



Gouvernement
du Canada

Government
of Canada

Canada



Domaines de recherche en technologies sensibles

La présente publication est disponible en ligne au <https://science.gc.ca/site/science/fr/protegez-votre-recherche/lignes-directrices-outils-pour-mise-oeuvre-securite-recherche/domaines-recherche-technologies-sensibles>.

Pour obtenir un exemplaire de cette publication ou un média substitut (Braille, gros caractères, etc.), veuillez remplir le formulaire de demande de publication au www.ic.gc.ca/demande-publication ou communiquer avec :

Le Centre de services aux citoyens d'ISDE

Innovation, Sciences et Développement économique Canada

Édifice C.D. Howe

235, rue Queen

Ottawa (Ontario) K1A 0H5

Canada

Téléphone (sans frais au Canada) : 1-800-328-6189

Téléphone (international) : 613-954-5031

ATS (pour les personnes malentendantes) : 1-866-694-8389

Heures de bureau : 8 h 30 à 17 h (heure de l'Est)

Courriel : ISED@canada.ca

Autorisation de reproduction

À moins d'indication contraire, l'information contenue dans la présente publication peut être reproduite, en tout ou en partie et par quelque moyen que ce soit, sans frais et sans autre permission du ministère de l'Industrie, pourvu qu'une diligence raisonnable soit exercée afin d'assurer l'exactitude de l'information reproduite, que le ministère de l'Industrie soit mentionné comme organisme source et que la reproduction ne soit présentée ni comme une version officielle ni comme une copie ayant été faite en collaboration avec le ministère de l'Industrie ou avec son consentement.

Pour obtenir l'autorisation de reproduire l'information contenue dans la présente publication à des fins commerciales, veuillez demander l'affranchissement du droit d'auteur de la Couronne au www.ic.gc.ca/demande-driotdauteur ou communiquer avec le Centre de services aux citoyens d'ISDE aux coordonnées fournies ci-dessus.

© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par le ministre de l'Innovation, des Sciences et du Développement économique, 2023.

Numéro de catalogue lu37-44/2023F-PDF

ISBN 978-0-660-67914-3

N.B. Dans cette publication, la forme masculine désigne tant les femmes que les hommes.

Also available in English under the title *Sensitive Technology Research Areas*.

Table des matières

Introduction	4
1. Technologies de l'infrastructure numérique de pointe	4
2. Technologies énergétiques de pointe	6
3. Matériaux et fabrication de pointe	6
Matériaux de pointe.....	6
Fabrication de pointe.....	8
4. Technologies de détection et de surveillance avancées.....	9
5. Armes de pointe	11
6. Technologies aérospatiales, spatiales et satellitaires.....	11
7. Intelligence artificielle et technologie des mégadonnées	12
8. Intégration personne-machine	14
9. Technologies des sciences de la vie	14
Biotechnologie.....	15
Technologies médicales et de soins de santé	15
10. Science et technologie quantiques	16
11. Robotique et systèmes autonomes	17

Introduction

La liste des [Domaines de recherche en technologies sensibles](#) comprend des technologies de pointe et émergentes qui sont importantes pour la recherche et le développement au Canada, mais qui peuvent également intéresser des États étrangers, des acteurs soutenus par des États et des acteurs non étatiques qui cherchent à détourner les avantages technologiques du Canada à notre détriment.

Alors que les progrès dans chacun de ces domaines sont essentiels pour l'innovation canadienne, il est tout aussi important de veiller à ce que la recherche ouverte et collaborative financée par le gouvernement du Canada ne porte pas atteinte à la sécurité nationale ou à la défense du Canada.

La liste comprend des domaines de recherche et des technologies à différents stades de développement. Une préoccupation particulière concerne le **développement d'une technologie au cours de la recherche**. Cette liste ne vise pas à couvrir l'utilisation d'une technologie qui pourrait déjà être largement répandue dans le cadre d'un projet de recherche. Chaque catégorie de technologie de haut niveau est accompagnée de sous-catégories qui permettent aux chercheurs de mieux cerner leurs principales préoccupations.

La liste sera révisée régulièrement et mise à jour en fonction de l'évolution et de la maturité des domaines de technologie et des nouvelles informations et perspectives fournies par les experts scientifiques et techniques du gouvernement du Canada, des pays alliés et de la communauté de la recherche universitaire.

1. Technologies de l'infrastructure numérique de pointe

Dispositifs, systèmes et technologies qui permettent de calculer, de traiter, de stocker, de transmettre et de sécuriser une quantité croissante d'informations et de données dans un monde de plus en plus numérique et axé sur les données.

Technologies de communication de pointe

Technologies permettant des communications sans fil rapides, sûres et fiables qui répondent à la demande croissante de connectivité et d'accélération du traitement et de la transmission des données et des informations. Ces technologies pourraient également permettre des communications dans des environnements éloignés ou dans des conditions défavorables où les méthodes conventionnelles sont inefficaces, ou dans des zones où le spectre est encombré. Exemples : radios adaptatives, cognitives, intelligentes; systèmes massifs à entrées multiples et sorties multiples; spectre des ondes millimétriques, réseaux d'accès radio ouverts ou virtualisés, communications optiques ou photoniques et communications haute fréquence à large bande.

