport et le cœur de réseau, améliorant fiabilité et rapidité tout en maintenant la responsabilité humaine sur la sûreté, les politiques et les mécanismes d'escalade.

Réseaux programmables, API et services fondés sur les résultats

Le network slicing, les réseaux privés sans fil, le MEC et des API standardisées exposent les capacités réseau sous forme de services programmables, permettant aux entreprises et aux développeurs de consommer à la demande latence, fiabilité et sécurité garanties.

Infrastructure réseau intelligente et temps réel

Télémetrie continue, jumeaux numériques, AIOps et intelligence edge-cloud transforment les réseaux en systèmes auto-supervisés qui optimisent en temps réel performance, usage énergétique et efficacité des déploiements.

Expérience client, parcours intégrés et bundles d'écosystème

Une relation client app-first, des interactions sensibles aux émotions et des bundles d'écosystème — notamment contenus OTT et intégration de services — renforcent la fidélité dans les segments grand public et entreprise.

Sécurité, résilience et opérations réseau souveraines

Les architectures zero trust, le traitement régionalisé, la sécurisation de la chaîne d'approvisionnement et des plans de continuité testés protègent des surfaces d'attaque IT/OT en expansion et positionnent les télécoms comme opérateurs d'infrastructures critiques nationales.

Diversification du cloud, du silicium et des fournisseurs

L'Open RAN, les stratégies multicloud et la diversification des approvisionnements en silicium réduisent la dépendance aux hyperscalers et aux fabricants de puces tout en préservant maîtrise des coûts, performance et autonomie stratégique de long terme.

Cas d'usage sectoriel

Assurance en boucle fermée fondée sur l'IA pour les SLA entreprise

Un opérateur européen déploie une assurance en boucle fermée, pilotée par l'IA, pour ses clients privés 5G et MEC. La télémétrie temps réel du RAN, du transport et de l'edge est fusionnée avec les paramètres de SLA afin de détecter les anomalies, prévoir la congestion, ajuster les configurations de network slices et rerouter le trafic de façon autonome. Lorsque des seuils sont menacés, le système notifie les clients, déclenche des actions correctives et consigne chaque étape pour audit.

Résultats

- Meilleur respect des SLA
- Réduction du mean time to repair (MTTR)
- Réduction du churn
- Meilleure efficacité énergétique
- Transparence complète vis-à-vis des régulateurs et des clients entreprise

Priorités stratégiques

01

Industrialiser les réseaux autonomes avec une IA de confiance

Déployer AIOps, jumeaux numériques et assurance en boucle fermée sur l'ensemble des domaines réseau, avec explicabilité, traçabilité et cadres de sûreté.

02

Passer de la connectivité à des services fondés sur les résultats et sur des API

Construire des plateformes automatisées de mise en produit et de delivery pour le network slicing, le MEC, la 5G privée et les API Open Gateway, en exposant des capacités réseau programmables avec garanties de qualité de service.

03

Exploiter les réseaux comme une infrastructure durable et souveraine

Réduire l'énergie par bit, régionaliser les workloads critiques, diversifier le silicium et garantir l'alignement souverain entre cloud et edge pour répondre aux exigences réglementaires.



Industrie manufacturière

L'industrie manufacturière entre en 2026 dans une phase de volatilité structurelle marquée par les chocs sur les chaînes d'approvisionnement, la fragmentation géopolitique, les pressions inflationnistes, la pénurie de main-d'œuvre et la hausse des coûts de l'énergie.

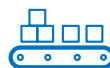
La transformation numérique est indispensable, mais elle est souvent freinée par l'hétérogénéité des systèmes, des données héritées et une montée en échelle inégale d'un site à l'autre. Dans le même temps, les progrès rapides de l'IA physique, de l'intelligence agentique, de la décision temps réel et de l'automatisation intelligente redessinent les opérations d'usine, qui évoluent vers des modèles de production plus adaptatifs, plus résilients et davantage centrés sur l'humain.

Principaux défis sectoriels



Monter en échelle sur le ROI des usines intelligentes dans des environnements hétérogènes

Atteindre gains de productivité, qualité, réduction de l'énergie et autonomie sur des sites variés exige des données, des toolchains et des modèles opérationnels standardisés.



Résilience de la chaîne d'approvisionnement dans un contexte volatil

Des disruptions persistantes et une forte concentration des fournisseurs imposent multisourcing, visibilité temps réel et réponses agiles conciliant coût et besoin en fonds de roulement.



Transformation des compétences et collaboration humain-machine

Les déficits de compétences en automatisation et en données exigent reskilling et nouveaux modèles de collaboration humain-machine à mesure que l'autonomie progresse.



