

Journey 2026
Vision

Explorer les dimensions du virtuel

Table des matières

Avant-propos	03
Les idées essentielles à retenir	04
Au-delà du numérique	08
Conclusion de nos travaux	19
Repousser les limites du réel	
Humains augmentés et <i>cobots</i>	24
<i>Edge</i> et <i>swarm</i>	26
La fabrication additive à grande échelle	28
La santé pour les plus défavorisés	30
La véritable empreinte carbone	32
S'affranchir des frontières entre réel et virtuel	
La bataille de la cyber IA	36
La résilience numérique, ou la voie de l'antifragilité	38
Les impacts des modèles économiques sur la technologie et sur la société	40
Technologie et réglementation	42
Retour sur la responsabilité numérique des entreprises	44
L'impact sociétal du numérique	46
Les nouveaux paradigmes du virtuel	
L'économie de l'instantané	50
Changer le paradigme des télécommunications	52
Les écosystèmes d'entreprises	54
Redéfinir les modèles de la communication	56
La technologie quantique	58
Vers l'intelligence artificielle générale	60

Avant-propos

Bienvenue dans Journey 2026, le rapport de la Communauté Scientifique d'Atos qui explore les tendances technologiques appelées à façonner les évolutions sociétales et économiques des années à venir. Ce document présente une vision possible du futur et met en lumière des défis et des opportunités qui pourraient en jaloner le chemin.

Alors que la pandémie a provoqué des bouleversements majeurs dans toutes les organisations et considérablement accéléré l'essor de l'économie de la donnée, une telle vision nous semble plus que jamais nécessaire.

Nous vivons dans une époque de grands changements, comme le soulignent à juste titre de nombreux dirigeants. Les défis liés au changement climatique, aux pandémies, à la mondialisation de l'économie et à la souveraineté réclament une nouvelle approche et nous exhortent à penser et à agir différemment, au risque le cas échéant, d'entraîner des conséquences durables et catastrophiques. L'histoire nous rappelle toutefois notre tendance à nous limiter à la sagesse populaire – y compris lorsqu'il s'agit d'adopter de nouvelles technologies, notamment sur les questions de modèles économiques, de valeurs et d'éthique.

Nous pensons bien comprendre le monde qui nous entoure, mais en réalité une grande partie de notre planète est encore inexplorée : les profondeurs de l'océan, le cosmos, 90 % de notre cerveau, 80 % des données que nous produisons. Alors que nous cherchons constamment à relever les grands défis de notre temps et à diminuer la pression continue que nous exerçons sur notre planète, ne pourrions-nous pas explorer les dimensions virtuelles créées par la technologie pour y trouver de futures opportunités de croissance ? Le numérique a déjà été le moteur de transformations considérables, mais peut-il nous permettre de nous affranchir de certaines de nos barrières physiques pour générer encore plus de bénéfices dans le monde réel ?

La Communauté Scientifique d'Atos considère qu'« Explorer les dimensions du virtuel » peut créer de nouvelles façons d'interagir, de travailler, et même d'exister. Journey 2026 anticipe ces tendances et examine les limites actuelles de notre monde physique, comment s'en affranchir, et comment appréhender les conséquences sociétales, éthiques et économiques du passage à de nouveaux modes de fonctionnement virtuels. Nous sommes convaincus que ce rapport stimulera votre réflexion sur les opportunités technologiques qui s'ouvrent aux entreprises, aux gouvernements et aux sociétés pour garantir notre résilience et notre prospérité dans une époque de profonds bouleversements.

Comité Editorial de la Communauté Scientifique d'Atos

Les idées essentielles à retenir

Le numérique est tellement ancré dans notre quotidien que nous perdons parfois de vue l'ampleur de son pouvoir de transformation. Pourtant, au-delà de la transition numérique, des tendances à même de bouleverser les modèles économiques traditionnels émergent, avec des conséquences plus grandes encore pour les individus et la société dans son ensemble. Passant progressivement de l'ère post-numérique à l'âge de l'expérience, la convergence des mondes physique et virtuel nous offre de nouveaux champs d'expérience hyperpersonnalisés et nous ouvre des territoires jusqu'à présent inexplorés.

Des capacités quasi illimitées

De l'intelligence artificielle générative aux services basés sur la *blockchain* et aux prémices de la suprématie quantique, les nouvelles avancées technologiques ouvrent déjà des possibilités qui dépassent tout ce que nous avons connu jusqu'ici. Non seulement il nous est possible de transposer et d'optimiser de façon virtuelle quasiment n'importe quel processus, mais nous commençons à nous affranchir des contraintes physiques grâce aux ressources virtuelles et à leurs interactions ; ceci facilitera le développement d'activités sans coût marginal¹, la création illimitée de ressources, et permettra de multiplier les interactions de façon exponentielle grâce à l'effet de réseau. Nous allons étendre notre champ d'opération à tout un monde virtuel, qu'il s'agisse de ressources, de personnes, d'organisations, et même de nations.

Repousser les limites de la pensée conventionnelle

Nous avons aujourd'hui l'opportunité de repousser les limites de la pensée conventionnelle. Éliminer – ou, du moins, minimiser – les contraintes physiques grâce à la simulation et à la virtualisation nous aidera à mieux relever les défis auxquels nous sommes confrontés, comme le changement climatique, la santé, le bien-être et l'augmentation de la population mondiale. Les outils et techniques du monde virtuel – jumeaux numériques, réalité augmentée, jetons non fongibles (NFT)... – génèrent des interactions et des échanges de valeur inédits. Cependant, ces nouvelles opportunités s'accompagnent de nouvelles responsabilités, et les dirigeants doivent prendre conscience des risques qu'engendre la liberté propre aux nouvelles dimensions du virtuel : déconnection sociale, fracture numérique, menaces sur la propriété, la vie privée et la souveraineté. Il est important de trouver et de mettre en œuvre des solutions à ces défis.

Se préparer à 2026 et au-delà

Les décideurs se doivent d'évaluer l'impact de ces mutations. Il faut repenser la gestion du cycle de vie des biens matériels, fournir un accès équitable à la santé, ou même augmenter les capacités physiques et intellectuelles des individus. Ces enjeux sont d'autant plus importants que la technologie d'edge interconnecte plus encore les mondes physique et virtuel.

Nous pensons que le nouvel horizon technologique permettra de mettre en place :

- De nouveaux modes opérationnels avec la généralisation de processus hybrides virtuel / physique et l'émergence du *virtual-shoring*² (qui s'appuie sur des agents virtuels intelligents et automatisés).

- De nouveaux modes relationnels entre humains et entités robotisées via un métavers de réalité augmentée (RA), qui *in fine* intégrera des interfaces cerveau-machine (BCI).
- De nouveaux modes de valeur et de commerce, avec l'essor de l'économie de la donnée et de nouveaux écosystèmes autour des places de marché de données et de la tokenisation.
- De nouveaux modes d'existence et de nouvelles déclinaisons virtuelles de nos vies humaines, depuis l'apprentissage virtuel jusqu'aux avatars de personnes vivantes, synthétiques, voire décédées.

Il est essentiel de comprendre comment appréhender et franchir efficacement et de façon sécurisée la frontière entre les mondes physique et virtuel. Parmi les enjeux majeurs figurent le rapport complexe entre régulation et numérisation ; l'essor des cyber-risques (dont les cyberattaques menées par des IA autonomes) ; la capacité de résilience opérationnelle ; et la responsabilité numérique des entreprises et des citoyens – y compris en matière de développement durable et de décarbonation. A ces questions, tous les secteurs devront répondre, même si les plus impactés par le numérique – tels la finance et les médias – sont peut-être en première ligne.

Notre monde en mutation et les opportunités offertes par le monde virtuel imposent aux organisations de repenser fondamentalement leur perception en termes de valeur, d'identité, de processus, et même de raison d'être.

Une telle remise en cause peut s'appuyer sur :

- De nouvelles stratégies pour les processus métiers hyper-automatisés ;
- De nouveaux modèles virtualisés pour l'échange de valeur fondée sur la donnée au sein d'écosystèmes métiers ;
- L'accélération de l'évaluation et de l'adoption de technologies de virtualisation : jumeaux numériques, réalité augmentée, tokenisation des actifs, collaboration hautement interactive à distance ;
- La transition des modèles de *delivery* de l'*offshore* vers le *virtual-shoring* ;
- La capture et la restitution par l'IA des compétences métiers clés et de la propriété intellectuelle.

Les dirigeants devront saisir ces opportunités et anticiper les risques associés pour créer de la valeur d'ici 2026. Dans un monde en constante évolution, il s'avèrera essentiel de maîtriser ces mutations majeures, non seulement pour garantir pertinence et résilience, mais aussi pour éviter les dissonances et les disparités numériques.

1. Un coût marginal nul décrit une situation dans laquelle la production d'une unité supplémentaire est sans incidence sur le coût total de production.

2. Les activités traditionnellement externalisées *offshore* ou *near-shore* sont désormais réalisées dans un espace virtuel.





Vision 2026

Explorer les dimensions du virtuel



“ Les progrès technologiques à venir nous invitent-ils à repenser
notre perception des mondes physique et numérique ? ”

Au-delà du numérique

Redéfinir le numérique

Le terme « numérique » ou « *digital* » en anglais est désormais si courant qu'il a quasiment perdu son sens. C'est devenu un mot passe-partout, couvrant à peu près tout ce qui touche à l'électronique et aux données, du plus simple des capteurs connectés au plus puissant des supercalculateurs ; de l'application la plus élémentaire à l'intelligence artificielle la plus complexe.

Les applications potentielles des technologies numériques ne semblent aujourd'hui plus limitées que par notre propre imagination. Pourtant, leur compréhension et leur utilisation n'ont pas toujours l'impact et la diversité que promet la théorie. Pour certaines entreprises, les possibilités du numérique sont au cœur même de leur activité ; pour d'autres, la transformation semble se limiter à faire exécuter par des machines des processus traditionnels de manière dématérialisée et connectée. Si le flou entoure le premier emploi du mot « numérique », celui-ci tire certainement ses origines du système binaire qu'utilisent les ordinateurs. L'usage de 0 et de 1 pour représenter et traiter les données pourrait suggérer que le numérique est synonyme d'exactitude et de parfaite répliquabilité, même si les représentations numériques du monde naturel sont souvent imprécises (par ex. la musique). Mais au fur et à mesure de leur développement, les technologies deviennent de moins en moins

numériques. Certaines solutions sont plus probabilistes que déterministes, laissant un degré d'incertitude qui, auparavant, aurait paru fort peu numérique. Les modèles émergents de l'informatique quantique pour représenter la donnée et exécuter des algorithmes s'appuient sur les probabilités et des fonctions d'onde analogique. Certaines approches de l'apprentissage machine utilisent le hasard pour créer des algorithmes stochastiques afin d'obtenir des résultats inaccessibles aux modèles déterministes. La génération d'éléments aléatoires est l'un des aspects clés de la cryptographie (même s'il n'y a pas véritablement de hasard dans un ordinateur conventionnel).

À l'évidence, le terme numérique n'est plus suffisant pour embrasser toutes les applications des technologies auxquelles on l'associe, sans parler de celles à venir. **Serait-il temps de repenser la façon dont nous percevons et utilisons les technologies dites numériques ?**

Repousser les limites de la pensée conventionnelle

Pour de nombreux cas d'usage du numérique, nous sommes passés du mode de la réplique (imiter le monde physique, à l'instar du courrier électronique et du panier des sites marchands) à l'optimisation (faire les choses plus vite et plus intelligemment), puis à l'augmentation (accroître les capacités humaines grâce à la réalité augmentée et à l'intelligence artificielle).

Extrapoler cette tendance nous incite à **repousser les limites de la pensée conventionnelle**. Sommes-nous à l'aube d'une nouvelle ère et d'un nouveau paradigme ? Un paradigme qui nous permettra de nous débarrasser des contraintes du monde physique et d'exploiter pleinement le potentiel des ressources virtuelles et de leurs interactions ?

Nous anticipons **des dimensions virtuelles fonctionnant sans contraintes physiques directes**, où des intelligences virtuelles contrôleront et s'échangeront des ressources. Ces activités n'affecteront le monde réel qu'à leur interface.

Ce concept se met d'ores et déjà en place dans un certain nombre de domaines. Depuis près de deux décennies, les industries du jeu et du divertissement proposent de s'évader dans des **univers virtuels** comme les jeux de rôle en ligne multi-joueurs (MMORPG). Désormais nous voyons également émerger des projets comme StoryFile¹, qui propose de préserver notre histoire personnelle pour qu'elle puisse être racontée grâce à l'IA, même après notre mort.

Des sociétés comme Ubiquity⁶ et Meta (anciennement Facebook) ont entrepris de créer un **métavers**², un univers virtuel où l'on pourra communiquer et travailler, avec en perspective l'accès à un champ entièrement nouveau d'opportunités sociales et économiques.

Le potentiel du **jumeau numérique** est bien connu. Ainsi, la simulation des flux aérodynamiques permet souvent d'obtenir des résultats plus performants et plus exploitables qu'une soufflerie réelle : la simulation devient la vérité. À plus grande échelle, le gouvernement britannique a lancé un programme national de jumeaux numériques³ pour faire émerger de nouveaux modèles économiques, services et marchés qui s'appuient sur la représentation virtuelle des infrastructures physiques nationales.

L'IA transforme déjà la façon dont les employés sont recrutés et gérés, et permet même de modéliser le processus de décision des entreprises et des gouvernements. On peut même anticiper des **organisations entièrement virtuelles** formées de managers et d'ouvriers IA, échangeant des actifs virtuels tokenisés, comme le préfigurent des organisations autonomes décentralisées⁴ telles que Dash⁵ et Augur⁶.

Des **nations virtuelles** voient même le jour, comme le Wirtland⁷, et des statuts de nomades digitaux dans de véritables pays, comme l'Estonie⁸, redéfinissent le concept de citoyenneté et de nationalité en offrant une résidence virtuelle et en traçant des frontières autour de missions et de valeurs plutôt que de territoires.

1. life.storyfile.com/

2. <https://www.youtube.com/watch?v=gElfo6uw4g>

3. <https://digitalwinhub.co.uk/>

4. Une organisation dont les règles sont inscrites dans un code logiciel, transparente, contrôlée par ses membres et dépourvue de gouvernance centralisée.

5. bitcoinist.com/dash-original-dao/

6. <https://augur.net/>

7. wirtland.com/

8. e-resident.gov.ee/nomadvisa/

“ Les technologies numériques repoussent sans cesse les limites des modes de vie et de travail traditionnels. ”

Au-delà du monde physique

Nous avons examiné un certain nombre de technologies émergentes en explorant les opportunités économiques offertes par le monde virtuel. Certaines de ces innovations repoussent déjà les limites et les contraintes du monde physique, et pourraient ouvrir de nouvelles possibilités dans la dimension virtuelle.

Nous ne considérons pas cette nouvelle dimension comme une simple transposition du réel. **C'est au contraire l'occasion pour les entreprises de repenser entièrement la manière de définir leurs valeurs, leur identité, leurs processus, et même leur raison d'être** – notions que nous avons déjà explorées dans Journey 2024, Redéfinir la raison d'être des entreprises⁹.

Afin de contextualiser nos recherches, nous avons utilisé le modèle du tore présenté Figure 1. Il se divise en trois parties, le tore lui-même représentant la frontière ou zone de transition entre la dimension virtuelle et réelle, située au centre du modèle. Nous examinons comment les technologies que nous avons choisies d'étudier repoussent les limites du monde physique de façon nouvelle et disruptive, y compris en créant des passerelles entre les deux dimensions.

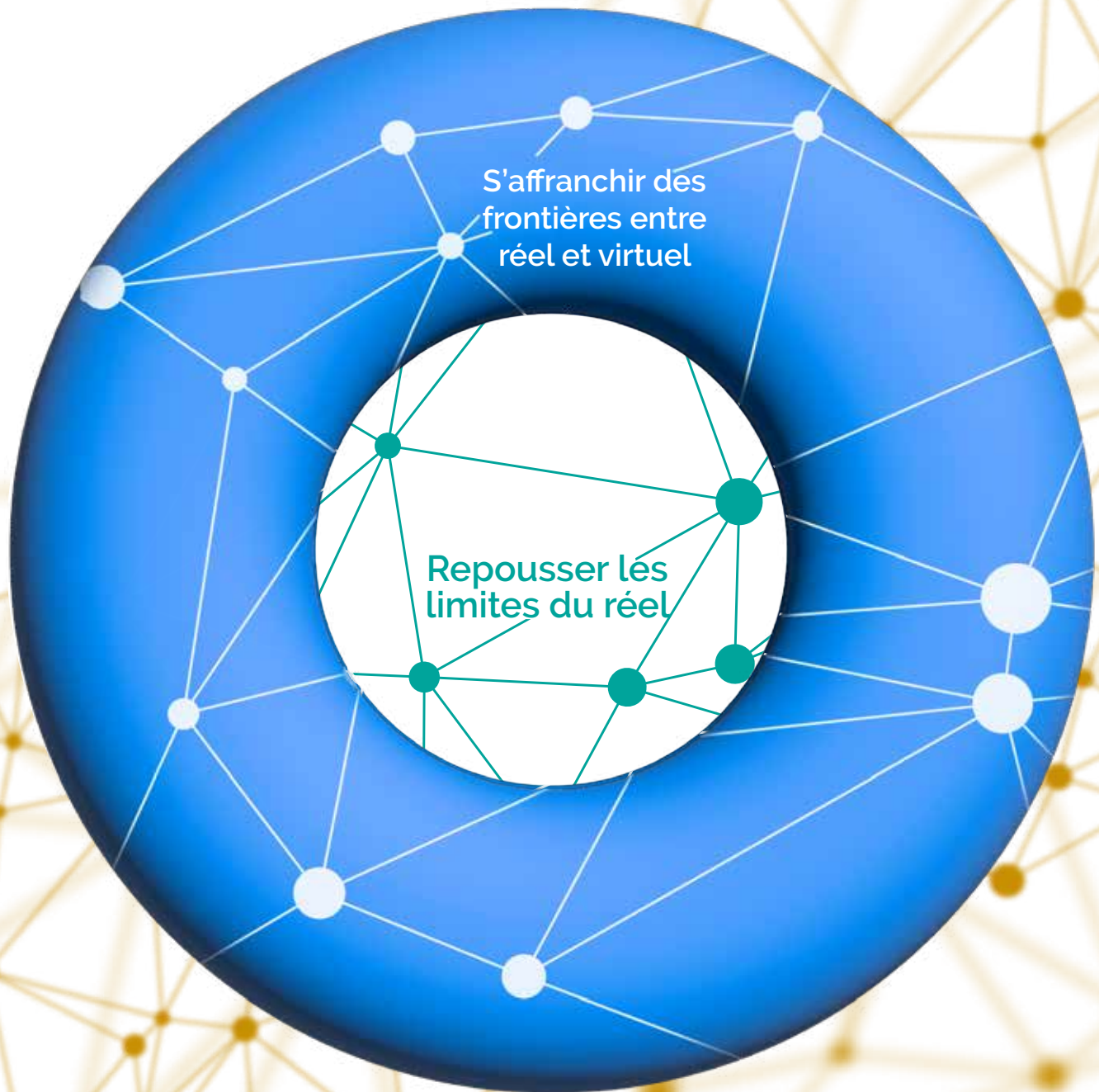
Au centre du modèle, nous examinons les défis et les risques que pose cette frontière. Nous proposons un point de vue équilibré sur la façon d'exploiter au mieux les opportunités à opérer dans le monde virtuel en comprenant les écueils potentiels.

Enfin, au-delà du tore, dans la partie qui représente le virtuel, nous examinons différents *scenarii* où des entreprises commencent à virtualiser totalement leurs activités, leurs échanges et leurs ressources.

9. atos.net/en/lp/journey-2024



Nouveaux paradigmes virtuels



1 : Les champs du réel, du virtuel, et la zone de transition

Repousser les limites du réel

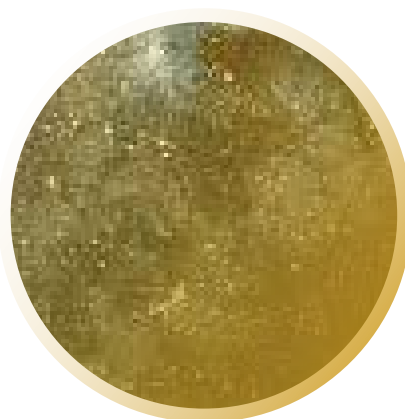
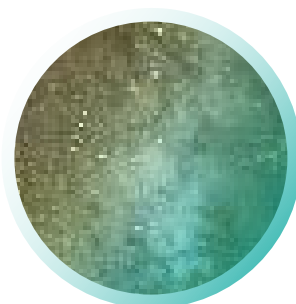
A mesure que les technologies deviennent de plus en plus matures, soutenues par des puissances de calcul toujours plus importantes, certaines réalisations qui relevaient autrefois du domaine de la science-fiction sont aujourd'hui du domaine du possible.

Dans le monde entier, nos usages de la technologie sont indissociables des grands défis actuels : changement climatique, santé et bien-être, développement des infrastructures et des services nécessaires à la population. Ces nouvelles possibilités et innovations technologiques pourraient-elles nous aider à répondre à ces enjeux ?

Dans Journey 2022, Résoudre les dilemmes numériques¹⁰, nous mettions en évidence les tensions entre mondes réel et virtuel. Aux questions « le pouvons-nous ? » et « le devrions-nous ? », les réponses divergeaient et soulignaient une limite en termes d'acceptation des nouvelles technologies. Cette tension se manifeste clairement dans les réactions actuelles à certains usages de la technologie – et pas toujours sur les questions d'ordre éthique ou de sécurité. Certaines des principales barrières et contraintes sont liées aux limites de souveraineté du monde réel appliquées à l'utilisation et à l'accès aux données.

Il est vrai que la nature immatérielle des données permet des interactions sans frontières, mais, d'un autre côté, nos préoccupations concernant la propriété, la confidentialité et la sécurité des données pourraient limiter la création de valeur permise par ces interactions. En Europe, le projet Gaia-X¹¹ s'efforce d'établir des principes et des standards qui permettront de concilier de façon saine et harmonieuse ces différents points de vue.

Cependant la question reste de savoir si ces initiatives seront suffisantes. Il sera intéressant d'observer comment seront gérées ces tensions, pour autant que ce soit possible. Bien sûr, nous devons garantir la sécurité et les droits des personnes, des entreprises et des nations, mais n'est-ce pas aussi une opportunité pour repenser nos façons d'opérer et de collaborer ? Pourrions-nous instaurer de nouvelles approches moins dépendantes des barrières les plus contraignantes du monde réel ?



10. cfdt-atos.org/wp-content/uploads/2020/09/Atos_Journey2022_web.pdf

11. <https://gaia-x.eu/> (Atos est membre fondateur du projet Gaia-X)



“Pouvons-nous nous libérer de certaines contraintes du monde physique en virtualisant nos modes de fonctionnement ?”

Nouveaux paradigmes virtuels

Nous avons examiné quatre domaines où les dimensions virtuelles sont déjà actives et où nous anticipons des opportunités de développement et de transformation majeures à l'avenir.

De nouveaux modes opérationnels

Opérer dans la dimension virtuelle offre des avantages significatifs en termes de simulation et d'anticipation (via les jumeaux numériques, par exemple). Cela permet aussi d'élargir les paramètres pris en compte au-delà de l'environnement immédiat (via les données de l'IoT et la réalité numérique) et de s'affranchir de certaines contraintes physiques (en s'appuyant sur des ressources et des écosystèmes virtuels). Certains de ces bénéfices sont répercutés dans le monde réel sous forme de designs optimisés en impression 3D, de molécules et de processus chimiques nouveaux découverts grâce aux supercalculateurs ou à la simulation d'ordinateurs quantiques, et d'automatisation intelligente de processus physiques.

La pandémie de Covid-19 a contraint un certain nombre d'organisations à repenser leurs modes de fonctionnement. Presque du jour au lendemain, de nombreux travailleurs sont passés au bureau virtuel. Les entreprises, les écoles, les universités, les réunions familiales, les célébrations religieuses et les consultations médicales sont elles aussi entrées dans la virtualité connectée. Ce qui paraissait jusque-là impossible est soudain devenu une réalité. Même après l'assouplissement des règles sanitaires, de nombreuses interactions sont restées virtuelles ou, du moins, les entreprises ont adopté un modèle hybride, mi-présentiel, mi-virtuel.

Au niveau individuel, cette évolution a été vécue de façon très différente. Ceux qui travaillaient déjà de chez eux n'ont perçu que peu de changement ; d'autres, qui ont goûté à une liberté nouvelle avec le travail flexible, ont été réticents à revenir en arrière ; et d'autres encore, qui se sentaient déconnectés ou démobilisés, avaient hâte de retrouver les interactions physiques.

Après trois années de pandémie, les nouveaux modes de travail, s'ils sont bien mis en œuvre, procurent des gains indiscutables et durables. Certaines entreprises ont réalisé des économies considérables en fermant leurs bureaux ; de nouveaux outils rendent désormais la collaboration et le télétravail plus productifs ; le travail flexible et à distance est un argument majeur pour attirer et fidéliser les talents ; et limiter les trajets domicile / travail a permis de réduire les coûts et les émissions de CO₂. La délocalisation d'activités comme les centres de contact et la gestion des achats a déjà permis de faire des économies et de gagner en efficacité. **La prochaine vague de progrès proviendra-t-elle de la délocalisation virtuelle (*virtual-shoring*), alors que les processus seront automatisés et exécutés dans un espace virtuel ?**

On estime qu'en 2025, les machines accompliront davantage de tâches que les humains¹² et que 75 % des interactions clients transiteront par des plateformes automatisées¹³. Cependant, apprécier les opportunités offertes par l'automatisation intelligente des opérations et des modes de travail plus fluides¹⁴, affranchis des contraintes matérielles, exige un nouvel état d'esprit.

Au lieu de se demander ce qui pourrait être automatisé, nombre d'entreprises devraient plutôt s'interroger sur ce qui ne le peut pas et pourquoi. Les processus devraient être conçus pour être automatisés par défaut, les humains n'ayant à intervenir que si nécessaire. De telles approches nécessitent bien sûr de créer de nouveaux rôles à valeur ajoutée compensant le remplacement de métiers moins qualifiés.