Technologies informatiques de pointe

Systèmes informatiques dotés d'une grande puissance calculatoire qui permettent le traitement d'opérations complexes à forte intensité de données ou de calculs. Exemples : informatique sensible au contexte, calcul en périphérie de réseau, calcul de haute performance et calcul neuromorphique.

Cryptographie

Méthodes et technologies qui permettent des communications sécurisées en transformant, en transmettant ou en stockant des données dans un format sécurisé qui ne peut être déchiffré que par le destinataire désigné. Parmi les exemples de capacités émergentes en chiffrement susceptibles de remplacer ou d'améliorer les méthodes actuelles, mentionnons notamment : le chiffrement biométrique, le chiffrement fondé sur l'ADN, la cryptographie postquantique, le chiffrement homomorphique et le chiffrement optique furtif.

Technologies de cybersécurité

Technologies qui protègent l'intégrité, la confidentialité et la disponibilité des systèmes connectés à Internet, y compris leur matériel, leurs logiciels et leurs données, contre les accès non autorisés ou les activités malveillantes. Exemples : outils de cyberdéfense, solutions intersectorielles et technologies de défense des cibles mobiles.

Technologies de stockage des données

Méthodes, outils, plateformes et infrastructures permettant de stocker des données ou des informations en toute sécurité dans un format numérique. Exemples : stockage optique en cinq dimensions (5D), stockage de l'ADN, aimants monomoléculaires.

Technologies du registre distribué

Grands livres numériques ou bases de données qui suivent les actifs ou enregistrent les transactions à plusieurs endroits en même temps, sans point de contrôle ou de stockage centralisé ou unique. Exemples : chaînes de blocs, cryptomonnaies, monnaies numériques et jetons non fongibles.

Microélectronique

Développement et fabrication de très petites conceptions électroniques sur un support. La microélectronique intègre des semi-conducteurs ainsi que des composants plus conventionnels, comme la technologie de montage en surface, dans le but de fabriquer des produits plus petits et plus rapides. Au fur et à mesure que la microélectronique atteint les limites de l'intégration, les composants photoniques font leur apparition dans ce domaine. Parmi les exemples de composants à semi-conducteurs, on peut citer la logique centrée sur la mémoire, les modules multipuces, les puces-systèmes et les puces à mémoire empilée.

Technologies de réseau de prochaine génération

Cinquième génération et générations ultérieures de réseaux de communication exploitant les spectres à haute fréquence pour permettre des vitesses de traitement et de transmission nettement plus rapides de plus grandes quantités de données. Les progrès en matière de réseautage pourraient permettre une communication intégrée entre les espaces aérien, terrestre, spatial et maritime à l'aide de réseaux terrestres et non terrestres, ainsi qu'une augmentation de la vitesse des données et de la capacité du trafic sur les réseaux. Elles pourraient également ouvrir la voie à de nouvelles applications et à de nouveaux services fondés sur l'intelligence artificielle (IA) et les mégadonnées, leurs capacités de traitement de données massives étant en mesure de permettre l'Internet de tout.

2. Technologies énergétiques de pointe

Technologies et procédés permettant d'améliorer la production, le stockage et la transmission d'énergie, ainsi que le fonctionnement dans des environnements éloignés ou défavorables où les sources d'énergie peuvent ne pas être facilement disponibles, tout en étant nécessaires pour soutenir les infrastructures permanentes ou temporaires et alimenter les véhicules, les équipements et les appareils.

Technologies avancées de stockage de l'énergie

Technologies de stockage de l'énergie, comme les batteries, dotées de propriétés nouvelles ou améliorées, notamment une meilleure densité énergétique, une taille compacte et un faible poids pour permettre la portabilité, la survie dans des conditions difficiles et une capacité de recharge rapide. Exemples : piles à combustible, nouvelles batteries (batteries biodégradables, batteries graphène-aluminium-ion, batteries lithium-air, batteries en métal liquide à température ambiante, batteries à l'état solide, batteries structurales) et supercondensateurs (ou ultracondensateurs).

Technologies avancées de production d'énergie nucléaire

Nouvelles technologies et nouveaux réacteurs et plus petits que les réacteurs nucléaires conventionnels et développés pour être moins gourmands en capitaux, réduisant ainsi les risques lors de la construction. Exemples : fusion nucléaire et petits réacteurs modulaires.

Technologies de transfert d'alimentation sans fil

Transmission d'électricité sans fil sur des distances très variables pouvant aller jusqu'à plusieurs kilomètres. Les exemples comprennent les zones de recharge (analogues aux zones Wi-Fi) d'appareils électriques, comme des véhicules, dans un large rayon, ainsi que celle d'objets spatiaux, comme des satellites.

3. Matériaux et fabrication de pointe

Matériaux de pointe

Produits, composants ou matériaux de grande valeur dotés de propriétés structurelles ou fonctionnelles nouvelles ou améliorées. Leur production peut s'appuyer sur des procédés de fabrication avancés ou des approches novatrices.

Matériaux conventionnels améliorés

Matériaux conventionnels, comme l'acier à haute résistance ou les alliages d'aluminium et de magnésium – des produits déjà largement utilisés – auxquels on confère des propriétés non conventionnelles ou extraordinaires. On peut notamment mentionner l'amélioration de la durabilité ou de la résistance à haute température, celle de la résistance à la corrosion, de la flexibilité ou de la soudabilité ou encore la réduction du poids.