Fondations de données et confiance cyber-physique

Le déploiement de l'IA à l'échelle repose sur des données unifiées et gouvernées ainsi que sur une sécurité IT/OT robuste, au service de la traçabilité, de la disponibilité et d'un déploiement conforme des modèles.



Durabilité, énergie et efficience du capital

La suffisance, la circularité et les objectifs de décarbonation influencent les décisions relatives au produit, aux ressources et aux investissements, à mesure que performance coût et performance carbone convergent.

Pertinence des tendances sur la chaîne de valeur manufacturière

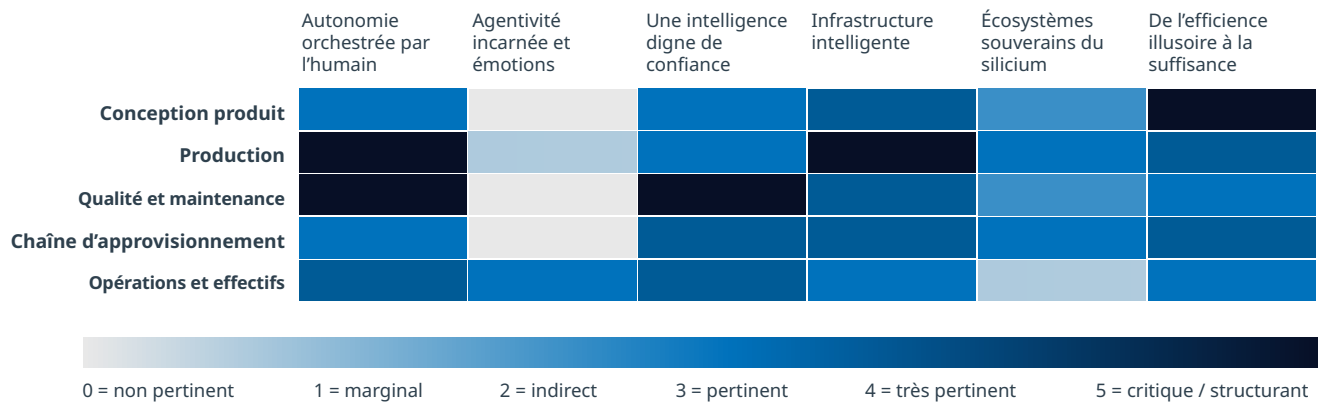


Figure 18 : chaîne de valeur manufacturière — carte thermique de pertinence

Moteurs de transformation

Opérations d'usine agentiques et automatisation guidée par l'humain

Les agents d'IA orchestrent planification, production, qualité et réponse aux aléas entre machines, lignes et sites, permettant une adaptation plus rapide aux disruptions tout en maintenant la responsabilité humaine sur la sûreté, l'éthique et les arbitrages de performance.

Socle de données industrielles unifié et interopérabilité

Des couches de données temps réel, neutres vis-à-vis des fournisseurs, relient machines, systèmes OT, systèmes d'exécution et plateformes MES/MOM, créant un socle scalable pour l'analytique, les jumeaux numériques et la réplification de valeur entre sites.

IA physique, robotique et automatisation flexible

L'IA embarquée dans les machines, les robots et les cellules autonomes permet des agencements de production adaptatifs, une meilleure réactivité aux petites séries et une collaboration humain-machine plus sûre, sans reconfiguration permanente des lignes.

Infrastructure manufacturière intelligente et temps réel

Des architectures edge-cloud, une télémétrie continue et des jumeaux numériques opérationnels optimisent débit, usage énergétique, maintenance et stabilité des lançements à travers sites et réseaux d'approvisionnement.

IA de confiance, sécurité cyber-physique et gouvernance

Des modèles explicables, une sécurité IT/OT secure by design, la traçabilité et des contrôles d'accès pilotés par les politiques protègent l'intégrité de la production, la qualité et la disponibilité à mesure que l'autonomie et la connectivité changent d'échelle.

Production guidée par la suffisance et opérations circulaires

Des capacités ajustées au juste besoin, des plateformes modulaires, le réemploi matière et une optimisation sensible à l'énergie font évoluer l'industrie d'une logique de pure effcience vers des opérations résilientes, durables et efficaces en capital.

Cas d'usage sectoriel

Réponse temps réel aux disruptions avec IA et Unified Data Space

Un fabricant mondial de produits de grande consommation déploie un Unified Data Space (UDS) entre ses usines, créant une couche opérationnelle temps réel qui harmonise données machines, signaux qualité, paramètres de process et intrants d'approvisionnement. Lorsqu'une disruption survient — dérive d'équipement, composant manquant, retard fournisseur — des agents d'IA recommandent immédiatement les meilleures actions suivantes, depuis le replanification jusqu'au sourcing alternatif.