De nouveaux modes relationnels

La notion de réalité virtuelle (RV) existe depuis les années 1950, mais ce n'est que durant la dernière décennie que les technologies se sont démocratisées et que sont apparues les lunettes de réalité augmentée (RA). Depuis, les expériences virtuelles sont en plein essor et la pandémie a stimulé encore davantage la créativité. RA, RV (et maintenant IA) se combinent et créent de nouvelles formes d'expériences virtuelles personnalisées, de la pure évasion de divertissement à des échanges entre experts dans le cadre de cas d'usage métiers extrêmement pointus.

Les avatars offrent déjà la possibilité d'interagir par écrans interposés avec des entités dynamiques, capables de s'exprimer par la parole et d'imiter les expressions du visage. En général, les applications se limitent à des domaines tels que le support utilisateur, l'aide à la vente et l'accompagnement médical ou sportif. Mais à mesure que la technologie se démocratise, de nouveaux cas d'usage émergeront : assistants personnels, soignants, ou simplement amis virtuels à qui parler. Au départ, ces interactions se présenteront comme une transposition visuelle de Siri, Alexa ou Google Assistant, mais on peut s'attendre à les voir rapidement se matérialiser sous forme de robots à part entière. D'aucuns considèrent déjà cela comme une solution au défi grandissant que représente l'aide sociale pour la société¹⁵.

Revenons au concept de StoryFile de créer une représentation virtuelle interactive de personnes réelles. Entraîner des modèles d'IA avec les souvenirs, les connaissances et les traits de caractère d'un individu permettra à d'autres d'interagir avec lui presque comme dans la réalité. L'industrie de la musique produit déjà en concert des hologrammes de stars disparues comme Michael Jackson, Whitney Houston et Elvis Presley. Des événements virtuels incluent même des hologrammes d'artistes vivants (ABBA par exemple), modelés sur leur apparence et leur comportement au sommet de leur carrière. Une telle technologie peut-elle faire bien plus que reproduire des expériences passées et des comportements appris ? **Les modèles d'IA permettront d'extrapoler et d'anticiper les réponses d'un individu à des situations qu'il n'a jamais connues.** Ceci pourrait-il conduire à ce que des fac-similés virtuels de dirigeants historiques exposent leurs points de vue et leurs conseils sur l'actualité ? Ceci soulèverait à l'évidence des questions d'éthique.

12. [weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2020](https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2020)

13. servion.com/blog/what-emerging-technologies-future-customer-experience/

14. atos.net/preparing-for-the-rebound-after-covid

15. newstatesman.com/spotlight/2021/03/automated-assistance-how-robots-are-changing-social-care



L'essor des interfaces neuronales directes (IND) repoussera encore plus loin les frontières empiriques et éthiques entre les dimensions du réel et du virtuel. Au-delà de la simple transmission d'images et de sons, des solutions permettront des interactions sensorielles bidirectionnelles, capables de se moduler selon l'humeur et de déclencher une large gamme de réponses cérébrales. La DARPA, Meta et la Commission européenne¹⁶ investissent ainsi massivement dans le développement des IND, et nous nous attendons à des avancées majeures dans cette dimension du virtuel, avec un accent particulier sur les bénéfices pour les personnes souffrant de handicap et sur la santé mentale.

Les expériences virtuelles vont atteindre un stade où aucune ne sera semblable à une autre, car hyper-personnalisées en temps réel en fonction du profil de chaque individu et de ses réponses corporelles. Imaginez le potentiel de différenciation marketing pour des produits comme les vacances, la vente au détail et le divertissement s'ils s'enrichissaient d'interactions virtuelles personnalisées. **Il pourrait même être possible de virtualiser totalement certaines expériences en implantant des souvenirs et en déclenchant la libération d'endorphines naturelles dans le cerveau, comme réalisé chez des souris il y a près de dix ans¹⁷.** Pour certains, cela peut apparaître comme une forme déprimante d'existence artificielle ; pour d'autres, comme la chance de vivre des choses impossibles autrement.

16. humanbrainproject.eu/en/about/human-brain-project-ec-grants/

17. xtremetech.com/extreme/162364-mit-successfully-implants-false-memories-may-teach-us-how-human-brains-form-false-memories

De nouveaux modèles économiques

Depuis longtemps, le PIB détermine la taille et la santé des pays. Mais **ce type traditionnel de mesure de la valeur se heurte aujourd'hui à des biens et des services dont la valeur de marché est difficile à évaluer**, par exemple pour les réseaux sociaux qui ont beaucoup de difficultés à identifier leur nombre de faux profils.

Avec des ventes de NFT¹⁸ dépassant les 10 milliards de dollars au troisième trimestre 2021 (+ 500 % en six mois) et environ 6 000 variantes de cryptomonnaies, il semble s'opérer un changement dans la façon dont on perçoit la valeur. Que ces tendances soient durables ou non, il est clair que les actifs physiques ne sont plus la seule mesure de la propriété et de la richesse. Ceci est évident quand on considère l'économie de la donnée (dont la Communauté Scientifique d'Atos suit l'évolution depuis près de dix ans). Les entreprises commencent tout juste à saisir la valeur stratégique des données qu'elles détiennent, et des initiatives privées ou publiques telles que Gaia-X¹⁹ cherchent comment libérer et partager équitablement ce potentiel de valeur (tout en le protégeant). Or ces initiatives regardent souvent le problème au prisme d'une souveraineté des données s'inscrivant dans les frontières physiques. **Peut-être devrions-nous développer une approche plus virtuelle du monde pour élaborer des solutions pertinentes et durables en réponse à l'enjeu de l'équité des données²⁰ et de leur valeur économique.**

Nous pensons que la gestion et les échanges de données doivent intégrer tout au long de leur cycle de vie des principes et des pratiques équitables et de confiance. Ce ne sera pas chose aisée étant donné les enjeux grandissants de respect de la vie privée, de fraude, de comportements anticoncurrentiels et de manipulation des citoyens / consommateurs. Répondre de façon très protectionniste à ces questions risquerait de faire naître des communautés marginalisées, incapables de tirer profit du partage de la valeur des données. À l'inverse, un contrôle insuffisant sur l'équité de la donnée conduit ceux qui fourniront des services basés sur les données à des attitudes monopolistiques et des résultats biaisés, ce qui rendra plus difficile à de nouveaux acteurs d'accéder aux marchés avec des offres plus équilibrées.

Les places de marché de données, qui fédèrent des écosystèmes réunissant les entreprises et leurs partenaires amont et aval, peuvent aider les *supply chains* à devenir plus adaptables, interconnectées, flexibles et collaboratives. Elles permettent aux organisations de s'échanger des données et plus seulement des biens. Elles s'appuient pour cela sur le principe de « *tokenization* », qui permet de représenter et d'échanger des données sensibles en garantissant que seules les personnes dûment habilitées puissent en connaître la signification. Dans les interactions B2C et B2B, le partage et l'échange de données peuvent aussi passer par des « jetons d'attention » (*Attention Tokens*), incrémentés chaque fois que la donnée à laquelle ils sont associés est échangée. Ceci donne une mesure relative de la valeur marchande de la donnée.

Les « contrats intelligents » (*Smart Contracts*) permettent de formaliser les accords commerciaux et de garantir leur exécution dans le monde virtuel (puis celle des actions associées dans le monde réel). Ils ont vocation à faciliter l'automatisation des processus (tout au long de la *supply chain*) ainsi qu'à renforcer la sécurité, la confiance et la transparence au sein de l'écosystème virtuel de partenaires.

De nouveaux modèles existentiels

La perspective de créer de nouvelles expressions virtuelles de notre existence humaine est excitante pour certains et inquiétante, voire révoltante, pour d'autres, surtout lorsqu'elles semblent offrir une forme d'immortalité. **Où que nous mènent les possibilités technologiques et les débats éthiques, l'extension de nos capacités et de nos moyens d'expression par le numérique a déjà commencé.** De l'apprentissage virtuel aux incarnations de personnages vivants, décédés ou fictifs, et même à l'utilisation de la technologie pour augmenter directement notre acuité intellectuelle et nos aptitudes physiques, le domaine de **l'existence numérique** progresse à grands pas. La qualité des textes générés par le modèle d'IA GPT-3²¹ (selon le concept de Transformer) est telle qu'on peut à peine les distinguer de ceux écrits par des humains. Et GPT-4 devrait avoir des capacités 500 fois supérieures !

Accéder à toute l'étendue des expériences et des savoirs humains est possible grâce à l'omniprésence de l'informatique ubiquitaire. L'enseignement virtuel nous impacte déjà. Des cours en ligne sont accessibles sur quasiment tous les sujets, du montage d'un meuble en kit à la programmation d'un ordinateur quantique. Les technologies du jeu vidéo et de l'image de synthèse (CGI) ont tant progressé qu'il est parfois difficile de différencier le réel du virtuel, et les applications éducatives et professionnelles de la réalité virtuelle devraient connaître un essor significatif.

Bien sûr, le véritable apprentissage ne se réduit pas aux connaissances théoriques ; il nécessite aussi expérience et applications pratiques. Grâce à des mécanismes de retours haptiques, voire au déclenchement d'émotions à l'aide d'interfaces neuronales, la réalité augmentée pourrait faire entrer l'enseignement virtuel dans une nouvelle dimension en permettant d'étudier des cas impossibles à présenter dans la réalité. Par exemple, gérer un incident nucléaire ou évaluer les capacités d'un conducteur face à des situations dangereuses. Il semble déjà possible de fabriquer chez des souris des souvenirs d'odeurs grâce à des implants neuronaux, et cette technique pourrait améliorer la mémoire à court terme d'expériences réelles. À certains égards, **le virtuel devient indifférenciable du réel.**

Le virtuel peut aussi servir à réunir et préserver les connaissances et le discernement des experts d'un sujet. Beaucoup d'entreprises sont confrontées à la perte d'années d'expérience lors du départ à la retraite de leurs employés. Si ces savoirs pouvaient être clonés dans des avatars consultables à la demande, on formerait moins de spécialistes de niche dont on n'a que rarement besoin.

Cependant, ces technologies ont aussi leur côté obscur quand on en fait un mauvais usage : des bots à base d'IA sont capables de se substituer aux candidats lors d'examens en ligne et une frange de la population peut se laisser influencer par des « *deepfakes* » de politiciens ou de célébrités. La dimension virtuelle peut avoir sur nos existences physiques des impacts plus importants et plus dangereux que nous ne l'anticipons. Qu'il soit possible d'implanter des souvenirs factices ou de créer une pseudo-immortalité soulève des questions éthiques majeures.

18. Un jeton *non fongible* (ou NFT, pour *non-fungible token*) est une donnée stockée dans un registre numérique (*blockchain*) qui garantit qu'elle est unique, et par conséquent qu'elle n'est pas interchangeable.

19. gaia-x.eu/

20. Nous avons introduit cette notion, qui désigne des échanges de données justes et soucieux d'un intérêt réciproque, dans <https://atos.net/fr/lp/renouer-avec-la-croissance-apres-le-covid-19>

21. openai.com/blog/gpt-3-apps/



“Opérer dans les dimensions virtuelles engendre des conséquences et des externalités à prendre en compte dans le réel comme dans le virtuel.”

S'affranchir des frontières entre réel et virtuel

Le spationaute Thomas Pesquet a passé près de deux cents jours en orbite à bord de la station spatiale internationale. À la suite de cette expérience, il a déclaré : « De là-haut, j'ai pu constater notre impact sur la planète ». À mesure que nous repoussons les limites et créons de nouveaux paradigmes virtuels, nous devons être attentifs aux répercussions que chaque domaine a sur les autres.

Si les technologies ne menacent pas directement nos convictions, notre bien-être ou nos façons de vivre, leurs applications peuvent avoir des effets néfastes ou des usages malveillants. Avant de se démocratiser, une nouvelle technologie doit toujours passer le test décisif de l'acceptation sociétale, même si les cryptomonnaies et l'IA ont montré qu'une adoption limitée n'entraînait pas forcément un usage grand public. La réglementation étant généralement en retard sur les évolutions technologiques, le cadre éthique des applications de ces innovations est le plus souvent fixé au départ par des intérêts et des valeurs particuliers. Nous pensons que les technologies numériques durables devraient :

- Être en ligne avec les convictions et les valeurs de la société ;
- Contribuer positivement à la préservation de notre planète et de ses ressources ;
- Nourrir la confiance entre individus et au sein de communautés, et ne pas menacer le bien-être, la vie privée, et les modes de vie.

Ces principes trouvent leur place dans le tore de notre modèle, à la transition entre le physique et le virtuel. Nous verrons que la diversité des opinions (à l'échelle locale et internationale) peut y faire obstacle. Le débat public est révélateur de cette mécanique : dans la presse, sur les réseaux sociaux ou lors de discussions entre amis, nos opinions se construisent, individuellement et collectivement. Le mécanisme de réponse sociétale peut être rapide et catégorique, ou lent et âprement débattu, et conduit inévitablement à des lois et des normes appliquées par les autorités de régulation pour délimiter les usages des technologies numériques. Reste à voir comment cela fonctionnera dans la dimension virtuelle, mais **les futures innovations mettront plus que jamais à l'épreuve les principes du bon sens.**



Conclusion de nos travaux

Nous présentons les conclusions de nos travaux d'étude des pages 24 à 61 de ce document. Vous les retrouverez positionnées dans l'une des trois zones de notre modèle torique mettant ainsi en évidence leur lien avec notre vision d'ensemble.

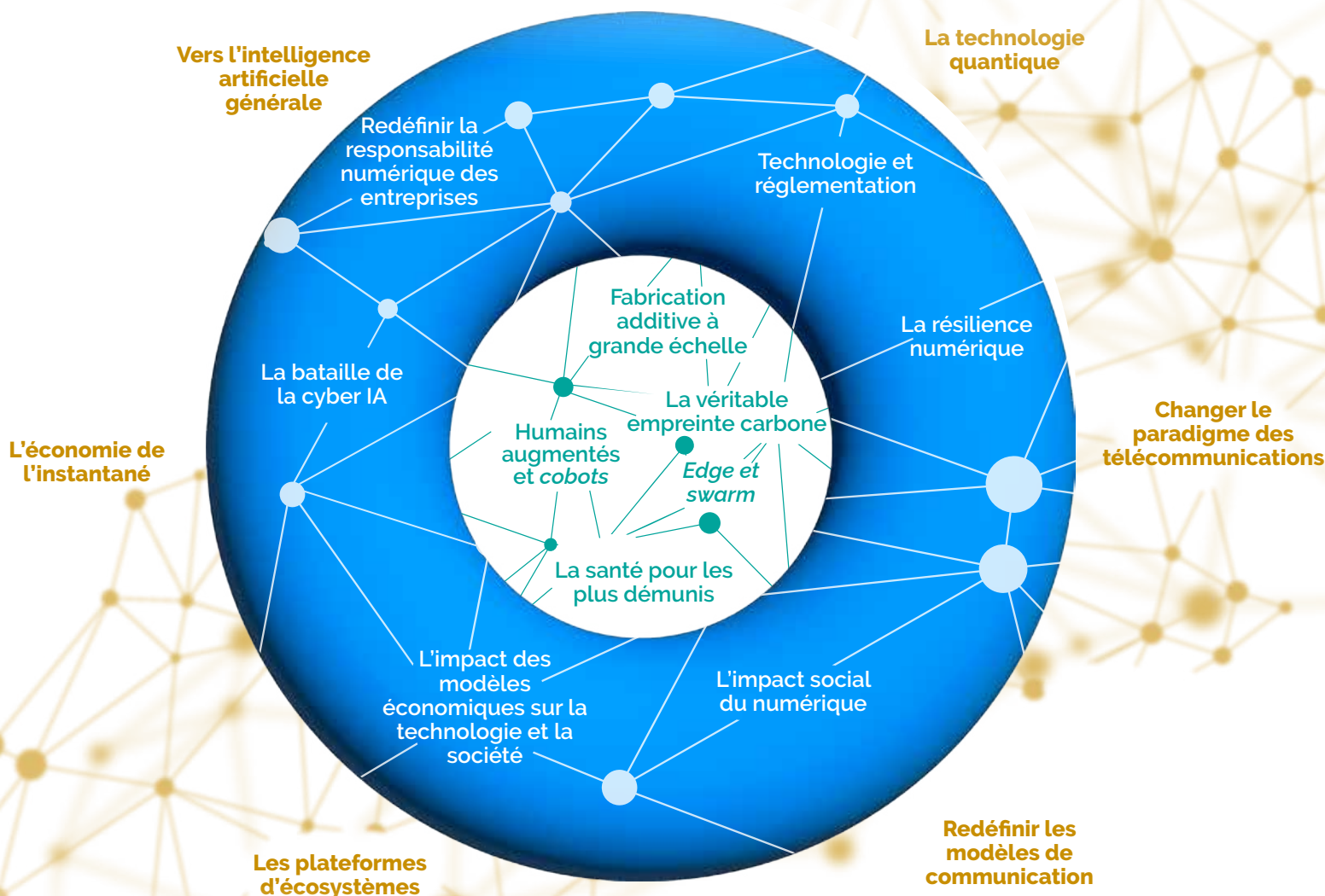


Figure 2 – Positionnement des sujets d'étude de Journey par rapport aux dimensions réelles et virtuelles

Un certain nombre de sujets figurent au centre du modèle. Bien que fermement ancrés dans la réalité, ils sont entraînés vers des domaines où les limites des possibilités physiques sont repoussées :

- Augmenter nos capacités, physiques ou intellectuelles, en tant qu'êtres humains ;
- Redéfinir la gestion du cycle de vie des produits et des actifs physiques ;
- Maîtriser les interconnexions entre les mondes physique et virtuel grâce aux technologies *edge* intelligentes ;
- Répondre de manière collective de notre responsabilité envers la communauté et l'environnement.

Approfondir ces questions nous permettra de penser la dimension virtuelle pour répondre aux défis du monde réel. Serons-nous bridés par nos modes de pensée traditionnelle, ou serons-nous capables d'imaginer d'autres façons d'atteindre nos buts ?

Sans surprise peut-être, un grand nombre de sujets tombent dans la zone de transition. Gouvernements et individus sont confrontés aux défis que pose le fait d'opérer dans la dimension virtuelle. La Figure 2 en présente quelques exemples.

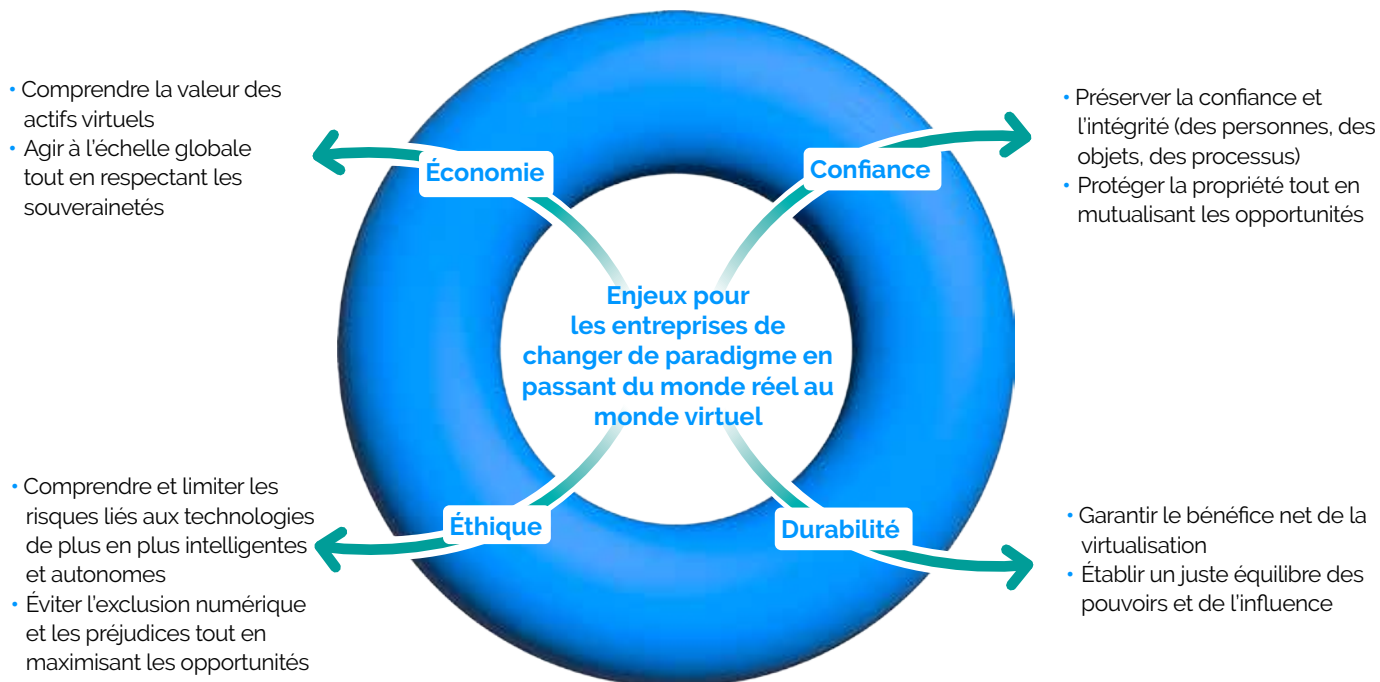


Figure 3 – S'affranchir des frontières entre réel et virtuel, quels défis ?

Enfin, il est évident que les sujets que nous avons positionnés dans la dernière zone ne sont pas entièrement virtuels. Il y a toujours des points de contact avec la réalité et la véritable valeur n'est créée qu'en s'affranchissant des frontières entre physique et numérique. Cependant, si nous savons saisir ces opportunités, nous pourrions franchir un cap dans l'exploitation de la technologie :

- Libérer la puissance de calcul ;
- Comprendre et exploiter la valeur des données ;
- Supprimer les freins à la communication et à la collaboration ;
- Avancer vers l'objectif d'une véritable intelligence artificielle générale.

En étudiant les possibilités et les conséquences des dimensions virtuelles, nous avons relevé des parallèles intéressants entre les moteurs de la virtualisation (au sens large) et la hiérarchie des besoins exposée par Maslow dans sa théorie des motivations humaines²². Dans le monde virtuel, nous constatons **de nouveaux modes opérationnels** faisant écho aux besoins physiologiques et de sécurité de base ; **de nouveaux modes relationnels** qui nourrissent nos besoins d'affection et d'appartenance ; **de nouveaux modes économiques** qui

satisfont nos besoins d'estime individuelle et collective ; **de nouveaux modes existentiels** qui deviennent des moyens de nous réaliser. Dans la sphère virtuelle, ces besoins s'expriment plus comme un continuum où ils se renforcent mutuellement. À mesure que s'étend le champ des possibles dans le monde virtuel, de nouveaux modes de pensée et d'existence émergent. Ils réclament un nouveau cadre de pensée pour les besoins physiologiques et de sécurité, comme le soulignent déjà les questions du cyber-harcèlement, de l'identité numérique et du stress.

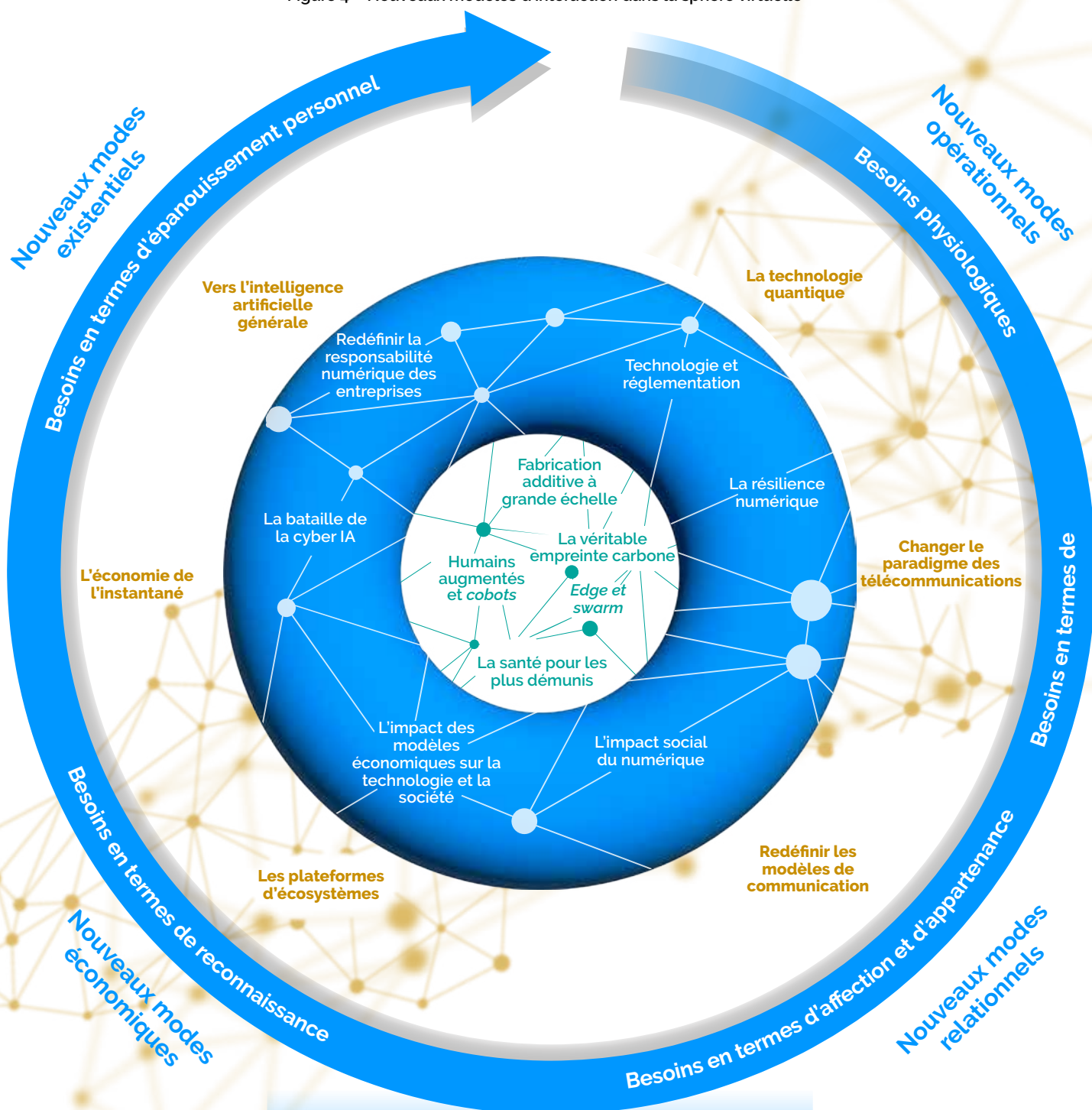
En conclusion, en dépit de leur absence apparente de limites, les dimensions du virtuel ne peuvent être complètement déconnectées des normes et des valeurs auxquelles nous nous référons dans le monde réel.