Matériaux auxétiques

Matériaux ayant un coefficient de Poisson négatif, ce qui signifie qu'ils s'épaissent ou se dilatent verticalement lorsqu'ils sont étirés horizontalement (alors que la plupart des matériaux s'amincissent lorsqu'on les étire), et font l'inverse lorsqu'ils sont comprimés horizontalement.

Ces matériaux possèdent des propriétés uniques, comme l'absorption d'énergie, une extrême rigidité, une meilleure absorption de l'énergie de choc et une résistance à la rupture.

Alliages à haute entropie

Matériaux spéciaux, dont des alliages, des oxydes ou d'autres composés à haute entropie, constitués de plusieurs éléments ou composants. Selon leur composition, les matériaux à haute entropie peuvent améliorer la résistance à la rupture, la solidité, la conductivité, la résistance à la corrosion, la dureté et d'autres propriétés souhaitées. En raison de l'étendue des combinaisons théoriquement possibles et de leurs propriétés respectives, ces matériaux peuvent être utilisés dans plusieurs industries, y compris l'aérospatiale. En outre, les oxydes à haute entropie sont envisagés pour des applications dans la production et le stockage de l'énergie, ainsi que pour les revêtements à barrière thermique.

Métamatériaux

Matériaux structurés que l'on ne trouve ou n'obtient pas facilement dans la nature. Les métamatériaux ont souvent des interactions uniques avec le rayonnement électromagnétique (c.-à-d. la lumière ou les micro-ondes) ou les ondes sonores.

Matériaux multifonctionnels et intelligents

Matériaux capables de se transformer, en réaction à des stimuli externes (c.-à-d. la chaleur, l'eau, la lumière, etc.) dans un laps de temps donné. Exemples : fluide magnétorhéologique, alliages et polymères à mémoire de forme et matériaux autoassemblés.

Nanomatériaux

Matériaux ayant des dimensions inférieures à 100 nanomètres, qui présentent certaines propriétés ou caractéristiques uniques, comme une durabilité accrue ou une capacité d'auto-réparation. Les nanomatériaux énergétiques sont synthétisés et fabriqués au niveau nanométrique, et leurs particules de petite taille présentent une très grande surface entre elles, ce qui leur permet de réagir plus rapidement ou plus efficacement en présence d'autres substances.

Matières en poudre pour la fabrication additive

Poudres généralement composées de métaux, de polymères, de céramiques et de matériaux composites. Elles permettent l'application des procédés de fabrication additive, également appelés « impression 3D ». La recherche de nouveaux matériaux en poudre peut mener à la fabrication de pièces ayant des propriétés mécaniques améliorées et d'autres caractéristiques souhaitées.

Matériaux supraconducteurs

Matériaux pouvant transmettre l'électricité sans résistance, éliminant ainsi les pertes d'énergie associées à la résistivité électrique qui se produit normalement dans les conducteurs. La fabrication de circuits électroniques supraconducteurs est l'une des approches les plus prometteuses pour la réalisation d'ordinateurs quantiques.

Matériaux bidimensionnels (2D)

Matériaux dont l'épaisseur est d'environ une couche atomique. Le graphène est l'un des matériaux 2D les plus connus, pour lequel il existe actuellement des technologies de production

et de fabrication. D'autres exemples de matériaux 2D sont le silicène, le germanène, le stantène, les chalcogénures métalliques et d'autres encore, lesquels font actuellement l'objet de recherches en vue d'applications éventuelles dans les capteurs, les appareils électroniques miniaturisés, les semi-conducteurs, etc.

Fabrication de pointe

Technologies, outils et processus améliorés ou nouveaux utilisés pour développer et fabriquer des matériaux ou des composants de pointe. Il peut s'agir de l'utilisation de logiciels spécialisés, de l'intelligence artificielle, de capteurs et d'outils à haut rendement, entre autres, pour faciliter l'automatisation des processus ou la fabrication automatisée en boucle fermée et créer de nouveaux matériaux ou composants.

Fabrication additive (impression 3D)

Processus divers permettant la construction d'objets solides en trois dimensions, allant de simples formes géométriques à des pièces d'avions commerciaux, au moyen d'un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO). L'impression 3D pourrait être utilisée pour accélérer le développement par prototypage rapide d'équipements personnalisés, d'outils de rechange ou de nouvelles formes ou objets plus résistants et plus légers. Des approches sont également élaborées pour la fabrication additive multimatériaux, volumétrique et à des fins de réparation et de restauration.

Fabrication avancée de semi-conducteurs

Méthodes, matériaux et procédés liés à la fabrication de dispositifs à semi-conducteurs. Les exemples de techniques comprennent les progrès en matière de dépôt, de revêtement, de lithographie, d'ionisation, de dopage et d'autres processus de base et de soutien, comme les techniques de gestion thermique. Parmi les avancées technologiques récentes, mentionnons la lithographie par ultraviolets extrêmes (UVE), une méthode avancée de fabrication de motifs complexes sur un support afin de produire un dispositif à semi-conducteur ayant des caractéristiques extrêmement réduites.

Fabrication de matières essentielles

Technologies en amont et en aval nécessaires à l'extraction, au traitement, à l'amélioration, au recyclage et à la récupération de matériaux essentiels (p. ex. éléments de terres rares, scandium, lithium, etc.), ainsi qu'à l'établissement et au maintien de chaînes d'approvisionnement nationales et alliées sûres. Pour plus d'informations sur les minéraux critiques, consulter la [Liste des minéraux critiques du Canada](#).