Résultats

- Passage d'une logique de gestion manuelle des urgences à une résilience continue et automatisée
- Réduction des temps d'arrêt, des rebuts et du besoin en fonds de roulement

Priorités stratégiques

01

Construire un socle de données scalable avec gouvernance

Mettre en place une couche de données unifiée et neutre vis-à-vis des fournisseurs pour permettre la réplication inter-sites, la maintenance prédictive, les jumeaux numériques et le pilotage agentique.

02

Opérationnaliser la décision agentique et autonome

Déployer des agents d'IA pour la planification, l'ordonnancement, la maintenance et la réponse supply chain, tout en garantissant gouvernance humaine et contrôles de sûreté.

03

Concevoir une production flexible à l'aide d'une robotique hybride

Associer opérateurs humains, cobots et robots humanoïdes pour accroître l'agilité, compenser les pénuries de main-d'œuvre et réduire les temps d'arrêt.

Banque

La banque entre en 2026 sous une pression structurelle portant sur les coûts, la confiance, la conformité et la croissance.

La concurrence s'intensifie à mesure que les fintechs changent d'échelle, que la finance embarquée progresse, que les portefeuilles numériques se multiplient et que les paiements basculent vers des rails instantanés et compte à compte.

Les régulateurs déploient des cadres exigeants — DORA, NIS2, RGPD, FIDA dans l'Union européenne, ainsi que divers dispositifs de lutte contre le blanchiment — obligeant les banques à exploiter leurs écosystèmes cloud, données, IA et tiers comme des infrastructures critiques réglementées.

Les attentes des clients en matière de transactions instantanées, de frais transparents, de conseil personnalisé et de service sensible aux émotions continuent de croître. Parallèlement, les obligations de publication climatique, l'alignement taxonomique, l'optimisation de la liquidité et la stabilité des dépôts ajoutent une incertitude macroéconomique supplémentaire.

Avec l'émergence des monnaies numériques de banque centrale (CBDC) et des premières infrastructures quantiques et photoniques, les banques doivent moderniser leurs plateformes cœur, leur IA de confiance, leurs paiements, leurs dispositifs de risque et leurs écosystèmes, tout en démontrant résilience opérationnelle et souveraineté.



Principaux défis sectoriels



Modernisation du cœur bancaire, des paiements et de l'infrastructure numérique

Les banques doivent moderniser systèmes cœur, rails de paiement, architectures cloud et fondations de données pour soutenir les services temps réel et la numérisation de la monnaie, y compris monnaies numériques, portefeuilles, identités et règlements sur registre.



Cybersécurité, fraude et complexité de la criminalité financière

L'escalade des menaces sur les identités, les paiements et les API impose authentification continue, analytique réseau et modèles explicables et auditable.



Exigence réglementaire, souveraineté et résilience opérationnelle

Les régulateurs exigent des contrôles auditable, des traitements en région, une traçabilité transparente et une gouvernance rigoureuse des tiers.



IA de confiance, personnalisation et décision éthique

Le conseil personnalisé, la souscription et le servicing reposent sur une IA gouvernée avec des contrôles stricts en matière de consentement, d'équité, d'adéquation et d'atténuation des biais.



Transformation go-to-market et pilotage des marges

La finance ouverte, les canaux intégrés et l'évolution des comportements clients imposent de nouveaux moteurs de tarification, de nouvelles architectures produit et des stratégies centrées sur la customer lifetime value.

