

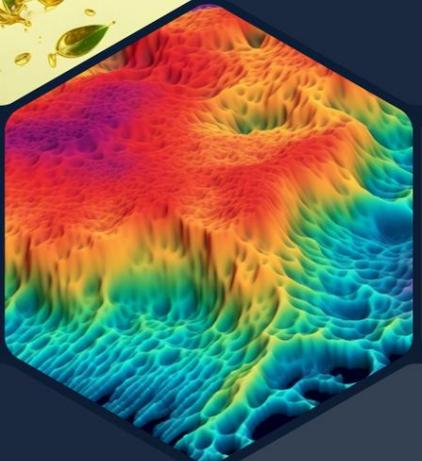
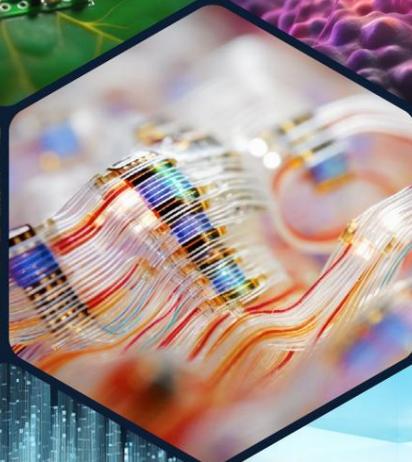
Centre for the
Fourth Industrial
Revolution

WORLD
ECONOMIC
FORUM

En collaboration
avec Frontiers Media

Top 10 émergents Technologie de 2023

RAPPORT PHARE
JUIN 2023



Images : Midjourney, Studio Miko. Toutes les images de ce rapport ont été générées à l'aide de l'intelligence artificielle.

Contenu

Préface	3
Introduction	4
Méthodologie	5
1 Batteries souples	8
2 Intelligence artificielle générative	dix
3 Carburant d'aviation durable	12
4 phages concepteurs	14
5 Métavers pour la santé mentale	16
6 capteurs de plantes portables	18
7 omiques spatiales	20
8 Electronique neuronale flexible	22
9 Informatique durable	24
10 soins de santé facilités par l'IA	26
Contributeurs	28
Notes de fin	31

Clause de non-responsabilité

Ce document est publié par le Forum économique mondial en tant que contribution à un projet, un domaine d'information ou une interaction. Les résultats, interprétations et conclusions exprimés ici sont le résultat d'un processus de collaboration facilité et approuvé par le Forum économique mondial, mais dont les résultats ne représentent pas nécessairement les vues du Forum économique mondial, ni l'intégralité de ses membres, partenaires ou autres parties prenantes.

© 2023 Forum économique mondial. Tous les droits sont réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ou transmise sous quelque forme ou par quelque moyen que ce soit, y compris la photocopie et l'enregistrement, ou par tout système de stockage et de récupération d'informations.

Préface



Jérémy Jürgens
Directeur général,
Forum économique mondial

Depuis plus d'une décennie, le Forum interroge des universitaires, des chefs de file de l'industrie et des futuristes sur les technologies émergentes destinées à transformer les économies et les sociétés. Ce faisant, le rapport Top 10 Emerging Technologies of 2023 vise à aider les professionnels de tous les secteurs et industries à anticiper les technologies exponentielles, à interpréter leurs implications et à défendre les applications qui façonnent l'industrie et sont au service de la société.

Depuis la première édition en 2011, le rapport annuel a identifié des technologies peu connues qui ont eu un impact mondial. Par exemple, l'outil de génie génétique précis, CRISPR-Cas9, présenté en 2015, est devenu une science lauréate du prix Nobel cinq ans plus tard et est maintenant utilisé pour créer des cultures résistantes aux insectes et à la sécheresse dans des conditions de croissance difficiles dans le monde entier. Les vaccins à acide ribonucléique messager (ARNm), qui ont mérité leur place dans le rapport de 2017, sont devenus la technologie à la base de la majorité des vaccins COVID-19 protégeant des vies dans le monde. Au cours des quelques années qui se sont écoulées depuis que la conception moléculaire dirigée par l'IA est entrée sur la liste de 2018, AlphaFold de Deepmind a prédit la structure de 200 millions de protéines, et les premiers médicaments découverts par l'IA sont entrés dans les essais cliniques.

Maintenant dans sa 11e année, le rapport Top 10 Emerging Technologies of 2023 décrit les technologies susceptibles d'avoir un impact positif sur la société au cours des trois à cinq prochaines années. Le rapport élargit sa portée au-delà de la description des 10 principales technologies et des risques et opportunités associés pour inclure une évaluation qualitative de l'impact de chaque technologie sur les personnes, la planète, la prospérité, l'industrie et l'équité. Uniques pour chaque technologie, ces « empreintes digitales d'impact » sont destinées à stimuler une analyse et un débat plus approfondis sur la façon dont les

technologies – dont certaines dont vous n'avez peut-être jamais entendu parler – peuvent façonner et façonneront notre avenir collectif dans les années à venir. Autre nouveauté pour l'édition 2023, une collection de cartes de transformation de la plateforme d'intelligence stratégique du Forum, qui fournit des informations et un contexte plus approfondis sur chaque technologie en montrant comment elles se connectent à d'autres sujets de l'agenda mondial et en faisant apparaître les dernières publications fiables pour une lecture plus approfondie.

Le rapport de cette année rassemble les points de vue de plus de 90 experts dans 20 pays de toutes les régions du monde. Ce rapport n'aurait pas été possible sans leur ouverture à apporter leurs idées, et nous les remercions tous sincèrement. Nous apprécions également grandement le leadership de nos coprésidents du groupe directeur des 10 meilleures technologies émergentes, Mariette DiChristina et Bernard Meyerson, qui, avec de nombreux membres, ont été de loyaux collaborateurs depuis la création de la série de rapports sur les 10 meilleures technologies émergentes. Nous tenons également à remercier notre partenaire de connaissances pour l'édition de cette année, Frontiers, pour l'expertise approfondie et la rigueur scientifique de leurs éditeurs de revues - à travers les articles, les empreintes digitales d'impact et les cartes de transformation. Nos remerciements également à l'équipe du projet : Greta Keenan, Saemoon Yoon, Minji Sung et Sebastian Backup, ainsi qu'à l'ensemble de l'équipe du Center for the Fourth révolution industrielle pour leur contribution.

Les nouvelles technologies ont le pouvoir de perturber les industries, de faire croître les économies, d'améliorer des vies et de protéger la planète - si elles sont conçues, mises à l'échelle et déployées de manière responsable. Nous espérons que le rapport de cette année servira d'outil puissant aux chefs d'entreprise et aux décideurs politiques pour libérer le potentiel de transformation des technologies émergentes et façonner leur adoption inclusive.

Introduction

Un message des coprésidents du comité directeur du rapport Top 10 Emerging Technologies.



Mariette DiChristina
Doyen et professeur de la
pratique du journalisme,
Collège de communication de
l'Université de Boston



Bernard Meyerson
Directeur de l'Innovation
Émérite, IBM

Dans l'[introduction](#) de son livre de 2016, La quatrième révolution industrielle, Klaus Schwab a conseillé à l'humanité de "prendre les changements technologiques spectaculaires comme une invitation à réfléchir sur qui nous sommes et comment nous voyons le monde". Le rapport Top 10 Emerging Technologies of 2023 est une réponse continue à cette invitation à améliorer l'état du monde et des humains qui l'habitent. Les forces motrices derrière les innovations présentées dans ce rapport spécial sont l'accélération de la connectivité mondiale, l'essor de l'IA, ainsi que la convergence des mondes physique, numérique et biologique.

Conformément à la quatrième révolution industrielle, plusieurs des technologies citées utilisent les données et l'informatique pour améliorer la santé publique. La liste explore comment l'IA permet d'améliorer la prestation des soins de santé, en particulier pour ceux qui vivent dans des zones moins bien dotées en ressources ; comment les batteries flexibles alimentent les technologies portables et les écrans pliables qui permettent d'utiliser des dispositifs médicaux portables et des capteurs biomédicaux ; et l'électronique neuronale de nouvelle génération qui peut interagir avec des millions de cellules à la fois de manière plus sûre. Les problèmes de santé mentale étant plus pressants dans le monde post-pandémique, les espaces partagés virtuels dans le métaverse facilitent la sensibilisation mondiale pour servir ceux qui en ont besoin.

Dans ce rapport, vous découvrirez comment l'omique spatiale crée une nouvelle génération d'« atlas cellulaires » au niveau moléculaire pour aider à percer les mystères de la vie. Dans une nouvelle approche de traitement, les chercheurs élaborent des virus, appelés phages, pour améliorer la santé humaine, animale et végétale.

Au-delà de la compréhension et du traitement des maladies, l'émergence publique rapide de l'intelligence artificielle (IA) montre un potentiel pour améliorer considérablement l'accès et la mise en œuvre des connaissances humaines. L'IA générative, incarnée dans ChatGPT et Bard, a démontré la création de contenu social et technique original en quelques secondes. Ces capacités se sont développées à partir de modèles entraînés sur un vaste contenu d'informations ingéré à partir du Web.

Il est cependant important d'être conscient des problèmes de société créés par ces capacités « surhumaines ».

Le bien-être humain passe aussi par une planète en bonne santé. Pour répondre à ce besoin, le "top 10" comprend des capteurs de plantes portables, qui permettent d'augmenter la production alimentaire en améliorant la santé des plantes. Avec l'impact du changement climatique de plus en plus grave, deux innovations citées offrent des progrès : le carburant d'aviation durable, fabriqué à partir de sources biologiques ou non biologiques, et l'informatique durable, qui ouvre la voie vers des centres de données à zéro carbone net. Cependant, beaucoup plus d'innovations sont nécessaires pour atténuer cette menace existentielle pour l'humanité.

Méthodologie

Choisir la liste des 10 meilleurs pour 2023

Les technologies à prendre en compte pour la liste 2023 ont été collectées via une enquête distribuée au groupe de pilotage et au réseau d'experts plus large, ainsi qu'à l'innovateur du Forum économique mondial Communautés de décembre 2022 à janvier 2023. Les répondants au sondage devaient remplir les champs suivants :

- Nom de la technologie
- Description de la technologie
- Domaines impactés par la technologie
- Description de l'impact de la technologie sur ces domaines, y compris les avantages et les risques pour la société
- Justification de la raison pour laquelle la technologie devrait figurer sur la liste 2023.

Les 95 candidatures technologiques valides ont été examinées, débattues et classées par le groupe de pilotage au cours de trois réunions entre janvier et février 2023, réduisant finalement la liste aux 10 derniers en fonction des critères de jugement :

- Nouveauté : la technologie émerge et à un stade précoce de développement naissant, pas encore largement utilisé.
- Applicabilité : a le potentiel d'être d'une utilité et d'un avantage significatifs pour les sociétés et les économies à l'avenir ; n'est pas seulement une préoccupation marginale.
- Profondeur : est développé par plus de une seule entreprise et fait l'objet d'un intérêt et d'un enthousiasme croissants pour les investissements au sein du communauté d'experts ; susceptibles d'avoir un impact significatif dans les 3 à 5 prochaines années.
- Pouvoir : est potentiellement puissant et perturbateur en modifiant les méthodes et les industries établies.

Les membres du groupe de pilotage se sont portés volontaires pour rédiger les articles du rapport, consultant des spécialistes de leurs réseaux pour une contribution supplémentaire. Tous les articles ont été vérifiés et édités par Frontiers.

"Empreinte d'impact"

Le contenu du rapport Top 10 Emerging Technologies of 2023 s'appuie sur les contributions d'experts du monde universitaire et de l'industrie. La méthodologie de cette édition est basée sur les 10 éditions précédentes mais intègre pour la première fois les données de l'enquête « impact fingerprint ».

Pour y parvenir, des groupes d'experts composés d'universitaires et de leaders de l'industrie ont été constitués pour chacune des 10 technologies répertoriées dans le rapport 2023. Ils ont ensuite été invités à prédire l'impact futur de leur technologie respective, en évaluant l'influence projetée sur une échelle de 1 à 10, si ces technologies devaient être largement adoptées dans les 3 à 5 prochaines années. L'enquête visait à évaluer l'effet potentiel de ces technologies sur cinq mesures distinctes :

Un peuple

Les participants ont évalué leurs attentes concernant le potentiel de chaque technologie pour améliorer la sécurité et la dignité - couvrant des domaines tels que la sécurité alimentaire, l'accès à l'eau potable et l'amélioration des résultats des soins de santé - au cours de la prochaine décennie.

B. Planète

Les participants ont évalué dans quelle mesure ils envisageaient que les technologies pourraient aider à protéger et à restaurer notre planète. Cela comprenait des considérations telles que la restauration de la biodiversité, la minimisation des déchets et la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

C. Prospérité

Les personnes interrogées ont été invitées à évaluer le potentiel de chaque technologie pour améliorer la qualité de vie des individus dans le monde. Les facteurs pris en compte comprenaient la création d'emplois, l'amélioration de la connectivité et l'augmentation du temps libre.

D. Industrie

Les participants ont évalué le potentiel de ces technologies pour perturber les industries existantes et générer de nouveaux marchés au cours de la prochaine décennie.

E. Équité

Enfin, l'enquête demandait aux participants d'évaluer le potentiel de ces technologies pour promouvoir l'équité sociale mondiale. Cela impliquait d'estimer leur capacité à démocratiser l'accès aux ressources et services essentiels comme les soins de santé, l'énergie, les matériaux et Internet.