Nous aurons toujours besoin de :

- Garantir les droits élémentaires ;
- Assurer la sécurité (et donc la confiance) ;
- Établir des interactions et des relations authentiques, animées par le désir de se réaliser individuellement et collectivement.

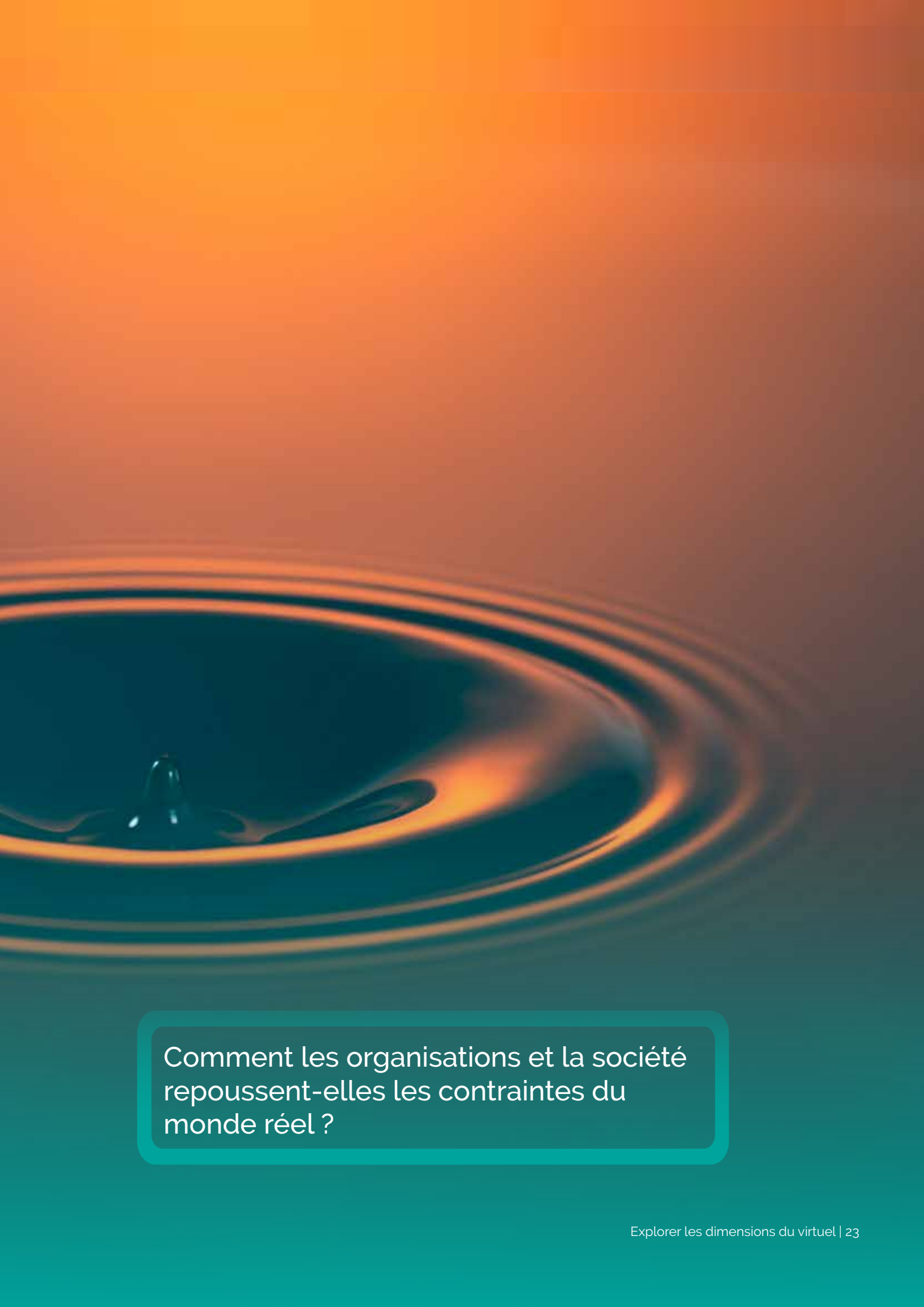
22. masterclass.com/articles/a-guide-to-the-5-levels-of-maslows-hierarchy-of-needs#what-are-the-5-levels-of-maslows-hierarchy-of-needs

Figure 4 – Nouveaux modèles d'interaction dans la sphère virtuelle



Les chapitres suivants détaillent diverses tendances technologiques, économiques et sociétales. Pour chacune nous examinons les opportunités, les défis et les ruptures auxquels seront confrontés les organisations d'ici 2026.

Repousser les limites du réel



Comment les organisations et la société repoussent-elles les contraintes du monde réel ?

Humains augmentés et cobots

Depuis l'invention du premier outil, l'être humain a cherché à étendre et augmenter ses aptitudes naturelles. Aujourd'hui encore, cette augmentation reste un moteur essentiel de progrès pour l'humanité comme pour les entreprises, dans le monde physique, et désormais numérique. On distingue quatre domaines d'augmentation humaine (fig. 5) qui, tous, visent à accroître, améliorer, restaurer, répliquer et stimuler nos capacités et nos sens naturels. Ils suivent chacun des trajectoires d'innovation distinctes mais interconnectées.

Prothèses et bionique

Grâce aux progrès des matériaux, du *design* et de la technologie, les prothèses ne remplacent plus seulement certaines parties du corps, mais sont devenues des composants bioniques, intelligents et sophistiqués. La bionique crée des interfaces musculaires et neuronales qui captent un signal biologique et le convertissent mécaniquement ou électroniquement pour faire se mouvoir une machine. Citons par exemple les exosquelettes utilisés pour les tâches éprouvantes, telles que le transport de charges lourdes, ou le travail dans des conditions extrêmes, dans divers contextes civils et militaires. Largement focalisée sur les membres, la bionique s'intéresse désormais à d'autres fonctions corporelles, telles que l'orthopédie, l'audition, le cœur ou la vision. Les cinq prochaines années verront sans doute de nouvelles avancées concernant l'assistance aux organes les plus vitaux (foie, reins, poumons), qu'il s'agira de remplacer et plus seulement d'augmenter.

Cobots et avatars autonomes

Les *chatbots* et les assistants virtuels se chargent déjà de certaines tâches, nous permettant d'être plus efficaces et rigoureux. Les interactions devraient être de plus en plus sophistiquées, avec des *bots* s'organisant en équipes et échangeant les uns avec les autres lorsqu'ils se substituent à des humains. *Bots* et *cobots* peuvent aussi analyser les comportements individuels et collectifs, détecter les actions inappropriées, alerter, et proposer des conseils et / ou des stratégies pour remédier à ces situations ou les éviter. Des *bots* avancés et autonomes accompliront des tâches prédéterminées, s'adaptant au contexte, respectant les interactions humaines, tout en collaborant avec d'autres machines autonomes, voire en les supervisant.

Augmentation biotechnologique

La biotechnologie est un autre champ d'études et d'applications qui contribue à l'humain augmenté. Elle s'inspire notamment de la nature pour créer des matériaux performants et biocompatibles ; aider à reconstruire des tissus, des nerfs et des organes ; et guérir ou protéger des maladies grâce à la génétique (à l'image des récents vaccins à ARN messenger contre le Covid). Les biotechnologies ouvrent un monde de miniaturisation et d'interactions au niveau cellulaire, fusionnant les domaines de la biologie, de la mécanique et du numérique.

Interfaces neuronales directes

Les interfaces neuronales directes (IND) captent et activent des signaux nerveux, les interprètent et déclenchent les réponses correspondantes. C'est la prochaine étape dans l'avancement de la bionique. Les actions suscitées par les IND sont commandées directement par l'activité cérébrale, et non par des signaux indirects tels que des mouvements musculaires, ce qui permet de créer des boucles de rétrocontrôle critiques pour affiner les opérations bioniques sur la base du retour visuel et/ou de la sortie motrice. Le cerveau est l'organe central de contrôle et de décision du corps humain, mais il est en outre possible de le connecter à des systèmes externes. La convergence des IND et de la bionique permettra de créer des solutions d'augmentation plus performantes et plus réactives. En plus du domaine médical, les IND pourraient alors s'appliquer à des domaines tels que la sécurité, l'éducation, le divertissement, le *marketing*, et les interactions avec des environnements intelligents.

Figure 5 – Les domaines connexes de l'humain augmenté





Les domaines clés de l'humain augmenté et leurs interconnexions

Il existe déjà de multiples applications pratiques **des prothèses, des systèmes bioniques, des cobots et des avatars autonomes**. Celles-ci continueront à se développer dans divers secteurs d'activité. L'intégration des capacités ajoutées par **l'augmentation biotechnologique, les IND et les neurotechnologies** repousseront encore davantage les frontières du possible, mais nécessiteront aussi de profondes réflexions en matière d'éthique et de droits de l'Homme. Les divers champs de l'augmentation humaine ont chacun leur propre horizon temporel, mais ils sont étroitement liés et s'influencent mutuellement. Par exemple, les biotechnologies aideront à créer des systèmes bioniques plus durables, plus compacts, capables de répondre aux impulsions cérébrales, et même d'alimenter des composants numériques.

Le progrès engendre la responsabilité

Les avancées autour de l'humain augmenté comblent le fossé entre nos limitations naturelles et les capacités des technologies numériques et physiques, qui sont elles toujours disponibles et extensibles en temps réel. Ouvrir un *continuum* nouveau de solutions hybrides peut nous aider à répondre au défi croissant d'un monde numérique qui exige des humains qu'ils fassent toujours plus. Reste à savoir si ces évolutions seront menées de façon responsable, engendrant de meilleures conditions de vie

et de travail, ou si nous finirons par nous asservir les uns les autres.

Quelques principes de base seront à respecter :

- **Compréhension** : savoir si les interactions et les expériences sont réelles, virtuelles ou augmentées.
- **Choix** : avoir un contrôle personnel sur son identité numérique et les degrés d'augmentation.
- **Conformité** : respecter les règles internationales fixant de façon univoque ce qui est acceptable / inacceptable, permis / interdit.
- **Accessibilité** : permettre l'accès le plus large aux nouvelles capacités, afin de favoriser l'intégration et la collaboration.
- **Inclusion** : s'assurer que les technologies d'augmentation humaine ni n'excluent ni ne discriminent.

L'augmentation humaine est appelée à jouer un rôle déterminant dans notre quotidien. Les applications et les innovations existantes ouvrent déjà d'immenses perspectives, et les entreprises devraient étudier comment les adopter et en tirer parti. À mesure que ces solutions gagneront en maturité, l'attention passera rapidement des questions techniques aux questions éthiques. Notre sens des responsabilités doit se développer aussi vite que notre sophistication technique.

Edge et swarm

L'*edge computing* est devenu le canevas sur lequel se tisse le *continuum* informatique, un moyen omniprésent de connecter, détecter, décider et agir. Il relie les réseaux haut-débit, les services multi-clouds et les sources et les consommateurs de données, créant des possibilités pratiquement sans limites pour de nouvelles propositions de valeur. La flexibilité, les fonctionnalités et la portée des solutions *edge* transforment déjà l'expérience des utilisateurs finaux et les capacités opérationnelles des entreprises. La convergence progressive du *cloud*, des réseaux et de l'*edge* (avec la concurrence que cela engendrera entre les *hyperscalers* du *cloud* et les opérateurs télécoms) accélérera encore l'innovation et l'investissement.

Le passage à l'échelle des solutions *edge*

Cependant, cette croissance exponentielle est entravée par l'évolution perpétuelle des briques *hardware* et *software* hétérogènes. À tel point que nous sommes parvenus à un point d'inflexion à partir duquel l'*edge* ne pourra se développer davantage et de façon cohérente sans innovations technologiques majeures. Ces innovations devront répondre aux enjeux du support opérationnel sur toute la durée de vie, de la sécurité, de la confidentialité des données et de l'efficacité énergétique, et faciliter la bascule vers des écosystèmes *edge* dynamiques. Nous anticipons des avancées substantielles dans les domaines suivants :

Sécurité / identité

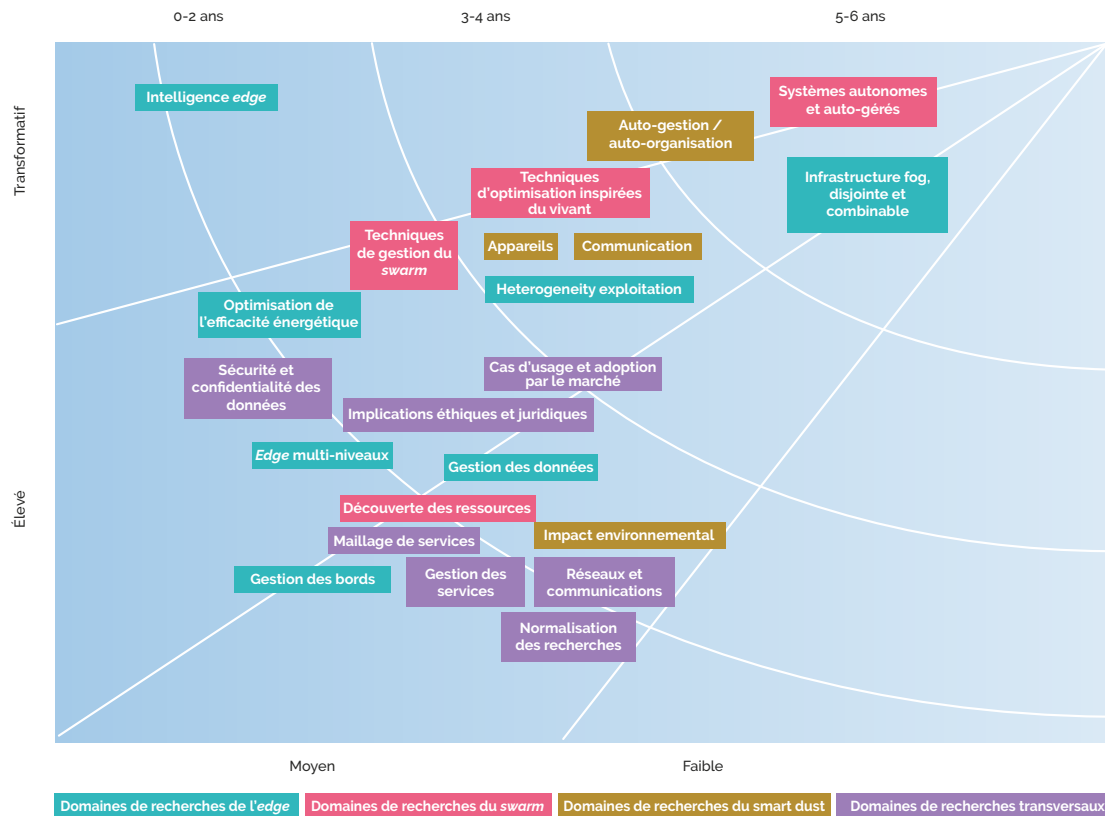
La sécurité des systèmes *edge* doit comporter l'identification et l'authentification de chaque composant physique (idéalement à l'aide de modules de sécurité *hardware*), et supporter le chiffrement

de bout en bout des échanges de données. La technologie des registres distribués jouera un rôle clé pour l'authentification et la traçabilité des échanges. Du point de vue opérationnel, les fournisseurs de solutions *edge cloud* devront coopérer pour identifier les menaces et s'intégrer à des SOC (centres des opérations de sécurité) distribués.

Connectivité

La valeur des solutions *edge* tient en grande partie à leur étendue et leur portée géographiques. La qualité de la connectivité est donc essentielle partout, mais de nombreux déploiements interviendront dans des lieux isolés, par exemple pour les systèmes de suivi et de contrôle des réseaux de l'énergie ou de l'eau. La technologie *edge* va se répandre de plus en plus vite dans les zones denses grâce aux réseaux 5G publics et privés, et on peut s'attendre à ce que les nombreuses zones de moindre couverture soient couvertes par les futures constellations de satellites.

Figure 6 – Feuille de route des recherches sur l'*edge* et le *swarm*





Durabilité

L'un des freins potentiels au déploiement à très grande ampleur de systèmes *edge* réside dans leur durabilité, que ce soit du point de vue des matériaux de base nécessaires à la fabrication des appareils, de la nature apparemment jetable de certains d'entre eux (surtout vers l'échelle nanoscopique) ou de l'énergie nécessaire à leur fonctionnement et à celui des réseaux. Nous envisageons des mailles *edge* intelligentes, capables d'optimiser leur fonctionnement collectif ou d'adapter leurs fonctionnalités suivant la charge de travail. Ceci permettra de minimiser les besoins en termes d'infrastructures déployées, en particulier au niveau des nœuds. Une maille *edge* fonctionnera comme un *cloud* traditionnel dont les ressources sont activées et désactivées au gré des besoins.

Opérabilité et maintenabilité

À mesure que les solutions *edge* deviendront plus dynamiques et interopérables, elles auront besoin d'outils de virtualisation et d'abstraction (des micro-conteneurs essentiellement). Des solutions légères, à faibles coûts opérationnels, comme MicroK8s apporteront aux mailles *edge* des capacités de portabilité, de déployabilité, d'actualisation et d'auto-réparation. Des langages et des *kits* de développements *ad hoc* supporteront des propriétés fonctionnelles et non-fonctionnelles telles que les niveaux de confidentialité, la qualité de service, la latence et la consommation énergétique. Des *frameworks* et des algorithmes d'orchestration intelligents permettront la recomposition et l'interopérabilité des essaims d'appareils.

Tendances émergentes

Nous verrons également émerger un certain nombre de tendances :

Swarm intelligence. Le maillage d'appareils *edge* donnera naissance à une « intelligence en essaim », dont le comportement collectif s'apparentera à celui d'un système décentralisé auto-organisé. Cette intelligence distribuée permettra de dynamiser l'architecture statique appareil / *edge* / *cloud* des systèmes *IoT*, et d'exploiter au mieux les données provenant de cas d'utilisation du *edge* toujours plus nombreux. Les interactions autonomes entre robots distants aideront à résoudre des défis non encore résolus à ce jour. Le *swarm*, ou apprentissage fédéré, s'appuiera sur des réseaux d'agents locaux qui assureront l'apprentissage de l'IA sur l'*edge*, ce qui mettra

fin au besoin d'un contrôle centralisé. Les données seront moins exposées, les applications plus sécurisées et il y aura donc moins de problèmes de confidentialité.

Logiciels hardware et software liés à l'*edge*. Ils évolueront vers des systèmes plus intelligents avec des caractéristiques *plug-and-play*, capables de s'auto-configurer, s'auto-gérer et s'auto-associer. Les progrès dans le domaine matériel, comme les puces neuronales imitant le fonctionnement du cerveau, rendront les systèmes *edge* plus intelligents encore. Les neurones et les synapses artificiels réunis dans le silicone permettront de créer des réseaux de neurones plus puissants, avec une latence et une consommation d'énergie réduites. De telles caractéristiques sont idéales pour les *scenarii* combinant *edge* et IA. Le développement de capteurs à bande ultralarge (UWB) facilitera la détection de précision et la détection d'images.

Smart dust. Ces micro-capteurs utilisent les nanotechnologies pour emmener l'*edge* encore plus loin. On fabrique déjà des caméras de la taille d'un grain de sable et des molécules fonctionnelles, capables de détecter et neutraliser les cellules cancéreuses dans le corps humain. Des collecteurs d'énergie nanoscopiques produiront de l'énergie à partir des vibrations et des mouvements infimes dans leur voisinage, ouvrant de vastes possibilités pour les microsystèmes électromécaniques (MEMS). Les premières applications devraient concerner l'exploration spatiale, la lutte antiparasitaire en agriculture, les prévisions météorologiques et la maintenance. Nous ne devons cependant pas oublier de surveiller et gérer avec attention l'impact écologique et éthique de la diffusion massive des *smart dusts*.

Perspectives 2026

Les technologies *edge* vont croître en portée, en fonctionnalités et en intelligence. Les essaims collaboratifs de systèmes *edge* connectés, des flottes de véhicules autonomes aux *smart cities*, ou même aux « hôpitaux intra-corporels », feront entrer l'automatisation, le savoir et le progrès humain dans une nouvelle dimension. Mais plus l'*edge* se développera, plus la surface d'attaque s'étendra, c'est pourquoi la sécurité, la confidentialité, la résilience et la gestion du cycle de vie doivent être au cœur de l'architecture des futures infrastructures *edge*.

La fabrication additive à grande échelle

Un pont entre le virtuel et le réel

De la même façon que la virtualisation a révolutionné l'allocation des infrastructures numériques, la fabrication additive ouvre une nouvelle ère de bouleversements pour l'industrie manufacturière.

Ces quarante dernières années, la fabrication additive a largement été perçue comme une technologie de niche destinée aux passionnés ou au prototypage. Cependant, les progrès réalisés sur les processus sous-jacents et les matériaux ont initié une révolution discrète dans des secteurs aussi variés que le spatial, la santé, l'immobilier et la mode. Si l'on extrapole les premières réalisations, on peut envisager une adoption à grande échelle, que ce soit au sens de la taille des objets fabriqués, des volumes produits (production de masse) ou de la portée géographique (décentralisation de la production).

Du numérique au physique

La fabrication additive consiste à superposer des couches de matière au fur et à mesure d'un parcours en 3D établi par une représentation numérique de l'objet à produire. Du plastique, du métal, du béton, de la résine et même des cellules vivantes peuvent être ainsi déposés par une tête d'impression robotisée pour former des structures de la plus simple à la plus complexe. Téléchargez notre livre blanc 3D Printing²³ pour en savoir plus.

Les facteurs du changement

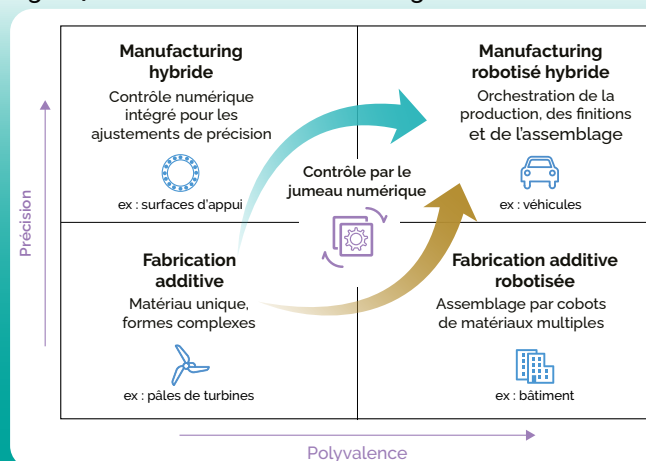
Échelle	Facteurs de changement	Exemples de cas d'usage
Grande taille	Designs complexes, efficacité des constructions <i>in-situ</i>	Bâtiments complexes, enveloppes de fusée, sous-marins, maisons à bas coût
Vaste portée	Optimisation de la logistique, personnalisation, résilience de la <i>supply chain</i>	Pièces détachées, biens de consommation personnalisés, applications médicales, impression à la demande
Gros volumes	Personnalisation de masse, réduction des pertes de matière	Grandes séries d'implants dentaires, pièces automobiles, médecine personnalisée

Idéalement, les possibilités en termes de réduction des gaspillages, de fabrication *nearshore* et même locale pourraient engendrer des bénéfices environnementaux, qu'il faut cependant pondérer par le coût énergétique de la production et de la distribution de la matière brute, et celui du processus de fabrication additive lui-même.

Vers la fabrication additive à grande échelle

Nous anticipons l'émergence d'un **manufacturing robotisé hybride** qui exploitera les capacités conjuguées de la fabrication additive, de la fabrication soustractive²⁴, et de la flexibilité de la robotique pour modeler et assembler des structures complexes et composites, de toutes formes et de toutes tailles. La technologie du jumeau numérique jouera un rôle clé pour simuler, contrôler et mener à bien le cycle de vie, du *design* numérique au produit réel. La figure 7 souligne les évolutions de la fabrication additive à grande échelle en termes de précision et de polyvalence.

Figure 7 – Vers la fabrication additive à grande échelle



²³ <https://atos.net/wp-content/uploads/2022/03/3d-printing-whitepaper.pdf>

²⁴ La forme de l'objet est obtenue par retrait de matière d'un bloc vierge.

Manufacturing hybride. Les progrès de la fabrication additive et des matériaux permettront d'améliorer la qualité des finitions et la précision. Il sera cependant difficile d'atteindre la méticulosité nécessaire à des surfaces d'appui ou de scellage. À moyen terme, au minimum, les finitions à haute tolérance nécessiteront d'incorporer dans le processus de fabrication des techniques soustractives comme le tournage et la rectification pilotés par ordinateur (CNC²⁵).

Manufacturing robotisé additif. Les nouvelles techniques de fabrication additive permettront de combiner peu à peu des matériaux aux propriétés très différentes, comme le métal et le plastique. L'orchestration de *cobots* chargés de tâches de production et d'assemblage supplémentaires permettra d'aller encore plus loin dans la complexité. Dans le bâtiment, par exemple, les mouvements de la tête de l'extrudeuse à béton seront coordonnés avec des robots qui poseront les fenêtres ou les canalisations.