Pertinence des tendances sur la chaîne de valeur bancaire

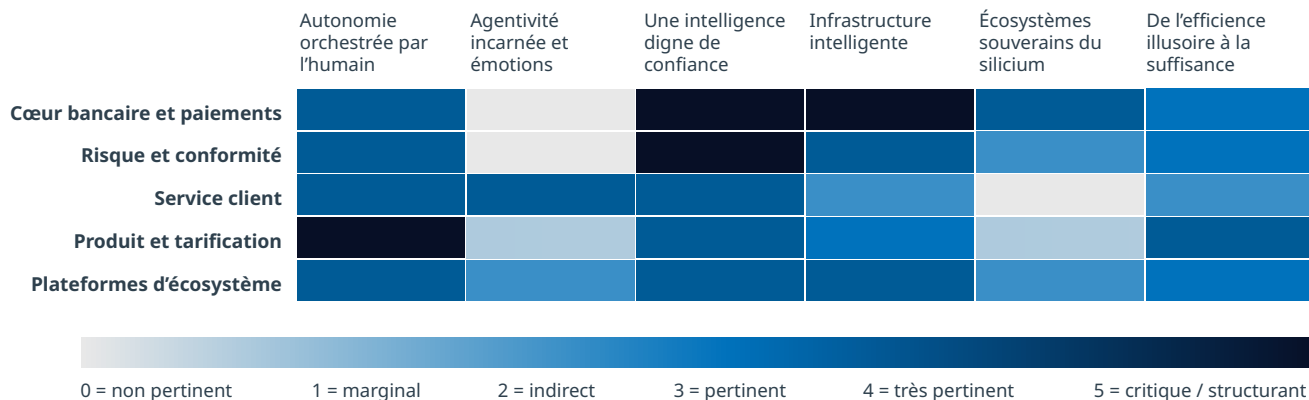


Figure 19 : chaîne de valeur bancaire — carte thermique de pertinence

Moteurs de transformation

Opérations bancaires agentiques et automatisation guidée par l'humain

Les agents d'IA orchestrent des processus multietapes couvrant paiements, onboarding, servicing, finance et opérations, en augmentant rapidité et efficacité tout en préservant validation humaine, séparation des tâches et auditabilité.

Modernisation temps réel du cœur bancaire, des paiements et des registres

Des cœurs event-driven, des rails de paiement instantané et des capacités modernes de tenue de registre permettent des traitements temps réel, des cas d'usage de monnaie programmable et un support scalable pour monnaies numériques, wallets et innovation de règlement.

IA de confiance pour la décision, le risque et la personnalisation

Des modèles gouvernés alimentent souscription, prévention de la fraude, recouvrement et next best actions grâce à l'explicabilité, aux contrôles d'équité, à la traçabilité et à une supervision continue répondant aux attentes des régulateurs comme des clients.

Tissu numérique d'identité, d'authentification et de consentement

Authentification continue, identité numérique robuste et gestion du consentement constituent le socle d'un accès sécurisé aux comptes, API, wallets et parcours embarqués à travers canaux et écosystèmes partenaires.

Infrastructure bancaire intelligente, résiliente et souveraine

Des architectures streaming-first, des opérations fondées sur l'observabilité, des mécanismes de bascule multicloud et des traitements en région garantissent services always-on, conformité réglementaire et reprise rapide des workloads bancaires critiques.

Modèles de distribution intégrés et fondés sur des plateformes

Des architectures API-first permettent aux banques de distribuer paiements, crédit et services via des plateformes tierces et des écosystèmes, déplaçant la croissance vers des parcours contextuels, intégrés et pilotés par l'usage.

Cybersécurité et lutte contre la criminalité financière à l'échelle

Des analyses avancées de la fraude, des dispositifs AML fondés sur les graphes, des signaux comportementaux et des cyberdéfenses coordonnées protègent des flux de paiement à haute vitesse et des interfaces ouvertes tout en maintenant des enquêtes auditables et prêtes pour le régulateur.

Cas d'usage sectoriel

Contrôle agentique de la fraude et de la criminalité financière sur les paiements instantanés

Une banque de premier plan déploie un dispositif temps réel de contrôle de la fraude et de l'AML, alimenté par des paiements en streaming, des empreintes d'appareils, des schémas comportementaux et le contexte client. Les agents d'IA classifient le risque, orchestrent les meilleures actions à engager — depuis l'authentification renforcée jusqu'aux contrôles de sanctions — et génèrent automatiquement des dossiers avec liens d'entités et actions recommandées.

Résultats

- Réduction des pertes liées à la fraude et des faux positifs
- Amélioration de l'expérience client
- Réduction des coûts d'investissement
- Capacité à répondre à des exigences réglementaires strictes

Priorités stratégiques

01

Industrialiser l'IA agentique et de confiance à travers le cœur bancaire, le risque et les opérations

Déployer des agents d'IA gouvernés, avec périmètres stricts, traçabilité, validations et contrôles de confidentialité et d'équité, pour le servicing, les paiements, l'AML, le KYC et la souscription.

02

Faire fonctionner la banque sur une infrastructure intelligente, souveraine et always-on

Adopter des architectures streaming-first, une résilience multicloud et des zones de calcul souveraines pour répondre aux exigences de résilience opérationnelle et de conformité réglementaire.

