



Le programme de recherche en veille technologique auprès de armasuisse Science et Technologies a pour but de détecter les technologies à caractère disruptif ainsi que d'anticiper leurs impacts pour le monde militaire en général, et l'armée suisse en particulier.

armasuisse Sciences+Technologies

Technologies de rupture et forces armées: Aide à la décision prospective pour systèmes complexes

Dr. Quentin Ladetto, Dr. Philippe Luginbühl

armasuisse Sciences + Technologies (S+T)

« *P*our que tout reste comme avant, il faut que tout change » *Le Guépard*, Giuseppe Tomasi di Lampedusa

Présenté dans l'article « La prospective technologique au service de l'armée suisse » paru dans le numéro 6 – 2018 de la *Revue Militaire Suisse*, le but du programme de veille technologique mis sur pied par armasuisse Sciences et Technologies est de détecter les domaines technologiques à caractère disruptif ainsi que d'anticiper leurs impacts pour le monde militaire en général, et pour l'armée suisse en particulier. La structure ayant été décrite précédemment, nous vous proposons aujourd'hui une incursion dans les principaux domaines couverts par le programme. Ces domaines s'apparentent pour certains à des technologies proprement dites, alors que d'autres sont plus à comprendre sous le terme de capacités.

Parler de technologie de « rupture » à l'heure actuelle peut créer des attentes démesurées, surtout au temps d'Internet, du monde « open-source » et du partage de l'information à l'échelle globale. Plus que les technologies, ce sont leurs combinaisons ainsi que leurs applications qui se révèlent aujourd'hui disruptives. Cela peut paraître d'une évidence désarmante à première vue, mais cela n'a pas toujours été le cas. La méconnaissance par un adversaire de certains métaux (fer vs bronze) et de certaines armes (armes à feu vs épées, arcs et flèches) a permis à certaines ethnies de conquérir et maintenir leur hégémonie durant une période plus ou moins importante. Actuellement, dans une période de course à la publication et au *scoop* scientifique ainsi qu'au dépôt de brevet, la conscience de l'existence des technologies en elles-mêmes est plus que jamais présente. Le vrai défi aujourd'hui est donc dans sa maîtrise, dans l'innovation quant à son utilisation et dans la vitesse de son adaptation.

Plus qu'une description de chacun de ces domaines, nous allons donc essayer de présenter de manière succincte les attentes liées à ceux-ci ainsi que les risques encourus

en cas d'asymétrie de maturité technologique dans ces domaines.

Devant à un certain moment prioriser des domaines de recherche rendant possibles de futures fonctions, nous vous présentons un exemple d'analyse réalisée avec l'outil d'aide à la décision CREDO. Le but recherché est d'illustrer qu'établir simplement une liste de technologies à observer, c'est bien, mais que d'être en mesure de quantifier leur importance pour un nouveau système¹ ou pour une nouvelle capacité, c'est encore mieux (même si extrêmement plus complexe!).

Nous rendons attentif le lecteur que l'accent est porté ici uniquement sur l'aspect technologique des domaines considérés. Il est bien évident que celui-ci interagit en permanence avec ses homologues politique, économique, juridique, éthique, opérationnel et sociétal.

Domaines technologiques

Vous trouverez dans cet article les différents domaines technologiques auxquels nous attachons une attention soutenue. Ceux-ci ont été présentés sous une forme originale dans le document « Tendances et défis technologiques: regards croisés entre fiction et réalité² ». Nous allons ici compléter les informations tout en maintenant cette même sélection. Celle-ci n'est de loin pas exhaustive et nous en sommes conscients. Elle permet cependant de répertorier, regrouper et structurer les nombreux développements ayant cours actuellement. Dans la quasi totalité des domaines mentionnés vous remarquerez que ce qui est développé par l'industrie commerciale peut facilement trouver une utilisation dans le domaine militaire. On parle généralement d'utilisation « duale » d'une technologie (dual use). Si pendant longtemps le monde de la défense était à l'avant-garde technologiquement parlant, cela n'est plus nécessairement le cas dans de nombreux domaines. De même, des technologies réservées principalement à des