Défis et opportunités

Afin de réaliser la fabrication additive à grande échelle, diverses améliorations des technologies et des processus seront nécessaires :

Multi-outils	Changer de tête d'impression en cours de processus permettra de combiner différentes méthodes de fabrication : des têtes de dépôt de fil créeront la forme générale, des têtes de fraisage affineront les surfaces critiques, et des têtes de peinture appliqueront les traitements de surface.
Multi-matériaux	Les têtes d'impression multiples combineront divers matériaux et méthodes de fusion / alimentation. L'impression 4D produira des objets réagissant à des <i>stimuli</i> externes (par ex. implants médicaux adaptatifs).
Structures assemblées	La mise en place robotisée de pièces standard telles que les fixations, tubes et composants électroniques permettra de réaliser des assemblages complexes.
Collecte intelligente de données	L'assurance qualité de la fabrication additive exigera la collecte et l'analyse automatisées des données du processus. Intégrer un dépistage prédictif des erreurs et un processus de certification qualité sera impératif pour les applications critiques en matière de sécurité.
Assurance qualité et service	Des vérifications de tolérance dimensionnelle, l'analyse vidéo et l'ajustement automatisé du tracé de l'impression en cours de fabrication éviteront les vides de matière ou le décollement. Des plateformes numériques spécialisées géreront de bout en bout le processus d'assurance qualité.
Propriété intellectuelle	Des techniques comme le chiffrement par seuil des commandes d'impression, la tokenisation des licences et les identifiants physiques intégrés ²⁶ permettront de garantir que les produits ne sont fabriqués que par des tiers autorisés.
Sécurité et sûreté	Des dispositifs de sécurité numérique protégeront l'intégrité des données de bout en bout. Des dispositifs physiques, basés sur l'analyse vidéo en temps réel garantiront la sûreté des personnes à proximité des imprimantes 3D.
Standards	Pour que la fabrication additive passe à grande échelle, il faudra créer des standards d'orchestration des processus et des équipements d'origines différentes.

Un catalyseur de changement

L'industrie se trouve au point où la demande pour des produits personnalisés, la globalisation, les coûts, la vitesse, etc. touchent aux limites de ses capacités d'innovation et d'optimisation. La fabrication additive à grande échelle peut être le catalyseur d'une nouvelle vague de changements, en particulier combinée avec les principes du *design* génératif²⁷ et le jumeau numérique. Nous anticipons l'apparition d'outils intégrés de conception, de simulation et de production, capables de réaliser des produits optimisés selon le contexte, aux géométries complexes, et utilisant des matériaux composites innovants.

Manufacturing as code (MANaC)

Everything as a code est une approche d'allocation de systèmes numériques où les instructions de déploiement sont codées et automatisées pour plus d'agilité et d'efficacité. Une approche similaire pourra être adoptée pour le contrôle de bout en bout et l'orchestration du *manufacturing* robotisé hybride.

25. Computer numerical controlled.

26. Par exemple, un numéro de série ou une étiquette RFID passive feront partie intégrante de l'objet, dont l'authenticité sera validée à l'aide d'un registre de licences basé sur la *blockchain*.

27. Le *design* génératif utilise un programme logiciel pour conceptualiser et optimiser un produit de façon itérative.

La santé pour les plus défavorisés

Les investissements actuels dans la santé numérique sont les premières étapes vers plus d'équité, de qualité des soins, et d'efficacité du système de santé. Les interactions technologiques entre les patients, les collectivités et le système de soin aideront à mieux répondre aux enjeux de santé publique.

Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), « l'équité est l'absence de disparités discriminatoire, évitables ou remédiables entre des groupes de personnes, que ceux-ci se définissent socialement, économiquement, démographiquement ou par toute autre caractéristique différenciante (sexe, genre, ethnicité, handicap, orientation sexuelle, etc). La santé est un droit humain fondamental. L'équité en matière de santé est atteinte quand rien n'entrave le potentiel de santé et de bien-être de chacun. »²⁸

La pandémie de Covid-19 a montré que cet idéal était encore lointain. Les populations défavorisées ont été affectées de façon disproportionnée²⁹ en raison de facteurs amplificateurs liés aux mauvaises conditions de vie et aux difficultés d'accès à des soins de qualité. Transposée à l'ère numérique, la loi des soins inversés indique que les personnes qui ont le plus besoin d'assistance (personnes âgées et souffrant d'exclusion sociale, notamment) sont aussi souvent, celles qui sont les moins susceptibles de se connecter aux plateformes numériques³⁰. Or, les plateformes de santé peuvent significativement favoriser l'accès aux services pour ceux qui en ont le plus besoin.

Par ailleurs, le Parlement européen a estimé que les inégalités de santé coûtent à l'Union environ 1,4 % de son PIB, soit à peu près l'équivalent de ses dépenses militaires totales (1,6 % du PIB³¹). Il y a là, à l'évidence, une urgence économique et humanitaire.

Les origines des inégalités de santé

Les inégalités de santé trouvent leurs origines dans deux facteurs clés :

- Une inégalité dans l'allocation des ressources ;
- Une inégalité des conditions sociales, économiques et environnementales, conduisant à une prédisposition accrue aux maladies.

Dans le cas des maladies chroniques, les personnes ayant un accès régulier à des soins de qualité, notamment les soins primaires, sont susceptibles d'être diagnostiquées plus tôt, ce qui accroît l'efficacité des traitements et en réduit le coût global pour la communauté.

Le numérique, un levier clé pour corriger les inégalités dans le secteur de la santé

La technologie tend à jouer un rôle clé pour renforcer l'équité de la santé, et ce d'autant plus que certaines démarches se font désormais en ligne, comme la recherche d'emploi, de logement, ou la demande d'aides sociales. La pandémie a souligné l'importance d'Internet et des technologies numériques dans notre quotidien, permettant de travailler et d'étudier depuis son domicile, mais aussi son rôle pour la santé. Ce sont des leviers clés pour l'accès aux soins à distance, l'accès à l'information via des portails patients, une coordination des soins omnicanale centrée sur le patient, les recherches cliniques, et diverses possibilités de transformation de l'écosystème de santé.



28. [who.int/health-topics/health-equity](https://www.who.int/health-topics/health-equity)

29. Ali S, Asaria M, Stranges S. COVID-19 and inequality: are we all in this together? *Can J Public Health*. 2020;111(3):415-416. doi:10.17269/s41997-020-00351-0

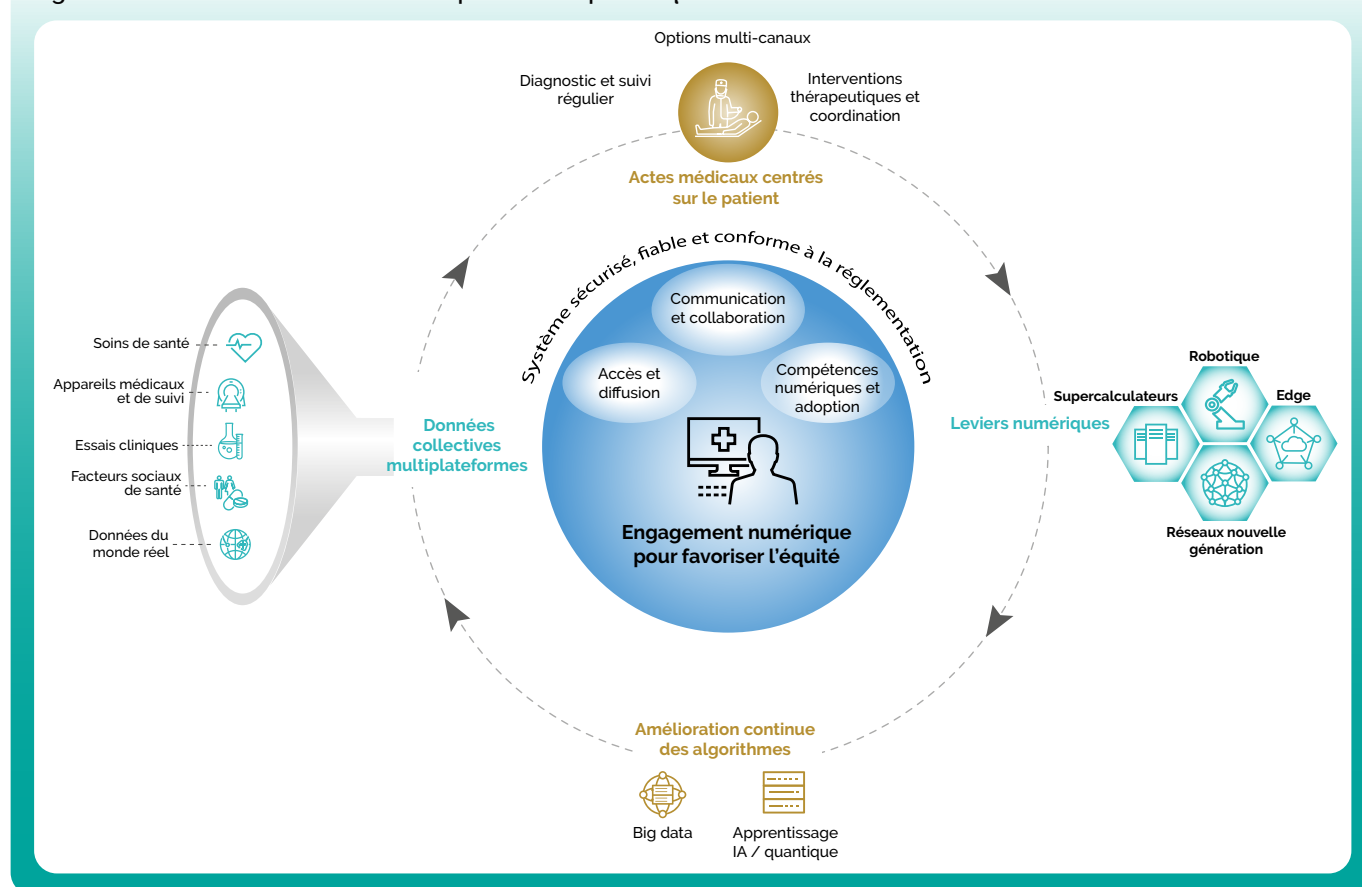
30. <https://www.who.int/news-room/facts-in-pictures/detail/health-inequities-and-their-causes>

31. Davies AR, Honeyman M, Gann B. Addressing the Digital Inverse Care Law in the Time of COVID-19: Potential for Digital Technology to Exacerbate or Mitigate Health Inequalities. *J Med Internet Res*. 2021;23(4):e21726. Published 2021 Apr 7. doi:10.2196/21726 (nih.gov)

D'ici à 2026, une des priorités sera de mettre en place des passerelles entre les silos de données de santé existants. Fédérer les données, de façon régulée et sécurisée, permettra de libérer leur potentiel, au service d'écosystèmes comprenant payeurs, fournisseurs de santé, acteurs des sciences du vivant et organismes de santé publique. Ces plateformes seront alimentées par de nombreuses sources de données. Les possibilités d'accès et de suivi à distance des patients permettent désormais d'étendre l'offre de soins aux plus défavorisés, en leur donnant aussi la possibilité, s'ils le souhaitent, de participer à des essais cliniques auparavant inaccessibles, contribuant ainsi à l'enrichissement des données sociales, médicales et génétiques.

Le développement d'actes numériques fondés sur des écosystèmes de données favorisera la médecine de précision : le bon traitement pour la bonne personne au bon moment. En effet, permettre la simulation de différents processus physiologiques du corps humain pourrait ouvrir la possibilité à chaque individu d'être doté d'un jumeau numérique. Cela démultiplierait les possibilités offertes par l'IA, le calcul haute performance et même les algorithmes quantiques, et accroîtrait encore l'efficacité des soins, y compris en prévention.

Figure 10 – Fédération de données multi-plateformes pour l'équité de la santé



Pour éviter d'exacerber les inégalités numériques, il est essentiel d'en comprendre les facteurs sous-jacents (parfois dynamiques). Par exemple, une politique proactive d'inclusion numérique nécessite d'être très attentif à l'expérience utilisateur, et de tenir compte des compétences, de la maturité, de la disponibilité et de l'accessibilité en termes de coût. Elle s'applique aux patients, comme aux fournisseurs de soins en leur donnant accès à des spécialistes et services auxquels ils n'avaient jusque-là pas accès.

En conclusion, développer l'accès au numérique, les infrastructures et la connectivité contribuera fortement à réduire les disparités. Une meilleure connaissance des pathologies et des traitements associés affinera les décisions de santé en fonction du contexte environnemental et des ressources disponibles. Les investissements croissants actuels dans le domaine de la santé numérique apporteront une meilleure équité, qualité des soins, et efficacité du système de santé, pour les générations futures.

La véritable empreinte carbone

Les initiatives de décarbonation doivent être envisagées de façon globale. D'importants changements sont nécessaires afin de garantir que les innovations technologiques contribuent de manière collective à la lutte contre le réchauffement climatique.

Réévaluer les enjeux

L'impact du CO₂ n'est plus considéré comme une simple externalité³², comme au temps de la première révolution industrielle, mais il relève désormais de notre responsabilité en matière de santé et de bien-être. La science et la technologie peuvent être des outils importants **de prévention, de traitement et de remédiation** pour l'environnement comme elles le sont pour le corps humain.

En novembre 2021, la COP26 de Glasgow a rappelé l'urgence de limiter notre impact sur la planète. Des objectifs, des initiatives et des accords réactualisés semblent continuellement voir le jour, et chacun réactualise sa vision d'un futur décarboné, avec l'apparition de toutes sortes de plans ambitieux, allant de l'électrification généralisée à la séquestration du carbone en passant par l'économie de l'hydrogène vert.

Relever le défi

Même si de telles réflexions à grande échelle sont nécessaires, la plupart des entreprises ne sont pas en mesure de contribuer instantanément à des initiatives aussi vastes et transformatrices. Dès lors, comment peuvent-elles se lancer vers la neutralité carbone de manière efficace et significative ? Comment chacun peut-il contribuer à bâtir un futur plus durable ? Malgré la multiplicité des initiatives vertes existantes, la réponse à ces questions n'est peut-être pas aussi évidente.

Nous sommes en fait confrontés à un cas de système de systèmes, avec des interdépendances complexes ne pouvant pas être envisagées d'un point de vue unique. Sous un certain angle, une initiative pourrait sembler bénéfique, mais, envisagés globalement, ses impacts pourraient se révéler

limités, voire négatifs. Cela semble par exemple logique d'acheter un véhicule électrique pour réduire son empreinte carbone, mais ce n'est vrai que si l'électricité utilisée pour charger la batterie est décarbonée. De même, le seuil de rentabilité doit être atteint avant que l'impact carbone de la fabrication du véhicule électrique ne soit entièrement compensé par rapport à celui d'un véhicule à essence³³. Et cela ne tient pas compte des implications sociales et environnementales de l'extraction des matières premières nécessaires à la production de la batterie³⁴.

Les programmes de décarbonation ciblés et les réglementations peuvent être utiles pour pallier des manques précis et stimuler le changement sociétal, mais nous devons éviter de causer involontairement des dommages. Ceci nécessite d'aborder nos stratégies de décarbonation sous l'angle d'un système de systèmes.

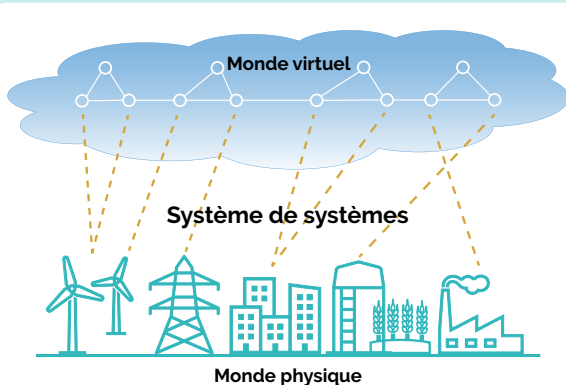
L'équation de la décarbonation

Le problème de la décarbonation sous l'angle d'un système de systèmes comporte six dimensions clés :

- Technologie : les changements proposés sont-ils techniquement possibles ?
- Économie : comment la transformation et les opérations consécutives seront-elles financées ?
- Externalités : quelles sont les implications du changement ?
- Réglementation : comment les changements opérationnels seront-ils encadrés ?
- Éthique : quels seront les impacts sur les droits humains ?
- Société : comment les changements nécessaires seront-ils accueillis et adoptés ?

Tous ces aspects doivent faire, ensemble, la démonstration d'un bénéfice global. Par exemple, la séquestration du carbone dans d'anciennes mines³⁵ peut offrir un bénéfice immédiat, mais en connaît-on toutes les conséquences à long terme, et la pratique ne se heurtera-t-elle pas aux mêmes oppositions sociétales que la fracturation hydraulique³⁶ ? N'oublions pas également que, dans certaines économies, les options seront limitées pour atteindre les objectifs convenus globalement.

Figure 9 – Comprendre la véritable empreinte carbone



Comprendre l'intégralité des impacts des activités dans le monde physique exige une approche par système de systèmes. Via la simulation, la prédiction et l'optimisation, le monde virtuel peut apporter des informations clés et exploitables.

32. Un coût ou un bénéfice engendré par un producteur qui n'est pas comptabilisé dans sa chaîne de valeur.

33. reuters.com/business/autos-transportation/when-do-electric-vehicles-become-cleaner-than-gasoline-cars-2021-06-29/

34. borgenproject.org/alternatives-to-cobalt-mining/

35. reuters.com/business/cop/miners-look-carbon-capture-move-beyond-net-zero-andy-home-2021-10-29/

36. Une technique de forage utilisée pour extraire du pétrole, du gaz naturel, de l'énergie géothermique ou de l'eau jusqu'à de grandes profondeurs.



Il est impératif que les systèmes et les objectifs soient alignés et partagent les mêmes principes à travers l'élaboration d'ontologies communes. Nous avons besoin d'outils pour donner de la perspective à la vision d'ensemble, et nous avons besoin de comprendre les interdépendances et les conséquences des décisions prises et des actions mises en œuvre. À cet égard, le numérique a un rôle majeur à jouer.

Agir au-delà du Scope 3

En particulier, l'émergence de plateformes d'écosystèmes sectoriels³⁷ offre la possibilité de mieux comprendre les émissions de carbone sur le Scope 3³⁸, et de permettre aux acteurs isolés de prendre part à des initiatives à grande échelle. Ceci pourrait même aider à appréhender d'autres aspects du système de systèmes, comme les externalités sur l'ensemble de la chaîne de valeur, soit au-delà même du Scope 3. C'est un pas crucial à franchir pour évaluer le bénéfice total des initiatives de décarbonation, ou leurs effets préjudiciables. Nous ne préconisons absolument pas une plateforme globale et unique qui générerait toutes les consommations et les chaînes de valeur interconnectées, ce qui serait impossible à plusieurs titres. Nous voyons plutôt émerger des plateformes de plateformes, liées entre elles par des ontologies communes

standardisées, grâce auxquelles il sera possible d'échanger des connaissances, de calculer la véritable empreinte carbone, et d'étudier diverses réponses aux enjeux de la décarbonation.

De telles approches nous permettront de mieux identifier les principaux défis et les principales opportunités. Elles aideront les acteurs privés, les autorités de régulation et les gouvernements à connecter des initiatives sans cela isolées. De tels écosystèmes pourraient apparaître dans des domaines aussi divers que la récupération de chaleur résiduelle, le recyclage de produits obsolètes, la compensation financière d'externalités, et le calcul d'empreinte carbone totale.

Comme lors de la première révolution industrielle, nous prévoyons des progrès continus dans des domaines tels que la découverte de nouveaux matériaux et catalyseurs, le gain d'efficacité opérationnelle grâce au virtuel, l'essor de nouvelles technologies efficaces du point de vue énergétique comme le stockage de données numériques sur ADN³⁹, et le développement croissant de réseaux d'énergie propre. À la différence, cette fois, que nous devons faire en sorte que toutes ces innovations puissent fonctionner ensemble et au bénéfice de tous dans la lutte pour la décarbonation.

37. Voir le chapitre sur les écosystèmes de plateformes sectorielles.

38. Dans la méthodologie du *Greenhouse Gas Protocol* (GHG), le Scope 3 désigne les émissions de gaz à effet de serre indirectes, en amont et en aval des opérations de l'organisation concernée.

39. atos.net/wp-content/uploads/2021/07/techdays-2021-dna.pdf



S'affranchir des frontières entre réel et virtuel



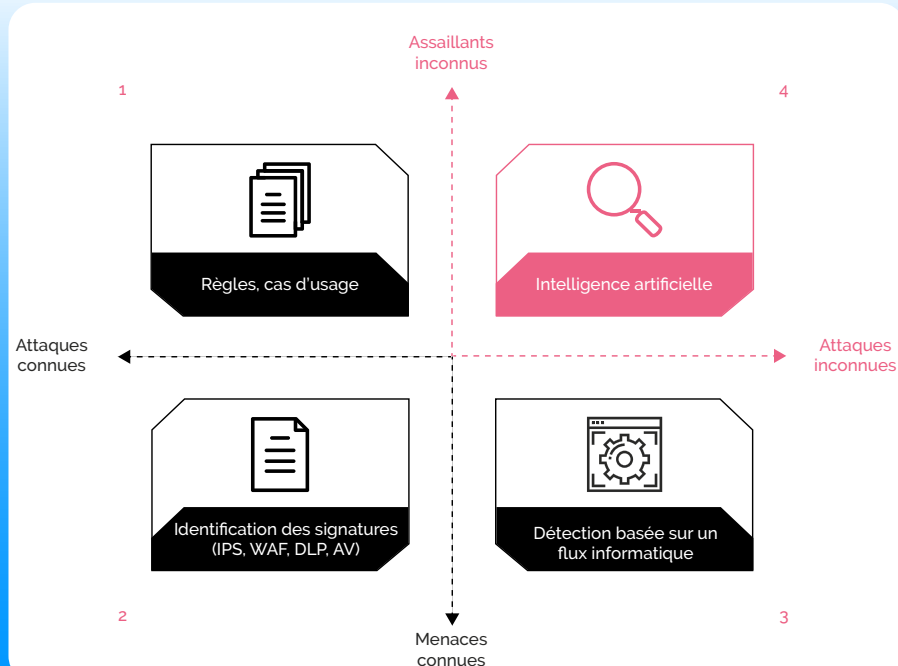
Quels sont les défis d'un monde de plus en plus virtualisé ? À quels risques et à quelles conséquences pouvons-nous nous attendre, et comment y faire face ?

La bataille de la cyber IA

La cybersécurité s'appuiera de plus en plus sur l'IA, notamment dans la lutte contre les cyberattaques. L'IA cognitive permettra d'accroître de manière considérable les capacités des cyber-défenseurs, et devrait être au cœur de leur stratégie et de leurs tactiques.

Ces dernières années la cybercriminalité a explosé : le piratage des emails professionnels double chaque année, le *phishing* affiche une croissance à deux chiffres et les ransomwares représentent désormais 10% des incidents. Les principaux dommages sont le fait d'attaques extrêmement organisées et ciblées, lancées par des acteurs non répertoriés, en général des cybercriminels et des pays opérant *incognito*. Combinant techniques de pointe et ingénierie sociale, souvent étalées sur plusieurs mois, ces attaques utilisent de plus en plus l'IA. Les méthodes de protection traditionnelles, qui s'appuient majoritairement sur la reconnaissance de signatures d'attaques répertoriées, des règles de défense, la *threat intelligence* et des *scenarii* de SOAR (*Security Orchestration Automatisation and Response*), peinent à les contrer. Le taux élevé de réussite des *ransomwares* souligne la difficulté des approches actuelles de la cybersécurité – desservies de surcroît par la pénurie de spécialistes – à faire face à toutes les menaces complexes.

Figure 10 – Le paysage actuel des cybermenaces et de la cyberprotection



Pour faire face à la diversité des attaques basées sur l'IA, la cybersécurité doit elle aussi s'appuyer sur cette technologie.

Perspectives 2026

La bataille entre IA hostiles et IA défensives sera au cœur de la cybersécurité de demain. En 2026, la plupart des attaques devraient se situer dans le quadrant supérieur droit du paysage des menaces (Fig. 10). De plus, l'exposition et les risques, amplifiés par le *cloud*, l'*edge* et le *swarm*, seront bien supérieurs. Des milliards d'objets intelligents étireront la surface d'attaque à laquelle seront exposées les villes intelligentes, les entreprises et les foyers.

L'IA sera demain la technologie de choix des cybercriminels, qu'il s'agisse de banditisme, de criminalité stratégique, de terrorisme ou de guerre de 5e génération. Elle donnera aux pirates d'inquiétantes capacités pour détruire des infrastructures et déstabiliser massivement des systèmes financiers, de défense, de santé ou de communication. On assistera à une explosion de la cyber-déstabilisation basée sur les *deepfakes* et l'ingénierie sociale. L'espace virtuel sera un terrain de confrontation majeur

entre pays antagonistes, et le terrorisme ou l'assassinat politique pourraient eux-mêmes passer par les canaux numériques (par exemple, via le piratage d'un implant médical ou d'un véhicule autonome).

Nous sommes convaincus que l'IA cognitive (IAC), capable de reproduire le raisonnement humain sur des problèmes précis et d'aider à la décision sur les problèmes plus vastes, pourra faire pencher la balance en faveur de la défense. L'IAC peut nous donner l'envergure suffisante pour repousser les cyber-agresseurs.

Les progrès de l'IAC devraient être rapides. Capitalisant sur le *machine learning* et le *deep learning*, les premières implémentations sont attendues pour 2023, avec un essor rapide des cas d'usage d'ici 2026.



Le tableau ci-dessous résume les évolutions de l'IA dans la cybersécurité entre aujourd'hui et 2026 :

L'IA dans la cybersécurité aujourd'hui	L'IA dans la cybersécurité en 2026
Utilisation d'algorithmes d'apprentissage non supervisés ; utilisation limitée d'algorithmes d'apprentissage supervisés et du <i>deep learning</i> .	Utilisation d'algorithmes de <i>deep learning</i> menant à l'IA cognitive.
Le manque de failles répertoriées limite à quelques cas d'usage (<i>malwares, phishing, emails...</i>) l'utilisation du <i>deep learning</i> et de l'IA avancée.	L'IA frugale, capable d'exploiter une fraction des jeux de données, permettra le développement de l'IAC. L'apprentissage par un <i>deep learning</i> renforcé s'appuiera sur des signaux et non des données. L'apprentissage auto-supervisé évitera d'avoir à étiqueter les échantillons. Des espaces de partage de données et de calcul multipartite (MPC) permettront d'obtenir, sur les incidents de sécurité, des jeux de données assez vastes pour le <i>deep learning</i> .
L'encadrement juridique et éthique de l'IA est encore à l'état de concept.	En 2026 l'IA bénéficiera de cadres juridiques et éthiques matures. La traçabilité, l'explicabilité et la normalisation seront des mécanismes clés pour garantir la conformité juridique et éthique des IA.