Impression en quatre dimensions (4D)

Production et fabrication de produits en 3D à l'aide de matériaux multifonctionnels ou « intelligents » programmés pour se transformer, en réaction à des stimuli externes (par exemple, la chaleur, l'eau, la lumière, etc.) dans un laps de temps donné. Des développements récents ont également été réalisés dans la création d'objets imprimés en 4D réversibles, qui peuvent reprendre leur forme initiale sans intervention humaine.

Nanofabrication

Production et fabrication à grande échelle, de manière fiable et rentable, de matériaux, de structures, de dispositifs et de systèmes de dimension nanométrique.

Matériaux bidimensionnels (2D)

Production normalisée, évolutive et rentable de matériaux 2D en grande quantité.

4. Technologies de détection et de surveillance avancées

Large éventail de technologies évoluées qui détectent, mesurent ou surveillent des conditions physiques, chimiques, biologiques ou environnementales et génèrent des données ou des informations à leur sujet. Les technologies de surveillance de pointe, en particulier, sont utilisées pour surveiller et observer les activités et les communications d'individus ou de groupes particuliers à des fins de sécurité nationale ou d'application de la loi, mais elles servent également à la surveillance de masse avec une précision et une échelle accrues.

Technologies de reconnaissance biométrique

Technologies qui permettent d'identifier des personnes à partir de leurs attributs physiques distinctifs (visage, empreintes digitales ou ADN, par exemple) ou comportementaux (démarche, frappe au clavier, voix, etc.). Ces technologies sont de plus en plus perfectionnées grâce à l'amélioration des capacités de détection et à l'intégration de l'intelligence artificielle pour identifier ou valider une personne plus rapidement et avec plus de précision.

Technologies radar avancées

Système qui recourt aux ondes radio pour détecter les objets en mouvement et mesurer leur distance, leur vitesse et leur direction. Les progrès de la technologie radar pourraient permettre d'améliorer la détection et la surveillance dans différents environnements et sur de plus grandes distances. Parmi les exemples, mentionnons notamment les réseaux actifs à balayage électronique, les radars cognitifs, les radars à ondes ionosphériques à haute fréquence (ou radars « transhorizon »), les radars passifs et les radars à synthèse d'ouverture.

Capteurs d'interféromètre atomiques

Capteurs qui effectuent des mesures interférométriques sensibles en utilisant le caractère ondulatoire des particules atomiques et des gaz quantiques. Ces capteurs peuvent détecter de petites variations des forces d'inertie et être utilisés en gravimétrie. Ils peuvent également améliorer la précision de la navigation et fournir des informations sur la position dans des environnements où le système mondial de localisation (GPS) n'est pas accessible.

Capteurs à signalisation réciproque d'objectifs

Systèmes permettant à plusieurs capteurs de se repérer les uns les autres. La signalisation réciproque peut être utilisée dans les satellites pour la validation des données, le suivi d'objectifs, l'amélioration de la fiabilité (c'est-à-dire en cas de défaillance d'un capteur) et l'observation de la Terre.

Capteurs de champ électrique

Capteurs qui détectent les variations des champs électriques et consomment peu d'énergie. Ils sont utiles pour détecter les lignes de transport d'électricité ou la foudre, et pour localiser les réseaux électriques ou les composants endommagés à la suite d'une catastrophe naturelle.

Appareils et capteurs optiques et d'image

Appareils et capteurs qui fournissent une représentation visuelle de la structure physique d'un objet au-delà des capacités habituelles des techniques d'imagerie grand public, comme les appareils photo, les téléphones portables et l'imagerie à lumière visible. Ces technologies font généralement appel à des rayonnements électromagnétiques au-delà du spectre visible, ou utilisent des techniques et des matériaux de pointe pour améliorer les capacités optiques, par exemple pour permettre une imagerie plus précise sur une plus grande distance. Ce domaine de recherche sensible comprend également les capteurs infrarouges.

Capteurs de champ magnétique (ou magnétomètres)

Capteurs utilisés pour détecter ou mesurer les variations d'un champ magnétique, son intensité ou son orientation.

Systèmes micro (ou nano) électromécaniques (M/NEMS)

Dispositifs électromécaniques miniaturisés et légers qui intègrent des fonctions mécaniques et électriques au niveau microscopique ou nanométrique. Les M/NEMS pourraient être utilisés comme « poussière intelligente » ou comme une entité numérique unique composée de divers éléments, notamment des capteurs, des circuits, des technologies de communication et une alimentation électrique. La poussière intelligente peut être suffisamment légère pour flotter dans l'air et détecter les vibrations, la lumière, la pression et la température, entre autres, afin de recueillir un grand nombre d'informations sur un environnement particulier.

Technologies de position, navigation et synchronisation

Systèmes, plateformes ou capacités permettant un calcul précis et opportun du positionnement, de la navigation et de la synchronisation. Ces technologies sont essentielles à un large éventail d'applications, notamment pour permettre le fonctionnement du système mondial de navigation par satellite (GNSS), comme le très répandu système mondial de localisation (GPS), mais aussi pour assurer la navigation dans des zones où le GPS ou le GNSS ne fonctionnent pas. Exemples : horloges atomiques de pointe sur puce, système de navigation inertielle assisté par la gravité, système de navigation sous-marine à longue portée, navigation par anomalie magnétique, système de navigation inertielle de précision.