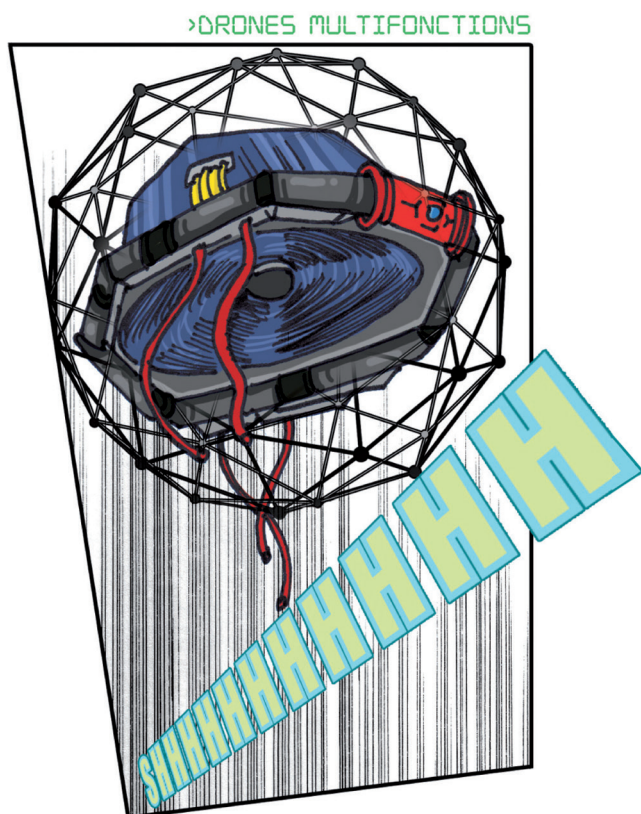


Illustration 1 : Seul ou en essaim, autonome dans le déplacement ou piloté à distance, le drone avec ses innombrables charges utiles potentielles peut facilement se retrouver comme acteur principal dans bon nombre de circonstances de par sa faible détectabilité et très forte maniabilité !

acteurs étatiques (notamment celles liées à l'aérospatial) sont désormais accessibles à des acteurs privés.

L'intention n'est pas ici de juger si ces évolutions sont une bonne ou une mauvaise chose, mais simplement de prendre conscience que désormais cela est bel et bien une évidence.

Robotique

Les recherches conduites pour la robotisation du champ de bataille ont pour but principalement une diminution des risques pris par les soldats humains et cela en permettant de piloter à distance les effecteurs (robots). Ceux-ci peuvent se présenter sous des formes les plus variées correspondant à des missions spécifiques dans les différents éléments (air-sol-eau) et cela à ciel ouvert ou à l'intérieur de bâtiments ou de galeries. Où l'être humain se trouve-t-il encore dans la boucle décisionnelle (man IN-ON-OUT of the loop) pose de nombreux défis. Si pour certaines fonctions, comme par exemple la navigation, cela semble acceptable et accepté, tout ce qui touche à la détermination de cibles et l'anéantissement potentiel de celles-ci de façon totalement autonome l'est nettement moins. Cette autonomie n'est cependant pas une priorité