03

Façonner les nouveaux rails financiers — instantané, ouvert, CBDC, actifs tokenisés

Moderniser les paiements grâce à l'intelligence ISO 20022, à des contrôles anti-fraude temps réel, à l'orchestration de la finance ouverte et à une préparation aux CBDC et aux actifs tokenisés.

Pharma

La pharma entre en 2026 sous l'effet de pressions convergentes : un patent cliff majeur, un durcissement des régimes de prix et d'accès — Inflation Reduction Act aux États-Unis et Health Technology Assessment en Europe — ainsi qu'une complexité croissante des modalités en biologiques, cell and gene therapy (CGT) et antibody-drug conjugates (ADC).

Les attentes en matière de performance numérique, de données et d'ESG continuent de progresser.

Dans le même temps, les pipelines se déplacent vers des thérapies à très haute intensité scientifique et à coût élevé, tandis que les payeurs exigent une valeur démontrée dans le monde réel et que les régulateurs renforcent leur contrôle sur l'usage de l'IA, l'intégrité des données et la conformité GxP.

Les opérations doivent gagner en agilité et en résilience à mesure que la fabrication multimodale, la fragilité des chaînes d'approvisionnement et des exigences qualité strictes se conjuguent avec des pressions croissantes sur les coûts et l'accès.



Principaux défis sectoriels



Productivité du pipeline et décision fondée sur la preuve

La montée des modalités à haute intensité scientifique et l'augmentation des coûts de développement renforcent le besoin d'insights prédictifs plus précoces, de décisions go / no-go plus rapides et d'investissements mieux ciblés.



Modernisation des essais cliniques et de l'accès patient

Les modèles d'essais décentralisés et numériques, les exigences de diversité et les nouvelles attentes réglementaires pèsent sur le recrutement, la conception des essais et la génération de données en vie réelle.



Agilité industrielle et montée en échelle des modalités

Les biologiques, la CGT, les ADC et les réseaux multimodaux exigent une production flexible et validée, soutenue par des jumeaux numériques, une intelligence qualité et une excellence dans les transferts technologiques.



IA de confiance, gouvernance des données et conformité réglementaire

Le déploiement de l'IA à l'échelle de la R&D, du clinique et de la fabrication exige une traçabilité rigoureuse des modèles, du consentement, de la confidentialité, de l'explicabilité et des flux de données multirégion sécurisés.



Chaîne d'approvisionnement, durabilité et fragmentation mondiale

Les pénuries de principes actifs, les tensions géopolitiques, les obligations de décarbonation et les exigences de reporting ESG imposent des opérations mondiales transparentes et résilientes.

Pertinence des tendances sur la chaîne de valeur pharma

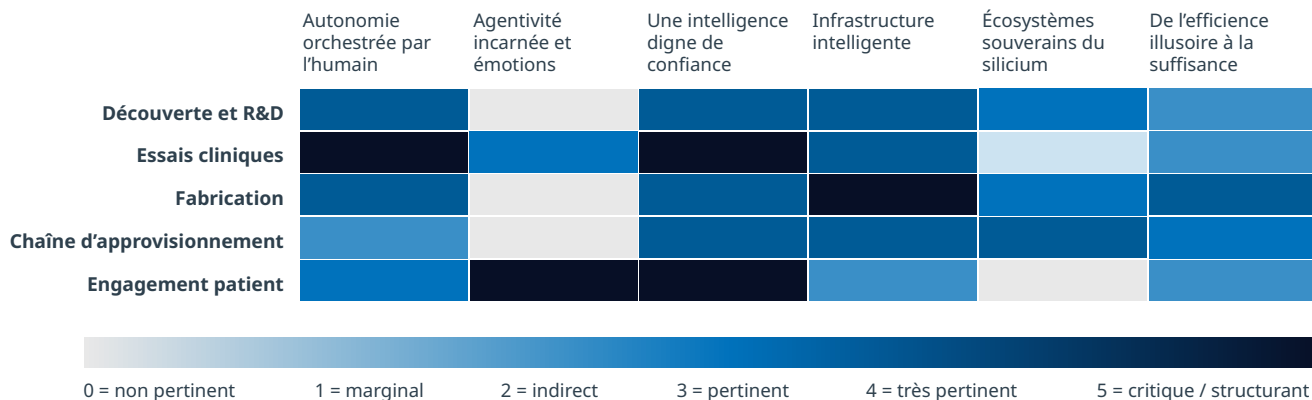


Figure 20 : chaîne de valeur pharma — carte thermique de pertinence

Moteurs de transformation

Orchestration agentique de la R&D, du clinique et des opérations

Les agents d'IA coordonnent découverte, opérations d'essais, sécurité et workflows industriels à travers plusieurs étapes, accélérant les décisions tout en préservant supervision humaine, responsabilité qualité et contrôle réglementaire.