Sonar à balayage latéral

Système sonar actif utilisant un réseau de transducteurs pour envoyer et recevoir des impulsions acoustiques en faisceaux latéraux, à partir de l'instrument remorqué ou du navire, ce qui lui permet de balayer rapidement une grande zone dans une masse d'eau afin de produire une image du fond marin sous l'instrument remorqué ou le navire.

Sonar à synthèse d'ouverture (SSO)

Système sonar actif qui produit des images haute résolution du fond marin, le long de la trajectoire du navire ou de l'instrument remorqué. Le SSO peut envoyer des signaux sonar continus pour capter des images sous l'eau avec une résolution 30 fois supérieure à celle des systèmes sonar traditionnels et une portée et une couverture de zone jusqu'à 10 fois supérieures.

Réseau de capteurs sous-marins (sans fil)

Réseau de capteurs et de véhicules sous-marins autonomes ou sans équipage qui utilisent des ondes acoustiques pour communiquer entre eux, ou avec des puits sous-marins qui recueillent et

transmettent des données provenant de capteurs situés en eaux profondes afin de permettre la télédétection, la surveillance et l'exploration, l'observation et la surveillance des océans.

5. Armes de pointe

Armes émergentes ou améliorées utilisées par les militaires et, dans certains cas, les forces de l'ordre, à des fins de défense et de sécurité nationales. Les progrès réalisés dans les domaines des matériaux, de la fabrication, de la propulsion, de l'énergie et d'autres technologies ont rapproché de la réalité des armes telles que les armes à énergie dirigée et les armes hypersoniques, tandis que les nanotechnologies, la biologie synthétique, l'intelligence artificielle et les technologies de détection, entre autres, ont permis d'améliorer les armes existantes, comme les armes biologiques et chimiques et les armes autonomes.

6. Technologies aérospatiales, spatiales et satellitaires

Technologie permettant la conception, la production, l'essai, l'exploitation et l'entretien d'aéronefs, d'engins spatiaux et de leurs composants respectifs, ainsi que la tenue d'autres activités aéronautiques. Les technologies spatiales et satellitaires désignent celles qui permettent les voyages, la recherche et l'exploration dans l'espace, ainsi que le suivi météorologique, la technologie des systèmes avancés de positionnement, de navigation et de synchronisation (PNS) de pointe, les communications, la télédétection et d'autres capacités utilisant des satellites et d'autres biens installés dans l'espace.

Tunnels aérodynamiques de pointe

Avancées technologiques dans les systèmes liés à l'infrastructure des souffleries. Les installations existantes sont utilisées pour simuler diverses conditions de vol et de vitesses, qu'elles soient subsoniques, transsoniques, supersoniques ou hypersoniques.

Systèmes d'entretien, d'assemblage et de fabrication en orbite

Systèmes et équipements utilisés pour l'entretien, l'assemblage et la fabrication dans l'espace. Ces systèmes en orbite peuvent être utilisés pour optimiser la logistique spatiale, accroître l'efficacité, atténuer les menaces liées aux débris et moderniser les capacités des éléments dans l'espace.

Charges utiles

Charges utiles de satellite moins coûteuses et plus performantes, capables de répondre aux besoins de différents marchés. Satisfaire la demande croissante et les exigences techniques de plus en plus élevées nécessitera plusieurs améliorations technologiques, comme des ouvertures légères, des antennes, des panneaux, des émetteurs-récepteurs, des actionneurs de commande, des capteurs optiques et infrarouges, et des imageurs multispectraux.

Technologies de propulsion

Composants et systèmes qui produisent une poussée puissante visant à faire avancer un objet, ce qui est essentiel pour le lancement d'avions, d'engins spatiaux, de fusées ou de missiles. Les innovations peuvent porter sur de nouvelles conceptions ou des matériaux de pointe permettant d'améliorer les performances, la vitesse, l'efficacité énergétique et d'autres propriétés, et de

réduire les délais de production et les émissions des avions. Les exemples comprennent la propulsion électrique des avions, la propulsion solaire-électrique, les moteurs à détonation pulsée, les systèmes de propulsion nucléaire thermique, de propulsion nucléaire pulsée et de propulsion nucléaire électrique, entre autres.

Satellites

Éléments artificiels ou fabriqués par l'homme, y compris des objets (semi-)autonomes, placés en orbite. Selon leur fonction propre, les satellites se composent généralement d'une antenne, d'un système de radiocommunication, d'une source d'énergie et d'un ordinateur, mais leur composition précise peut varier. Les progrès constants ont permis de mettre au point des satellites plus petits, moins coûteux à fabriquer et à déployer que les satellites de grande taille, accélérant ainsi les délais de développement et améliorant l'accès à l'espace. Exemples : satellites de télédétection et de communication.

Technologies spatiales de position, de navigation et de synchronisation

Satellites du système mondial de navigation par satellite (GNSS) et technologies qui amélioreront la précision, l'agilité et la résilience du GNSS et du système mondial de localisation (GPS).