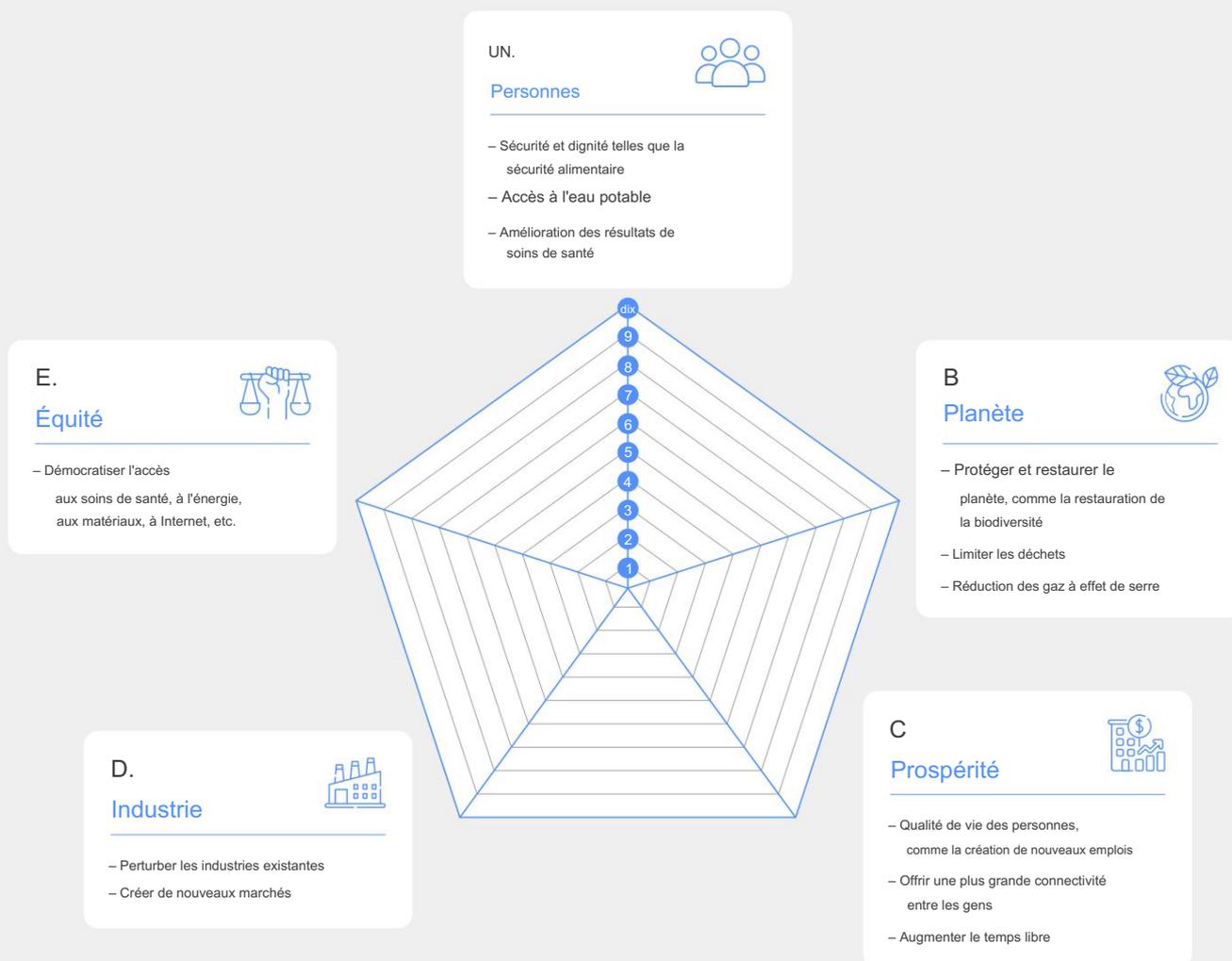
Les universitaires ont été principalement sélectionnés parmi le réseau d'éditeurs de revues scientifiques de Frontiers, tandis que les leaders de l'industrie ont été sélectionnés parmi l'innovateur du Forum Communautés.

Sur les plus de 100 experts invités à contribuer à l'une des 10 enquêtes technologiques, 69 répondants de 18 pays ont fourni leur évaluation.

Les scores ont été moyennés pour chaque dimension de l'empreinte digitale d'impact pour chaque technologie, avec des commentaires facultatifs rassemblés pour un contexte supplémentaire aux scores.

Les résultats ont été visualisés à l'aide de graphiques radar (voir Figure 1) et sont présents dans chaque section.

FIGURE 1 Carte radar « empreinte digitale d'impact »



Limites méthodologiques

Cette méthodologie a été conçue pour être rigoureuse dans une gamme de contraintes.

Premièrement, étant donné que certaines des technologies de la liste sont vraiment émergentes, il y avait des limites au nombre d'universitaires et de leaders de l'industrie dans les réseaux étendus Forum et Frontiers qui pouvaient être considérés comme des experts sur ces sujets pour participer à l'enquête d'impact sur les empreintes digitales.

Deuxièmement, les taux de réponse variaient selon les technologies, avec différents ratios de répondants issus de l'industrie et du milieu universitaire.

Troisièmement, les scores qualitatifs variaient au sein des technologies, en partie en raison de différentes interprétations des dimensions d'impact et en partie en raison de différents points de vue.

Dans l'ensemble, les visualisations des données d'empreintes digitales d'impact fournissent une dimension qualitative complémentaire aux articles pour chaque technologie dans le rapport de cette année et suscitent une analyse et un débat plus approfondis sur la manière dont les technologies émergentes sont susceptibles de façonner l'avenir collectif dans les années à venir.

Cartes de transformation de l'intelligence stratégique

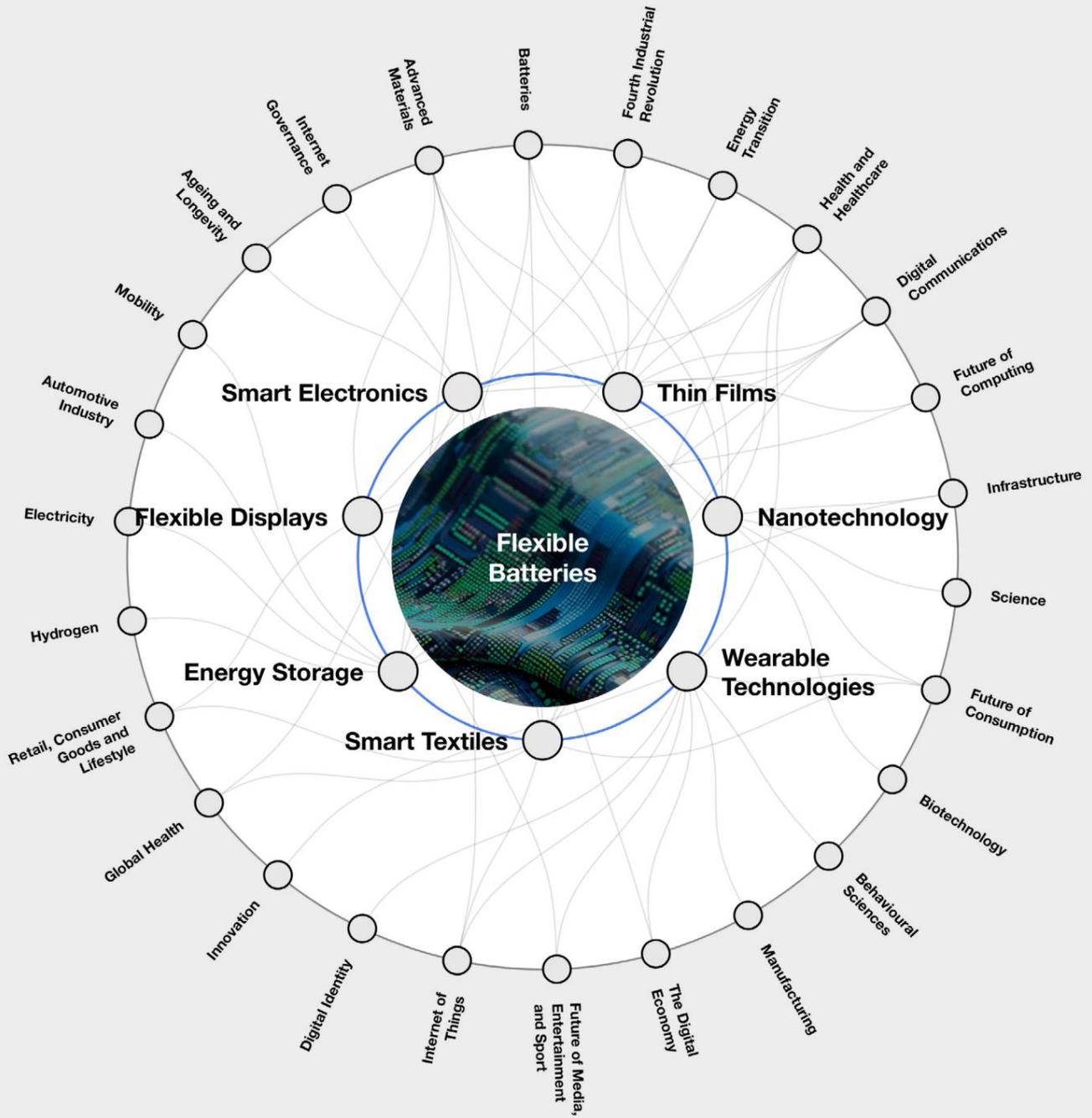
Une autre ambition de la 11e édition du rapport était de faciliter un engagement plus profond du lecteur avec chacune des technologies au-delà des courts articles inclus. Pour y parvenir, Frontiers a co-organisé des cartes de transformation pour chaque technologie, hébergées sur la plateforme d'intelligence stratégique du Forum, où

les lecteurs peuvent en savoir plus sur les problèmes clés de chaque technologie et comment elle se connecte à d'autres sujets de l'agenda mondial, ainsi que trouver les derniers articles sur le sujet à partir de sources fiables.

Les descriptions étaient principalement basées sur les articles de ce rapport. Les questions clés ont été déterminées sur la base des conseils des auteurs du groupe de pilotage et de la contribution des éditeurs de Frontiers. Les descriptions des problèmes clés ont été recherchées et rédigées par les rédacteurs de Frontiers

FIGURE 2

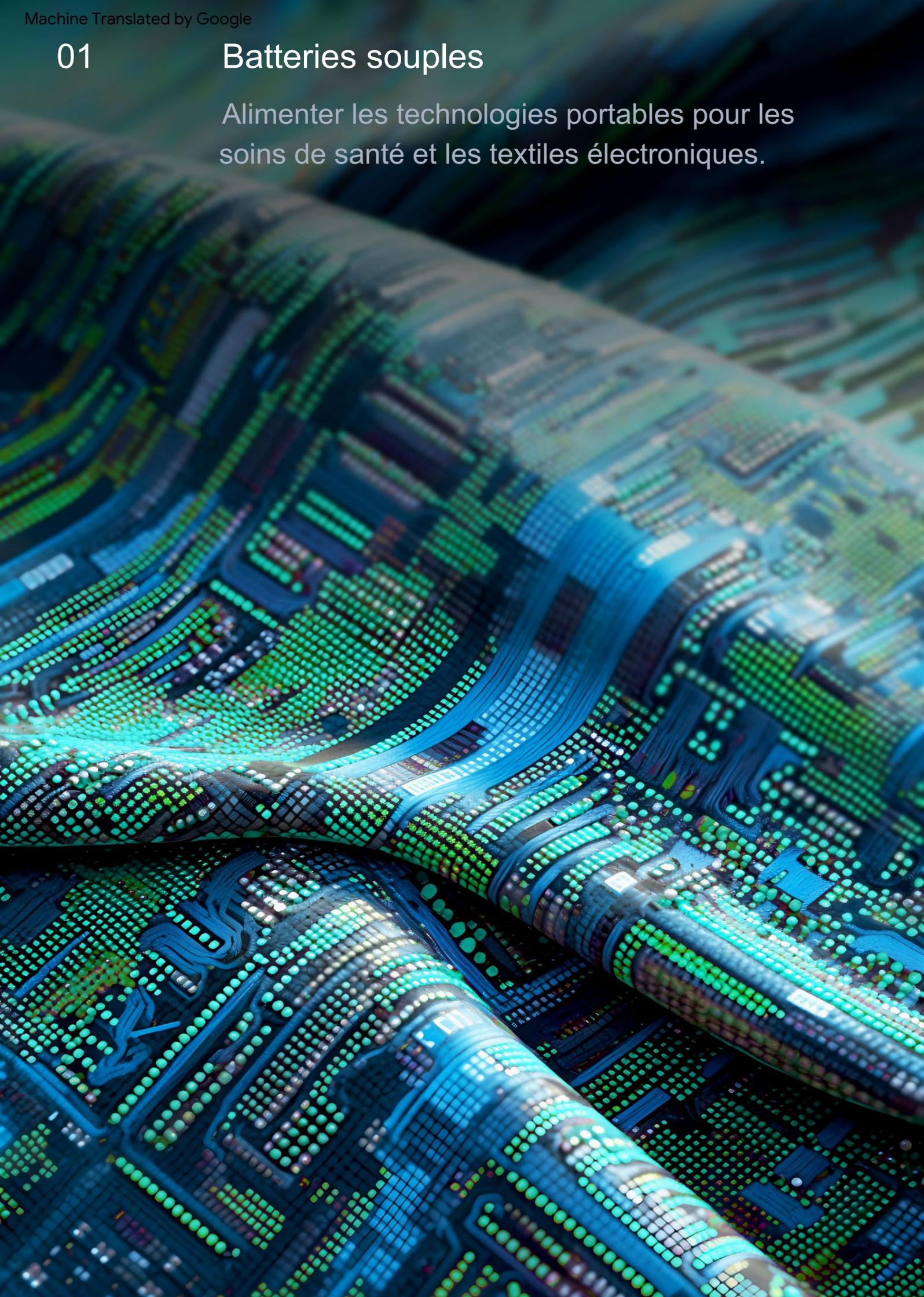
Exemple de carte de transformation de l'intelligence stratégique



01

Batteries souples

Alimenter les technologies portables pour les soins de santé et les textiles électroniques.



Javier García Martínez

Professeur de chimie et directeur, Moléculaire
Laboratoire de nanotechnologie, Université d'Alicante

Joseph Constantin

Professeur agrégé d'électricité et d'informatique
Ingénierie, Université américaine de Beyrouth

Des écrans d'ordinateur enroulables aux vêtements "intelligents", l'avenir de l'électronique s'annonce de plus en plus flexible. Le développement rapide des appareils portables, de l'électronique flexible et des écrans flexibles exige des sources d'alimentation qui correspondent à l'agilité de ces systèmes. Les batteries standard et rigides pourraient bientôt appartenir au passé, car les batteries minces et flexibles - faites de matériaux légers qui peuvent être facilement tordus, pliés ou étirés - arrivent sur le marché.

Plusieurs types de batteries souples sont actuellement disponibles. Ces batteries sont rechargeables et comprennent des systèmes lithium-ion ou zinc-carbone placés sur des collecteurs de courant en polymère conducteur. Dans certains cas, les additifs améliorent la conductivité et la flexibilité.¹ Les électrodes des batteries flexibles peuvent être recouvertes de - ou même imprimées sur - des substrats flexibles, y compris des matériaux à base de carbone comme le graphène, les fibres de carbone ou le tissu.

Les batteries flexibles ont des applications dans un nombre croissant de domaines, notamment les dispositifs médicaux portables et les capteurs biomédicaux, les écrans flexibles et les montres intelligentes. Les applications liées à la santé alimentées par ces batteries pourraient transmettre des données sans fil aux prestataires de soins de santé, facilitant ainsi la surveillance à distance des patients. De plus, des batteries flexibles pouvant être intégrées dans le tissu des vestes, des chemises ou d'autres vêtements seront nécessaires pour alimenter l'électronique textile émergente avec des capacités allant des systèmes de chauffage intégrés à la surveillance de la santé.