Les usages de l'IA cognitive en 2026

L'IAC pourrait donner l'avantage à la cyberdéfense et à la résilience, notamment grâce aux approches suivantes :

• Détection cognitive des menaces

En reproduisant le travail des ingénieurs en cyberdéfense, l'IAC permettra de détecter les menaces avec une grande acuité, de réaliser des économies d'échelle, et donc de remplacer des armées d'experts par de petites équipes cyber assistées.

• Orchestration et réponse cognitive de la sécurité

Avec l'IAC, les plateformes SOAR vont passer d'un paramétrage manuel à un apprentissage autonome pour générer les étapes de réponse aux attaques. Les systèmes *edge* ou *swarm* permettront des réponses contextualisées, immédiates et à grande échelle.

• La *Cyber Threat Intelligence* (CTI) basée sur l'apprentissage fédéré

La CTI respectera les exigences de souveraineté des données en s'appuyant sur une fédération de confiance de sources de renseignements locales.

• Protection de l'équité des données

Les principes de l'équité des données⁴⁰ permettront de partager

les données avec confiance et d'en dégager de la valeur.

L'IAC permettra de détecter toute altération malveillante des données, ce qui garantira leur fiabilité et permettra des décisions équitables.

• L'IAC, assistant virtuel du RSSI

L'IAC assistera les responsables de la sécurité des systèmes d'information (RSSI) dans leurs décisions, leur permettant de se consacrer aux actions stratégiques.

• Systèmes auto-réparateurs et cyber résilience

Finalement, l'IAC rendra possible l'autoréparation autonome des systèmes. Elle orchestrera des réponses rapides aux incidents en choisissant la meilleure option selon les objectifs de point de récupération (RPO) et de temps de récupération (RTO).

Les cybercriminels utiliseront toujours plus l'IA, mais l'IA cognitive permettra à la défense de résister. Pour lutter efficacement contre le crime organisé et les pays hostiles, les organisations doivent faire de l'IA et de l'IA cognitive la priorité de leurs tactiques et de leurs stratégies de défense.

40. <https://atos.net/fr/lp/renouer-avec-la-croissance-apres-le-covid-19>

La résilience numérique, ou la voie de l'antifragilité

Dans un monde interconnecté et digitalisé, les systèmes sont de plus en plus complexes et interdépendants. La technologie évolue, les échanges de valeur s'accroissent, les interactions sur les réseaux sociaux se multiplient et de nouveaux écosystèmes voient le jour.

Le niveau d'incertitude croît avec la complexité. A cela s'ajoutent des ruptures aussi fortes qu'imprévisibles et désormais trop fréquentes – effondrement des marchés, catastrophes naturelles, crises sanitaires, et autres chocs intrinsèques et extrinsèques – et qui risquent de nous mener au chaos. La tendance n'est pas près de s'inverser, et il faut désormais apprendre à vivre dans l'incertitude. La nature des chocs semble aussi évoluer, en fréquence, en intensité mais également en termes de disruptivité. Après chaque crise, l'environnement est souvent si bouleversé que les entreprises doivent repenser leur activité. S'adapter est vital. Cependant, l'objectif ne doit pas seulement être de s'adapter, mais de prospérer. L'imprévisibilité, la prise de décisions complexes et l'incertitude ont déjà fait l'objet de nombreux travaux, mais les entreprises et la société n'en ont pas jusqu'à présent suffisamment tiré les fruits.

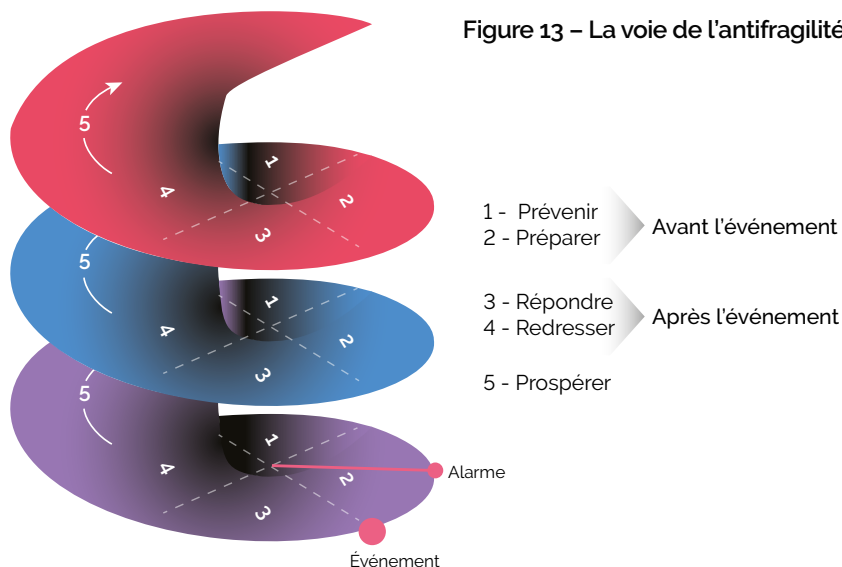
Une nouvelle approche de la gestion du risque : investir dans l'antifragilité

Pour quelles raisons, les travaux académiques n'ont pas été suffisamment utilisés pour traiter ces enjeux majeurs ? Probablement du fait que leurs conclusions remettaient en cause la sagesse conventionnelle, les croyances établies et la pensée courante. Au cours de l'ère industrielle, les organisations ont été structurées pour maximiser l'efficacité à court terme, et aujourd'hui encore, la gestion du risque est perçue comme un coût, une crise doit être évitée, la prévision

est un art à maîtriser, l'hyper-optimisation apparaît comme bénéfique, et la robustesse est opposée à la fragilité. Ces affirmations doivent être revues à l'aune d'un contexte qui a radicalement changé.

Lorsqu'une crise frappe, la robustesse est certainement plus adaptée que la fragilité. Les choses fragiles cassent lorsqu'elles sont soumises à un choc alors que celles qui sont robustes résistent. Mais la robustesse peut également être inflexible. Comme souligné par l'analyste financier Nassim Taleb, le contraire de la fragilité n'est pas la robustesse mais l'antifragilité⁴¹ : la capacité à tirer parti d'un choc pour prospérer. Avec les crises, de nouveaux marchés s'ouvrent, les consommateurs ont de nouvelles exigences, les écosystèmes évoluent, et le paysage concurrentiel est remodelé.

Le cycle traditionnel de la gestion des risques et de crise comporte quatre phases : la prévention et la préparation, puis la réponse et le rétablissement. Figure 11, nous proposons une nouvelle façon d'appréhender ces étapes et y ajoutons une cinquième phase de prospérité. Les organisations qui s'arrêtent à la phase de rétablissement sont condamnées à rester au même niveau en termes de maturité et de résilience. Les organisations qui se structurent pour capitaliser sur les ruptures élèvent leur niveau de maturité vers l'antifragilité. Elles profitent des chocs, croissent pendant les crises et prospèrent dans les environnements recomposés. Avec cet objectif de prospérité en cible, la gestion du risque devient un investissement stratégique pour le futur.



41. Nassim Nicholas Taleb, Antifragility, Random House (US) and Penguin (UK), 2012

Six leviers clés pour prospérer grâce à l'antifragilité

De bonnes pratiques pour se préparer à l'antifragilité émergent : certaines viennent de pionniers du numérique, d'autres sont issues de nouveaux modèles organisationnels comme les organisations autonomes décentralisées (DAO). Elles offrent un excellent cadre d'analyse et d'action.

1 Définir une raison d'être claire préalablement à toute stratégie

Pour ne pas s'égarer lors des crises, les entreprises ont besoin d'être guidées par une raison d'être. C'est ce qui maintiendra leur cohésion et facilitera les pivots stratégiques et tactiques dans des conditions changeantes.

2 Développer une culture de l'autonomie

Les entreprises antifragiles qui réussissent ont en commun dans leur ADN l'adaptabilité de leurs collaborateurs. L'autonomie est vitale. Créer une culture ouverte au changement nécessite d'adapter les mentalités et les compétences, de s'appuyer sur une grande variété de profils et de talents, de permettre à chacun d'être plus transversal, de maîtriser plusieurs disciplines, d'encourager l'expérimentation et de tolérer les échecs.

3 Des structures connectées pour un écosystème collaboratif

Dans les grandes organisations, les ruptures provoquent des effets domino. Les structures organisationnelles modulaires, aux interdépendances faibles, sont plus résilientes que celles qui sont bureaucratiques, même au prix de quelques redondances. Il y est plus facile d'abandonner rapidement certaines parties pour en sauver ou en faire évoluer d'autres. Faire partie d'un écosystème économique plus large peut aussi renforcer la résilience. En période de tension, les complémentarités permettent aux entreprises de partager des collaborateurs, des données, des *supply chains*, etc.

4 Étendre les méthodes de travail agiles

Réussir dans un monde en mutation rapide signifie essayer sans cesse de nouveaux *business models*, tester la réponse du marché, et, s'ils sont viables, les passer à l'échelle et lancer l'itération suivante. Les entreprises matures *hesitent* souvent à appliquer ces principes de *lean startup* de crainte de perdre des parts de marché. Ironiquement, cette perte est souvent au contraire le résultat d'une gestion trop prudente des crises...

5 Adopter une planification stratégique flexible

La flexibilité stratégique nécessite une pensée financière agile, qui admet que le monde n'est pas linéaire. Les méthodes d'allocation du capital traditionnelles sont lentes. Réagir promptement face aux crises nécessite des réallocations rapides de portefeuille, des désinvestissements et des acquisitions. En temps de crise, l'activité normale peut être temporairement bloquée en raison de pénuries de fournitures ou de demande. Un portefeuille équilibré, diversifié et flexible peut maintenir l'entreprise à flot malgré les aléas.

6 Utiliser de nouveaux KPIs pour gérer la volatilité

Des indicateurs de performance (KPI) avancés sont essentiels à l'organisation antifragile. Certains doivent être conçus pour prédire ou détecter les ruptures au plus tôt. D'autres doivent mesurer la fragilité et la maturité de l'antifragilité. D'autres enfin doivent mesurer les capacités nécessaires pour renouer avec la croissance.

L'usage des technologies analytiques et du *nowcasting*⁴², assistées par l'IA apporteront une aide stratégique dans cette quête d'antifragilité. Le numérique contribue à rendre le monde plus incertain et risqué, mais il offre aussi des plateformes permettant de mieux prévoir, collaborer et s'adapter en temps réel. En ce sens, le numérique apporte la solution en même temps qu'il accroît les risques.

Adapter la stratégie de l'organisation, sa culture, sa structure, ses façons de travailler, sa planification et ses KPIs pour devenir antifragile pourrait être une question de survie dans le monde instable et décroissant de 2026. Les bonnes pratiques pourront varier d'un secteur à l'autre, mais c'est maintenant qu'il faut se préparer à l'antifragilité si l'on veut prospérer lors de la prochaine crise.

42. The prediction of present, and very near-term past and future states of economic indicators

Les impacts des modèles économiques sur la technologie et la société

L'innovation technologique a toujours été un moteur des évolutions économiques, agissant comme un catalyseur de l'efficacité, de la productivité, et donc de la croissance. Les technologies numériques se sont révélées parmi les plus porteuses de ruptures, mais en dépit de tous leurs bienfaits, elles sont aussi la cause de nombreuses inégalités. Dès lors les modèles économiques qui alimentent l'essor de la technologie devraient-ils être corrigés pour prendre en compte des indicateurs d'investissement responsable et garantir des retombées durables et équitables ?

La nécessité de penser différemment

Dans une période d'à peine plus d'un siècle, délimitée par deux pandémies, la société a été dominée par ce qui est devenu l'orthodoxie économique : la quête de la croissance. Ce que nous mesurons, et comment nous le mesurons, a façonné la conduite des affaires et l'évaluation de la réussite tant individuelle que collective. Toutefois, à mesure que se dématérialisent les interactions économiques, nous semblons faire l'erreur de croire que nous pouvons continuer à utiliser nos modèles traditionnels, basés sur des principes nés dans des sociétés révolues, au fonctionnement très différent du nôtre. Les théories économiques qui se bornent à mesurer les rendements, et non les retombées et les impacts, peuvent engendrer des conséquences négatives, en particulier quand on regarde l'implacable réalité de l'incidence sur notre planète de la croissance continue de la consommation. Le produit intérieur brut (PIB) ne peut plus être la seule mesure du succès d'une société. Les crises récentes et en cours balayent quelques-unes de nos croyances économiques, et de nombreux dirigeants politiques et d'entreprises semblent déterminés à mettre en œuvre des changements qui auraient semblé impossibles il y a deux ans à peine.

Les grands défis du monde ne peuvent être résolus dans l'isolement

Nous sommes aujourd'hui à un point d'inflexion où les modèles économiques existants ne satisfont plus les besoins de l'humanité. Les entreprises, les gouvernements et les autorités de régulation doivent être responsables des impacts de l'activité humaine, non seulement sur la planète, mais aussi sur la stabilité et la structure des sociétés qui en dépendent. Le reporting de développement durable est de plus en plus attentif aux trois aspects, E, S et G (Environnement, Social, Gouvernance). Nous devons être disposés à adopter de nouveaux *business models* pour le financement, la conception et le déploiement des technologies qui façonneront nos sociétés. Toutefois, il nous manque le plus souvent des indicateurs admis par tous qui nous permettront de mesurer l'impact de ces ruptures.

Il existe plusieurs approches théoriques capables de soutenir des développements technologiques plus en harmonie avec la planète et engendrant moins de conflits dans la société. Parmi eux, le modèle du *donut*⁴³, qui remplace la gestion des

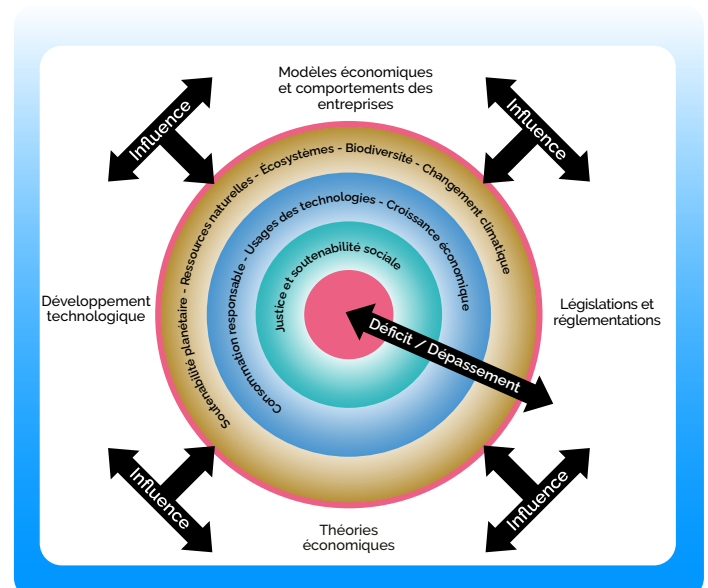
entreprises et de la société à l'intérieur des limites planétaires, et celui de l'économie des communs, qui s'intéresse aux biens communs et au pouvoir d'Internet pour créer des infrastructures technologiques capables de se reproduire et de s'auto-organiser⁴⁴.

De meilleures retombées pour la société ? Mesurez ce que vous voulez changer

Au niveau macro, il y a urgence à redéfinir la réussite économique et à sortir des *business models* potentiellement néfastes, basés sur l'extraction et la consommation, et qui tendent à récompenser le court-termisme.

Changer la façon dont nous investissons dans la technologie et dont nous la régulons, par exemple via les taxes carbone et les subventions aux énergies, ou les lois sur la réparabilité et l'accessibilité, peut avoir un profond impact sur les organisations qui la développent et la diffusent. Les entreprises devraient considérer cela comme une opportunité de repenser leur modèle de valeur.

Figure 12 – Les interactions entre économie, technologie, business et société



43. doughnuteconomics.org/about-doughnut-economics

44. primer.commonstransition.org/1-short-articles/1-3-what-does-a-p2p-economy-look-like



Changer le financement des entreprises technologiques

Comment soutenons-nous les entrepreneurs et les inventeurs ? La dette comme outil de conquête de parts de marché est-elle une bonne chose pour quelqu'un d'autre que les investisseurs ? Les États doivent-ils être davantage impliqués dans le soutien à l'innovation, ou ne font-ils qu'entraver la flexibilité nécessaire pour aller vite ? Via des obligations responsables et durables à long terme assorties de droits de vote, la finance pourrait peut-être contrebalancer le court-termisme engendré par l'exigence de créer de la valeur pour les actionnaires.

À qui la responsabilité du changement ? Aux économistes, aux marchés ou aux gouvernements ?

Selon Katharina Piskor, professeure à la Columbia Law School de New York, les lois et les systèmes juridiques actuels ne protègent que les intérêts des actionnaires.

Or, les investisseurs sont rarement responsables des impacts négatifs potentiels de leurs investissements. Ils se contentent de se retirer quand le profit décline. Ce qui signifie que le risque financier est couvert par la société elle-même, comme dans le cas du sauvetage des banques et de l'industrie pétrolière par l'argent public.

La réglementation a vocation à façonner les marchés et si le PIB n'est plus adapté, de nouvelles théories économiques, comme celle du *donut*, peuvent aider à trouver une mesure du succès plus équilibrée dans un contexte de consommation réduite et de décroissance⁴⁵.

Les dirigeants d'entreprise doivent se focaliser sur de nouvelles créations de valeur

Les investisseurs institutionnels cherchent de plus en plus à financer des organisations durables pour la planète et la société en général. La structure et le mode de fonctionnement des entreprises influenceront les choix de financement. Celles qui ne s'adapteront pas risquent de voir leurs capitaux disparaître et leurs revenus baisser. La collaboration dans et entre les entreprises sera aussi importante pour créer une valeur partagée que l'a été jusqu'ici la compétition. En tant qu'acteur technologique, nous pouvons investir dans des solutions qui nous aideront à mesurer et comprendre nos impacts. Nous pouvons choisir d'être socialement responsables, inclusifs et équitables. Nous pouvons bâtir des modes de rétribution qui encouragent les comportements responsables et mettent un terme à la course à la croissance et à ses cycles financiers rapides qui, à moyen et long terme, lèsent les peuples et la planète.

⁴⁵ degrowth.org/definition-2/

Technologie et réglementation

Créer une réglementation efficace de la technologie nécessite d'aligner de nombreux acteurs afin d'éviter les conséquences imprévues et les vides juridiques. Le processus peut lui-même bénéficier des technologies numériques, qui permettent d'organiser la collaboration entre ceux qui font la règle et ceux à qui elle s'appliquera.

Une relation complexe mais inévitable

La coexistence entre la technologie et la réglementation n'a pas toujours été facile, entre d'un côté le temps long, parfois bureaucratique, de la négociation, et de l'autre l'accélération due aux innovations et aux impératifs économiques. Élaborer une bonne réglementation pour un sujet complexe est très délicat car cela nécessite un équilibre subtil entre diverses parties prenantes, et impose de prendre garde aux conséquences imprévues et aux angles morts juridiques. Il est cependant impératif d'encadrer la technologie pour éviter les avantages économiques déloyaux et les inégalités sociales.

D'ici 2026, les réglementations devraient se renforcer partout dans le monde, avec des conséquences significatives sur les activités des entreprises du numérique. En 2021, d'importantes initiatives ont déjà vu le jour dans les principales zones de réglementation du monde : en Chine, avec des interventions sur tous les aspects du numérique, aux États-Unis, qui regardent d'un œil plus critique leurs champions technologiques, et au sein de l'Union Européenne, qui encourage des services numériques plus responsables.

Dans ce contexte, se posent trois questions clés :

- Comment le numérique peut-il aider les gouvernements à concevoir et faire appliquer de meilleures réglementations ?
- Comment le numérique peut-il aider les entreprises à mieux se conformer à la réglementation ?
- Comment les organisations peuvent-elles prospérer dans un environnement plus réglementé ?

La réglementation du numérique : dresser la carte des enjeux

Les réglementations existantes sur la vie privée des citoyens et celles, émergentes, sur des sujets tels que l'éthique de l'IA tendront vers une charte des droits humains numériques. La réglementation des marchés numériques abordera des aspects essentiels comme la compétition et l'imposition, tout en prenant en compte des *scenarii* géopolitiques complexes et les spécificités des secteurs d'activité. Sur la sécurité, les réglementations s'élargiront, passant d'impératifs technologiques de bas niveau à des considérations de gouvernance de systèmes. Elles devront aussi devenir plus internationales en réponse aux cyberattaques transfrontalières. Enfin, des réglementations concernant l'environnement devraient émerger rapidement afin de fournir les outils nécessaires à la lutte contre le changement climatique.

Le numérique au service de la réglementation : utiliser la technologie pour mieux réguler

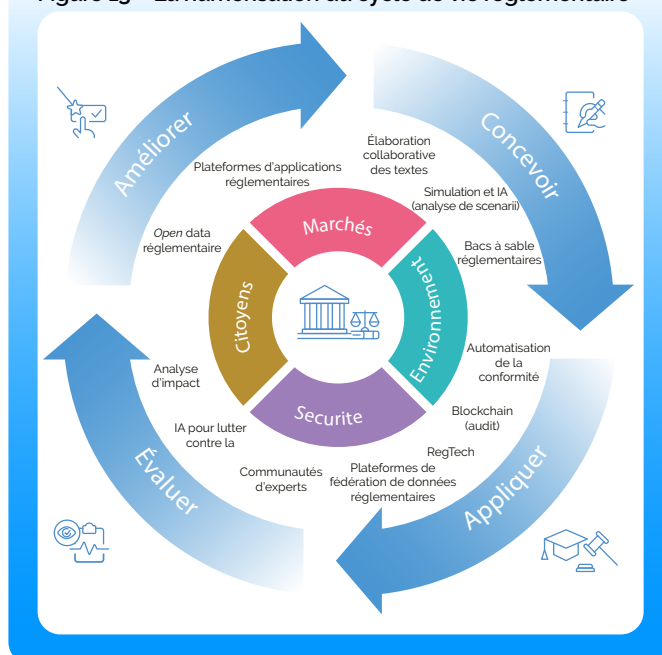
Si l'on résume le cycle de vie réglementaire à Concevoir / Appliquer / Évaluer / Améliorer, alors les technologies numériques peuvent faciliter sa mise en œuvre en la rendant plus agile.

Lors de la phase de conception, la simulation, combinée à l'IA, permettra d'anticiper les conséquences négatives dans des systèmes socio-économiques complexes. Nous prévoyons l'essor de bacs à sables réglementaires⁴⁶ pour des expérimentations contrôlées dans tous les secteurs d'activité. Ils seront complétés par des outils collaboratifs qui faciliteront la participation des parties prenantes à la définition et au test du cadre réglementaire.

Dans la phase d'application, l'automatisation sera clé pour garantir de hauts niveaux de conformité à moindre coût, étendant le concept de *RegTech*⁴⁷ au-delà de son périmètre actuel de la finance. L'automatisation aura un impact depuis la base (conformité aux règles de sécurité inscrites dans l'IoT) à des échelles plus globales (décarbonation et reporting ESG). De telles solutions s'appuieront sur des plateformes de fédération de données basées sur les standards de confiance créés par les initiatives de souveraineté numérique comme Gaia-X en Europe.

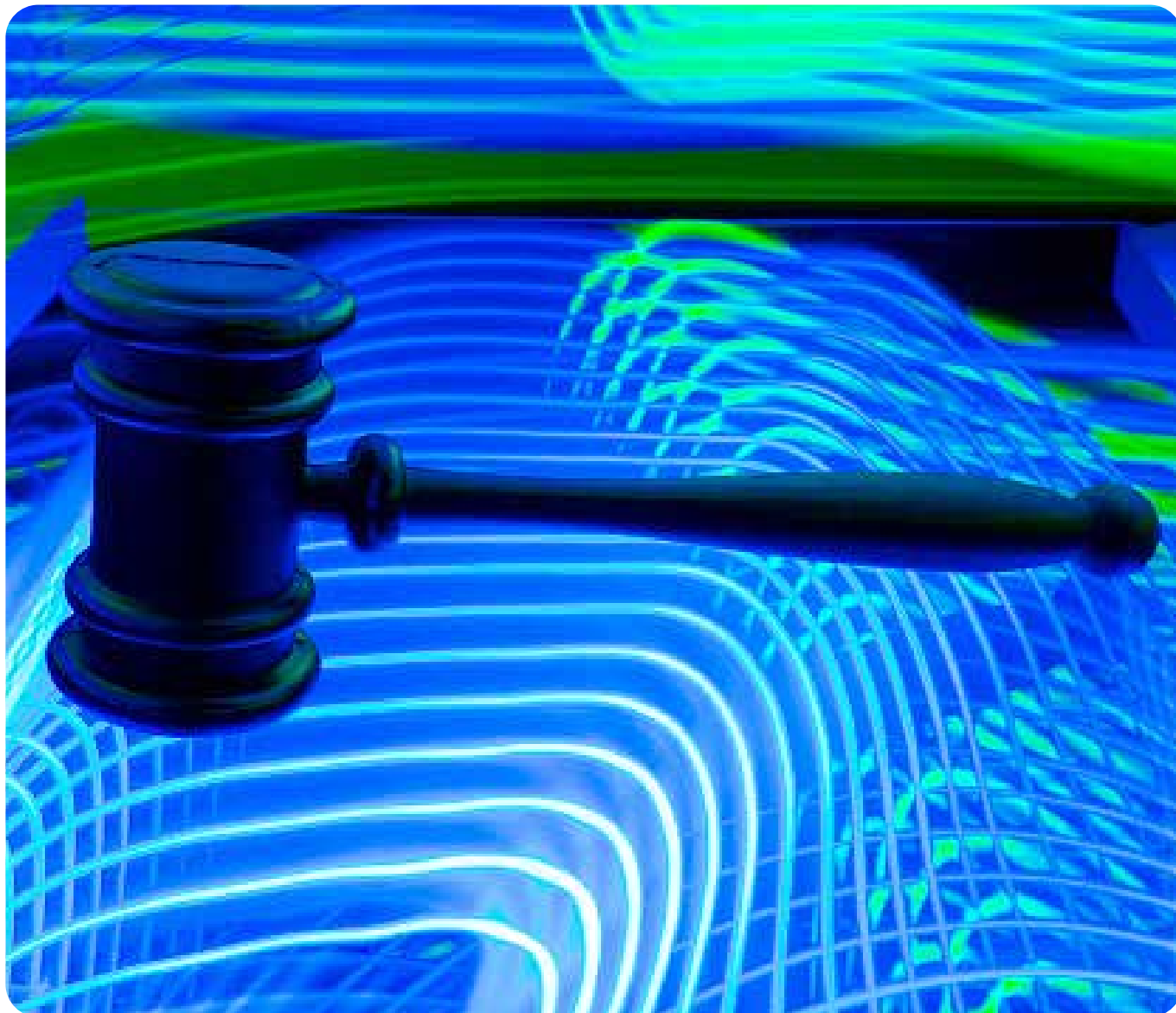
L'interaction attendue des évolutions de la réglementation technologique résume les principaux domaines où l'on peut s'attendre à une activité réglementaire intense au cours des quatre ou cinq prochaines années.