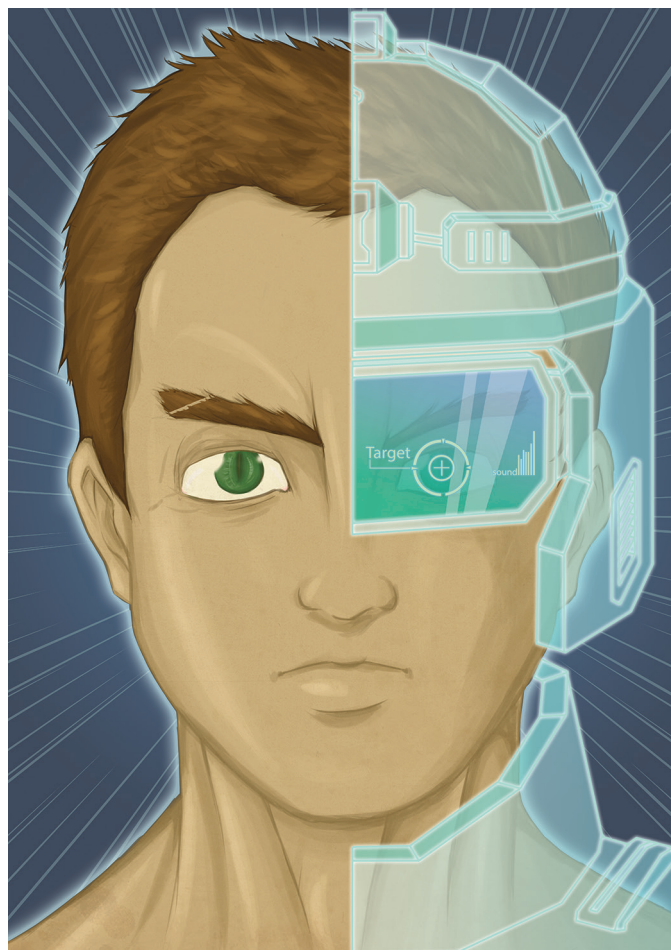


Illustration 2 : Réparer, améliorer, compléter les sens et les capacités d'un soldat, le rendre plus fort, plus résistant, moins sensible au stress et à la fatigue sont autant de thèmes pour lesquels les innovations du monde civil ouvrent de nouveaux horizons dans le monde de la défense et de la sécurité.

pour les forces armées qui privilégieraient plus une *coopération soldat-machine* de façon à construire sur les avantages spécifiques de chacun (être humain : cognitif, machine : vitesse d'analyse et senseurs).

Risques potentiels associés au non-suivi des évolutions : Vies humaines mises à risques inutilement (tâches ennuyeuses, dangereuses, et sales). Apparition de nouveaux systèmes difficilement combattable avec les systèmes actuels (Illustration 1). Asymétrie dans l'efficacité au combat par le couplage homme-machine vs homme (sans machine). Cycle décisionnel (OODA loop) ralenti par rapport aux nouveaux standards. Nouvelle doctrine (première vague d'attaque : robotisée uniquement, deuxième vague d'attaque : soldat-machine).

Performance humaine

L'amélioration de la performance humaine peut être réalisée de différentes manières cumulatives plus ou moins invasives et réversibles. De la psychologie à la chirurgie, des biotechnologies à la pharmacologie, de l'utilisation d'exosquelette ou d'éléments robotisés à un entraînement plus poussé, toutes les pistes sont explorées en parallèle afin d'améliorer les capacités et les sens

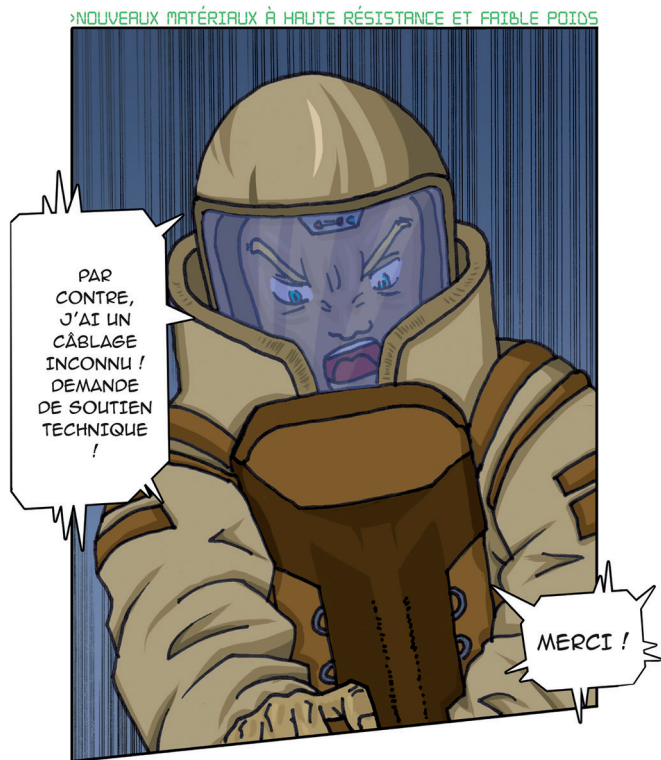


Illustration 3 : La réalité augmentée permet d'accéder rapidement à de nouvelles connaissances et de se faire guider à distance lors d'interventions délicates. De nouveaux matériaux aux innombrables propriétés améliorent certaines protections physiques tout en diminuant le poids de l'équipement.

humains. Les buts principaux recherchés peuvent être décrits comme: une meilleure gestion des émotions, du stress, de l'endurance et de la récupération, naturellement une augmentation de la force et de la résistance dans des environnements extrêmes, une meilleure protection et une mobilité facilitée.