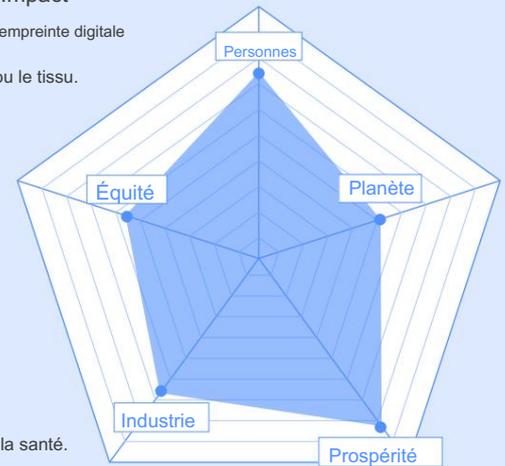
Le marché des batteries flexibles devrait se développer rapidement dans les années à venir. Une étude prévoit que le marché mondial des batteries flexibles augmentera de 240,47 millions de dollars entre 2022 et 2027, s'accroissant à un taux de croissance annuel composé de 22,79 % au cours de cette période.² Les principaux moteurs de la croissance devraient être la demande croissante d'appareils portables et la tendance croissante à la miniaturisation et à la flexibilité de l'électronique.

Plusieurs entreprises développent et commercialisent activement une technologie de batterie flexible, notamment LG Chem, Samsung SDI, Apple, Nokia, Front Edge Technology, STMicroelectronics, Blue Spark Technologies et Fullriver Battery New Technology.³ Cependant, il reste encore de la place pour l'innovation dans ce domaine, et de nouveaux acteurs sont susceptibles d'entrer sur le marché à mesure que la technologie évolue.

La capacité des batteries flexibles à être pliées, tordues et étirées les rend idéales pour une utilisation dans les appareils portables. Alors que la demande du marché pour les technologies portables continue de croître, l'avenir des batteries flexibles est prometteur et de nouvelles avancées sont probables. Comme pour toutes les batteries, un obstacle à surmonter est leur élimination et leur recyclage en toute sécurité, qui devraient intervenir à mesure que la technologie et les applications associées deviennent circulaires. Les avancées révolutionnaires dans les technologies de batteries flexibles et les industries qui les accompagnent devraient se poursuivre pendant de nombreuses années.

Impact

empreinte digitale



22,79 %

Taux de croissance annuel composé entre 2022 et 2027

240 millions de dollars

Croissance prévue du marché mondial des batteries flexibles entre 2022 et 2027

↑ Image:

Une nouvelle génération de batteries flexibles pourrait permettre l'intégration transparente de la technologie dans les tissus et les vêtements.

Crédit : Midjourney et Studio Miko.

Invite (abrégé) : "Tissu technologique avec éléments numériques entrelacés".

En savoir plus:

Découvrez les analyses d'experts liées aux [batteries flexibles](#) sur la plateforme d'intelligence stratégique.

Intelligence artificielle générative

Repousser les limites de
l'effort humain.



Olga Finck

Professeure de maintenance intelligente
et systèmes d'exploitation, EPFL

Julien Weissenberg

Fondateur, Deep Tech Experts

L'intelligence artificielle générative (IA) est un type puissant d'IA qui peut créer un contenu nouveau et original en apprenant des modèles de données, en utilisant des algorithmes complexes et des méthodes d'apprentissage inspirées du cerveau humain. Alors que l'IA générative se concentre encore actuellement sur la production de texte, de programmation informatique, d'images et de sons⁴, cette technologie pourrait être appliquée à diverses fins, notamment la conception de médicaments, l'architecture et l'ingénierie.

Par exemple, au moment d'écrire ces lignes, des travaux initiaux ont été publiés sur la génération de molécules candidates ciblant des conditions particulières⁵ et sur la création d'images de bâtiments imaginaires ou sur la génération de design d'intérieur. Les ingénieurs de la NASA travaillent actuellement sur des systèmes d'IA capables de construire des instruments de vol spatiaux légers, en réduisant de 10 fois le temps de développement tout en améliorant simultanément les performances structurelles.⁶ Les technologies d'IA génératives peuvent même avoir un impact sur l'industrie alimentaire et la conception d'objets du quotidien, des meubles aux appareils électroménagers. Dans la recherche scientifique, les modèles génératifs pourraient faciliter les percées en améliorant la conception expérimentale, en identifiant les relations entre les éléments de données et en créant de nouvelles théories. Par exemple, des algorithmes d'IA récemment développés peuvent traduire une formule mathématique en anglais simple ou analyser les données d'activité cérébrale pour générer des dessins des objets que les participants humains ont à l'esprit.^{7,8}

Les lycéens et les universitaires utilisent plus fréquemment l'IA générative, certaines institutions interdisant leur utilisation tandis que d'autres intègrent des modèles génératifs dans les pratiques d'enseignement⁹ ou forment même des étudiants à maîtriser ces outils. Utilisée correctement, l'IA générative peut créer des programmes personnalisés qui s'adaptent aux compétences des élèves et aux progrès d'apprentissage tout en encourageant la pensée critique, en stimulant la créativité et en exploitant de nouvelles idées.

Sur le lieu de travail, l'utilisation de modèles de langage basés sur l'IA, comme le chatGPT récemment populaire ou ses successeurs, peut augmenter la productivité et améliorer la qualité des résultats, en restructurant les tâches humaines vers la génération d'idées et l'édition plutôt que vers la rédaction approximative.¹⁰ Les technologies d'IA génératives profitent spécifiquement aux faibles travailleurs compétents et peut accroître la satisfaction au travail et l'auto-efficacité. Étant donné le potentiel de gains de productivité résultant de l'adoption de ces nouvelles technologies, il est crucial de reconnaître la probabilité de suppression d'emplois. À ce titre, les politiques et les programmes qui soutiennent les travailleurs dans leurs efforts d'amélioration et de reconversion des compétences sont essentiels pour garantir que les avantages de l'innovation technologique sont largement partagés et que les travailleurs sont dotés des compétences nécessaires pour prospérer sur un marché du travail en évolution.

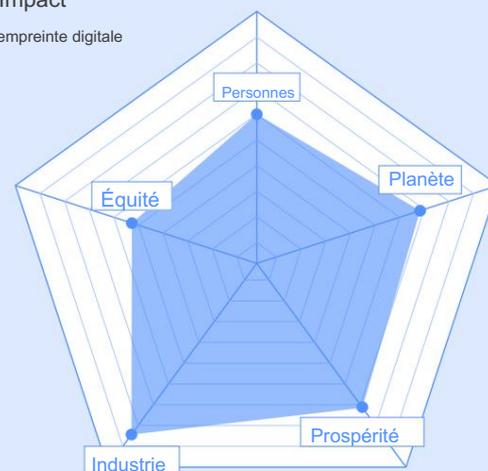
Les développements les plus récents impliquent des systèmes d'IA autonomes qui peuvent prendre des décisions importantes ou prendre des mesures importantes. Par exemple, AutoGPT est une application d'IA autonome utilisant le modèle de langage GPT-4. AutoGPT peut atteindre automatiquement un objectif identifié par l'utilisateur en divisant l'objectif en tâches plus petites et en utilisant des outils tels que les recherches sur Internet ou la technologie de synthèse vocale. L'intégration croissante des technologies d'IA générative, en particulier l'IA autonome, dans de multiples aspects de la vie quotidienne des gens, suscite à la fois l'enthousiasme et l'inquiétude du public.

Pour renforcer la confiance du public dans l'IA générative, les applications doivent respecter les normes professionnelles et éthiques convenues. Les systèmes d'IA générative représentent les données sur lesquelles ils ont été formés et les conventions régissant la société à cette époque. Il faut veiller à atténuer le biais de l'IA basé sur les données de formation, en mettant l'accent sur l'inclusion de données «aberrantes» et de nouvelles conventions sociétales. En outre, les processus de prise de décision d'une application doivent être faciles à comprendre, les objectifs d'une application doivent être clairement divulgués aux opérateurs et aux utilisateurs finaux, et la vie privée individuelle doit être respectée. Des directives éthiques et des structures de gouvernance doivent être élaborées pour atténuer les dommages potentiels et garantir que le progrès technique va de pair avec une utilisation responsable. Enfin, l'attribution du droit d'auteur doit être abordée afin que le crédit approprié soit accordé aux concepteurs d'IA, aux créateurs de données de formation et aux auteurs d'instructions d'utilisation des applications.

Avec les contrôles appropriés en place, l'IA générative peut donner plus de temps à la créativité, démontrer les limites de la connaissance et agir comme un partenaire d'entraînement pour défier la pensée conventionnelle.

Impact

empreinte digitale



↑ Image:

L'IA générative peut synthétiser ce qu'elle a appris à partir de gigantesques ensembles de données pour créer et saisir de nouvelles informations de manière innovante.

Crédit : Midjourney et Studio Miko.

Invite (abrégé): "Image glitchée superposant divers styles de peinture, de photographie et de rendus 3D".

En savoir plus:

Découvrez l'analyse d'experts liée à l'[intelligence artificielle générative](#) sur la plateforme d'intelligence stratégique.

03

Carburant d'aviation durable

Faire progresser l'industrie
aéronautique vers des émissions nettes de carbone



Mariette DiChristina

Doyen et professeur de la pratique du journalisme,
Collège de communication de l'Université de Boston

Lee Sang-Yup

Vice-président senior pour la recherche, Korea Advanced
Institut des sciences et de la technologie

Lauren Uppink Calderwood

Responsable, Stratégie Climat, Centre Nature et Climat,
Forum économique mondial

L'aviation représente 2 à 3 % des émissions mondiales de CO₂ par an, avec des émissions concernant le "statu quo" de 39 gigatonnes entre 2022 et 2050.^{11,12} Alors que l'utilisation de véhicules électriques pour le transport terrestre augmente

rapidement, le secteur de l'aviation a aux prises avec la décarbonisation parce que des carburants à haute densité énergétique sont nécessaires pour les vols longue distance. De plus, le prix élevé du remplacement des avions signifie que la flotte actuelle restera en service pendant des décennies, et les avions électriques ou à hydrogène pourraient ne pas être viables pour les vols longue distance dans tous les cas.

Entrez une solution qui ne nécessite pas de modifications à grande échelle des infrastructures et des équipements aéronautiques actuels : le carburant d'aviation durable (SAF), produit à partir de ressources biologiques (par exemple, la biomasse) et non biologiques (par exemple, le CO₂). Combiné à d'autres stratégies de décarbonisation, y compris l'efficacité opérationnelle à l'échelle du système, les nouvelles technologies et les compensations carbone, le SAF devrait amener l'industrie du transport aérien à atteindre des émissions nettes de carbone nulles dans les décennies à venir.

Aujourd'hui, le SAF représente moins de 1 % de la demande mondiale de carburant, mais cela doit passer à 13-15 % d'ici 2040 pour mettre l'industrie aéronautique sur la voie du net zéro d'ici 2050.¹³ Une telle augmentation nécessitera la création de 300 à 400 nouvelles usines SAF ; et les compagnies aériennes, les fabricants et les compagnies pétrolières travaillent sans relâche pour permettre ce niveau d'échelle.

Heureusement, la production de SAF à partir de matières premières biogéniques utilisant des énergies renouvelables est en constante augmentation. Selon l'Association internationale du transport aérien, la production de SAF a atteint au moins 300 millions (de manière optimiste 450 millions) de litres en 2022, soit près du triple de celle produite en 2021.¹⁴ Un nombre croissant de compagnies aériennes se sont engagées à utiliser les SAF, une tendance qui sera accélérée grâce aux efforts mondiaux, telles que l'initiative Clean Skies for Tomorrow du Forum économique mondial¹⁵ et [First](#)

[Coalition des déménageurs](#).

L'American Society of Testing and Materials (ASTM) a approuvé neuf SAF pour le mélange dans un rapport allant jusqu'à 50 % avec du carburant conventionnel à base de pétrole.¹⁶ Le premier SAF, approuvé par l'ASTM en 2009, est produit en convertissant le gaz de synthèse (un mélange de monoxyde de carbone et d'hydrogène) en hydrocarbures par une série de

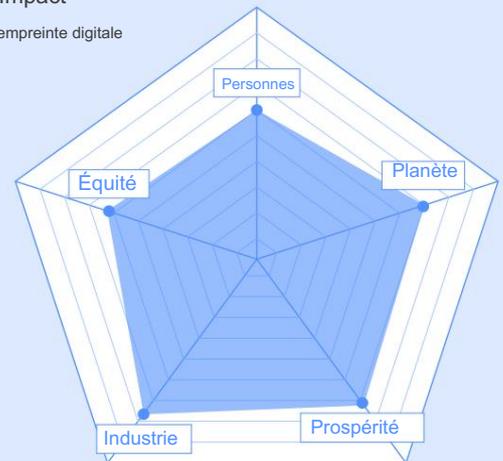
réactions. Le gaz de synthèse peut être préparé à partir de biomasse ou de déchets ou, mieux encore, à partir de CO₂ capté et d'hydrogène vert à partir d'énergies renouvelables.

Le deuxième SAF, homologué en 2011, est produit à partir d'huile végétale et de graisse animale. La disponibilité et la collecte des matières premières, ainsi que le besoin d'hydrogène vert produit durablement, restent des enjeux majeurs pour cette option. Les micro-organismes modifiés par voie métabolique qui peuvent décomposer une biomasse abondante et non comestible pourraient potentiellement réduire la dépendance aux huiles végétales et aux graisses animales.¹⁷

Au cours des dernières années, sept autres SAF ont été approuvés, et d'autres candidats passionnants sont toujours en développement actif. Un exemple utilise des bactéries artificielles pour améliorer le profil énergétique du SAF.¹⁸ En 2023, un consortium d'acteurs au Royaume-Uni est sur le point d'effectuer le premier vol transatlantique net zéro utilisant uniquement du carburant d'aviation durable, démontrant le potentiel de cette technologie en évolution rapide et déplaçant le monde plus proche de l'aviation nette zéro.

Impact

empreinte digitale



2-3%

de CO₂ mondial annuel
les émissions proviennent de l'aviation

↑ Image:

Le carburant d'aviation durable, créé à partir de la biomasse et combiné à d'autres stratégies de décarbonisation, trace une voie fiable vers une aviation nette zéro.

Crédit : Midjourney et Studio Miko.

Invite (abrégé): "Gouttes de carburant éclaboussant en forme de feuilles".