Stations spatiales

Installations spatiales pouvant servir d'avant-postes orbitaux, tout en ayant la capacité de soutenir des opérations humaines prolongées. Les stations spatiales peuvent servir de pôle pour faciliter d'autres activités dans l'espace, notamment l'assemblage, la fabrication, la recherche, l'expérimentation, la formation, l'amarrage de véhicules spatiaux et le stockage. Parmi les innovations apportées aux stations spatiales, mentionnons notamment la possibilité de pénétrer plus loin dans l'espace ou d'améliorer les systèmes de survie afin de prolonger les missions humaines.

Aéronefs à zéro émission et sans carburant

Avions propulsés par des sources d'énergie qui ne dégagent pas d'émissions polluantes susceptibles de perturber l'environnement ou n'ont pas besoin de carburant pour voler. Ces avancées dans le domaine de l'alimentation des avions, qui en sont encore à leurs débuts, pourraient contribuer à l'amélioration de la qualité de l'air et permettre de voler sur de plus grandes distances et dans des zones reculées sans avoir à faire le plein de carburant (dans le cas des avions sans carburant).

7. Intelligence artificielle et technologie des mégadonnées

Vaste domaine constitué de la science qui vise à faire en sorte que les ordinateurs se comportent de manière à simuler l'intelligence et le comportement humains à l'aide de données et d'algorithmes. Les mégadonnées désignent les informations et les données volumineuses et complexes, du fait de leur quantité, de leur vitesse et de leur diversité, entraînant ainsi la nécessité de disposer d'outils, de techniques et de technologies de pointe pour les traiter, les analyser et les visualiser. L'intelligence artificielle (IA) et la technologie des mégadonnées peuvent être considérées comme transversales, étant donné leur importance pour favoriser les progrès d'autres domaines technologiques, comme la biotechnologie, les matériaux et la fabrication de pointe, la robotique et les systèmes autonomes, entre autres.

Jeux de puces d'intelligence artificielle

Puces conçues sur mesure pour traiter de grandes quantités de données et d'informations et permettre aux algorithmes d'effectuer des calculs simultanément et plus efficacement, tout en consommant moins d'énergie que les puces à usage général. Comme ces puces ont des caractéristiques de conception uniques, adaptées spécifiquement à l'IA, elles sont plus rentables pour assurer son développement.

Vision par ordinateur

Domaine de l'IA qui permet aux ordinateurs de voir et d'extraire le sens du contenu des images numériques, comme les photos et les vidéos. Parmi les exemples de techniques de vision par ordinateur, mentionnons la classification d'images, la détection d'objets, la perception de la profondeur et autres.

Technologies de la science des données et des mégadonnées

Analyse autonome ou semi-autonome d'ensembles de données volumineux ou complexes, dans le cas de la technologie des mégadonnées (*big data*). Cette technologie comprend également l'extraction ou la génération d'informations plus approfondies, et de prédictions ou de recommandations visant à éclairer la prise de décision. Les exemples comprennent : l'analyse de données fondée sur l'IA, la technologie des mégadonnées (c.-à-d. les entrepôts de données, l'exploration et la corrélation de données) et l'analyse prédictive.

Jumeaux numériques

Représentations virtuelles d'objets ou de systèmes physiques qui combinent les données de capteurs en temps réel, le traitement des mégadonnées et l'intelligence artificielle (à savoir l'apprentissage automatique) pour créer un modèle interactif et prédire le comportement ou le rendement futurs de l'objet ou du système. Les progrès de la technologie des jumeaux numériques pourraient permettre la croissance et l'intégration d'une expérience numérique immersive (p. ex. le métavers) dans la vie quotidienne.

Apprentissage automatique

Domaine de l'IA où les programmes informatiques sont entraînés à l'aide d'algorithmes et de données pour améliorer leurs décisions lorsqu'on leur présente un nouvel ensemble de données sans qu'ils aient nécessairement été programmés pour le faire. Les types d'apprentissage automatique comprennent : l'apprentissage profond, le calcul évolutif et les réseaux neuronaux.

Traitement du langage naturel

Domaine de l'IA permettant aux ordinateurs de traiter et de donner un sens ou de « traduire » le langage humain naturel en utilisant la reconnaissance vocale et sonore pour identifier, analyser et interpréter les voix humaines et d'autres types de données sonores. Les exemples comprennent : l'analyse syntaxique et sémantique, la segmentation en unités lexicales, la classification de textes et les autres fonctions qui offrent des capacités comme les assistants virtuels, les robots conversationnels, la traduction automatique, le texte prédictif, l'analyse des sentiments et le résumé automatique.

8. Intégration personne-machine

Association d'opérateurs et de technologies en vue d'améliorer ou d'optimiser les capacités de l'être humain. La nature de l'intégration peut varier considérablement, et son caractère invasif constitue une dimension importante.

Interfaces cerveau-ordinateur

Interfaces permettant à un être humain d'interagir directement avec un ordinateur par l'intermédiaire d'un dispositif qui détecte l'activité cérébrale, permettant ainsi la recherche, la cartographie, l'assistance ou l'augmentation des fonctions cérébrales humaines susceptibles d'améliorer les performances cognitives ou la communication avec les dispositifs numériques.

Exosquelettes

Dispositifs externes ou « robots portables » pouvant aider ou augmenter les performances ou les capacités physiques et physiologiques d'une personne ou d'un groupe.