Jumeaux numériques des essais cliniques et intégration de la real-world evidence

Des environnements d'essai virtuels unifient design des protocoles, données historiques d'essais, real-world evidence et performance des sites afin de simuler les résultats, anticiper les risques et optimiser en temps réel recrutement, diversité et exécution.

Systemes de fabrication adaptatifs, sensibles aux modalités

Les jumeaux numériques, l'analytique avancée et l'automatisation flexible permettent une montée en échelle et un transfert rapides entre biologiques, CGT, ADC et réseaux multimodaux, tout en protégeant la conformité GMP et les rendements.

IA de confiance, gouvernance des données et modèles de grade réglementaire

Des modèles explicables, le suivi de la traçabilité, des artefacts de validation et une gouvernance du cycle de vie garantissent que l'IA peut être déployée en sécurité à travers R&D, clinique, pharmacovigilance et fabrication sous exigences GxP.

Infrastructure pharma intelligente, résiliente et souveraine

Des architectures hybrides cloud-edge, une observabilité temps réel et des traitements régionalisés soutiennent le partage sécurisé des données, la résilience opérationnelle et une collaboration conforme dans les écosystèmes mondiaux de R&D et d'approvisionnement.

Engagement patient numérique et génération de preuves

Des approches numériques telles que eConsent, eSource, wearables et biomarqueurs numériques permettent une interaction continue avec les patients et une collecte continue des preuves, améliorant accès, observance et compréhension aussi bien en phase de développement qu'en post-commercialisation.

Cas d'usage sectoriel

Jumeau d'essai clinique et IA de confiance

Un laboratoire mondial construit un jumeau numérique d'essai clinique intégrant design du protocole, données historiques d'essais, real-world evidence et performance des sites. Avant l'inclusion du premier patient, les équipes simulent courbes de recrutement, objectifs de diversité, risque site et écarts au protocole. Des modèles d'IA de confiance — validés avec une traçabilité complète — actualisent en continu le jumeau à mesure que les données du monde réel arrivent et recommandent des actions telles que l'activation de sites de secours ou l'ajustement des calendriers de visite.

Résultats

- Verrouillage de base de données plus rapide
- Meilleure diversité
- Moins d'amendements
- Meilleure préparation aux inspections
- Transparence complète pour les régulateurs et les partenaires

Priorités stratégiques

01

Industrialiser l'IA de confiance sur l'ensemble de la chaîne de valeur

Mettre en place un cadre unifié de gouvernance des modèles et de model risk management (MRM) couvrant découverte, essais, sécurité, fabrication et prévisions.

02

Construire une infrastructure intelligente validée et des produits de données validés

Investir dans les jumeaux numériques, l'observabilité transverse IT/OT et des produits de données certifiés afin d'accélérer la génération de preuves et d'améliorer la qualité des décisions.

03

Reconfigurer les modèles opérationnels autour de l'accès, de la durabilité et des talents

Aligner market access, médical et fonctions de real-world evidence autour d'accords fondés sur la valeur ; intégrer l'ESG dans la gouvernance fournisseurs ; et développer les capacités numériques et IA pour la chimie, la fabrication et les contrôles (CMC), la pharmacovigilance (PV) et les opérations cliniques.

De l'analyse à l'action

Carte de convergence

La carte de convergence illustre la manière dont les six macro-tendances s'articulent pour former un écosystème de transformation unifié — véritable schéma directeur de l'entreprise de demain. Elle met en évidence des connexions dynamiques où l'innovation technologique, la souveraineté numérique et la durabilité se recoupent et se renforcent mutuellement, au point de devenir des moteurs de progrès indissociables.

En considérant ces six macro-tendances comme des composantes interdépendantes de l'intelligence de masse, les organisations peuvent passer d'initiatives isolées à des stratégies cohérentes qui alignent technologie, finalité et résilience de long terme.