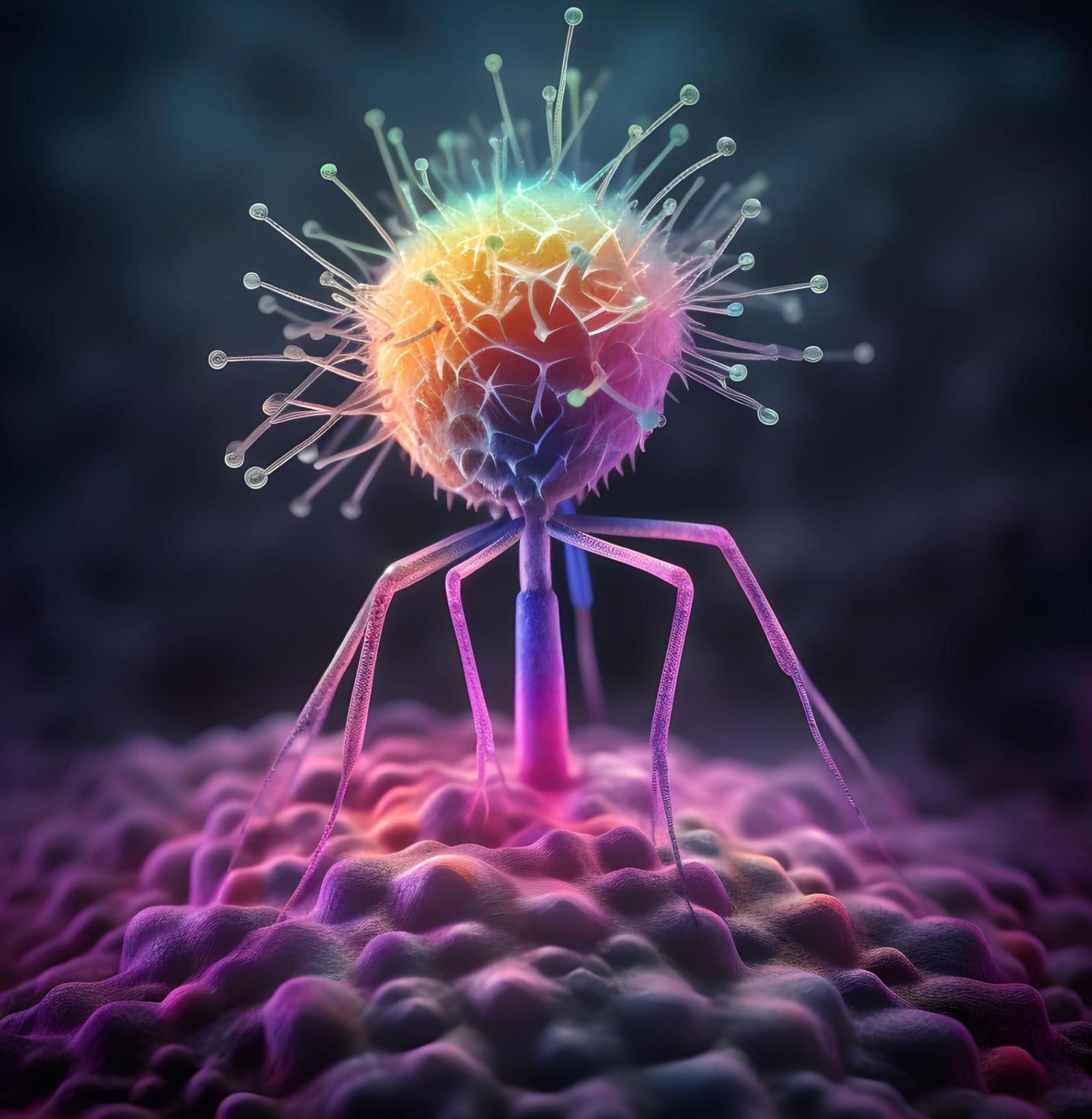
[En savoir plus:](#)

Découvrez l'analyse d'experts liée au [carburant d'aviation durable](#) sur la plateforme d'intelligence stratégique.

04

Phages concepteurs

Concevoir des virus pour améliorer la santé humaine, animale et végétale.



Mine d'Orlu

Professeur de pharmacie, Collège universitaire
École de pharmacie de Londres (UCL), Faculté de la vie
Sciences, UCL

Wilfried Weber

Directeur scientifique, Institut Leibniz des nouveaux matériaux

Le nombre de microbes vivant sur et dans le corps humain correspond, et peut même dépasser, le nombre de cellules humaines.¹⁹ La communauté de microbes qu'un organisme héberge est appelée son microbiome, et les microbiomes des humains, des animaux et des plantes jouent un rôle important dans la santé de ces organismes.^{20,21}

Les progrès récents permettent à l'ingénierie du microbiome de bénéficier au bien-être humain et à la productivité agricole. La clé de cette ingénierie sont les phages – des virus qui infectent sélectivement des types spécifiques de bactéries. Lors de l'infection, un phage injecte son information génétique dans la bactérie. À l'aide d'outils de biologie synthétique, les informations génétiques des phages peuvent être reprogrammées afin que les bactéries infectées exécutent un ensemble d'instructions génétiques issues de la bio-ingénierie. Avec les phages issus de la bio-ingénierie, les scientifiques peuvent modifier les fonctions d'une bactérie, l'amenant à produire une molécule thérapeutique ou à devenir sensible à un certain médicament, par exemple. Comme les phages n'infectent généralement qu'un seul type de bactéries, des espèces bactériennes individuelles au sein du microbiome complexe peuvent être ciblées.

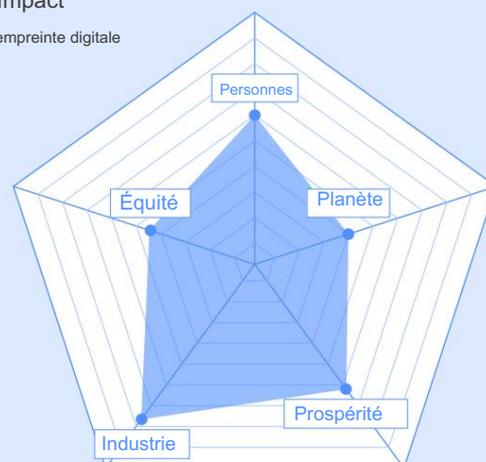
Les phages concepteurs montrent un potentiel pour le traitement de maladies associées au microbiome telles que le syndrome hémolytique et urémique (SHU) - une maladie rare mais grave qui affecte les reins et les fonctions de coagulation sanguine, causée par une certaine espèce d'E. coli. Les scientifiques ont conçu le matériel génétique d'un phage infectant E. coli pour coder des "ciseaux" génétiques qui peuvent hacher les gènes d'E. coli qui conduisent au SHU. Des études animales ont démontré que l'administration de ces phages de synthèse réduisait de manière significative la présence de la souche d'E. coli responsable du SHU.²² Cette approche a récemment reçu une désignation de médicament orphelin par la Food and Drug Administration des États-Unis. pour des essais cliniques.²³ Les phages sont également conçus comme compléments alimentaires pour améliorer la croissance du bétail, traiter certaines maladies des plantes et éliminer les bactéries dangereuses dans les chaînes d'approvisionnement alimentaire, conformément à la stratégie « One Health » de l'Organisation mondiale de la santé.

Les premiers résultats prometteurs des thérapies par phages sur mesure attirent un important capital-risque qui contribuera à faciliter les essais cliniques de phages modifiés.

Les applications potentielles des phages concepteurs sont nombreuses et diverses. [Locus Biosciences](#) utilise des phages modifiés pour lutter contre les bactéries résistantes aux antibiotiques, tandis qu'[Eligo Biosciences](#) poursuit des approches similaires pour rendre certaines bactéries moins pathogènes. Sur les 44 essais cliniques liés aux phages à visée thérapeutique, 29 ont été publiés depuis le début de 2020.²⁴ Les thérapies à base de phages impliquant à la fois des phages naturels et de synthèse continueront d'émerger comme une méthode puissante pour concevoir des microbiomes, améliorant la santé des humains, des animaux et plantes.

Impact

empreinte digitale



Les phages montrent un potentiel pour le traitement des maladies associées au microbiome et révolutionnent l'ingénierie des microbiomes pour la santé humaine, animale et végétale.

↑ Image:

Les virus modifiés pourraient permettre des thérapies hyper ciblées qui peuvent affecter sélectivement des bactéries spécifiques.

Crédit : Midjourney et Studio Miko.

Prompt (abrégé): "Une image microscopique d'un virus attaquant une cellule".

En savoir plus:

Découvrez les analyses d'experts liées aux [phages concepteurs](#) sur la plateforme d'intelligence stratégique.

05

Métavers pour la santé mentale

Espaces virtuels partagés
pour améliorer la santé mentale.



Corinne Lathan

Co-fondateur et ancien directeur général,
AnthroTronix

Geoffroy Ling

Professeur de neurologie, Hôpital Johns Hopkins

Le Surgeon General des États-Unis a récemment déclaré la guerre à ce qu'il appelle « [l'un des problèmes de santé publique les plus pressants de notre époque](#) ».

Le temps passé devant un écran et les médias sociaux peuvent diminuer le bien-être psychologique,²⁵ mais ils peuvent également améliorer le bien-être lorsqu'ils sont utilisés de manière responsable.²⁶ Le temps d'écran passé à établir des liens dans des espaces virtuels partagés pourrait aider à lutter contre la crise croissante de la santé mentale au lieu d'y contribuer.

Les espaces partagés virtuels sont des environnements numériques où les gens peuvent interagir professionnellement et socialement. L'avenir de ces espaces est communément appelé la métaverse, qui peut inclure des espaces partagés virtuels enrichis de réalité augmentée ou virtuelle (AR/VR). Tout comme plusieurs plates-formes virtuelles partagées existent actuellement, il y aura probablement plusieurs métaverses, différant par leur objectif et leur niveau d'immersion.

La crise de la santé mentale qui existait avant la pandémie de COVID-19 a depuis atteint des niveaux sans précédent,²⁷ rendant les conditions propices à un traitement de la santé mentale activé par la métaverse. Le nombre de prestataires de santé mentale est insuffisant pour faire face à l'escalade de la crise,²⁸ et, aux États-Unis, une possibilité de remboursement fédéral pour les services de télé-santé mentale est en cours pour lutter contre cette pénurie.²⁹ Idéalement, une technologie centrée sur la santé mentale - l'infrastructure basée soutiendra tous les aspects de la santé mentale : prévention, diagnostic, thérapie, éducation et recherche.

Les plateformes de jeu sont déjà utilisées pour le traitement de la santé mentale. De telles plateformes augmentent non seulement l'engagement des patients, mais aident également à déstigmatiser les problèmes de santé mentale. Par exemple, [DeepWell Therapeutics a créé des jeux vidéo pour traiter la dépression et l'anxiété](#) ; [Ninja Theory](#), studio Xbox basé au Royaume-Uni a intégré la sensibilisation à la santé mentale dans les jeux grand public et prévoit de s'étendre au traitement avec son [projet Insight](#) ;

et [TRIPP](#) a créé Mindful Metaverse, qui améliore le bien-être grâce à la pleine conscience et à la méditation guidées compatibles avec la réalité virtuelle.³⁰

La maturation des technologies d'interface pourrait encore augmenter les liens sociaux et émotionnels entre les participants distants. Par exemple, [Emerge Wave 1](#) est un appareil de table qui utilise des ondes ultrasonores pour simuler le toucher, améliorant ainsi l'expérience sociale des utilisateurs. Les neurotechnologies non invasives peuvent même fournir une rétroaction adaptée à l'état émotionnel d'un utilisateur. Pour exemple, [Neurable](#) les casques utilisent des électrodes pour mesurer l'émotion et peuvent ajuster la musique en conséquence. À terme, la métaverse se connectera également aux neurotechnologies thérapeutiques, telles que la stimulation cérébrale directe pour traiter la dépression réfractaire.³¹

Tirer parti de la métaverse pour le continuum des besoins en soins de santé mentale pourrait être gagnant-gagnant. Pas seuls les patients en bénéficieraient, mais ancrer la métaverse dans une application pratique et nécessaire pourrait favoriser l'émergence de cet espace virtuel en progression.

↑ Image:

Le métaverse peut être utilisé pour fournir un espace virtuel partagé permettant aux personnes de se connecter et d'accéder à une thérapie.

Crédit : Midjourney et Studio Miko.

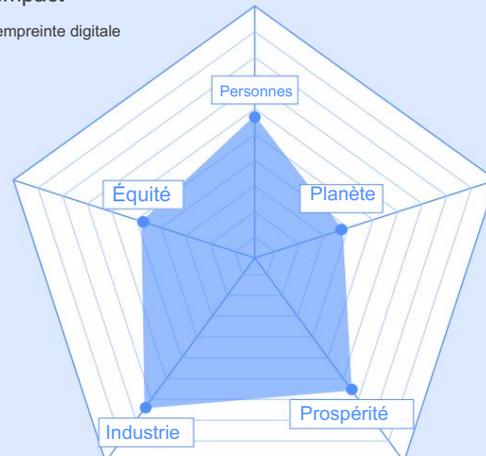
Invite (abrégé) : « Gens faisant du bateau sur le lac dans un cube de verre ».

En savoir plus:

Découvrez l'analyse d'experts liée au [métaverse pour la santé mentale](#) sur la plateforme d'intelligence stratégique.

Impact

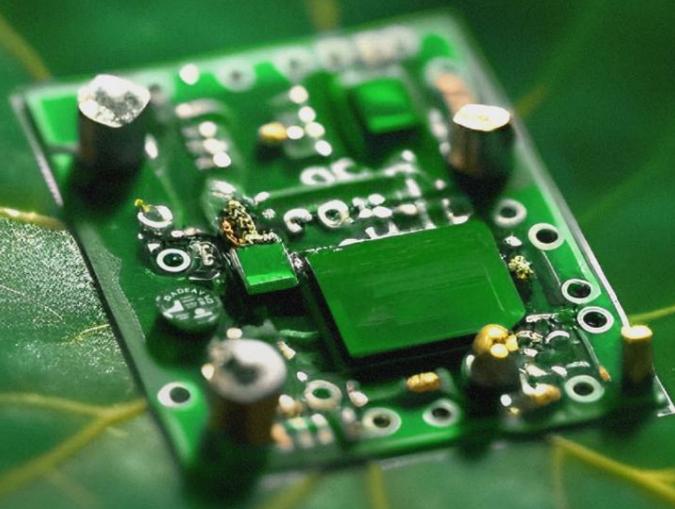
empreinte digitale



06

Capteurs de plantes portables

Révolutionner la collecte de données agricoles pour nourrir le monde.



Rona Chandrawati

Professeur agrégé, Université de Nouvelle-Galles du Sud

Carlo Ratti

Directeur, Massachusetts Institute of Technology (MIT)

Laboratoire de la ville sensée

L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture déclare que la production alimentaire mondiale devra augmenter de 70 % pour nourrir la population mondiale en 2050.³² Les innovations technologiques dans l'agriculture seront une étape clé pour faire face à cette escalade spectaculaire et améliorer la sécurité alimentaire mondiale.