Dispositifs neuroprothétiques

Dispositifs implantés ou portés qui interagissent avec le système nerveux pour améliorer ou restaurer les fonctions motrices, sensorielles, cognitives, visuelles, auditives ou de communication, souvent à la suite d'une lésion cérébrale. Ces dispositifs englobent les membres cybernétiques ou les instruments qui vont au-delà de l'usage médical pour contribuer à l'amélioration des performances humaines.

Réalité virtuelle, augmentée, mixte

Technologies immersives qui combinent des éléments du monde virtuel avec ceux du monde réel pour créer une expérience virtuelle interactive. Plusieurs entreprises sont en train de développer une application de ces technologies : le métavers. Il s'agit d'une expérience numérique immersive qui intègre le monde physique au monde numérique et permet aux utilisateurs d'interagir et d'effectuer diverses activités (comme des achats et des jeux) de manière transparente, dans un écosystème virtuel. Bien qu'il soit encore à l'étude, ce concept pourrait se traduire par une économie numérique dotée de sa propre monnaie, de ses propres biens immobiliers et autres.

Neurotechnologies portables

Interfaces cerveau-ordinateur portables et non invasives (c.-à-d. qu'elles ne nécessitent pas d'implantation). Ces instruments médicaux portables peuvent être utilisés à des fins médicales, telles que le suivi de la santé du cerveau et l'envoi de données à un médecin en vue de déterminer le traitement, et pour des applications non médicales liées à l'optimisation, à l'augmentation ou à l'amélioration de l'être humain, comme le contrôle de la somnolence de l'utilisateur, la surveillance de la charge cognitive ou la détection de réactions précoces, entre autres.

9. Technologies des sciences de la vie

Large éventail de technologies visant à améliorer les organismes vivants, comme la biotechnologie et les technologies médicales et de soins de santé.

Biotechnologie

Utilisation de systèmes, de processus et d'organismes vivants, ou de certaines parties, pour mettre au point des produits, des processus ou des services nouveaux ou améliorés. La biotechnologie intègre souvent d'autres domaines technologiques, notamment les nanotechnologies, l'intelligence artificielle et l'informatique, afin de créer des solutions novatrices à différents problèmes, y compris dans le domaine de l'amélioration des performances humaines.

Biofabrication

Méthodes et procédés permettant la production industrielle de produits et de matériaux biologiques par la modification d'organismes ou de systèmes biologiques. Les progrès de la biofabrication, comme l'automatisation et la production par capteurs, ont contribué à la production à l'échelle commerciale de nouveaux produits biologiques, tels que les biomatériaux et les biocapteurs.

Séquençage, analyse et ingénierie génétiques et génomiques

Technologies permettant le séquençage du génome entier ou la manipulation directe du génome d'un organisme à l'aide de l'ADN ou du génie génétique en vue de produire des organismes nouveaux ou modifiés. La courte répétition palindromique groupée et régulièrement espacée (CRISPR) et le séquençage de nouvelle génération en sont des exemples.

Protéomique

Analyse expérimentale à grande échelle des protéines, des protéomes et de l'informatique protéomique. Les applications protéomiques peuvent servir à identifier les espèces et les souches bactériennes inconnues, et à déterminer l'espèce de tissus, de fluides corporels et d'os d'origine inconnue.

Biologie synthétique

Combinaison de la biologie et du génie pour créer de nouvelles entités biologiques, comme des cellules ou des enzymes, ou repenser des systèmes biologiques existants en y intégrant de nouvelles fonctions, comme la détection ou la production d'une substance particulière. La biologie synthétique devrait permettre des avancées dans de nombreux domaines : le développement d'antibiotiques, de médicaments et de vaccins, la création de bio-ordinateurs, de biocarburants, de nouvelles plateformes d'administration de médicaments et de nouveaux produits chimiques, la vie et les aliments artificiels, etc.

Technologies médicales et de soins de santé

Outils, processus ou services qui favorisent la santé et préviennent ou tentent de prévenir les maladies. Les progrès de la biotechnologie, de la nanotechnologie et des matériaux de pointe permettent de nouvelles méthodes d'administration de médicaments ou de traitement des blessures, des maladies ou de l'exposition à des substances toxiques.

Contre-mesures médicales en cas d'incident chimique, biologique, radiologique et nucléaire (CBRN)

Ensemble des moyens médicaux utilisés pour prévenir, déterminer ou traiter les blessures ou les maladies causées par des menaces chimiques, biologiques, radiologiques ou nucléaires (CBRN), qu'elles soient d'origine naturelle ou non. Les contre-mesures médicales en cas d'incident CBRN

comprennent des produits thérapeutiques pour traiter les blessures et les maladies, comme des produits biologiques ou des médicaments, ainsi que des diagnostics visant à identifier les menaces.

Thérapie génétique

Manipulation ou modification génétique chez des sujets humains pour prévenir, traiter ou guérir des maladies, en remplaçant ou en désactivant les gènes responsables de maladies ou en insérant des gènes nouveaux ou modifiés.

Nanomédecine

Utilisation de nanomatériaux pour diagnostiquer, surveiller, prévenir ou traiter des maladies. Parmi les exemples de nanomédecine, mentionnons les nanoparticules pour l'administration ciblée de médicaments, l'imagerie intelligente au moyen de nanomatériaux, ainsi que les implants issus de la nano-ingénierie pour soutenir le génie tissulaire et la médecine régénératrice.