Carte de convergence des six macro-tendances

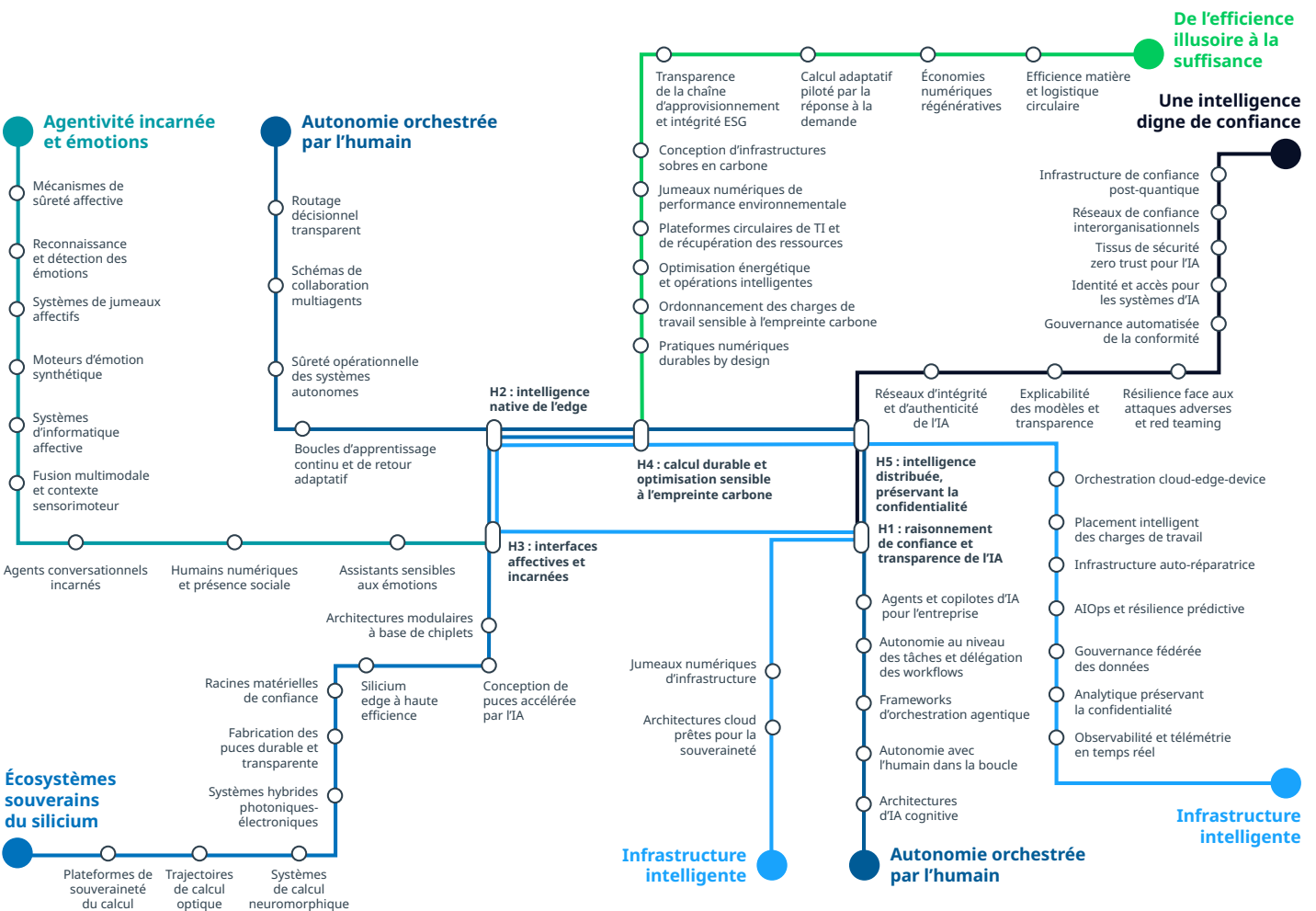


Figure 21 : carte de convergence des six macro-tendances

Capacités stratégiques

Pour rester compétitives dans cet environnement de plus en plus complexe, les organisations doivent développer des capacités stratégiques qui renforcent à la fois le potentiel humain et les fondations technologiques.

Cela commence par l'augmentation de l'intelligence humaine, avec un passage de l'automatisation à une symbiose humain-IA. Dans le même temps, elles doivent concevoir des trajectoires de croissance éthiques, en faisant de la transparence, de la confiance et des principes régénératifs la norme. La mise en place de fondations connectées est tout aussi essentielle, afin de garantir des infrastructures interopérables, fluides et souveraines. Les organisations doivent également développer des cultures prêtes pour la prospective, intégrant l'anticipation, l'expérimentation, le développement des capacités et l'agilité dans l'ensemble de leurs activités. Enfin, elles doivent accélérer les écosystèmes de collaboration, en nouant des partenariats au-delà des frontières traditionnelles pour créer des réseaux de valeur adaptatifs.

Une approche éclairée pour naviguer dans les possibles

Si les possibilités et le potentiel des macro-tendances technologiques explorées dans ce rapport sont enthousiasmants, nous devons rester vigilants face aux risques qu'ils comportent.