Traditionnellement, les cultures ont été contrôlées par des analyses de sol et des inspections visuelles, qui sont toutes deux coûteuses et chronophages. Les progrès technologiques récents ont amélioré la facilité de surveillance des cultures, permettant aux agriculteurs de surveiller les conditions des cultures à plus grande échelle. Depuis plusieurs années, la santé des terres agricoles est surveillée à l'aide de données satellitaires à faible résolution.³³ Désormais, des drones et des tracteurs équipés de capteurs fournissent des informations à plus haute résolution sur l'état des cultures.^{34,35} Les informations résultant de toutes les formes de surveillance peuvent être traitées à l'aide de IA. La prochaine frontière en matière de surveillance des cultures est une résolution encore plus élevée : la surveillance des plantes individuelles.

Les capteurs de plantes portables promettent d'améliorer la santé des plantes et d'augmenter la productivité agricole. Ces capteurs sont de petits dispositifs non invasifs qui peuvent être fixés aux plantes cultivées pour une surveillance continue de la température, de l'humidité et des niveaux de nutriments.

Les données des capteurs de plantes peuvent optimiser les rendements, réduire l'utilisation d'eau, d'engrais et de pesticides et détecter les premiers signes de maladie.

Deux sociétés, [Growvera](#) et [Phytech](#), ont développé indépendamment des micro-capteurs à aiguille qui s'insèrent dans les feuilles ou les tiges d'une plante pour mesurer les changements de résistance électrique. Les données sont transmises sans fil à un ordinateur ou un appareil mobile, où elles sont analysées pour générer des informations sur la santé des plantes. Les agriculteurs peuvent ainsi surveiller les cultures en temps réel et effectuer des interventions précises en fonction des demandes spécifiques des plantes, telles que l'ajustement de l'irrigation ou de l'application d'engrais en réponse aux niveaux d'humidité ou aux données sur les nutriments.

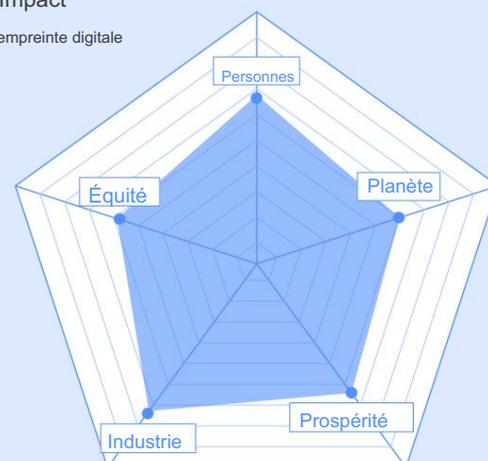
Beaucoup de travail reste. Les capteurs portables peuvent être coûteux à installer et à entretenir, et l'interprétation

des données des capteurs peut nécessiter une expertise spécialisée. Des outils d'analyse de données améliorés sont nécessaires pour aider les agriculteurs à prendre des décisions éclairées sur la gestion des cultures à partir des données des capteurs. Les effets à long terme des capteurs portables sur la croissance et le développement des plantes justifient également une enquête.

Malgré ces défis, les capteurs de plantes portables sont sur le point de révolutionner la production et la gestion des cultures. En fournissant des données en temps réel sur la santé des plantes et les conditions environnementales, ces appareils peuvent aider les agriculteurs à optimiser la productivité agricole, à réduire les déchets et à minimiser l'impact environnemental de l'agriculture, tout en aidant à nourrir la population mondiale croissante.

Impact

empreinte digitale



70%

augmentation de la production
alimentaire mondiale sera
nécessaire pour nourrir
la population mondiale d'ici 2050.

↑ Image:

La surveillance individuelle des plantes permettrait de récolter des données à très haute résolution sur la culture d'un agriculteur.

Crédit : Midjourney et Studio Miko.

Invite (abrégé): "Micropuce attachée à une feuille".

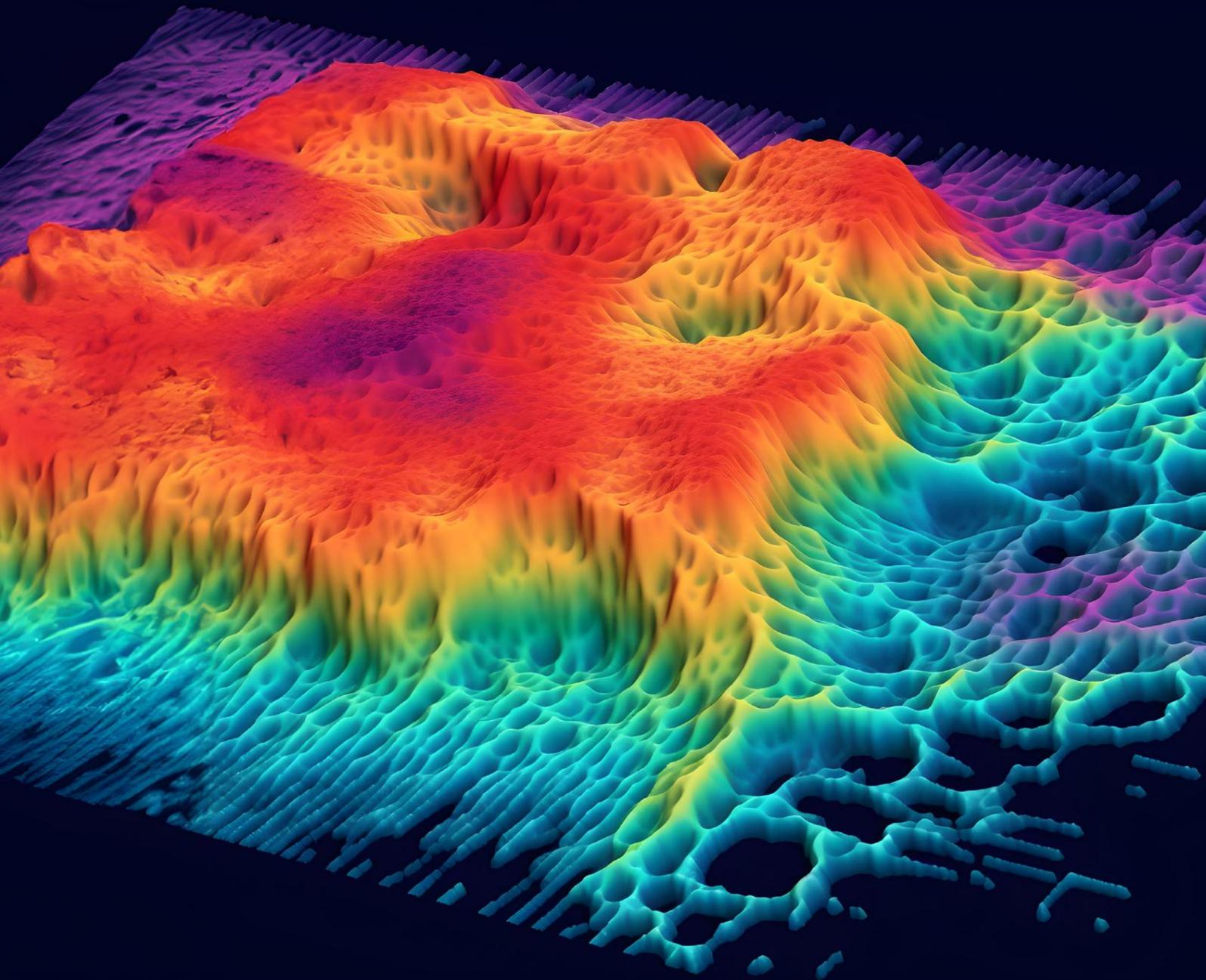
En savoir plus:

Découvrez l'analyse d'experts liée aux [capteurs de plantes portables](#) sur la plateforme d'intelligence stratégique.

07

Omiques spatiales

Cartographie au niveau
moléculaire des processus
biologiques pour percer les mystères de la vie.



Elizabeth O'Day

Président-directeur général et fondateur, Olaris

Angela Ruohao Wu

Professeur associé, Université des sciences et technologies de Hong Kong

Xu Xun

Directeur, Recherche BGI

Le corps humain est composé d'environ 37,2 trillions de cellules. Comment travaillent-ils tous ensemble pour nous garder en vie et en bonne santé ? L'omique spatiale peut apporter une réponse aux chercheurs. En combinant des techniques d'imagerie avancées avec la spécificité et la résolution du séquençage de l'ADN, cette méthode émergente permet de cartographier le quoi, où et quand des processus biologiques au niveau moléculaire. À partir d'un organe d'intérêt (comme le cerveau d'une souris), les scientifiques découpent le tissu en sections d'une seule cellule d'épaisseur. Des techniques innovantes sont ensuite utilisées pour visualiser les emplacements de biomolécules spécifiques dans chaque tranche. 36,37,38 L'omique spatiale permet de visualiser l'architecture cellulaire et les événements biologiques auparavant inobservables avec des détails sans précédent.

Une nouvelle génération d'« atlas cellulaires » au niveau moléculaire est en cours de développement grâce à l'omique spatiale, détaillant la myriade de processus biologiques se produisant chez l'homme et d'autres espèces. 39,40 Par exemple, en utilisant l'omique spatiale, les scientifiques ont construit un atlas cellulaire tridimensionnel des larves de mouches des fruits et ont déverrouillé la boîte noire du développement des organes chez les embryons de souris. 41,42,43 en utilisant des mécanismes reflétant ceux activés lors du développement du cerveau.

⁴⁴ Les omiques spatiales sont également prometteuses

dans la découverte thérapeutique. En utilisant cette technique, les scientifiques ont identifié une population de neurones dans la moelle épinière qui semble être responsable de la récupération après une lésion de la moelle épinière. La stimulation de ces neurones chez des souris paralysées a liées à la santé et à leur rétablissement. 45 Autres applications comprennent la caractérisation des différents types de cellules d'une tumeur pour personnaliser le traitement et démêler les mécanismes de maladies complexes comme la maladie d'Alzheimer et la polyarthrite rhumatoïde. 46 Les maladies infectieuses peuvent également être étudiées à l'aide de l'omique spatiale. Par exemple, une étude spatiale omique d'échantillons de personnes décédées du COVID-19 a révélé que le SRAS-CoV-2 provoque une perturbation généralisée des voies cellulaires dans tous les tissus. 47

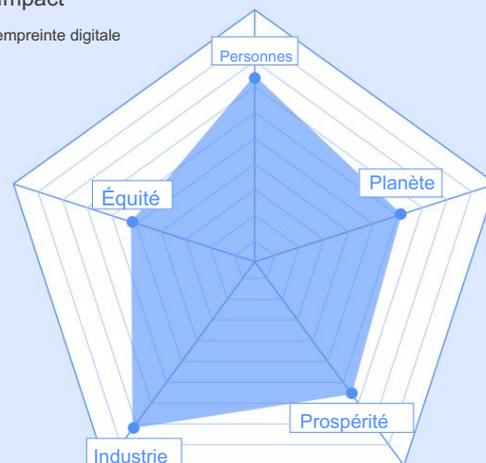
Le besoin de démocratiser et de développer les technologies spatiales en omique est pressant. Avec une valeur marchande totale de 232,6 millions de dollars en 2021 et un chiffre d'affaires estimé à 587,2 millions de dollars en 2030, une liste croissante d'entreprises publiques et privées cherchent à fournir des solutions d'omiques spatiales. 48 Alors que les centres de recherche universitaires et translationnels

en hausse de 89% du marché en 2020,⁴⁹ le marché se développe considérablement pour inclure les industries pharmaceutiques et biotechnologiques.

Pour réaliser pleinement les promesses de l'omique spatiale, les défis techniques liés à l'acquisition, au traitement, au stockage et à la normalisation des rapports de données doivent être relevés. De plus, les applications devraient être étendues pour cartographier d'autres biomolécules, telles que les métabolites, et d'autres organismes, y compris les plantes et les invertébrés, afin d'éclairer davantage la biologie sous-jacente. Dans le court laps de temps qui s'est écoulé depuis que Nature Methods a sélectionné l'omique spatiale comme méthode de référence en 2021, une technique de niche à une technique qui est sur le point de devenir standardisée et largement utilisée, révolutionnant la compréhension de la vie.

Impact

empreinte digitale



232 millions de dollars

Valeur marchande totale des technologies spatiales omiques en 2021

587 millions de dollars

Chiffre d'affaires estimé en 2030

↑ Image:

De nouvelles techniques d'imagerie peuvent permettre un accès sans précédent à ce qui était auparavant inobservable.

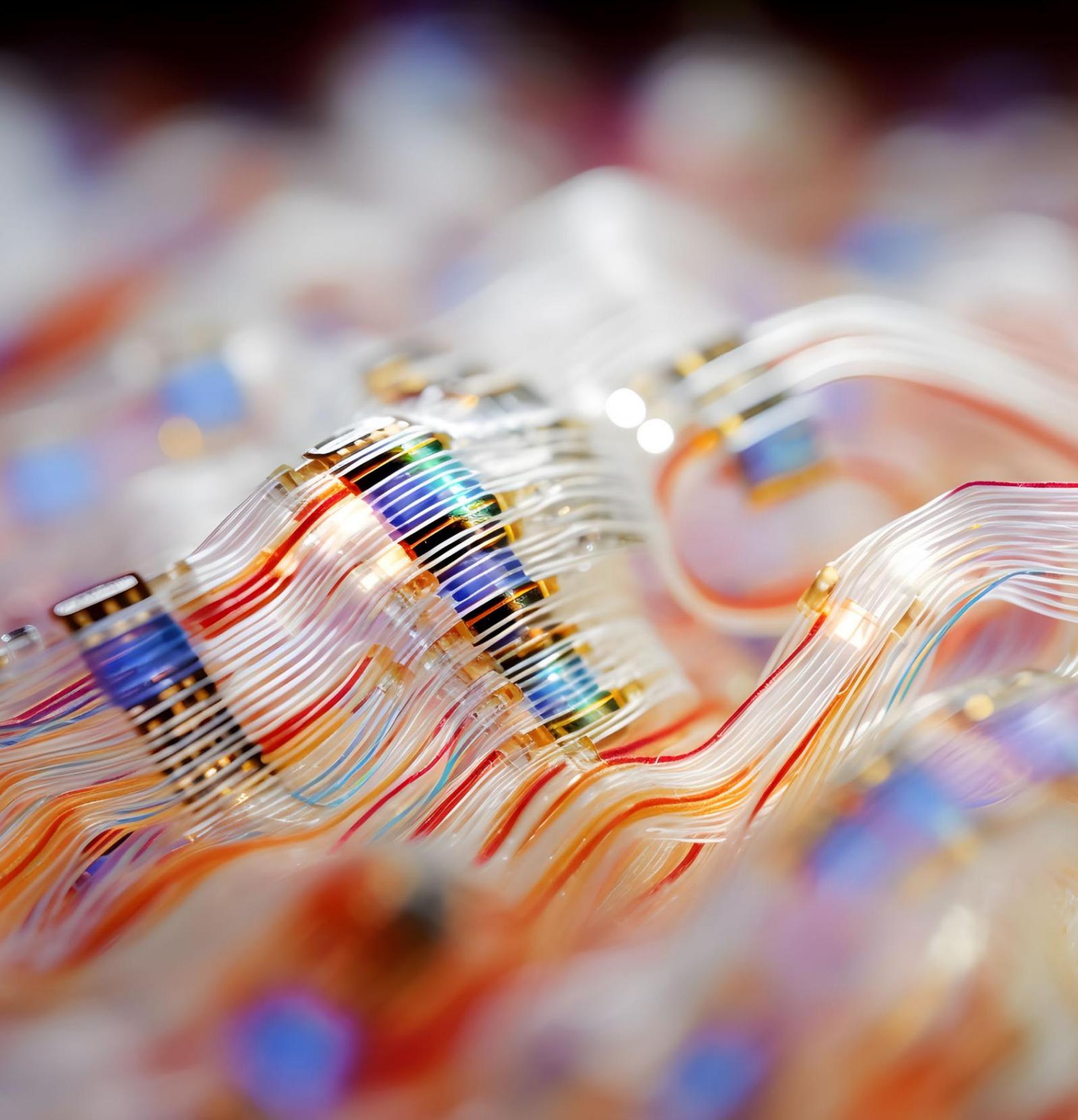
Crédit : Midjourney et Studio Miko.