Figure 13 – La numérisation du cycle de vie réglementaire



46. Un cadre qui permet aux innovateurs d'expérimenter en direct dans des environnements contrôlés, sous la supervision des autorités de régulation.

47. Les *RegTechs* désignent les nouvelles technologies développées pour aider les services financiers à répondre à leurs enjeux réglementaires.



Grâce à des modèles réglementaires enrichis par davantage de données, l'analytique avancée et l'IA peuvent détecter de potentielles inefficacités et évaluer leurs conséquences. On peut aussi envisager d'accroître la valeur de la réglementation avec des innovations plus radicales, comme par la mise en place de services réglementaires visant à renforcer la transparence via l'*open data* et les plateformes applicatives.

Les régulateurs doivent, certes, être davantage au fait de la technologie, mais ils doivent surtout être extrêmement conscients de ses limitations. Des enjeux tels que la violation de la vie privée, les biais de l'IA ou l'opacité potentielle de certains contrats intelligents basés sur la *blockchain* peuvent causer des problèmes supérieurs à ceux que la réglementation entendait à l'origine résoudre.

Vivre (et prospérer) dans un monde numérique réglementé

Les régulateurs ne sont pas les seuls à devoir changer. La plupart des organisations ont, vis-à-vis de la réglementation une posture réactive, voire défensive. À long terme, cela engendre des surcoûts, à la fois pour s'adapter aux nouvelles exigences et pour répondre aux enjeux d'image liés à d'éventuelles non-conformités.

Une approche proactive et collaborative avec les autorités, soutenue par la technologie, sera bénéfique. Cela pourrait faciliter l'adaptation des solutions numériques aux technologies émergentes (éthique de l'IA, décarbonation...) et la gestion des séismes réglementaires (comme celui survenu en Chine en 2021⁴⁸). Ceci exige de revoir largement le rôle et les compétences numériques des services juridiques.

Il est difficile de prévoir comment évoluera la réglementation dans le monde, mais une chose semble sûre : en 2026, les activités numériques seront plus étroitement encadrées. Ce ne sera pas nécessairement au détriment des entreprises et de la société. Si ceux qui font la réglementation et ceux à qui elle s'applique collaborent et tirent parti du potentiel de la technologie, le processus sera grandement facilité, et pourrait même devenir le terreau de nouvelles opportunités sociales et économiques.

48. [economist.com/business/what-tech-does-china-want/21803410](https://www.economist.com/business/what-tech-does-china-want/21803410)

Retour sur la responsabilité numérique des entreprises

Les nouvelles responsabilités de l'entreprise à l'ère numérique et au-delà

La responsabilité numérique des entreprises (RNE) doit progressivement refléter les évolutions de la technologie et ses impacts croissants sur la société.

Valeur et vulnérabilité

Bien qu'elles apportent des bénéfices et une valeur incroyable, les technologies numériques peuvent aussi révéler des vulnérabilités inédites chez les individus, les écosystèmes et la nature. Comment en récolter durablement les bienfaits sans répercussions néfastes pour la société ?

L'idée que les entreprises puissent avoir une responsabilité envers la société remonte à plusieurs siècles, avec des initiatives comme le financement philanthropique d'écoles, d'hôpitaux ou de logements pour les plus démunis. Mais ce n'est que dans les années 1950 qu'ont commencé à être formulés les principes de la responsabilité sociétale des entreprises (RSE) avec, au départ, un accent sur les droits civiques, la pollution, la croissance démographique et l'épuisement des ressources naturelles.

Soixante-dix ans plus tard, un nombre limité de principes clés de la RSE ont été inscrits dans la loi, même si, par ailleurs, l'expansion du libéralisme (notamment en Occident) a conduit à un assouplissement des réglementations étatiques. L'accent s'est déplacé sur l'éthique des affaires et la RSE est aujourd'hui une réponse à la pression des actionnaires et des parties prenantes. Des programmes tels que la stratégie européenne pour la RSE et les objectifs de développement durable ont promu la RSE au rang de nécessité stratégique pour la création, par les entreprises, d'une valeur légitime.

Au moment où le numérique devient la principale source de création de valeur pour les entreprises, apparaît la notion de responsabilité numérique (RNE, ou *Corporate Digital Responsibility* en anglais). Les entreprises se doivent d'être responsables des externalités négatives de leur transformation numérique, et d'ainsi protéger la société des vulnérabilités qui pourraient en résulter.

Il y a eu diverses tentatives pour établir un cadre de décision responsable pour les entreprises. Citons par exemple le Manifeste du CDR⁴⁹, dont les sept principes sont présentés Figure 14. Les tendances technologiques examinées tout au long de ce rapport mettent à l'épreuve ce cadre et la façon dont la responsabilité numérique s'y exprime.

La prochaine vague du changement

A l'horizon 2026, alors que se profilent de nouvelles ruptures numériques, que devons-nous faire de plus pour inscrire véritablement la responsabilité numérique au cœur de nos modèles de création de valeur ?

D'ici à 2026 nous anticipons l'émergence de multiples réalités virtuelles et hybrides : représentation virtuelle des systèmes et des processus physiques, représentation virtuelle d'être vivants, nouveaux domaines virtuels d'interactions et d'échanges... Mais comment évoluera l'économie à l'approche de l'IA générale ?

Figure 14 – Modèle de vulnérabilité à l'ère digitale



49. corporatedigitalresponsibility.net

“ Dans les mondes virtuels, la RNE peut être une bouée de sauvetage pour celles et ceux que le numérique rend vulnérables. ”



Quelles seront les parties prenantes des opportunités d'affaires de la transition numérique ? Comment mesurer la valeur d'une transaction virtuelle ? Opérer dans la sphère virtuelle créera non seulement de nouvelles façons d'exister et d'opérer, mais aussi de nouveaux espaces où des vulnérabilités pourront se manifester. Et elles le feront à une vitesse et une échelle qui dépasseront nos capacités à réglementer au juste niveau.

Étant donné les possibles implications négatives des transformations numériques sur la société et la planète, les entreprises devront de nouveau adopter des formes d'auto-régulation, à l'instar de leurs engagements ESG. La réglementation ESG est déjà largement reconnue par les acteurs financiers (et la société en général) comme une composante essentielle du *reporting* des entreprises. Toutefois, le numérique ne figure pas expressément dans son périmètre.

D'ici 2026, les entreprises devront élargir leurs engagements ESG pour inclure explicitement les impacts de leur stratégie digitale, l'ESG devenant l'ESG-D.

Définir la vulnérabilité

Le changement numérique affecte particulièrement ceux qui ne peuvent pas se faire entendre ou n'ont pas les mécanismes de défense pour en supporter les effets. Ce groupe inclut les clients involontaires de la transformation numérique : la planète, la nature, les jeunes enfants, les personnes âgées, etc. Mais il comprend aussi les clients volontaires souffrant de conséquences involontaires telles que l'addiction aux jeux en ligne, le cyber-harcèlement, l'usurpation d'identité numérique et les troubles psychiques dus aux réseaux sociaux.

À l'opposé, il y a ceux qui s'approprient les usages des technologies et en tirent avantage. Pourtant, eux aussi peuvent se révéler vulnérables lorsque des problèmes de santé ou des

accidents de vie altèrent leur résilience ou leurs capacités. En ce sens, nous sommes tous susceptibles d'être vulnérables à un moment ou un autre.

Une approche pertinente de l'ESG-D doit anticiper ces vulnérabilités pour mettre en œuvre les réponses adéquates quand elles surviennent. De même que nous cherchons maintenant à mesurer et comprendre notre empreinte carbone et ses conséquences, nous devrions chercher comment mesurer l'impact de notre empreinte numérique.

La prise de décision dans l'entreprise en 2026 et au-delà

Pour prendre en compte les menaces et les défis auxquels sera confrontée la société à l'approche des nouveaux horizons numériques, nous recommandons aux entreprises et aux organisations de procéder à une évaluation complète des impacts de leurs ressources, de leurs produits et de leurs services numériques sur leurs clients involontaires. Les modèles reposant entièrement sur l'auto-régulation ont leurs limites, aussi l'introduction de standards et l'impulsion des autorités régulatrices seront utiles pour attester de sa conformité, du moins au début. À l'approche de 2026, nous estimons qu'un modèle ESG-D élargi devrait devenir un standard commun de *reporting* pour toutes les entreprises et les organisations.

La vulnérabilité désigne l'incapacité d'un système ou d'une partie d'un système à supporter les effets induits par un facteur de stress.

L'impact sociétal du numérique

Les responsabilités des citoyens connectés

Dans le métavers, on attendra des institutions comme des citoyens qu'ils utilisent la technologie de façon à trouver un équilibre entre les nouvelles possibilités qu'elle leur offre, des normes sociales changeantes ; un équilibre entre leurs responsabilités sociétales et leurs objectifs commerciaux.

Le numérique, agent de changements sociétaux

La portée des solutions numériques est telle qu'il est presque impossible d'imaginer le monde sans elles. On pourrait même considérer que le numérique bouscule certains aspects de notre humanité, comme les interactions sociales, les contacts physiques et les expériences réelles.

Durant la pandémie, la technologie a maintenu, et même créé, des liens entre les personnes, au sein des familles et des communautés, entre collègues. Et si de nombreux avantages ont été évidents, nous devons malgré tout nous poser la question : les bénéfices du numérique dépassent-ils toujours ses coûts ?

L'engagement numérique a des effets positifs considérables comme la prise de conscience des enjeux globaux, la création de réseaux de soutien, et le fait de rendre possibles des élans d'opinion, de compassion, de collaboration et d'empathie. Cependant, il faut aussi reconnaître ses travers, avec le risque de création de monopoles, les dégâts psychologiques de l'économie de l'attention permanente, jusqu'à la possible émergence d'une société de surveillance. De telles tendances se renforcent, voire se créent d'elles-mêmes, de sorte que les solutions numériques façonnent la société, parfois sans égards pour les impacts en aval.

Comment tirer bénéfice de la technologie en évitant qu'elle n'engendre des risques sociétaux et des inégalités ? Alors que les plateformes numériques modèlent les opinions de la société et transcendent les cultures, quelles sont nos responsabilités en tant que citoyens numériques ?

Canaliser le changement sociétal sur une plateforme numérique

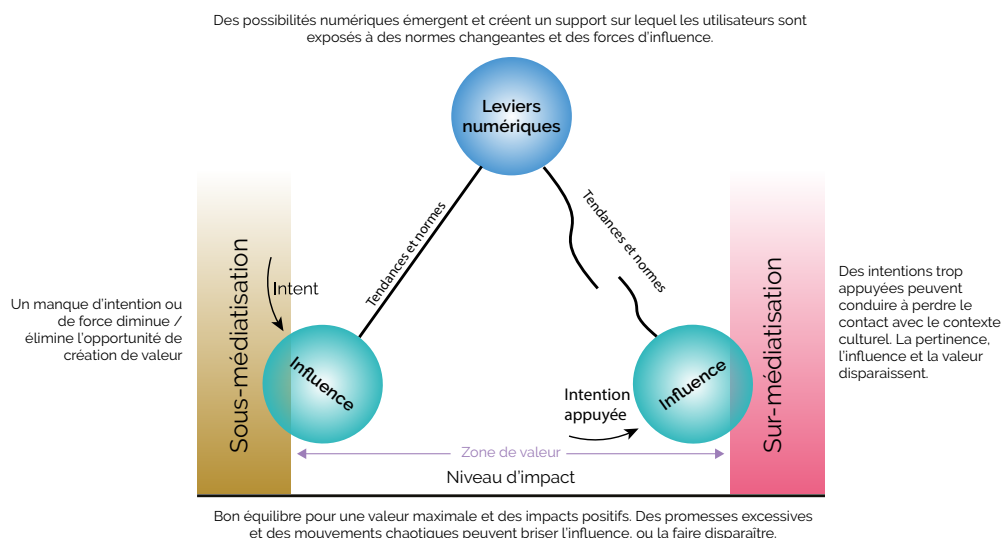
On peut trouver des exemples de déséquilibres potentiels dans la façon dont les individus, les gouvernements et les organisations s'influencent mutuellement sur les réseaux sociaux. De la vaccination à la politique, du changement climatique aux célébrités, les discussions ne sont plus seulement basées sur des faits, mais sont fortement orientées et médiatisées par des influenceurs, et les émotions collectives sont amplifiées par les chambres d'écho de chaque plateforme.

Via le numérique, quiconque a une présence sociale suffisante, que ce soit une personnalité politique, une célébrité ou un dirigeant d'entreprise, peut exercer une influence sans précédent et manipuler des conversations dans le sens de ses desseins personnels, métiers ou politiques. L'attention constante portée aux médias sociaux impacte profondément nos opinions, nos normes et nos valeurs, et à travers elles, nos structures sociales.

La diffusion d'informations inexactes ou fallacieuses ne cesse de croître. Certains observateurs estiment que, d'ici quelques années, 50 % de l'information consommée sera fausse. Les progrès des *deepfakes* rendront plus difficile encore de distinguer la vérité de l'affabulation.

À mesure que la technologie progresse et que les algorithmes et le *business model* des réseaux sociaux amplifient artificiellement certains types de messages, nous risquons de déconnecter plus encore le monde numérique de la réalité, et de fragmenter la société au lieu de l'unir.

Figure 15 – Équilibrer l'influence et l'intention pour des résultats positifs





Atteindre un équilibre socio-numérique

Les opinions sur quand et comment appliquer la technologie diffèrent énormément selon la culture, la géographie, l'âge et le genre, et elles semblent changer constamment. C'est pourquoi le numérique lui-même est devenu une question subjective. Afin de prendre des décisions éclairées, nous devons nous poser les questions suivantes :

- Comment séparer les faits de la manipulation et de la sur-médiatisation de façon à atteindre un équilibre socio-numérique acceptable ?
- Comment tirer parti des plateformes sociales pour qu'elles permettent une confrontation ouverte des idées et suscitent l'adhésion à des initiatives bénéfiques pour tous, plutôt qu'elles ne contribuent à la polarisation de la société ?
- Comment façonner la technologie en s'appesantissant objectivement ses avantages et ses inconvénients pour se prémunir de possibles effets pervers ?

L'impact des technologies devient plus complexe et controversé quand elles sont à la fois plus interconnectées et que des opinions subjectives entrent en jeu, car cela crée un voile d'excitation autour de la technologie elle-même qu'aucune partie ne peut dissiper seule. Pour garantir que les technologies numériques concrétisent vraiment leurs promesses, toutes les parties prenantes doivent pondérer l'intention et l'influence de la technologie pour qu'elle ait un impact positif sans tomber en dehors de la zone de valeur. Alors que nous sommes confrontés à des défis tels que le chômage, l'éducation, les enjeux de génération, la neurodiversité et la socialisation, nous devons regarder au-delà

des engouements passagers et nous assurer que l'influence digitale n'est pas utilisée à mauvais escient pour des gains à court terme.

Vers la citoyenneté numérique responsable

Une partie de la réponse se trouve dans la responsabilité des entreprises et dans la réglementation. Les individus, les gouvernements, les organisations et la société doivent collaborer pour équilibrer de nouvelles responsabilités sociétales avec des objectifs éthiques et économiques. Mais la réponse doit aussi venir des individus.

Avec le numérique, les êtres humains sont plongés dans un environnement perpétuellement actif, exponentiel, qui est d'une certaine façon contre-nature. L'expansion des métavers ne fera qu'accentuer cette situation. Pour maîtriser cette nouvelle frontière du virtuel, **les institutions comme les citoyens devront utiliser le numérique de façon à trouver un équilibre entre les nouvelles possibilités qu'il leur offre, les normes sociales, leurs responsabilités sociétales et leurs objectifs commerciaux.** Les décisions en matière de numérique devront être guidées par l'expérience, le pragmatisme et le discernement, et non par une quête insatiable de l'innovation négligeant parfois nos besoins fondamentaux.

Même avec de bonnes intentions, il faut toujours chercher à exploiter le numérique pour un impact maximal. Si nous ne voulons pas nous perdre dans les mondes virtuels, en tant que citoyens responsables, nous devons rester les pieds bien ancrés dans la réalité.



Les nouveaux paradigmes du virtuel

De quelles façons les nouveaux modes de fonctionnement, de communication et d'échanges virtuels redéfiniront-ils l'art du possible ?

L'économie de l'instantané

Les perspectives et la dynamique du commerce mondial évoluent à mesure que les générations digitales⁵⁰ gagnent en pouvoir d'achat et deviennent responsables de leurs choix tant personnels que professionnels. Les consommateurs réclament de plus en plus des produits et des services à la fois personnalisés, à la demande et durables.

Les fournisseurs de services s'appuyant sur le numérique créent des propositions de valeur qui concilient et encouragent durabilité et personnalisation. Même s'il en résulte souvent une amélioration du service, cela nous expose aussi à des niveaux croissants de surproduction, et donc de gaspillage. Fort heureusement, il y a une prise de conscience à l'échelle globale de la nécessité de mieux gérer les ressources et de faire évoluer nos modèles économiques actuels.

L'économie de l'instantané, *ou moment-centric markets (MCM)*, constitue un nouveau paradigme qui répond au besoin de transformer la demande et l'allocation de l'offre. Dans un tel marché, les attentes spécifiques du client sont au centre des préoccupations, et des chaînes de valeur dédiées se constituent pour y répondre. Chacun des contributeurs prend des décisions collaboratives et cohérentes grâce aux données et à des capacités de prédiction afin de pouvoir s'adapter en continu au comportement fluctuant des consommateurs.

Les besoins individuels du client sont au cœur des marchés de l'instantané. Des chaînes de valeur spécifiques doivent se créer pour les satisfaire.

Créer une expérience d'achat plus intime

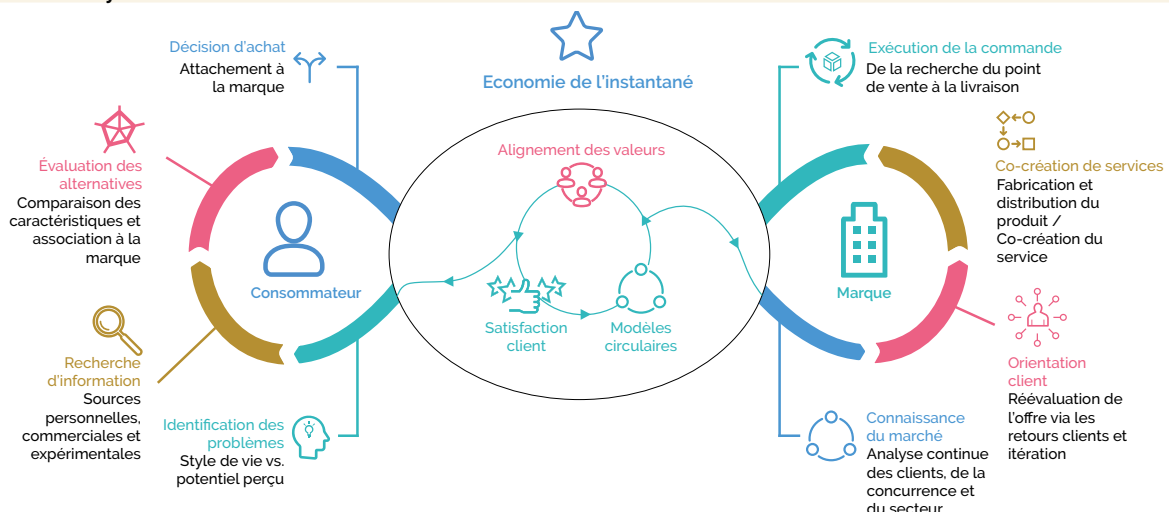
Développer une nouvelle approche économique débute par la bonne compréhension de la relation dynamique entre l'offre et la demande. Les consommateurs digitaux s'engagent souvent dans des transactions qui sont motivées par une cause et influencées par leurs pairs, mais qui reflètent aussi leur identité propre. Ces attentes possiblement contradictoires ne peuvent être gérées de façon efficace que grâce à une bonne information et à l'analyse du comportement d'achat du client, de ses goûts, de ses motivations sociales, et de sa situation. Ce prisme façonne un « marché de l'instantané » qui se crée lorsque le désir surgit et disparaît aussitôt qu'il est satisfait ou ignoré. Les organisations répondant à ces nouveaux impératifs de marché connaissent les rouages des marques traditionnelles, mais utilisent les plateformes de données et l'influence des réseaux sociaux pour créer une expérience d'achat sur mesure et plus intime.

Asseoir des marques agiles

Pour prospérer dans l'économie de l'instantané, les marques ne doivent pas seulement changer ce qu'elles produisent, mais aussi la manière de les produire. Leurs produits sont déterminés à chaque instant par les besoins identifiés chez leurs clients. Ceci exige de comprendre l'état de la demande et la dynamique de marché à court terme. Dans ce contexte, les études de marché traditionnelles doivent céder la place à des boucles de retour immédiates et aux prévisions des influenceurs.

Des stratégies de *design* génératif⁵¹ doivent donc se développer en réponse, car elles seules offrent l'agilité et la créativité nécessaires pour optimiser rapidement le produit en fonction des demandes changeantes des consommateurs. Dans certains cas, ces approches bénéficieront de l'adoption à grande échelle de la fabrication additive, qui permettra de concilier davantage durabilité et personnalisation, et de rapprocher la production des points de consommation.

Figure 16 – Les cycles interconnectés de l'économie de l'instantané



50. En particulier, la Génération Z, née entre 1995 and 2010.

51. Le *design* génératif utilise un programme logiciel pour conceptualiser et optimiser un produit de façon itérative.



Modèles économiques durables

L'économie de l'instantané offrira à ceux qui l'adopteront la possibilité d'atteindre conjointement leurs objectifs financiers et de développement durable. Elle est parfaitement adaptée aux entreprises qui visent la performance sur les trois axes People, Planet et Profit. Un *business model* de l'économie de l'instantané se valorise dans n'importe laquelle des combinaisons de ces trois dimensions, sans que cela compromette sa solidité financière.

L'un des aspects clés des *business models* de l'instantané est qu'ils permettent de soutenir et de rémunérer de façon adéquate tous les participants de la chaîne de valeur. Dans ce contexte, la marque n'est plus seulement la propriété intellectuelle qui sous-tend le produit. La conception, la production et la distribution passent d'un modèle à peu près linéaire à un modèle partagé, dynamique et itératif. Les principes de la circularité, dont la reconception, le réemploi et le recyclage, tiennent une place importante dans les *business models* durables de l'instantané. Une pareille complexité ne peut être gérée efficacement que par des *supply chains* ayant adopté les échanges de données de confiance, les contrats intelligents et la fédération de processus inter-entreprises.

Le secteur de la mode offre les premiers exemples de mises en œuvre concrètes des principes de l'économie de l'instantané. Les startups et les marques de confection prédisent le moment et la nature des achats grâce à l'analyse prescriptive et y répondent

avec une offre proactive, incluant des lignes de produits fabriqués à la demande. Le client peut activement participer en configurant des *designs* personnalisés autour du scan 3D de son propre corps, sélectionnant couleur, coupe et taille. Le *design* sélectionné peut alors être prototypé au sein d'un studio ou dans une unité de micro-production locale qui offre une production agile et zéro déchet. Enfin, les délais de livraison sont réduits au minimum.

Aborder le consumérisme par le biais de l'économie de l'instantané est une réponse puissante aux défis économiques grandissants, générationnels (attentes digitales) et écologiques (ressources et déchets). Elle permet de satisfaire la demande de façon extrêmement ciblée tout en respectant les limites de ce que notre planète peut fournir et supporter. Toutefois, être en mesure de satisfaire le moindre caprice pourrait entraîner une hausse de la consommation globale, ce qui pourrait annuler certains de ses bénéfices. Pour éviter cela, on peut envisager des stimuli économiques (prix, durabilité) et psychologiques (maîtrise des pulsions, conscience des impacts).

Le fonctionnement et les promesses des MCM semblent très éloignés de nos *supply chains* actuelles, mais il est possible de commencer à s'en approcher en veillant à ce que la co-crédation des services entre les marques et leurs clients infléchissent les *business models*, et donc la transformation des *supply chains*.

Changer le paradigme des télécommunications

Le secteur des télécommunications connaît des bouleversements radicaux. L'arrivée sur le marché des grands fournisseurs de cloud offre une diversité de services et des niveaux de performance sans précédent. Simultanément, les fournisseurs traditionnels (CSP) utilisent le cloud pour automatiser et rendre plus accessibles les ressources réseaux et les services numériques qu'elles supportent.

Les opérateurs télécoms, les *hyperscalers* et les fournisseurs de services numériques sont de plus en plus imbriqués à mesure qu'ils découvrent de nouvelles façons de collaborer et de tirer mutuellement parti de leurs atouts pour créer un maximum de valeur. Au mieux, cela débouchera sur une relation de coopération / compétition. Non seulement il faudra que ces différents acteurs réévaluent leur positionnement, mais aussi que leurs clients revoient leurs stratégies de partenariats.