Les incertitudes persisteront toujours, mais l'effort pour comprendre les scénarios futurs peut réduire la probabilité de se heurter à des défis inattendus et à des angles morts.

À mesure que ces six macro-tendances convergent, elles redéfiniront notre manière de travailler, faisant évoluer la technologie d'un outil d'automatisation des tâches vers un levier d'amplification des capacités humaines, et permettant aux personnes et aux systèmes intelligents de créer ensemble de la valeur de manière plus adaptative, plus éthique et davantage guidée par une finalité.

NTT DATA est prête à vous accompagner

Nos services couvrent le conseil en stratégie et en technologie, la donnée et l'intelligence artificielle, les solutions sectorielles, ainsi que le développement, la mise en œuvre et la gestion des applications, des infrastructures et de la connectivité.

Nous sommes également l'un des principaux fournisseurs d'infrastructures numériques et d'IA à l'échelle mondiale.

NTT DATA fait partie du groupe NTT, qui investit chaque année plus de 3 milliards de dollars en recherche et développement afin d'aider les organisations et la société à avancer avec confiance et de manière durable vers l'avenir numérique.



À propos de l'étude

La méthodologie qui sous-tend Technology Foresight 2026 de NTT DATA associe des pratiques de recherche rigoureuses à des ressources internes uniques afin d'explorer et d'affiner les macro-tendances technologiques émergentes.

S'appuyant sur les investissements considérables du groupe NTT dans la recherche fondamentale et appliquée, notre équipe bénéficie d'un accès direct à des avancées de pointe dans un large éventail de domaines, ce qui lui permet de développer une compréhension approfondie des évolutions technologiques et de leurs applications potentielles.

Un élément central du processus réside dans l'utilisation d'une plateforme interne de market intelligence, qui agrège et analyse des données issues de sources diverses, notamment des prévisions de marché, des analyses d'experts et des informations publiques sur les investissements et les partenariats. Cette approche automatisée et fondée sur les données garantit que la sélection des tendances repose sur des éléments objectifs.

La méthodologie est en outre enrichie par la consultation d'un réseau mondial d'experts en technologie et en stratégie au sein du groupe NTT. Ces spécialistes apportent des éclairages locaux et sectoriels, affinant les macro-tendances au moyen d'une approche collaborative et pluridisciplinaire.

Enfin, des techniques de prospective stratégique sont mobilisées pour cartographier ces macro-tendances et leurs cas d'usage dans des scénarios futurs, en examinant leurs implications pour les individus, les entreprises et la société. Ce processus structuré et itératif garantit que les macro-tendances identifiées sont à la fois solides sur le plan technologique et pertinentes dans leur contexte.

Contributeurs

Éditorial :

Hisashi Yoshida

Cynthia Yumiko Staub

Rena Oi

Valentina Contini

Oliver Köth

Alberto Acuto

Contributeurs :

Raoul Heese

Iris Pfeifer

Amulya Bhatia

Diana Hauser

Bettina Wegner

Doris Bruder

Volker Ganz

Markus Lunz

Johannes Wetterich

Dennis Tischer

Afkar Alam Khan

Tobias Brecht

Christian Koch

Filippo Capocasale

César Zayas

Gadhu Sundaram

Mireia Vilaplana

Victor León Marambio

Pablo Sáez Nunez

Enno Kätelhön

Cornelius Walter

Bernd Pape

Andreas Schlüter

Tobias Schmidt

Martin Pözl

Andreas Möbs

Rouven Steibli

Ruzica Lovric

Aylin Lindmayer

Carlos Ordonez Sánchez

Richard Calvo Lopez

Rahul Maheshwari

Amit Unde

Maria Cione

Carlos Galve Pellicero

Natasha Horwitz

Kate Ovendale

Retha Duvenage

Jessica Brink

Anneli Brooks-Smith

Stefania Vita

Sara Alvarellos Navarro

Jose Carlos Chavez Peinado

Raquel Serradell Muñoz

Aranxa Luisa Pino Baez

Lucia Ciordia Navarro

Paula van Huyssteen

Jessica Acar

Georg Kerpert

Daniela Florio

Visitez fr.nttdata.com pour en savoir plus.

NTT DATA est un leader mondial des services aux entreprises et technologiques, avec plus de 30 milliards de dollars de chiffre d'affaires, dans les domaines de l'IA et des infrastructures numériques. Nous contribuons à la réussite de nos clients et à un impact positif sur la société grâce à une innovation responsable. En tant que Global Top Employer, nous disposons d'experts dans plus de 70 pays. NTT DATA fait partie de NTT Group.