Invite (abrégé): "Structure cellulaire organique au niveau moléculaire prise par imagerie microscopique dans un style de carte thermique".

En savoir plus:

Découvrez l'analyse d'experts liée à l'omique spatiale sur la plateforme d'intelligence stratégique.

Des circuits mieux conçus pour s'interfacer avec le système nerveux.



Wendy Ju

Professeur agrégé, Cornell Tech

Geoffroy Ling

Professeur de neurologie, Hôpital Johns Hopkins

Ruth Morgan

Vice-doyen (Entrepreneuriat interdisciplinaire),

Faculté des sciences de l'ingénieur, UCL

Angela Ruohao Wu

Professeur associé, Université des sciences et technologies de Hong Kong

Ces dernières années, les interfaces cerveau-machine (IMC) ont gagné en visibilité, enflammant l'imaginaire collectif quant au pouvoir et au potentiel de contrôler un jour les machines par la pensée.

Les IMC permettent aux signaux électriques produits par le cerveau d'être capturés par le matériel du capteur. Des algorithmes décodent ensuite ces signaux électriques en instructions qu'un ordinateur peut comprendre et exécuter. Des systèmes de type BMI sont déjà utilisés pour traiter les patients épileptiques, et dans les neuroprothèses - les membres prothétiques utilisent des électrodes pour s'interfacer avec le système nerveux.^{51,52}

Malgré les succès initiaux, ces technologies présentent des défis. Les implants actuels utilisés par les médecins sont faits de matériaux durs, comme les puces à l'intérieur d'un ordinateur portable ou d'un téléphone, et ils peuvent déclencher des cicatrices à long terme et causer un inconfort important.

Ils ne peuvent pas se plier ou s'adapter aux mouvements du cerveau et, au fil du temps, ils « dérivent » en position, diminuant la précision des signaux capturés. Les méthodes non invasives, comme les électrodes placées à l'extérieur du crâne, ne nécessitent pas d'implantation chirurgicale mais ne fournissent que des signaux étouffés et difficiles à décoder - comme écouter une personne parler à travers un masque facial épais.

Des chercheurs ont récemment développé des circuits d'interface cérébrale sur des matériaux biocompatibles souples et flexibles. Les circuits flexibles peuvent s'adapter au cerveau, réduisant les cicatrices et la dérive des capteurs, et ils peuvent contenir suffisamment de capteurs pour stimuler des millions de cellules cérébrales à la fois, surpassant largement l'échelle et la durée des sondes dures.⁵³

Lorsqu'ils sont utilisés dans la recherche en neurosciences, les IMC flexibles pourraient approfondir la compréhension des conditions neurologiques telles que la démence et l'autisme.

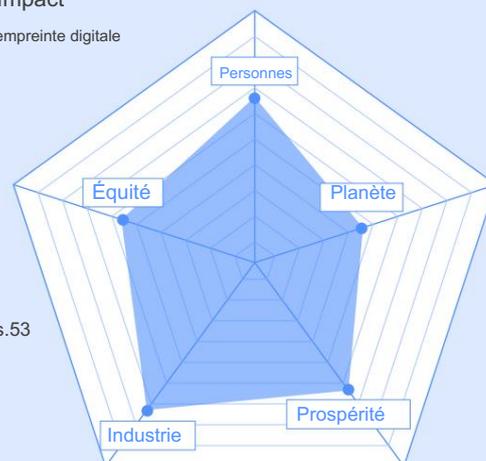
En clinique, des IMC flexibles pourraient permettre un meilleur contrôle des neuroprothèses sans nécessiter de fréquentes

recalibrage.⁵⁴ Applications des IMC flexibles^{55,56}
font déjà l'objet d'essais cliniques approuvés par la Food and Drug Administration (FDA) des États-Unis, faisant rapidement de cette technologie une réalité. À l'avenir, d'autres dispositifs implantables, tels que les stimulateurs cardiaques, pourraient adopter des types de matériaux similaires.

À l'avenir, les progrès de la fabrication de matériaux et de l'impression de circuits souples pourraient encore améliorer les technologies BMI flexibles, conduisant à terme à une véritable interface homme-IA. Comme pour de nombreuses technologies émergentes, de vastes questions éthiques doivent être prises en compte avant la mise en œuvre à grande échelle de ces interfaces. Les effets potentiels sur la santé doivent être équilibrés avec l'acceptation et la confiance du public. De plus, étant donné la nature sensible des données d'origine cérébrale, les lignes directrices sur la confidentialité et l'utilisation éthique doivent établir comment ces données peuvent être utilisées à court, moyen et long terme.

Impact

empreinte digitale



↑ Image:

Des percées dans l'électronique flexible pourraient ouvrir la voie à des traitements neurologiques.

Crédit : Midjourney et Studio Miko.

Invite (abrégé) : « électronique flexible, blanc brillant ».

En savoir plus:

Découvrez l'analyse d'experts liée à [l'électronique neuronale flexible](#) sur la plateforme d'intelligence stratégique.

09

Informatique durable

Concevoir et mettre en œuvre des centres de données à consommation énergétique nette zéro.



Olga Finck

Professeur de maintenance intelligente et
Systèmes d'exploitation, EPFL

André Maynard

Professeur de transitions technologiques avancées,
Université de l'État d'Arizona

Alors que la Terre est incontestablement confrontée à une aggravation de la crise environnementale, la dépendance croissante aux données peut ne pas sembler jouer un grand rôle. Pourtant, les centres de données, qui facilitent les recherches sur Google, les e-mails, le métaverse, l'IA et une myriade d'autres aspects d'une société de plus en plus basée sur les données, consomment environ 1 % de l'électricité produite dans le monde,⁵⁷ et ce montant ne fera qu'augmenter avec la demande croissante de services de données. Bien qu'il n'y ait pas de formule magique unique pour les « données vertes », on s'attend à ce que la décennie à venir marque des progrès substantiels vers les centres de données à consommation énergétique nette zéro, car les technologies émergentes sont combinées et intégrées de manière innovante - réalisant rapidement le rêve de net-zero - les centres de données énergétiques une réalité réalisable.

Premièrement, pour résoudre les problèmes de gestion de la chaleur, des systèmes de refroidissement liquide sont en cours de développement qui utilisent de l'eau ou un liquide de refroidissement diélectrique pour dissiper la chaleur, et l'excès de chaleur est réutilisé pour des applications telles que le chauffage des locaux, le chauffage de l'eau et les processus industriels. Par exemple, la ville de Stockholm met en œuvre des projets visant à exploiter la chaleur résiduelle des centres de données pour chauffer les maisons.⁵⁸

Deuxièmement, l'IA est utilisée pour analyser et optimiser la consommation d'énergie en temps réel, maximisant ainsi l'efficacité sans compromettre les performances. DeepMind a démontré avec succès le potentiel de la gestion de l'énergie basée sur l'IA, en obtenant jusqu'à 40 % de réduction de la consommation d'énergie dans les centres de données de Google.⁵⁹

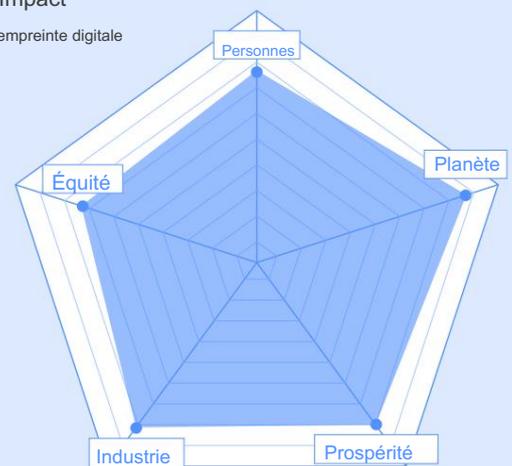
Troisièmement, l'infrastructure technologique prenant en charge les centres de données à consommation énergétique nette zéro devient de plus en plus modulaire et basée sur la demande. Par exemple, les systèmes informatiques en nuage et en périphérie permettent de répartir le traitement et le stockage des données sur plusieurs appareils, systèmes et même emplacements.^{60,61} Par exemple, Crusoe Energy installe ses centres de données modulaires sur des sites où se produit le torchage du méthane pour permettre à l'infrastructure informatique en nuage d'être alimentée par du méthane qui, autrement, aurait été rejeté directement dans l'atmosphère. Ces unités préfabriquées et d'autres peuvent être facilement déployées, agrandies ou déplacées, ce qui permet aux opérateurs de centres de données d'optimiser la consommation d'énergie et de s'adapter aux besoins changeants de leur entreprise. Parmi les autres innovations logicielles et matérielles figurent de nouvelles architectures informatiques telles que les systèmes sur puce⁶² ; et des optimisations telles que

comme l'informatique proportionnelle à l'énergie, dans laquelle les ordinateurs utilisent une énergie proportionnelle à la quantité de travail effectuée.⁶³

La réalisation de centres de données à consommation d'énergie nette zéro impliquera des approches innovantes pour intégrer les approches mentionnées ci-dessus avec de nouvelles technologies de production, de stockage et de gestion d'électricité. Compte tenu de la vague d'innovations et d'investissements dans ce domaine, il y a lieu d'être optimiste pour les années à venir.

Impact

empreinte digitale



Les centres de données, qui facilitent les recherches sur Google, les e-mails, le métaverse, l'IA et une myriade d'autres aspects d'une société de plus en plus basée sur les données, consomment environ 1 % de l'électricité produite dans le monde, faisant du rêve de centres de données à consommation énergétique nette zéro une réalité réalisable .

↑ Image:

Les innovations en matière de gestion de la chaleur et d'optimisation de l'énergie peuvent aider les centres de données à passer à un avenir plus respectueux de l'environnement.

Crédit : Midjourney et Studio Miko.

Invite (en abrégé) : "Centre de données futuriste avec la nature à l'intérieur et autour".

En savoir plus:

Découvrez l'analyse d'experts liée à l'[informatique durable](#) sur la plateforme d'intelligence stratégique.

dix

Soins de santé facilités par l'IA

De nouvelles technologies pour améliorer
l'efficacité des systèmes de santé.



Daniel E. Hurtado

Professeur agrégé, catholique pontifical
Université du Chili

André Maynard

Professeur de transitions technologiques avancées,
Université de l'État d'Arizona

Bernard S. Meyerson

Directeur de l'innovation émérite, IBM

Les lacunes des systèmes de santé du monde entier sont devenues abondamment et horriblement claires au cours des premiers jours de la pandémie de COVID-19, lorsque les charges de travail durables de nombreux hôpitaux ont été rapidement dépassées. En réponse, des équipes gouvernementales et universitaires ont été créées pour intégrer l'IA et l'apprentissage automatique (ML) dans les soins de santé - à la fois pour anticiper les pandémies imminentes et pour aider à y faire face efficacement (AI4PEP).^{64,65} Ces efforts émergents pour améliorer l'efficacité des systèmes de santé nationaux et mondiaux face aux crises sanitaires majeures, et pour démocratiser l'accès aux soins, en sont à leurs débuts mais vont rapidement évoluer en intégrant des données de qualité dans les modèles d'IA et de ML.⁶⁶

Les technologies basées sur l'IA pourraient également aider à relever un défi connexe - les longs retards que subissent de nombreux patients lorsqu'ils tentent d'obtenir des soins médicaux par le biais du système de santé - résultant

de sous-utilisation - des installations existantes. Appliquées à un ensemble de données organisées d'établissements médicaux existants, l'IA, le ML et l'analyse de données, les techniques ont considérablement amélioré l'accès des patients aux traitements. Medical Confidence, une filiale de CloudMD, a utilisé cette technologie pour aligner de manière optimale les besoins de traitement des patients sur la disponibilité des installations, ce qui a permis de réduire considérablement les temps d'attente pour les traitements - dans certains cas, de plusieurs mois à quelques semaines seulement.⁶⁸ Une approche basée sur l'IA pour optimiser l'accès aux soins sont de plus en plus adoptés au Canada et seront probablement reproduits ailleurs.

L'impact des soins de santé basés sur l'IA pourrait être encore plus profond dans les pays en développement, qui manquent souvent d'infrastructures et de personnel pour fournir des services de santé à une grande partie de leurs populations. Des outils intelligents pour aider à l'identification, à la surveillance et au traitement des conditions médicales nouvelles ou en cours - comme un système basé sur l'IA pour faciliter la lecture des données radiologiques⁶⁹ - sont une première étape dans l'exploitation de l'IA et du ML pour améliorer les capacités de soins de santé dans les lieux où les soins est actuellement insuffisant. L'Inde, par exemple, a une population très dispersée de plus de 1,4 milliard d'habitants et

Mine d'Orlu

Professeur de pharmacie, Faculté de pharmacie de l'UCL, Faculté des sciences de la vie, UCL

Landry Signe

Chercheur principal, Brookings Institution

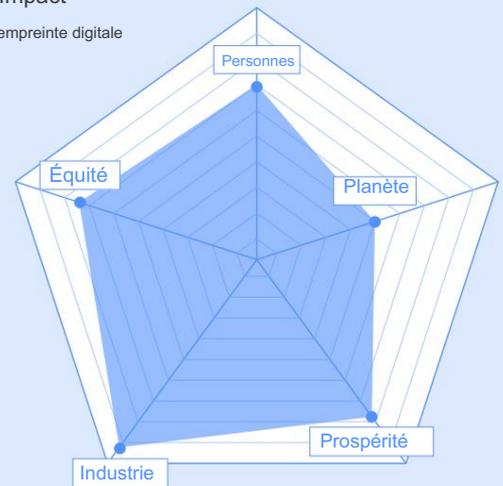
a adopté une approche basée sur l'IA pour améliorer la sensibilisation médicale. Le gouvernement indien a permis aux médecins d'impliquer les communautés éloignées grâce à des technologies d'assistance, avec les garanties de confidentialité requises en place.