Les tendances clés des télécoms

Le move to edge

En Europe, on compte actuellement plus de 400 000 stations cellulaires interconnectées⁵² et les analystes en prédisent plus d'un million d'ici 2026⁵³. Surtout tirée par la hausse des déploiements de petites stations, cette croissance est encore accélérée par la multiplication des nœuds pour l'IoT.

Le projet Starlink d'Elon Musk peut-il se révéler un coup de poker gagnant dans le secteur des télécoms ? En lançant 42 000 satellites en orbite basse non géostationnaire, Starlink entend offrir des communications Internet et mobiles, notamment dans les zones rurales que les fournisseurs de réseaux fixes et mobiles peinent à couvrir. Avec de nouveaux concepts comme des réseaux de satellites connectés par laser et une plateforme de lancement à bas coût grâce à SpaceX, les fournisseurs de communication par satellite établis sont dépassés. Cette initiative a une vague de nouveaux programmes satellitaires chez divers acteurs, dont Apple. Même si la latence, la bande passante et l'alimentation des terminaux sont des obstacles physiques encore trop importants pour supplanter complètement les technologies terrestres, les business models comme celui de Starlink élargissent malgré tout le paysage des télécoms et ouvrent la voie à un nouveau paradigme des communications par satellite.

Le *move to edge* pose les grands défis suivants :

- Hétérogénéité et variété des nœuds ;
- Croissance exponentielle des données traitées ;
- Surface d'attaques accrue ;
- Contraintes grandissantes de distribution qui impactent la gestion et l'environnement.

Tout ceci exige une stratégie de sécurité et de gestion des données à plusieurs niveaux où les architectures applicatives et IT adresseront l'évolution de la valeur, la traçabilité des données et le contrôle de leur authenticité, de leur qualité et de leur propriété.

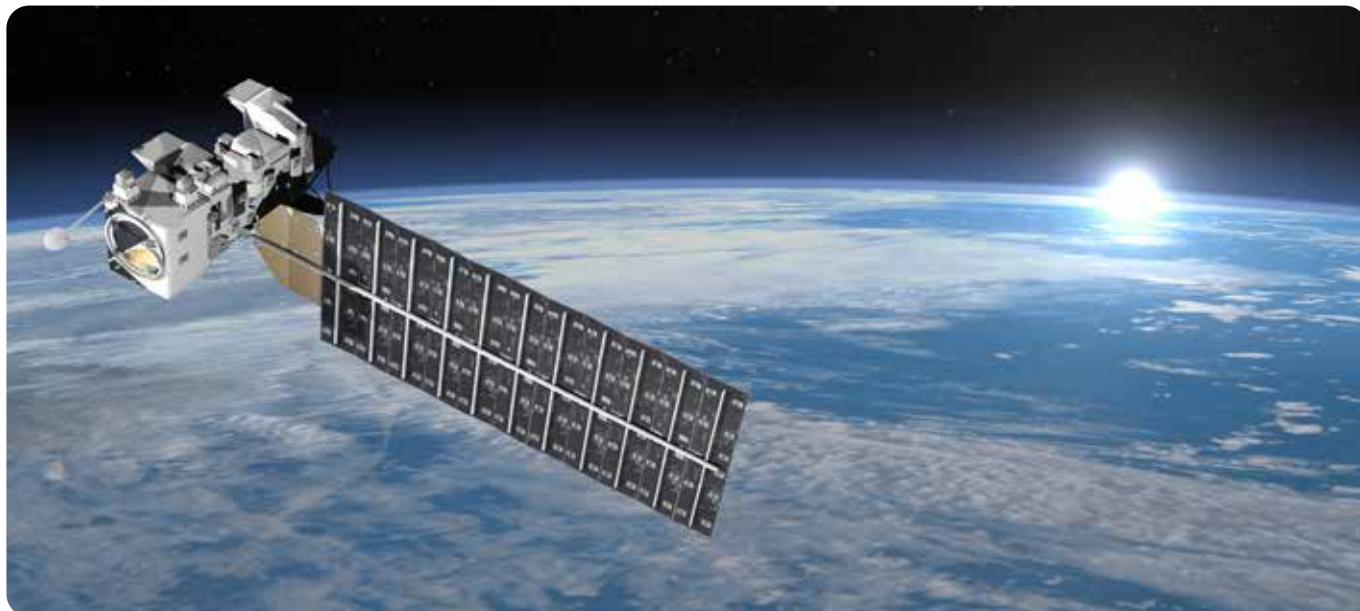
Pour faire face à la croissance des données, déplacer leur traitement vers l'edge est une solution efficace. De multiples approches utilisent les serveurs edge comme des nœuds de données pour faciliter la gestion et renforcer la sécurité. Séparer la gestion des infrastructures de celle des échanges est une tendance globale qui s'accélère, avec de nouveaux types d'acteurs qui se focalisent sur le partage et l'optimisation de leurs propres infrastructures en tirant parti des données des opérateurs. Ce mouvement s'étendra aux réseaux actifs et aux capacités de calcul *edge* jusqu'à l'émergence d'un *continuum* réseau / calcul, et la reconfiguration du marché et des rôles respectifs des opérateurs, des *hyperscalers* et des fournisseurs de services numériques.

Figure 17 – Les *hyperscalers* et les opérateurs télécoms déploient de nouvelles stratégies concurrentes pour prendre position dans l'edge



52. assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/es_es/news/2021/02/ey-parthenon-and-ewia-report-on-european-mobile-tower-sector-v2.pdf

53. dgtlinfra.com/small-cell-forum-forecast-35-million-2026/



De la virtualisation à l'autonomie

Jusqu'à présent, la virtualisation des réseaux s'est focalisée sur la répartition des composants physiques (équipements réseaux) dans des infrastructures virtualisées (NFVI) et l'implémentation virtuelle des fonctions réseaux (NFV) afin de pouvoir utiliser plus efficacement les ressources de calcul et de stockage. Ces fonctions ont permis d'automatiser certains services réseaux, mais leur architecture verticale limite leur efficacité et leur extensibilité pour les déploiements 5G ou *edge* à grande échelle.

Pour relever ce défi, des fonctions réseaux nativement *cloud* (CNF) apparaissent ; elles s'appuient sur la conteneurisation pour apporter la flexibilité et la scalabilité nécessaires, tout en réduisant les coûts de matériel et d'énergie.

La convergence continue des technologies télécoms et cloud pousse les opérateurs à redéfinir leur rôle dans l'écosystème, à travailler de concert avec les fournisseurs de *cloud* et de services numériques, les fournisseurs de contenus et les services OTT (de type Netflix).

Pour réussir, ils devront adopter des *business models* segmentés au sein d'un écosystème capable de produire des services à valeur ajoutée sur une grande variété de cas d'usage. Parmi les concepts les plus innovants, on peut citer les réseaux haptiques et les réseaux basés sur l'intention⁵⁴, l'adaptation au contexte environnemental, et la segmentation automatisée des réseaux et des politiques afin de simplifier l'affiliation des clients et des terminaux.

Impact business et économie de la donnée

Avec l'émergence des défis liés au *cloud* et à l'*edge*, notamment autour de la souveraineté des données, de nombreux opérateurs télécoms ont essayé de créer une activité *cloud* en construisant des infrastructures qui mettent en avant des aspects de sécurité et de souveraineté. Par contraste, en tirant parti de la standardisation et de l'automatisation à grande échelle, les *hyperscalers* ont maintenu leur domination sur le marché du *cloud* tout en se développant dans l'*edge* et en investissant dans les technologies télécoms (par exemple, les acquisitions d'Affirmed et Metaswitch par Microsoft). Avec un éventail de plateformes technologiques innovantes et des cadres applicatifs et des communautés de développeurs, les *hyperscalers* circonscrivent peu à peu leurs clients à leur propre écosystème *cloud*.

Il y a toutefois une forte aspiration à favoriser un marché plus équilibré en matière de données, afin de garantir des échanges sécurisés et régulés, et créer de la valeur. Il ne s'agit pas de se substituer aux structures de marché établies, mais de créer des opportunités inédites. Ceci passera par le déploiement de nouveaux services numériques basés sur le *cloud* et décentralisés dans l'ensemble du réseau, qui sera dès lors davantage qu'un simple moyen transport.

Les acteurs des télécoms sont bien placés pour lancer de telles plateformes de données, apporter de la valeur au marché, et créer des écosystèmes de services basés sur les données. Ces plateformes permettront de ne pas borner les clients à un seul service *cloud*. L'avenir dira si les opérateurs auront la capacité d'investir seuls dans la création de telles plateformes alors qu'ils devront aussi assumer le coût de la modernisation des réseaux et celui des licences de fréquence.

Le besoin d'un nouveau paradigme pour les télécoms

La digitalisation de l'économie et l'explosion des données accélèrent le besoin d'un nouveau paradigme pour les télécoms, ce qui attire de nouveaux acteurs sur ce marché. Pour réussir la transition, les opérateurs auraient intérêt, comme les *hyperscalers*, à constituer un vaste écosystème de développeurs et de fournisseurs de services partenaires.

D'ici 2026, le secteur connaîtra sa plus grande rupture depuis l'arrivée du smartphone. La virtualisation des réseaux et les technologies basées sur les données bouleversent le marché et laissent entrer de nouveaux entrants, ce qui permet aux *hyperscalers* et à d'autres fournisseurs de *cloud* d'offrir des services qui concurrencent directement, ou remplacent, les services télécoms traditionnels.

Les clients doivent décider s'ils miseront sur les écosystèmes pré-intégrés et de plus en plus centralisés des *hyperscalers*, ou sur des écosystèmes partenaires émergents, qui visent à déployer des services *cloud* souverains et neutres en carbone sur un *continuum cloud / edge* décentralisé.

⁵⁴. Une technologie qui configure intelligemment le réseau en fonction des objectifs *business* et des demandes de services spécifiques.

Les écosystèmes d'entreprises

Passer d'une logique monopolistique à la fédération et la coopération au sein d'écosystèmes de partenaires.

Au cours de la décennie écoulée, l'économie de plateforme a montré sa puissance avec l'ascension d'acteurs majeurs comme Uber, Airbnb, Amazon et Alibaba. Même si la plateformisation a fait l'objet de nombreuses études et publications, seul un petit nombre d'entreprises a véritablement réussi à mettre ses principes en application. La dynamique naturelle d'Internet est "the winner takes it all" (le gagnant rafle tout) : une plateforme prospère d'autant plus qu'elle atteint une position dominante, voire quasi-monopolistique. Une concurrence loyale ainsi que la responsabilité sociale et environnementale ne semblent pas faire partie de leurs priorités.

C'est dans ce contexte qu'émergent aujourd'hui des écosystèmes d'entreprises fondés sur l'échange de données : l'ère des plateformes connectées pensées collectivement. Même si ce modèle a peu de chances de renverser celui des monopoles actuels, il peut offrir des pistes complémentaires de création de valeur – valeur qui ne peut être obtenue que si tous les acteurs impliqués ont une relation mutuellement bénéfique. Chacun doit être flexible, adaptable et coopératif, et contribuera à son tour à la création de valeur et au contrôle de la plateforme opérationnelle sur laquelle repose l'écosystème.

Entre valeur partagée et approche monopolistique

Le business des écosystèmes est centré sur la donnée. Pour garantir l'équité des échanges de données au sein d'un écosystème d'entreprises, il faut comprendre, reconnaître et gérer la valeur de chaque source de données et sa contribution relative au bénéfice additionnel pour la plateforme. Par ailleurs, les règles de la protection des données, de la conformité réglementaire et des multiples dimensions de la souveraineté doivent être respectées.

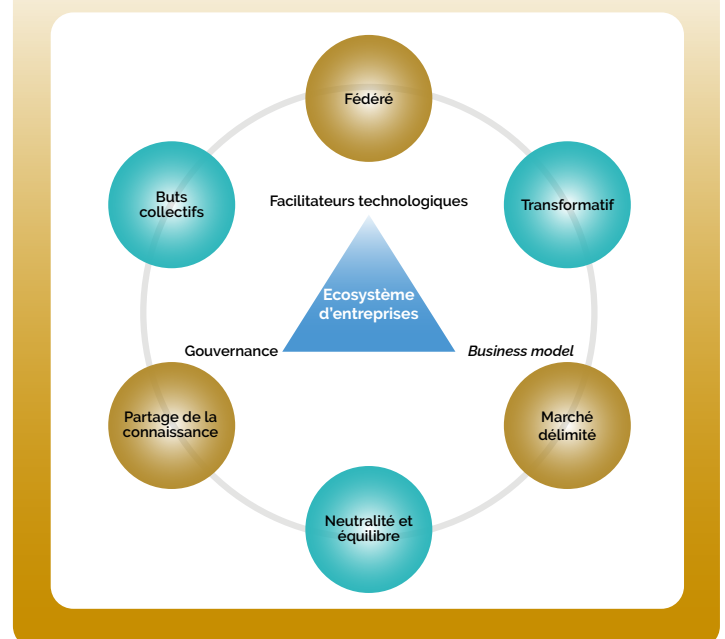
Du fait de la nature auto-organisationnelle des écosystèmes d'entreprises, le succès d'une plateforme dépendra souvent du choix de partenaires complémentaires, qui combineront leurs compétences techniques et métiers pour apporter valeur et envergure au projet. Des accords pour co-investir et partager les coûts et les risques faciliteront la poursuite d'objectifs mutuellement bénéfiques, et aideront à lever les obstacles.

Une gouvernance vers un objectif commun

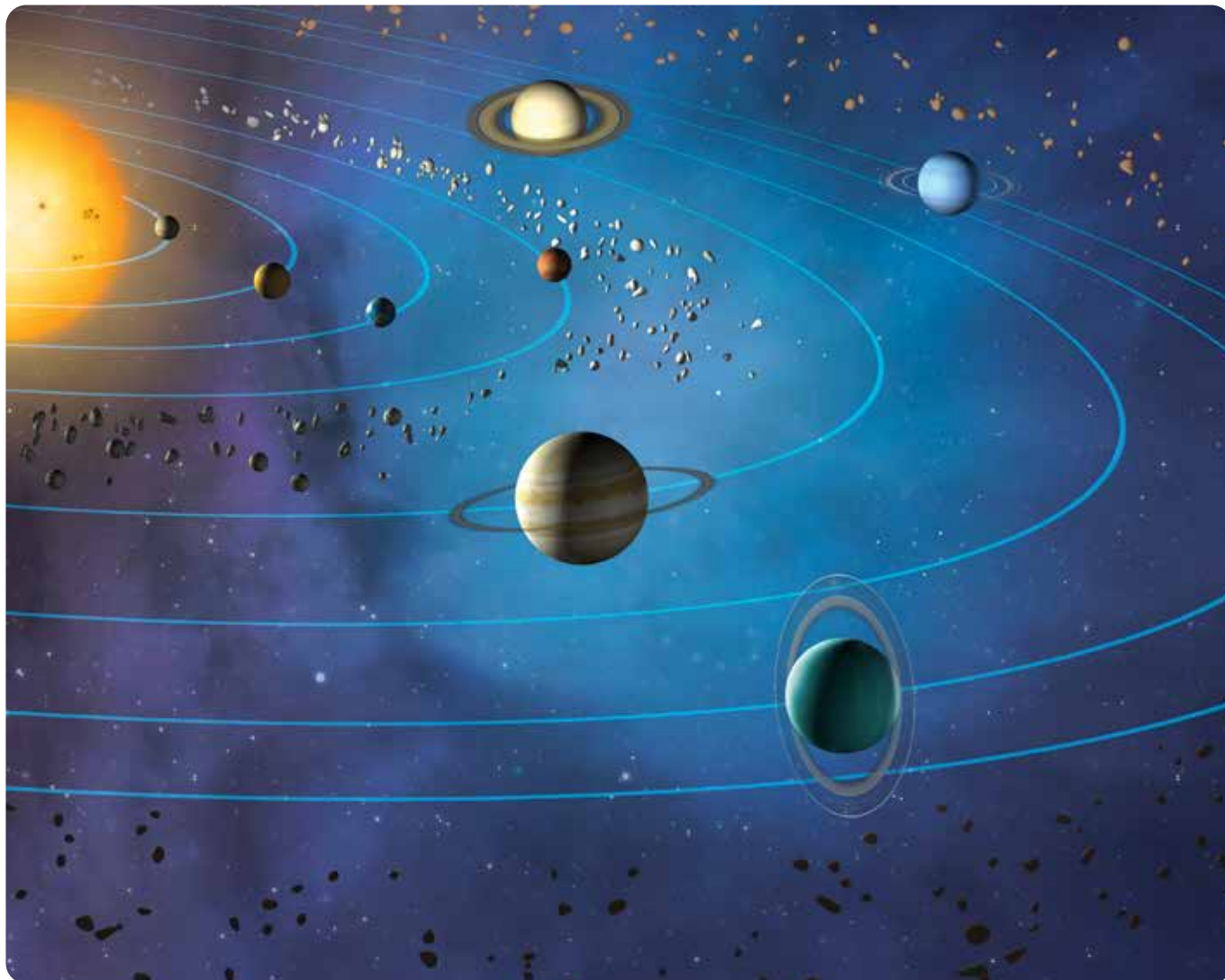
Ces plateformes nécessitent de respecter des standards communs afin de garantir, entre les participants, des interactions de confiance, équitables et bénéfiques. À cet égard, les opérateurs doivent être neutres vis-à-vis des retombées de l'écosystème et gérer la gouvernance qui façonnera son fonctionnement et son devenir. Si l'on veut instaurer la confiance entre tous les participants, les modèles de gouvernance doivent être basés sur des principes d'ouverture, de transparence, de responsabilité et d'équité. Même s'il se crée des écosystèmes fonctionnant sur des plateformes décentralisées et auto-organisées (comme Catena X⁵⁵ dans le secteur automobile), leur modèle de gouvernance doit encore s'aligner sur les bénéfices collectifs attendus et y contribuer. Un équilibre est nécessaire entre coopération et compétition afin d'éviter qu'une partie prenante finisse par en dominer d'autres.

De grandes entreprises ont tenté d'être à la fois l'opérateur de la plateforme et son principal participant, mais cela a très souvent dissuadé les partenaires potentiels. Pour garantir la neutralité au sein de l'écosystème, on peut créer une nouvelle entité juridique ou une coentreprise propriétaire de la plateforme avec son propre *business model* - reflet des ambitions collectives de croissance et d'évolution de l'écosystème.

Figure 18 – Plateformes et écosystèmes d'entreprises



55 catena-x.net/en/



Les facilitateurs technologiques

Les plateformes d'écosystèmes d'entreprises partageront généralement les mêmes composants technologiques modulaires et extensibles que les applications nativement *cloud*, mais souvent avec des capacités renforcées de sécurité et de confiance : gestion fédérée des identités, souveraineté, registres distribués, chiffrement avancé. Avec la généralisation de la 5G et ses bénéfices en termes de connectivité et de bande passante, les modèles de partage de données fédérés qui s'appuient sur les technologies *edge* viendront enrichir ces plateformes. Citons par exemple les plateformes de données de mobilité, qui peuvent être un levier important pour la transformation du secteur des transports et pour la décarbonation.

D'ici 2035, la plupart des voitures neuves seront électriques et les modèles d'usages partagés devraient être de plus en plus répandus. Toutefois, afin de garantir leur efficacité, les fournisseurs de solutions de mobilité devront combiner d'autres modes de transport tels que bus, train et vélo. Les plateformes d'écosystème aideront les pouvoirs publics, les acteurs de la mobilité, les citoyens et les fournisseurs de services connexes à concrétiser cette vision. Dans ce type de cas d'usage, l'un des premiers objectifs de la plateforme doit être de changer la perception et le comportement des individus.

Les écosystèmes avec un large éventail de participants, de sources de données et de *business models* pourraient nécessiter l'interconnexion de plusieurs plateformes digitales. Chacune d'elles serait semblable à un composant *edge*, orchestré comme faisant partie d'un marché multifaces par des services de fédération d'écosystèmes – l'équivalent au niveau des plateformes du *continuum cloud / edge*. On voit apparaître des cadres standardisés, structurés et industrialisés, concernant l'architecture technologique et la gouvernance des données. Toutefois, nous anticipons beaucoup d'évolutions dans ce domaine avant d'avoir des solutions véritablement extensibles, durables, et qui maximisent la valeur.

Les plateformes d'écosystèmes d'entreprises doivent poursuivre des objectifs collectifs, mutuellement bénéfiques, pour le compte de leurs participants. Elles doivent être flexibles et adaptatives pour rester pertinentes malgré les fluctuations constantes de la valeur des données, de la gouvernance et de la souveraineté. De nombreuses questions restent en suspens et chaque écosystème devra trouver sa propre voie, en particulier sur les sujets de la création de valeur, de la monétisation des services et des *business models*, ainsi que du point de vue des transformations technologiques et business.

Redéfinir les modèles de la communication

Avec l'essor des réseaux sociaux et la décentralisation de la production et de la consommation de contenu, les deux premières décennies du XXI^e siècle ont révolutionné la communication. De nouveaux modèles et leurs tendances distinctives ont ainsi émergé.

Un nouveau paradigme de communication

Avec un accès universel aux canaux d'information et peu de contrôle éditorial, tout référentiel commun à la vérité a disparu. La confiance envers les médias traditionnels est faible et les tentatives des gouvernements ou des réseaux sociaux d'éradiquer les *fakes news* sont un échec. Les opinions individuelles sont plus ouvertes que jamais, ce qui conduit à la création de sous-cultures et de réalités alternatives.

Dans certains cas, les processus politiques et démocratiques en ont été fortement affectés. L'utilisation innovante des médias sociaux dans les campagnes de Barack Obama et celles en faveur du *Brexit*, et l'influence des réseaux sociaux dans les joutes électorales (comme entre Trump et Biden en 2020) ont démontré que les plateformes numériques sont désormais l'un des principaux champs de bataille politiques.

Les nouveaux canaux d'information ont fourni une visibilité accrue et une large prise de conscience sur des sujets qui, sans cela, auraient été négligés dans l'agenda politique (*LGBTQ+*, *Black Lives Matter*, *MeToo*). Ils contribuent à accélérer et normaliser le changement social.

Les plateformes de jeux en ligne et d'eSport concurrencent, et même dépassent, les médias traditionnels. À 26 ans, l'influenceur Ibai Llanos propose à ses 8,2 millions de followers des commentaires et des contenus interactifs sur le football espagnol et d'autres événements spéciaux et exclusifs.

L'innovation technologique au cœur des changements sociétaux

La technologie a rendu possible notre société hyper-connectée, dans laquelle la production de contenu est à la fois décentralisée et concentrée. Tout le monde peut être un créateur et une marque, et du contenu créé à un coût dérisoire peut être consommé partout, à tout moment⁵⁶.

Nous communiquons aujourd'hui via de multiples canaux qui s'alimentent les uns les autres, générant des expériences hyper-personnalisées où se mêlent réel et virtuel. Les progrès de la vidéo, des réseaux et de l'intelligence artificielle (IA) permettent de produire des contenus plus sophistiqués qui brouillent la frontière entre les mondes physique et virtuel. Il en résulte non seulement des possibilités qui, jusqu'à présent, relevaient de la science-fiction, mais cela rend aussi plus difficile de distinguer le vrai du faux.

Les modes de communication ont eux aussi évolué avec les technologies, ouvrant la voie aux échanges homme / machine et machine / machine. Grâce aux assistants virtuels comme Alexa ou Siri, les interactions directes avec les appareils intelligents, voitures, TV ou même robots domestiques, se généralisent. Les modèles de communication homme / machine et machine / machine utiliseront l'IA pour améliorer et optimiser les échanges d'information, et automatiser les processus.

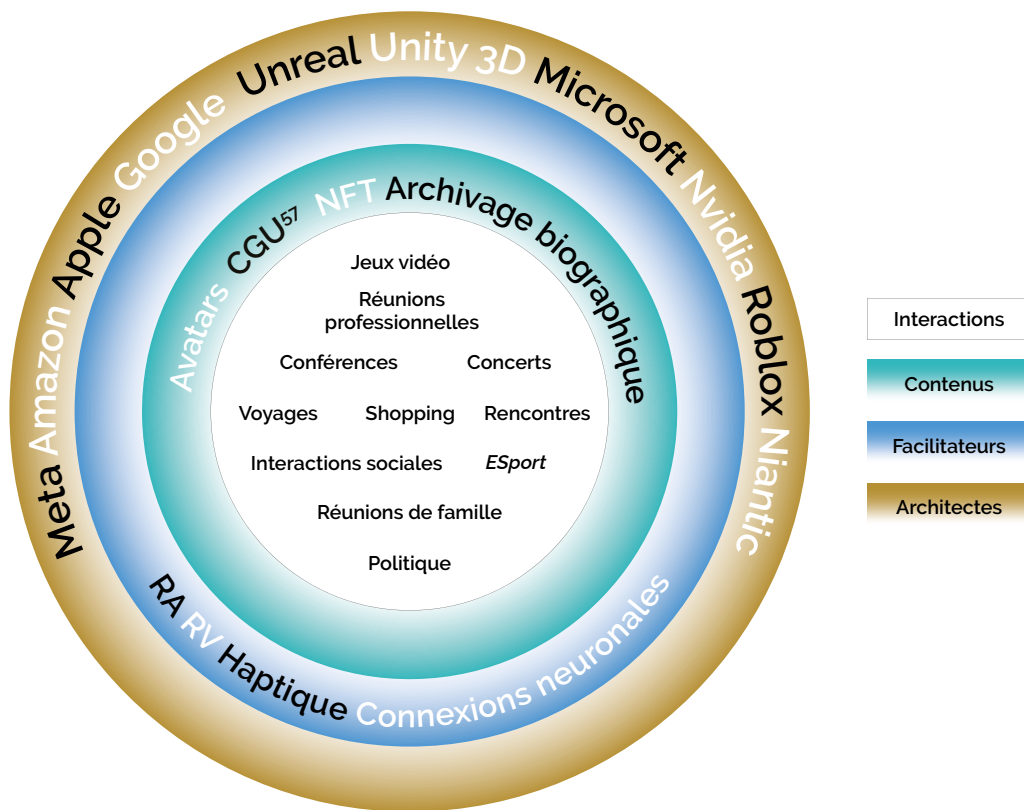
Le rôle clé de la technologie a créé une forte dépendance. En effet, la pandémie a complètement transformé notre perception de la communication et des interactions, avec des dîners familiaux en visio, des cours ou des consultations médicales à distance et une forte augmentation du télétravail. En octobre 2021, une coupure majeure de Facebook, Instagram et WhatsApp a rendu muets pendant six heures des milliards d'utilisateurs, incapables de communiquer comme ils en avaient l'habitude. Pour Meta, cela s'est traduit par une chute de 40 milliards de dollars de sa capitalisation boursière.