Risques potentiels associés au non-suivi des évolutions :

La troupe dans son ensemble peut se trouver à un degré de préparation et performance inférieure à celui de l'adversaire. La résilience et vitesse d'exécution individuelle sub-optimale par rapport aux nouveaux standards. Nombre d'erreurs et d'accidents maintenus car étant actuellement imputables à une mauvaise gestion du stress et un manque de sommeil. Aspect psychologique négatif par rapport à un adversaire « amélioré ».

Réalité augmentée et virtuelle

La réalité augmentée apporte au soldat des informations supplémentaires et pertinentes superposées à la réalité perçue au travers d'un objectif digital (Illustration 3). Cette technologie permet également la réalisation à distance de tâches inconnues à l'opérateur, simplement en faisant coïncider le monde réel et le monde digital. Un défi à ne pas sous-estimer cependant est de fournir au moment opportun une information pertinente à la situation dans laquelle se trouve le soldat et cela de manière à ne pas le distraire. La réalité virtuelle offre une valeur ajoutée dans la préparation de missions en facilitant l'entraînement et la familiarisation avec un

environnement inconnu. Le fait de pouvoir rejouer certaines situations ayant causé des troubles de stress post-traumatique (TSPT) permet de diminuer voir de guérir les effets de ceux-ci.

Risques potentiels associés au non-suivi des évolutions :

Compréhension de la situation et de l'environnement direct inférieur par rapport à l'adversaire. Familiarisation moindre avec un lieu inconnu avant toute opération. Interactions limitées en cas de nécessité d'une nouvelle compétence sur le terrain.

Fabrication additive

Grâce à cette méthode de création qui consiste en l'ajout couche par couche de matériau (en opposition avec celui « soustractif » de matériau), il est possible de créer des produits ayant de nouvelles formes, par exemple en ne mettant de la matière uniquement où celle-ci est nécessaire par rapport aux lignes de forces agissant sur celle-ci. Les produits deviennent plus légers et résistants. Il est également possible de rapidement générer des pièces de rechange à partir de plan digitaux construits sur la base de photos. Le choix du matériau est dépendant directement des propriétés voulues pour la pièce et non plus de la facilité à travailler celui-ci.

Risques potentiels associés au non-suivi des évolutions :

Systèmes et produits plus lourds et moins résistants. Conséquences directes sur la consommation énergétique à laquelle s'ajoute la fatigue si les éléments sont portés par le soldat. En cas de manque de pièces de rechange pour un système, l'impossibilité de les créer implique une obsolescence accélérée de celui-ci, avec les coûts de substitution résultant. Difficulté d'adapter et d'améliorer armes et outils standards en fonction de l'expérience, du terrain et du type d'opérations.

Intelligence artificielle

L'intelligence artificielle (IA) a la potentialité d'être présente de manière transparente dans tous les domaines. Que ce soit pour la cyber-sécurité, l'analyse et la reconnaissance d'objets ou de séquences spécifiques dans des images, des sons, des vidéos, la classification d'éléments, l'aide à la décision, l'aide à la conduite, à la génération et l'évaluation de scénarios... la diversité ne semble actuellement que limitée par l'imagination. L'IA est également à la base des diverses fonctions rendant les systèmes robotisés autonomes. Justement à cause de cette autonomie, il est nécessaire que l'on comprenne la logique que suit l'intelligence artificielle et que l'on soit en mesure d'expliquer (white box) les décisions prises de façon à pouvoir certifier les systèmes. La notion de confiance en ceux-ci est essentielle pour leur acceptation et utilisation dans les forces armées.

Risques potentiels associés au non-suivi des évolutions :

Compréhension et interprétation partielle de la situation dû à l'analyse d'un nombre limité de paramètres, de relations, etc. Les systèmes de défense et d'attaque sont moins rapides et performants que ceux de l'adversaire.