Outre la protection de la confidentialité des données et la collecte de données de qualité nécessaires pour générer ces informations, d'autres défis liés à la mise en œuvre d'approches de soins de santé facilitées par l'IA incluent le renforcement de l'acceptation par le public et l'adoption universelle de ces technologies, la garantie de la conformité des patients et la résolution d'éventuels problèmes de sécurité nationale. Bien que ces obstacles restants puissent être difficiles à surmonter, les risques d'inaction sont clairs.

De plus, tout système qui conserve des données personnelles sur la santé et le bien-être d'une vaste population doit fonctionner dans les limites d'un cadre juridique et éthique soigneusement élaboré. De telles considérations font déjà l'objet de discussions approfondies,⁷⁰ et des cadres juridiques commencent à émerger en prévision de l'application mondiale de l'IA et du ML aux soins de santé. Les solutions de soins de santé basées sur l'IA devenir de plus en plus omniprésentes dans les trois à cinq prochaines années, au grand bénéfice de la santé humaine - en particulier pour les populations mal desservies.

Impact

empreinte digitale



↑ Image:

L'une des façons les plus efficaces dont les systèmes d'IA émergents peuvent avoir un impact sur les soins de santé est le traitement des données et l'analyse.

Crédit : Midjourney et Studio Miko.

Invite (abrégé) : « Données démographiques abstraites ».

En savoir plus:

Découvrez l'analyse d'experts liée aux [soins de santé facilités par l'IA](#) sur la plateforme d'intelligence stratégique.

Contributeurs

Forum économique mondial

Centre pour le quatrième Révolution industrielle

Sébastien Backup
Chef, Réseau et partenariats

Greta Keenan
Responsable de l'impact stratégique et des communications

Saemoon Yoon
Responsable, communautés d'innovateurs

Plateforme d'intelligence stratégique

James Landale
Chef, contenu et partenariats

Jean Letzing
Éditeur numérique

Stephan Mergenthaler
Diriger

Minji chanté
Spécialiste, contenu et partenariats

Centre Nature et Climat

Lauren Uppink Calderwood
Chef, Stratégie climatique

Frontières

Susan Debad
Consultant

Frederick Fenter
Rédacteur en chef

George Thomas
Responsable des affaires publiques

Revue participante :
Frontières de l'intelligence artificielle
Frontières dans les batteries et l'électrochimie
Frontières de la signalisation cellulaire
Frontières en biologie chimique
Frontières en informatique
Les frontières de l'efficacité énergétique
Frontières dans les carburants
Frontières dans les technologies de laboratoire sur puce
Frontières de la technologie médicale
Frontières en génie médical
Frontières de la science et de la technologie des membranes
Frontières en microbiologie
Frontières en phytologie
Frontières en biologie des systèmes
Frontières en réalité virtuelle

Production

Laurence Danemark
Directeur de création, Studio Miko

Sophie Ebbage
Designer, Studio Miko

Martha Howlett
Monteur, Studio Miko

Georges Messer
Designer, Studio Miko

Remerciements

Le Centre pour la quatrième révolution industrielle tient à remercier les membres du groupe de pilotage qui ont évalué les 10 meilleures technologies et rédigé les articles du rapport. Remerciements supplémentaires aux autres universitaires contributeurs

– dont beaucoup font partie du réseau d'éditeurs scientifiques de Frontières – et des chefs d'entreprise, des communautés d'innovateurs du Forum, pour leur évaluation de l'impact des 10 meilleures technologies via les enquêtes « Impact Fingerprint ».

Groupe de pilotage

Coprésidents

Mariette DiChristina
Doyen et professeur de la pratique du journalisme,
Collège de communication de l'Université de Boston

Bernard S. Meyerson
Directeur de l'innovation émérite, IBM

Membres

Enass Abo-Hamed
Président-directeur général, H2 GO Power

Jeff Carbeck
Vice-président, Innovation corporative, Eastman

Rona Chandrawati
Professeur agrégé, Université de Nouvelle-Galles du Sud

Liming Chen
Président de la Grande Chine, Forum économique mondial

Joseph Constantin
Professeur agrégé d'électricité et d'informatique
Ingénierie, Université américaine de Beyrouth

P. Murali Doraiswamy
Professeur de psychiatrie et de médecine,
Duke University School of Medicine

Sarah E. Fawcett
Maître de conférences, Université du Cap

Olga Finck
Professeur de maintenance intelligente et
Systèmes d'exploitation, EPFL

Javier García Martínez
Professeur de chimie et directeur, Moléculaire
Laboratoire de nanotechnologie, Université d'Alicante

Daniel E. Hurtado
Professeur associé, Université Pontificale Catholique du Chili

Wendy Ju
Professeur agrégé, Cornell Tech

Jérémy Jürgens
Directeur général, Forum économique mondial

Corinne Lathan
Co-fondateur et ancien directeur général,
AnthroTronix

Lee Sang-Yup
Vice-président principal pour la recherche, Corée
Institut supérieur des sciences et technologies

Geoffroy Ling
Professeur de neurologie, Hôpital Johns Hopkins

André Maynard
Professeur de transitions technologiques avancées,
Université de l'État d'Arizona

Ruth Morgan
Vice-doyen (Entrepreneuriat interdisciplinaire),
Faculté des sciences de l'ingénieur, Collège universitaire
Londres (UCL)

Elizabeth O'Day
Président-directeur général et fondateur, Olaris

Mine d'Orlu
Professeur de Pharmacie, UCL School of
Pharmacie, Faculté des sciences de la vie, UCL

Carlo Ratti
Directeur, Massachusetts Institute of Technology
(MIT) Laboratoire de la ville sensée

Barry Shoop
Doyen de l'ingénierie, Albert Nerken School of
Engineering, The Cooper Union for the
Avancement de la science et de l'ingénierie

Landry Signe
Chercheur principal, Brookings Institution

Wilfried Weber
Directeur scientifique, Institut Leibniz des nouveaux matériaux

Angela Ruohao Wu
Professeur associé, Université des sciences et
technologies de Hong Kong

Xu Xun
Directeur, Recherche BGI

Universitaires

Marc Billingham
Professeur, Université d'Australie du Sud

Cristina Botelle
Professeur ordinaire, Universitat Jaume I

Yohann Boutté
Directeur de recherche, Centre National de la Recherche
Scientifique (CNRS)

Kim Bullock
Professeur clinicien, Stanford

Mouloud Denai
Maître de conférences, Université du Hertfordshire

Anirban Dutta
Professeur agrégé en génie biomédical,
Université de Lincoln

Issam El Naqa
Président et membre principal, Moffitt Cancer Center

Sanket Goel
Professeur, BITS Pilani, Campus d'Hyderabad

Chenghong Gu
Lecteur, Université de Bath

Thomas Hartung
Professeur, Université Johns Hopkins

Paul Hyman
Professeur de biologie, Ashland University

Xiuliang Jin
Professeur, Institut des sciences des cultures,
Académie chinoise des sciences agricoles

Kumaran Kannaiyan
Professeur associé, Guangdong Technion Israël
Institut de Technologie

Farah Kidwai Khan
Scientifique principal des données, Yale

Georges Kouvas
Directeur de la technologie, Wyss Center for Bio and
Neuroingénierie

Olivier Krocher
Responsable du Laboratoire Bioénergie et Catalyse,
Institut Paul Scherrer

Eungje Lee
Personnel scientifique, Laboratoire national d'Argonne

Yongliang Qiao
Chercheur, Université d'Adélaïde

Déborah Richards
Professeur, Université Macquarie

Stefano Rinaldi
Professeur associé, Università degli
Études de Brescia

Dwayne Roach
Professeur adjoint, Université d'État de San Diego

Philippe Roux
Professeur, Université de Montréal

Yasser Saleem
Chargé de cours en informatique,
Université d'Aberystwyth

Michel Court
Professeur, Université de Teesside

Lei Shu
Professeur, Université agricole de Nanjing

Mel Slater
Chercheur émérite, Université de Barcelone

Léna Smirnova
Professeur adjoint, Université Johns Hopkins

Daobilige Su
Professeur associé, Université agricole de Chine

Vincent Quoc-Huy Trinh
Professeur adjoint de clinique, Université de Montréal

Julien Weissenberg
Fondateur, Deep Tech Experts

Alicja Wegrzyn
Professeur, Université de Gdansk

Yaolin Xu
Chercheur, Helmholtz-Zentrum Berlin für
Materialien und Energie (HZB)

Guo Zhao
Professeur agrégé, Université agricole de Nanjing

Membres de la communauté des innovateurs

Marissa Ruby Brock
Directeur principal, Politiques et affaires gouvernementales,
Carte source

Jamie Burrows
Fondateur et directeur général, Vertical Future

Isaac Castro
Co-fondateur et co-directeur général, Emerge

Jim Flat
Co-fondateur et chef de la direction,
Brightseed Bio

Adam Hildreth
Fondateur, Crisp

Igor Jablokov
Président-directeur général, Pryon

Bu Gi Kim
Président-directeur général, Standard Energy

Ciel Kurtz
Fondateur et directeur général,
Fermes intelligentes Pure Harvest

Ben Lam
Président-directeur général, Colossal Biosciences

Kévin Lang
Président-directeur général, Agerpoint

Maarten Michielssens
Fondateur et président-directeur général, EnergyVision

Tsuyoshi Stuart Oda
Fondateur et directeur général,
Alesca Life Technologies

Joe Paluska
Directeur Marketing, One Concern

Joris Poort
Fondateur et directeur général, Rescale

Félix Reinshagen
Président-directeur général, NavVis

Umesh Satchdev
Président-directeur général, Uniphore

Jimmy Samartzis
Président-directeur général, LanzaJet

Ritwik Sinha
Analyste en stratégie, Our Next Energy (ONE)

Didier Toubia
Cofondateur et président-directeur général, Aleph Farms

Raj Verma
Président-directeur général, SingleStore

Ellie Bois
Directeur de Cabinet du Directeur Général,
LanzaTech

Josef Zankowicz
Vice-président Développement corporatif, Canvass AI

Notes de fin

1. Kong, Long, Cheng Tang, Hong-Jie Peng, Jia-Qu Huang et Qiang Zhang, "Matériaux énergétiques avancés pour les batteries flexibles dans le stockage d'énergie : un examen", SmartMat, vol. 1, numéro 1, 2020, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/smm2.1007>.
2. Infiniti Research, marché mondial des batteries flexibles 2023, 2023, <https://www.reportlinker.com/p06419157/Global-Flexible-Battery-Market.html>.
3. Grand View Research, taille du marché des batteries flexibles, rapport d'analyse des parts et des tendances par application, perspectives régionales, stratégies concurrentielles et prévisions de segment, 2019 à 2025, nd, <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/flexible-battery-marché>.
4. Gozalo-Brizuela, Roberto et Eduardo Garrido-Merchan, "ChatGPT n'est pas tout ce dont vous avez besoin. A State Of The Art Review of Large Generative AI Models », Cornell University arXiv, 2023, <https://arxiv.org/abs/2301.04655>.
5. Anstine, Dylan M. et Olexander Isayev, "Modèles génératifs en tant que paradigme émergent dans les sciences chimiques", Journal de l'American Chemical Society, vol. 145, numéro 16, 2023, p. 8736-8750, <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jacs.2c13467>.
6. McClelland, Ryan, Conception générative et fabrication numérique : Utilisation de l'IA et des robots pour construire des instruments légers, Développements actuels dans la conception de lentilles et l'ingénierie optique, 2022, <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20220012523/téléchargements/McClelland-Generative%20Design%20SPIE%202022.pdf>.
7. Taylor, Ross, Marcin Kardas, Guillem Cucurull, Thomas Scialom et al., Galactica : A Large Language Model for Science, arXiv (préimpression), 2022, <https://arxiv.org/abs/2211.09085>.
8. Takagi, Yu et Shinji Nishimoto, Reconstruction d'images haute résolution avec des modèles de diffusion latente de l'activité cérébrale humaine, Conférence sur la vision par ordinateur et la reconnaissance de formes, 2023, <https://sites.google.com/view/stablediffusion-with-brain/>.
9. Baidoo-Anu, David et Leticia Owusu Ansah «L'éducation à l'ère de l'intelligence artificielle générative (IA): Comprendre les avantages potentiels de ChatGPT dans la promotion de l'enseignement et de l'apprentissage», Réseau de recherche en sciences sociales, 2023, https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4337484.
- dix. Noy, Shakked et Whitney Zhang, Données expérimentales sur les effets sur la productivité de l'intelligence artificielle générative, Réseau de recherche en sciences sociales, 2023, https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4375283.
11. Lee, DS ; DW Fahey, A. Skowron, MR Allen et al., « The Contribution of Global Aviation to Anthropogenic Climate Forcing for 2000 to 2018 », Atmospheric Environment, vol. 244, non. 117834, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117834>.
12. Partenariat Mission Possible (MPP), Making Net-Zero Aviation Possible: An Industry-Backed, 1.5°C-Aligned Transition Strategy, 2022, <https://missionpossiblepartnership.org/wp-content/uploads/2023/01/Making-Net-Zero-Aviation-possible.pdf>.
13. Idem.
14. Association du transport aérien international, 2022 SAF Production Augmentations 200% - More Incentives Needed to Reach Net Zero, [Communiqué de presse], 7 décembre 2022, <https://www.iata.org/en/pressroom/2022-releases/2022-12-07-01/>.
15. Forum économique mondial, Clean Skies for Tomorrow: Sustainable Aviation Fuels as a Pathway to Net-Zero Aviation, 2020, https://www.weforum.org/reports/clean-skies-for-tomorrow-sustainable-aviation-fuels-comme-voie-vers-l'aviation-net-zero?DAG=3&qclid=Cj0KCQjw2v-gBhC1ARIsAQQdKY1WXKkH-k6HwvUOJBSC2T-BAwxSFL8BKxzUYD HyZBEOV9xciCFHHowaArTHEALw_wcB.
16. L'American Society of Testing and Materials, Standard Specification for Aviation Turbine Fuel Containing Synthesized Hydrocarbures, 2022, <https://www.astm.org/d7566-21.html>.
17. Kim, Hye Mi, Tong Un Chae, So Young Choi, Won Jun Kim et Sang Yup Lee, "Ingénierie d'une bactérie oléagineuse pour la production d'acides gras et de carburants", Nature Chemical Biology, vol. 15, 2019, pages 721-729, <https://doi.org/10.1038/s41589-019-0295-5>.
18. Cruz-Morales, Pablo, Kevin Yin, Alexander Landera, John Cort et Robert Young et al., « Biosynthèse des biocarburants polycyclopropanés à haute énergie », Joule, vol. 6, 2022, p. 1590-1605, <https://doi.org/10.1016/j.joule.2022.05.011>.
19. Looi, Mun-Keat, "Le microbiome humain : tout ce que vous devez savoir sur les 39 000 milliards de microbes qui appellent notre corps", BBC Science Focus, 14 juillet 2020, <https://www.sciencefocus.com/the-human-corps/microbiome-humain/>.
20. Peixoto, Raquel, Derek Harkins et Karen Nelson, « Avancées de la recherche sur le microbiome pour la santé animale », Revue annuelle des biosciences animales, vol. 9, 2021, p. 289-311.
21. Trivedi, Pankaj, Jan Leach, Susannah Tringe, Tongmin Sa et Brajesh Singh, « Interactions plantes-microbiome : de l'assemblée communautaire à la santé des plantes », Nature Reviews Microbiology, vol. 18, 2020, p. 607-621.
22. Bloomberg, Eligo présente des données précliniques démontrant pour la première fois la modulation du microbiome intestinal via la livraison de CRISPR Nuclease [Communiqué de presse], 15 juin 2021, <https://www.bloomberg.com/press-releases/2021-06-15/eligo-présente-des-données-précliniques-démontrant-pour-la-première-fois-que-la-modulation-du-microbiome-intestinal-via-la-livraison-de-crispr-nuclease>.
23. Eligo Biosciences, Eligo Bioscience reçoit la désignation de médicament orphelin de la FDA [Communiqué de presse], 11 octobre 2022, <https://eligo.bio/eb003-odd-rdp-fda/>.
24. Strathdee, Steffanie, Graham Hatful, Vivek Mutalik et Robert Schooley, "Phage Therapy: From Biological Mechanisms to Future Directions", Cell, vol. 186, non. 1, 2023, p. 17-31.