Génie tissulaire et médecine régénératrice

Méthodes de régénération ou de reconstruction de cellules, de tissus ou d'organes permettant de rétablir des fonctions biologiques normales. La médecine régénératrice comprend l'autoguérison, où le corps est capable d'utiliser ses propres outils ou d'autres matériaux biologiques pour régénérer des tissus ou des cellules, alors que le génie tissulaire se concentre principalement sur l'utilisation de matériaux synthétiques et biologiques, comme les cellules souches, pour réaliser des constructions ou des supports fonctionnels qui contribuent à la guérison ou à la restauration de tissus ou d'organes endommagés.

10. Science et technologie quantiques

Nouvelle génération de dispositifs qui exploitent les effets quantiques pour améliorer considérablement les performances, par rapport aux technologies « classiques » existantes. Ces technologies devraient offrir des capacités de détection et d'imagerie, de communication et de calcul qui, dans certains cas, dépassent de loin celles des technologies traditionnelles, ainsi que de nouveaux matériaux dotés de propriétés extraordinaires et de nombreuses applications utiles. La science et la technologie quantiques peuvent être considérées comme transversales, étant donné qu'elles devraient permettre des avancées ou des améliorations dans la plupart des autres domaines technologiques, notamment la biotechnologie, les matériaux de pointe, la robotique et les systèmes autonomes, l'aérospatiale, la technologie spatiale et satellitaire, etc.

Communications quantiques

Utilisation de la physique quantique pour permettre des communications sécurisées et protéger les données à l'aide de la cryptographie quantique, également connue sous le nom de « distribution quantique des clés. »

Informatique quantique

Utilisation de bits quantiques, également connus sous le nom de « qubits », pour traiter des informations au moyen de l'exploitation des effets de la mécanique quantique qui permettent de traiter simultanément une grande quantité d'informations, comme des calculs. Un ordinateur quantique capable d'exploiter des qubits dans un état quantique contrôlé pourrait être en mesure de calculer et de résoudre certains problèmes beaucoup plus rapidement que les superordinateurs les plus puissants.

Matériaux quantiques

Matériaux présentant des propriétés magnétiques et électriques inhabituelles. Parmi les exemples, mentionnons les supraconducteurs, le graphène, les isolants topologiques, les semi-métaux de Weyl, les chalcogénures métalliques et d'autres encore. Nombre de ces matériaux sont toujours en cours d'exploration et d'étude, mais ils sont prometteurs et pourraient contribuer à la mise en place de systèmes électriques efficaces sur le plan énergétique, à l'amélioration des batteries et au développement de nouveaux types d'appareils électroniques.

Détection et imagerie quantiques

Large gamme de dispositifs, à différentes étapes de leur préparation technologique, qui exploitent des systèmes, des propriétés ou des phénomènes quantiques pour mesurer une quantité physique avec une précision, une stabilité et une exactitude accrues. Des développements récents dans les applications de la physique quantique ont permis de découvrir la possibilité d'exploiter les phénomènes quantiques pour mettre au point la technologie des radars quantiques.

Logiciels quantiques

Logiciels et algorithmes fonctionnant sur des ordinateurs quantiques qui permettent l'exploitation et la conception efficaces de tels ordinateurs ou de logiciels favorisant le développement et l'optimisation d'applications d'informatique quantique.

11. Robotique et systèmes autonomes

Machines ou systèmes dotés d'un certain degré d'autonomie (de la semi-autonomie à l'autonomie totale) capable d'effectuer certaines activités avec une intervention ou un contrôle humain partiel ou inexistant, en recueillant des informations sur leur environnement et en prenant des décisions sur la base de celles-ci, tout en améliorant leur rendement global dans l'accomplissement de leurs tâches.

Robotique moléculaire ou nanorobotiques

Développement de robots à l'échelle moléculaire ou nanométrique en programmant des molécules pour qu'elles effectuent une tâche particulière.

Véhicules aériens, terrestres ou sous-marins (semi-)autonomes ou sans équipage

Véhicules fonctionnant sans aucune intervention humaine à bord, mais contrôlés à distance par un opérateur humain, ou fonctionnant de manière semi-autonome ou autonome. Les véhicules sans équipage s'appuient sur des logiciels, des capteurs et des technologies d'intelligence artificielle pour recueillir et analyser des informations sur leur environnement, planifier et modifier leur itinéraire (s'ils sont semi-autonomes ou entièrement autonomes) et interagir avec d'autres véhicules (ou avec l'opérateur humain, s'ils sont contrôlés à distance).

Robots de services

Robots chargés d'exécuter des tâches utiles à l'homme pouvant être fastidieuses, chronophages, répétitives ou dangereuses, ou compléter le comportement humain lorsque les ressources ne sont pas disponibles, par exemple en aidant les personnes âgées. Ils sont semi-autonomes ou entièrement autonomes, capables de prendre des décisions avec une interaction ou une

intervention humaine partielle ou inexistante (en fonction du degré d'autonomie), et peuvent être neutralisés manuellement par un être humain.

Robotique spatiale

Dispositifs, ou « robots spatiaux », capables de remplir diverses fonctions en orbite, comme l'assemblage ou l'entretien, afin d'aider les astronautes ou de remplacer les explorateurs humains dans la découverte de planètes éloignées.