56. marketingcharts.com/charts/us-adults-social-platform-use-by-demographic-group-in-2021/attachment/pew-social-platform-use-by-demographic-apr2021

57. [User Generated Content \(UGC\). Contenu généré par les utilisateurs \(CGU\).](#)

Figure 19 – Les acteurs et les tendances annoncés du métavers



Impact au-delà des interactions sociales

Les tendances transformatives de la société et de la technologie auront un impact direct sur les entreprises et les *business models*. Nous anticipons :

- Davantage d'auto-régulation par les hébergeurs de contenu, apparition de *fact-checkers* (vérificateurs des informations), et contrôle par l'État de certains sujets, à l'instar de la censure sur les contenus liés aux vaccins.
- Une baisse de l'influence des médias traditionnels, où seuls les événements en direct (un match de *football*, une élection) seront véritablement suivis par de larges audiences – et encore, sur de multiples chaînes.
- La monétisation des contenus passera des médias écrits et audiovisuels traditionnels à des plateformes à la demande plus privées.
- La prédominance des plateformes d'enseignement immersif et d'intelligence artificielle dans le domaine de l'éducation, l'essor de la santé à distance, et une profonde transformation du travail vers des modèles hybrides.
- La maturité de l'IA émotionnelle et des mesures électrodermales qui permettront d'introduire des nuances et des signaux non verbaux (ton, contexte, langage corporel) dans nos façons de communiquer via le numérique.

La technologie redéfinit les modèles de la communication via des plateformes et des services nouveaux, des options pour générer du contenu, et des moyens pour le monétiser. À mesure que seront repoussées et remodelées les limites de la communication traditionnelle, des opportunités et des risques inédits apparaîtront, avec des conséquences tangibles dans tous les domaines, politique, économique et sociétal jusqu'aux relations personnelles et au divertissement. Quel que soit son secteur d'activité, il sera impératif de comprendre et d'adopter ces tendances pour prospérer dans la prochaine décennie.

L'intérêt et les investissements croissants suscités par le métavers laissent envisager la possibilité grandissante d'un monde combinant le digital et le physique, où la plupart des interactions ne seront accessibles que via les réalités augmentées (RA) ou virtuelles (RV). Toutefois, de tels environnements contrôlés par les géants de la technologie font irrésistiblement écho au roman de science-fiction dystopique Ready Player One.

59. User Generated Content

La technologie quantique

Redessiner le numérique

L'informatique quantique possède un potentiel incroyable pour résoudre des problèmes dont la complexité et la quantité de calculs nécessaires dépassent les limites des ordinateurs classiques et des supercalculateurs. Avec la progression du matériel et des algorithmes, nous prévoyons l'apparition d'ici 2024 d'un écosystème numérique quantique qui gagnera rapidement en maturité grâce à divers scénarii métier. En 2026, nous pensons qu'aura débuté la transition de la simulation quantique vers quelques cas d'usage réels assez matures pour être industrialisés.

Les applications industrielles du calcul quantique

Il existe quelques cas d'usage communs à plusieurs secteurs où les techniques du calcul quantique viendront renforcer les environnements de calcul traditionnels. Citons les algorithmes d'optimisation comme l'algorithme d'optimisation approximative quantique (QAOA)⁵⁸ et les simulations quantiques où la nature parallèle du calcul peut être exploitée à grande échelle. Toutefois, nous anticipons que les avancées les plus significatives viendront d'applications sectorielles spécifiques :

Manufacturing : La puissance de calcul mathématique des ordinateurs quantiques permettra aux industriels de modéliser le comportement de molécules et de composés chimiques complexes, ouvrant la voie à de nouveaux matériaux. Les recherches dans ce domaine recoupent celles de la chimie et de la pétrochimie, où l'on investit pour découvrir de nouveaux médicaments et comprendre leurs interactions avec l'organisme et d'autres substances. Les capacités accrues de simulation des systèmes complexes permettront d'optimiser les schémas industriels et d'éliminer des composants superflus. Mieux prédire le comportement et la résilience des matériaux en conditions de fonctionnement améliorera la performance et la sécurité des composants manufacturés.

Services financiers : Les ordinateurs quantiques sont particulièrement adaptés aux calculs de risque et à l'optimisation, clés dans la banque et l'assurance. Parmi les cas d'usage, citons l'ajustement du risque des portefeuilles, l'estimation de l'exposition du crédit, l'allocation optimale du capital, des calculs de risque et de scénarii plus rapides pour les marchés des titres et des changes, ainsi que le routage intelligent et l'appariement des ordres.

De nombreuses institutions financières développent et testent déjà des algorithmes quantiques. Leurs résultats soulignent l'importance de s'appuyer sur des problèmes concrets pour évaluer les bénéfices pratiques du quantique. Nombre d'applications prometteuses se sont heurtées à des obstacles inattendus, mais dans quelques cas, comme l'optimisation de portefeuille, passer à grande échelle s'est révélé intéressant par rapport aux alternatives classiques, et des solutions sont attendues en production d'ici quelques années.

Télécoms : Beaucoup d'opérateurs télécoms s'intéressent à la communication quantique, notamment en vue d'établir l'infrastructure d'un internet quantique. L'intégration de capacités quantiques à l'infrastructure et aux services télécoms existants permettra de nouveaux services comme la métrologie quantique, les horloges, les protocoles de sécurité quantiques et les réseaux d'information.

Énergie et utilities : Les technologies quantiques joueront, selon nous, un rôle important dans l'optimisation des réseaux d'énergie intelligents. Parvenir à équilibrer la production, la demande et le stockage d'énergie pour maximiser l'utilisation des énergies renouvelables sera capital pour la décarbonation des infrastructures énergétiques. Les solutions quantiques de sécurité auront certainement un rôle à jouer pour protéger les infrastructures critiques dont la décentralisation accroît la surface d'attaque.

Transport et logistique : L'optimisation d'itinéraires longs et complexes, et d'autres scénarii qui posent des problèmes NP-complets⁵⁹, offrent des applications parfaites aux ordinateurs quantiques. L'analyse des flux de circulation résoudra les problèmes d'embouteillage et améliorera la sécurité. L'aviation et les réseaux ferroviaires pourront mettre en place des trajets plus complexes, à plusieurs correspondances, réduisant au total la distance, le coût et les émissions.

Défense : Ce secteur étudie déjà la détection quantique pour la surveillance souterraine et sous-marine, ainsi que les solutions de sécurité quantique offensives et défensives.

Santé et sciences de la vie : Couplé à l'intelligence artificielle (IA) et aux supercalculateurs, le calcul quantique permettra de simuler des molécules et de concevoir des médicaments pour une médecine de précision personnalisée. Il accélérera aussi l'analyse des images médicales pour des diagnostics plus précoces. Les technologies quantiques contribuent aussi aux innovations dans le domaine des IRM à température ambiante.

58. <https://arxiv.org/abs/1411.4028>

59. NP-complet désigne une classe de problèmes dont les solutions peuvent être vérifiées rapidement, mais pas trouvées rapidement par des moyens informatiques classiques.

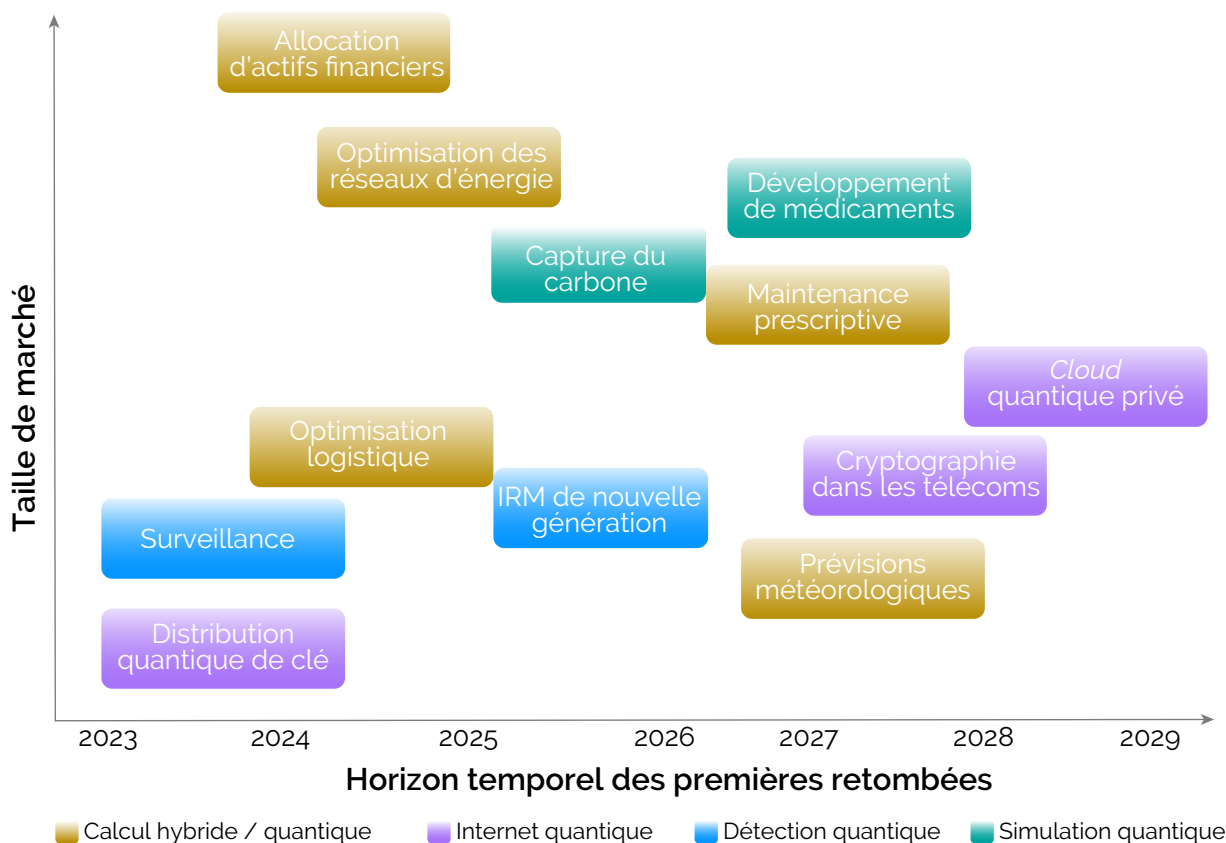
Développement des technologies quantiques

Il a été démontré que certains problèmes industriels ne pouvaient être résolus en pratique que par des ordinateurs quantiques. Les progrès technologiques vont se poursuivre, et les coûts de mise en œuvre et les barrières à l'adoption vont diminuer peu à peu grâce à des avancées comme l'hybridation supercalculateur / quantique et la perspective de machines à température ambiante (deux entreprises ont des prototypes opérationnels basés sur la photonique quantique). Des machines de plus de 1200 qubits et capables de soutenir des charges de production significatives sont attendues fin 2023. Cela semble n'être que 10 fois la taille des machines actuelles, mais du fait de la nature exponentielle du calcul quantique, c'est très impressionnant, surtout pour certaines applications. Même si le matériel quantique n'est pas encore produit en masse, des simulateurs existent, et il est impératif que les entreprises s'attachent dès à présent à développer les compétences et les algorithmes dont elles auront besoin.

Associés à l'informatique classique, au *machine learning* et à l'IA, les nouveaux algorithmes quantiques aideront à optimiser les processus, à classer et corréler les données, et à simuler toutes sortes de systèmes complexes. Apparaîtront des solutions quantiques opérationnelles pour des cas d'usage industriels aujourd'hui insolubles.

La distribution quantique de clé devrait être un progrès important pour répondre à l'un des principaux défis de notre époque : le changement climatique. Elle devrait nous aider à trouver de meilleures façons de produire et stocker l'énergie, à élaborer de meilleurs modèles climatiques et à découvrir des moyens plus efficaces de capturer le carbone, et cela en toute sobriété. Bien qu'il soit difficile de prédire précisément les prochaines étapes, une chose est certaine : la technologie quantique révolutionnera à jamais le paysage du numérique.

Figure 20 – Perspectives de marché pour les applications opérationnelles du calcul quantique



Vers l'intelligence artificielle générale

Chaque jour, des systèmes d'intelligence artificielle (IA) accomplissent toutes sortes de tâches aussi bien, voire mieux, que les humains. Mais, aussi remarquables soient-elles, ces capacités sont considérées comme étant très limitées et manquant de conscience, d'intelligence véritable et d'intuition. Pourtant, la vitesse de l'évolution de l'IA est telle qu'il est possible d'imaginer des systèmes capables d'accomplir n'importe quelle tâche intellectuelle réalisable par un être humain : c'est ce qu'on appelle l'intelligence artificielle générale (IAG). Même si personne ne s'attend à la voir devenir une réalité d'ici 2026, nous devons être attentifs aux étapes qui y conduisent en termes de ruptures à exploiter et de dangers potentiels.

Les avancées technologiques vers l'IAG

L'évolution de l'IAG est pavée d'améliorations successives dans les approches, les algorithmes, le *hardware* et les données. Voici un résumé des avancées majeures de ces dernières années :

Les réseaux neuronaux profonds couvrent pratiquement tous les aspects du *machine learning*, de la vision artificielle à la compréhension du langage naturel (NLU), en passant par les analyses de séries temporelles et le raisonnement. Des techniques récentes visent à améliorer la robustesse globale de l'IA et sa capacité à être généralisée grâce à l'apprentissage sur des données non étiquetées.

Les Transformers sont des modèles de *deep learning* capables de gérer des données séquentielles grâce à des mécanismes d'attention. L'une des applications les plus connues est GPT-3⁶⁰ d'OpenAI, un vaste modèle capable, entre autres, de générer des textes réalistes et de répondre à des questions d'ordre général. Les *Transformers* ont été utilisés avec succès pour la vision artificielle, où l'attention améliore la justesse des modèles et réduit les coûts de calcul.

L'apprentissage auto-supervisé permet d'entraîner des modèles sur des jeux de données trop vastes pour être étiquetés à la main. Il intervient dans divers scénarii de *deep learning* où les modèles pré-entraînés standard n'existent pas, ou sont trop chers à créer. Pouvoir apprendre en continu à partir de données brutes sous n'importe quel format (texte, image, son, données de capteurs...) est capital pour l'IAG.

Les apprentissages continus et tout au long de la vie imitent l'apprentissage humain pour s'adapter à des circonstances et des environnements nouveaux, tout en restant performants sur les jeux d'entraînement précédents.

L'apprentissage par l'exemple vise à reproduire la capacité des êtres humains à apprendre une tâche qu'on ne leur a montrée qu'une ou deux fois.

L'adaptation au domaine non supervisée gère les changements de domaine. Par exemple, pour une caméra extérieure, un changement de météo important peut diminuer la justesse du modèle de *machine learning*. L'adaptation au domaine gère

la question du transfert vers les connaissances apprises de différents domaines sources grâce à de nombreux exemples d'entraînement annotés.

L'apprentissage par renforcement est une approche dans laquelle un agent, interagissant avec son environnement, apprend à exécuter des actions distinguées par des récompenses. Les résultats attendus sont davantage récompensés que ceux qui ne le sont pas. L'une des grandes promesses du renforcement pour l'IAG est qu'il précise de façon explicite pourquoi les agents font ce qu'ils font.

Les machines d'IA hybrides imitent le développement cognitif de l'enfant. Par exemple, nous commençons par distinguer une pomme d'une banane, puis à associer des symboles, et peu à peu des catégories complexes. Enfin, nous acquérons la capacité de déduire des faits, des compétences et des savoirs nouveaux. Le but des machines IA hybrides est d'apprendre par découverte, déduction ou instruction.

Enfin, n'oublions pas les **progrès du hardware**, qui ont abouti à des innovations en termes d'architecture. Par exemple, les puces neuromorphes reproduisent les pics d'activité du cerveau humain. La photonique et les ordinateurs quantiques offrent d'autres voies prometteuses et pourraient accélérer les capacités de l'IA.

Considérations éthiques

Grâce aux progrès de l'IA, les entités les plus avancées acquerront peu à peu des capacités à décider, à devenir plus robustes, et à contribuer directement à l'accroissement de leur intelligence. Il s'ensuivra une boucle de rétroaction, alimentant des cycles de progrès et d'innovation. Mais nous ne devons pas oublier que l'IA reste un outil et qu'il faut maintenir un équilibre éthique entre humains et machines. Sans cela, l'IAG pourrait avoir de graves conséquences et un impact dévastateur sur l'humanité. Il est capital que les gouvernements comprennent l'IA et en régulent le développement. Les entreprises doivent aussi prendre en compte cette question clé quand elles élaborent des systèmes d'IA.

Les opportunités business de l'IAG

Le rythme des progrès de l'IA va engendrer de nombreuses opportunités pour les entreprises. Par exemple, des services de *Transformers* accessibles via le *cloud* pourraient aider des

60. <https://openai.com/blog/gpt-3-apps/>



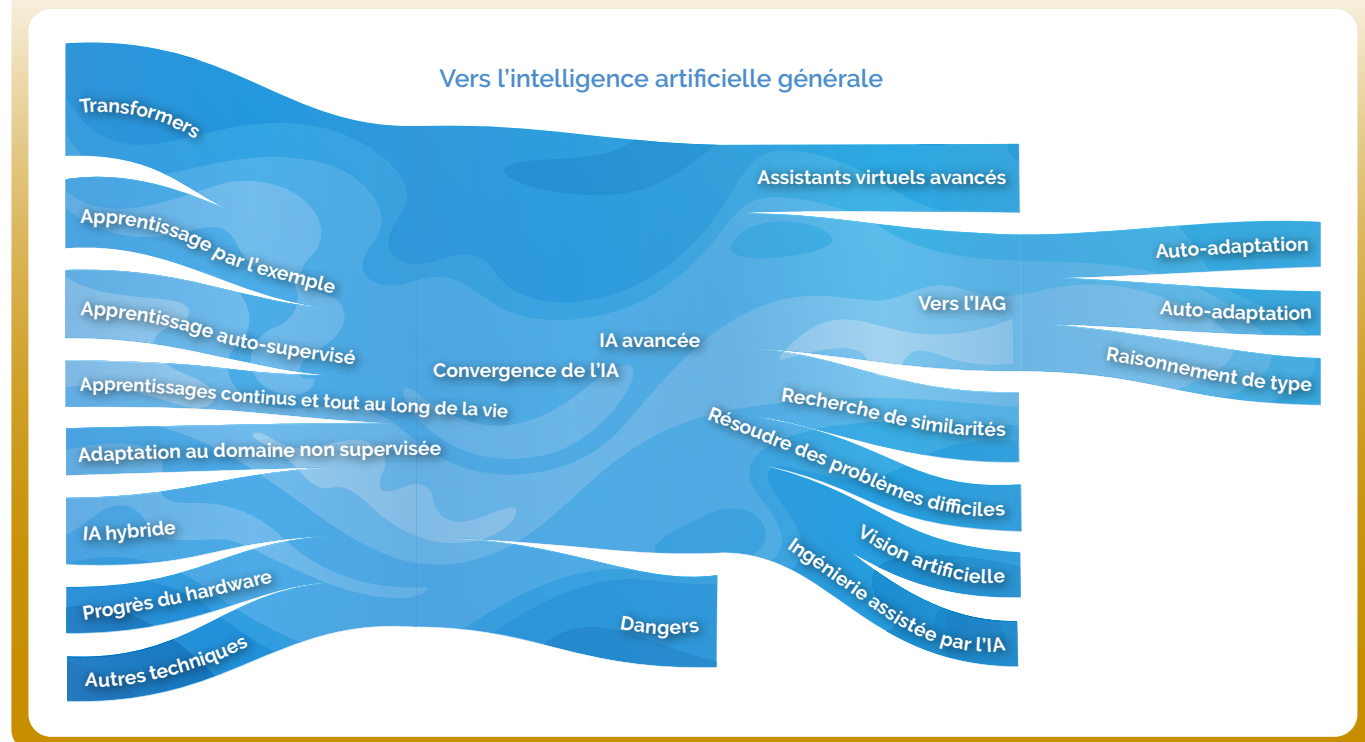
filiales B2B à créer leur propre solution de NLU. La recherche de similarités entre vecteurs (au cœur des *Transformers*) donne des résultats remarquables pour détecter des similitudes entre phrases, molécules, formes géométriques, images, codes, formes 3D et bien d'autres. Appliqué à des données d'entreprise (compétences, produits...), cela peut permettre d'obtenir de meilleurs éléments de contexte concernant les entités.

Les assistants virtuels avancés seront sans doute la réalisation la plus concrète de l'IAG. De plus en plus difficiles à distinguer d'un interlocuteur humain, ils pourront se charger de tâches et de requêtes bien plus complexes qu'aujourd'hui, comme avoir une conversation sur différents sujets, engager la conversation avec

un humain ou rédiger le brouillon d'une communication écrite. Nous pouvons aussi nous attendre à ce que des problèmes plus compliqués tels que la chimie numérique, le *design* de médicaments, la modélisation financière et l'optimisation soient résolus grâce aux techniques développées pour atteindre l'IAI.

L'intelligence artificielle générale est probablement le sujet le plus controversé dans la recherche en IA. Nous ignorons si nous en sommes proches ou si cela a même un sens d'essayer. Mais les avancées technologiques se poursuivront, avec un impact considérable sur l'économie, la société et nos vies personnelles. Les anticiper, et bâtir la confiance et l'équité, sera essentiel à leur large acceptation.

Figure 21 – Vers l'intelligence artificielle générale



Remerciements

Le comité éditorial :

Sophie Proust (Responsable de la Communauté Scientifique d'Atos)

John Hall (Editeur en chef)

Jose Esteban Lauzan

Amelie Groud

Marianne Hewlett

Christopher Joynson

Chetan Manjarekar

Purshottam Purswani

Jean-Christophe Spilmont

Responsables de recherche :

Jean-Marc Cadudal

Thierry Caminel

Luiz Domingos

Amelie Groud

Celestino Guemes Seoane

John Hall

Jordan Janeczko

Christopher Joynson

Peter Kalmijn

Frederik Kerling

Ivo Luijendijk

Neil Milliken

Albert Minguillon

Purshottam Purswani

Francisco Jose Ruiz Jimenez

David Salama Osborne

Marcelle Schillings

Albert Seubers

Kaoutar Sghiouer

Mary Sirois

Vinod Vasudevan

Peter Vrenken

Un remerciement spécial à

Philippe Mareine pour son *leadership* inspirant

Design et mise en page :

L'équipe de la Marcom Agency d'Atos



A propos de la Communauté Scientifique d'Atos

La Communauté Scientifique d'Atos rassemble plus de 170 experts scientifiques chevronnés issus de l'ensemble du Groupe. Capitalisant sur la diversité des compétences et des parcours de ses membres, la communauté travaille à anticiper les bouleversements technologiques et les défis commerciaux auxquels nos clients seront confrontés demain.

En tant que « créateur de changement », à l'approche proactive pour identifier et anticiper les technologies qui changeront les règles du jeu, notre communauté scientifique garantit à nos clients de leur fournir les meilleures solutions disponibles, aujourd'hui comme demain.

Les membres de la Communauté Scientifique d'Atos interviennent dans un grand nombre d'actions :

- Ils participent à l'élaboration de la vision d'Atos au regard de l'évolution du monde de l'entreprise, de la société et des technologies via les publications Journey qui explorent les tendances en matière de technologies et la façon dont leur utilisation peut accompagner nos clients dans leur croissance et leur transformation.
- Ils contribuent au rapport de tendances Look Out, publication bisannuelle de l'analyse prédictive et collaborative d'Atos.
- La Communauté parraine l'Atos IT Challenge, encourageant la nouvelle génération de talents IT issus des universités du monde entier.
- Outre le fait de résoudre les défis commerciaux de nos clients, ils accompagnent la création de brevets, échangent avec nos clients et partenaires lors d'ateliers d'innovation et développent des démonstrations de pointe.

En savoir plus : <https://atos.net/fr/a-propos-d-atos/recherche-et-innovation/communaute-scientifique>

Explorer les dimensions du virtuel au sein de votre organisation

Les ateliers innovation d'Atos vous mettent en relation avec les experts sectoriels et technologiques de notre Communauté Scientifique.

L'objectif ? Elaborer ensemble des solutions spécifiques à vos enjeux commerciaux.

Prenez rendez-vous en ligne ou avec votre Responsable de compte pour organiser un atelier.

atos.net/btic

À propos d'Atos

Atos est un leader international de la transformation digitale avec 112 000 collaborateurs et un chiffre d'affaires annuel d'environ 11 milliards d'euros. Numéro un européen du cloud, de la cybersécurité et des supercalculateurs, le Groupe fournit des solutions intégrées pour tous les secteurs, dans 71 pays. Pionnier des services et produits de décarbonation, Atos s'engage à fournir des solutions numériques sécurisées et décarbonées à ses clients. Atos est une SE (Société Européenne) cotée sur Euronext Paris et fait partie des indices CAC 40 ESG et Next 20.

La [raison d'être d'Atos](#) est de contribuer à façonner l'espace informationnel. Avec ses compétences et ses services, le Groupe supporte le développement de la connaissance, de l'éducation et de la recherche dans une approche pluriculturelle et contribue au développement de l'excellence scientifique et technologique. Partout dans le monde, Atos permet à ses clients et à ses collaborateurs, et plus généralement au plus grand nombre, de vivre, travailler et progresser durablement et en toute confiance dans l'espace informationnel.

Pour plus d'information :

atos.net/fr

Rejoignez-nous



Atos est une marque enregistrée appartenant à Atos SE. Août 2022.
© Droits d'auteurs 2022, Atos SE. Ces données confidentielles appartiennent au groupe Atos et peuvent être consultées uniquement par le destinataire désigné. Ce document ne peut être reproduit, copié, circulé et/ou distribué ni cité, tant dans sa totalité ou en partie, sans l'accord préalable écrit d'Atos.