25. Twenge, Jean et W. Keith Campbell, « Associations entre le temps passé devant un écran et un bien-être psychologique inférieur chez les enfants et les adolescents : preuves d'une étude basée sur la population », *Science Direct*, vol. 12, 2018, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211335518301827>.
26. "Le temps d'écran peut être une bouée de sauvetage..." *Family Zone*, nd, <https://www.familyzone.com/anz/families/blog/screen-time-can-be-a-lifeline>.
27. Becerra, Xavier, Andrea Palm, Rebecca Haffajee, January Contreras et al., "Addressing the Nation's Behavioral Health Crisis: An HHS Roadmap to Integrate Behavioral Health", *Health Affairs Forefront*, 2 décembre 2022, <https://www.healthaffairs.org/content/forefront/addressing-nations-behavioral-health-crisis-hhs-roadmap-integrate-behavioral-health>.
28. Weiner, Stacy, « Une pénurie croissante de psychiatres et une demande énorme de services de santé mentale », *American Association of Medical Colleges*, 9 août 2022, <https://www.aamc.org/news-insights/rating-psychiatrist-shortage-enormous-demande-des-services-de-santé-mentale>.
29. Barsky, Troy, Jodi Daniel, Stacie Heller et Allison Kwon, « Le président Biden signe une législation de fin d'année comprenant la télésanté, l'assurance-maladie et l'assurance-maladie, la santé mentale, la préparation aux pandémies et d'autres dispositions en matière de soins de santé », *Loi sur la santé*, 25 janvier 2023, <https://www.cmhealthlaw.com/2023/01/president-biden-signs-end-of-year-legislation-including-telehealth-medicare-medicaid-mental-health-pandemic-preparedness-and-other-health-care-des-provisions/>.
30. Schrempf, Matthias, Julian Petzold, Morten Petersen, Tim Arndt et al., "A Randomized Pilot Trial of Virtual Reality-Based Relaxation pour l'amélioration du bien-être, de l'humeur et de la qualité de vie périopératoires », *Rapports scientifiques*, vol. 12, non. 12067, 2022.
31. Rao, Vikram, Kristin Sellers, Deanna Wallace, Morgan Lee et al., "La stimulation électrique directe du cortex orbitofrontal latéral améliore de manière aiguë l'humeur des personnes présentant des symptômes de dépression" *Current Biology*, vol. 28, numéro 4, 2018, p. 3893-3902, <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.10.026>.
32. « Le monde doit produire durablement 70 % de nourriture en plus d'ici le milieu du siècle – rapport de l'ONU », *United Nations News*, 2013, <https://news.un.org/en/story/2013/12/456912>.
33. Zhang, Chongyuan, Afef Marzougui et Sindhuja Sankaran, « High-resolution satellite images applications in crop phenotyping : un aperçu », *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 175, non. 105584, 2020, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169920309194>.
34. Olsen, Daniel; Anderson, James. "Revue sur les véhicules aériens sans pilote, les capteurs à distance, le traitement des images et leurs applications dans l'agriculture", *Agronomy Journal*, vol. 113, numéro 2, 2021, pp. 971-992, <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/agj2.20595>.
35. « Agriculture de précision : les capteurs stimulent l'efficacité agricole », *Capteurs et systèmes*, 21 janvier 2013, <https://sensorsandsystems.com/precision-agriculture-sensors-drive-agricultural-efficiency/>.
36. Marx, Vivien, « Méthode de l'année : Transcriptomique spatialement résolue », *Nature Methods*, vol. 18, non. 1, 2021, p. 9-14.
37. Moses, Lambda et Lior Pachter, « Museum of Spatial Transcriptomics », *Nature*, vol. 19, non. 5, 2022, p. 534-546.
38. Williams, Cameron, Hyun Jae Lee, Takahiro Asatsuma, Roser Vento-Tormo et Ashraf Haque, "Une introduction à la transcriptomique spatiale pour la recherche biomédicale", *Genome Medicine*, vol. 14, 2022, p. 1-18.
39. Poo, Mu-Ming, « Transcriptome, connectome et neuromodulation du cerveau des primates », *Cell*, vol. 185, 2022, p. 2636-2639.
40. Elmentaite, Rasa; Cecelia Domínguez Conde, Lu Yang et Sarah Teichmann, « Atlas unicellulaires : types de cellules partagées et spécifiques aux tissus dans les organes humains », *Nature Reviews Genetics*, vol. 23, non. 7, 2022, p. 395-410.
41. Yang, Pengyi et Patrick Tam, "Mouse Organogenesis Atlas at Single-Cell Resolution", *Cell*, vol. 185, 2022, p. 1625-1627.
42. Pour, Maayan et Itai Yanai, « New Adventures in Spatial Transcriptomics », *Developmental Cell*, vol. 57, 2022, p. 1209-1210.
43. Koch, Linda, "Une vue panoramique de l'organogenèse de la souris", *Nature Reviews Genetics*, vol. 23, non. 7, 2022, p. 393-393.
44. Lust, Katharina, Ashley Maynar, Tomás Gomes, Jonas Simon Fleck et al., "Analyses unicellulaires de l'organisation, de la neurogenèse et de la régénération du télencéphale axolotl", *Science*, vol. 377, numéro 6610, 2022, p. 377, <https://www.science.org/doi/10.1126/science.abp9262>.
45. Kathe, Claudia, Michael Skinnider, Thomas Hutson, Nicola Regazzi et al., "Les neurones qui rétablissent la marche après une paralysie", *Nature*, vol. 611, non. 7963, 2022, p. 540-547.
46. Zhang, Jiajun, Jianhua Yin, Yang Heng, Ken Xie et al., « Spatiotemporal Omics—Refining the Landscape of Precision Médecine », *Médecine de la vie*, vol. 1, numéro 2, 2022, p. 84-102, <https://doi.org/10.1093/lifemedi/lnac053>.
47. Park, Jiwoon, Jonathan Foox, Tyler Hether, David Danko et al., "Perturbation systémique des tissus et des cellules due à l'infection par le SRAS-CoV-2 révélée dans les autopsies COVID-19 et les cartes spatiales des tissus omiques", *bioRxiv*, 2021, <https://doi.org/10.1101/2021.03.08.434433>.
48. "Le marché des solutions Spatial Omics d'une valeur de 587,2 millions de dollars d'ici 2030 - Rapport exclusif d'InsightAce Analytic", *InsightAce Analytic*, 10 août 2022, <https://www.prnewswire.com/news-releases/spatial-omics-solutions-market-worth-587-2-million-by-2030--exclusive-report-by-insightace-analytic-301603401.html>.
49. Grand View Research, Rapport d'analyse de la taille, de la part et des tendances du marché des OMICS spatiaux par technologie (transcriptomique, génomique, protéomique), par produit, par flux de travail, par type d'échantillon, par utilisation finale, par région et prévisions de segment, 2021-2028, nd, <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/spatial-omics-market>.
50. Marx, Vivien, « Méthode de l'année : Transcriptomique spatialement résolue », *Nature Methods*, vol. 18, non. 1, 2021, p. 9-14.

51. Qin, Kefan, Wei Ma, Changzheng Hu, Guobin Shuai et Wiebo Hu, "Une interface cerveau-machine universelle sans fil (BMI) System for Epileptic Diseases », 2022 5th International Conference on Circuits, Systems and Simulation, 2022, pp. 156-160, <https://doi.org/10.1109/ICSS55260.2022.9802412>.
52. Vattendahl Vidal, Gabriel, Matthew Rynes, Zachary Kelliher et Shikha Goodwin, "Review of Brain-Machine Interfaces Used in Neural Prosthetics with New Perspective on Somatosensory Feedback through Method of Signal Breakdown", Scientifica (Le Caire), 2016, <https://doi.org/10.1155/2016/8956432>.
53. Tang, Xin, Hao Shen, Siyan Zhao, Na Li, Jia Liu, "Interfaces cerveau-ordinateur flexibles", Nature Electronics, vol. 6, 2023, p. 109-118.
54. Zhao, Siyuan, Xin Tang, Weiwen Tian, Sebastian Partriarieu et al., "Suivi de l'activité neuronale des mêmes cellules pendant toute la vie adulte des souris", Nature Neuroscience, vol. 26, 2023, p. 696-710, <https://www.nature.com/articles/s41593-023-01267-x>.
55. BioSpace, WISE Completes Enrollment in Pivotal Clinical Study of Novel Neuro-Electrodes for Brain Monitoring [Communiqué de presse], 23 janvier 2020, <https://www.biospace.com/article/wise-completes-enrolment-in-pivotal-clinical-étude-de-nouvelles-neuro-électrodes-pour-la-surveillance-cerveau/>.
56. Holt, Kris, "La FDA efface le dispositif d'interface cerveau-ordinateur de Synchron pour les essais sur l'homme", Engadget, 28 juillet 2021, <https://www.engadget.com/fda-brain-computer-interface-clinical-trial-synchron-stentode-190232289.html?guccounter=1>.
57. Rooks, Timothy, "Les centres de données maintiennent la consommation d'énergie stable malgré une grande croissance", Deutsche Welle, 24 janvier 2022, <https://www.dw.com/en/data-centers-energy-consumption-steady-despite-big-growth-en-raison-de-l'augmentation-de-l'efficacité/a-60444548>.
58. Biba, Erin, "La ville où Internet réchauffe les maisons", BBC, 13 octobre 2017, <https://www.bbc.com/future/article/20171013-where-data-centres-store-info--and-chalear-maisons>.
59. Evans, Richard et Jim Gao, "DeepMind AI Reduces Google Data Center Cooling Bill by 40%", Deep Mind, 20 juillet 2016, <https://www.deepmind.com/blog/deepmind-ai-reduces-google-data-centre-refroidissement-facture-par-40>.
60. Katal, Avita, Susheela Dahiya et Tanupriya Choudhury, "Efficacité énergétique dans les centres de données de cloud computing : une enquête sur les technologies logicielles", Cluster Computing, 2022, <https://link.springer.com/article/10.1007/s10586-022-03713-0>.
61. Flower, David, "Comment l'apprentissage automatique et la durabilité de la puissance de l'informatique de périphérie", Forbes, 18 mars 2022, <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2022/03/18/how-machine-learning-and-edge-maintenance-de-la-puissance-de-calcul-capacité/?sh=78055e4e5fab>.
62. Simpson, Stephen, « Les systèmes sur puce arrivent dans le centre de données », McKinsey Digital, 8 mars 2022, <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/tech-forward/systems-on-a-chip-comes-to-the-data-center>.
63. Barroso, Luiz et Urs Hölzle, "The Case for Energy-Proportional Computing", Computer, vol. 40, non. 12, 2007, pp. 33-37, https://www.researchgate.net/publication/2962080_The_Case_for_Energy-Proportional_Computing.
64. Malik, Yashpal Singh, Shubhankar Sircar, Sudipta Bhat, Mohd Ikram Ansari et al., "How Artificial Intelligence May Help the Covid-19 Pandemic: Pitfalls and Lessons for the Future", Medical Virology, vol. 31, non. 5, 2021, p. 1-11.
65. « Se préparer à une future pandémie avec l'intelligence artificielle », Laboratoire national du nord-ouest du Pacifique, 21 septembre 2021, <https://www.pnnl.gov/news-media/preparing-future-pandemic-artificial-intelligence>.
66. Mahajan, Abhishek, Tanvi Vaidya, Anurag Gupta, Swapnil Rane et Sudeep Gupta, "L'intelligence artificielle dans les soins de santé i n Pays en développement », Cancer Research, Statistics, and Treatment, vol. 2, non. 2, 2019, p. 182-189.
67. "Comparing Nations on Timeliness and Coordination of Health Care", The Commonwealth Fund, 4 octobre 2021, <https://www.commonwealthfund.org/publications/surveys/2021/oct/comparing-nations-timeliness-and-coordination-health-care>.
68. Johnson, Angela, "Reducing the wait for care: Case study", HRR Reporter, 9 décembre 2019, <https://www.hrreporter.com/focus-areas/compensation-and-benefits/reducing-the-wait-for-care-case-study/323823>.
69. Mahajan, Abhishek, Tanvi Vaidya, Anurag Gupta, Swapnil Rane et Sudeep Gupta, « L'intelligence artificielle dans les soins de santé dans les pays en développement », Cancer Research, Statistics, and Treatment, vol. 2, non. 2, 2019, p. 182-189.
70. Fédération des académies européennes de médecine, Partage international des données personnelles de santé pour la recherche, 2021, https://www.feam.eu/wp-content/uploads/International-Health-Data-Transfer_2021_web.pdf.



COMMITTED TO
IMPROVING THE STATE
OF THE WORLD

Le Forum économique mondial, engagé à améliorer l'état du monde, est l'Organisation internationale de coopération public-privé.

Le Forum engage les principaux dirigeants politiques, commerciaux et autres de la société à façonner les programmes mondiaux, régionaux et industriels.

Forum économique mondial

91-93 route de la Capite
CH-1223 Coligny/Genève
Suisse

Tél. : +41 (0) 22 869 1212
Télécopie : +41 (0) 22 786 2744
contact@weforum.org
www.weforum.org