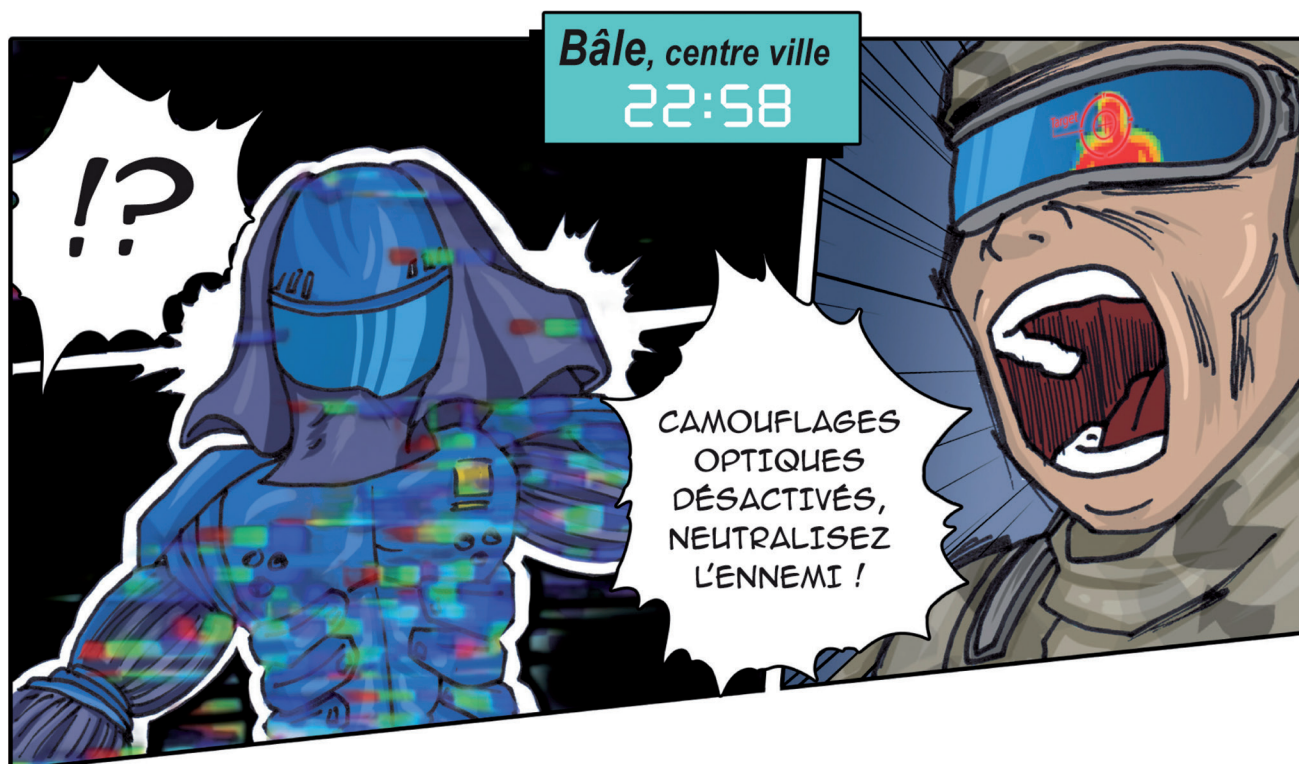


Illustration 4 : Certains nouveaux matériaux offrent des propriétés évoluant en fonction de différents paramètres comme la température, l'humidité, la lumière. Cela peut être d'intérêt notamment dans le domaine du camouflage.

Difficulté (voir impossibilité) à exécuter la boucle OODA (observer, s'orienter, décider et agir) plus rapidement que l'adversaire.

Internet des objets

Senseurs et processeurs se miniaturisant toujours plus tout en améliorant leur sensibilité et résolution pour l'un, puissance de calcul et de stockage pour l'autre. Ces objets sont désormais omniprésents dans l'environnement et permettent d'avoir la boucle OODA directement au niveau de l'objet. Connectés, ils permettent une analyse et un suivi en temps réel d'un « nombre infini » de phénomènes et cela indépendamment du lieu où se trouve l'opérateur. Présents sur les systèmes, ils aident à anticiper toute défaillance et planifier toute maintenance. Cibles ou initiateurs, la présence d'un processeur dans chacun d'eux en font des acteurs privilégiés et incontournables du cyber-espace.

Risques potentiels associés au non-suivi des évolutions : Sans pouvoir les détecter, identifier et neutraliser, il est difficile de pouvoir se protéger contre toute forme d'espionnage. De nouvelles formes d'attaques cyber peuvent rendre les objets de générations antérieures des cibles privilégiées. Le renoncement à la mesure en continu de certains paramètres comme la température et l'humidité, peut résulter à l'introduction d'incertitude dans l'utilisation possible de certains produits (munitions, vaccins, ...): soit par mesure de sécurité on renonce à utiliser du matériel encore sain, soit on utilise du matériel obsolète. Il en résulte une perte économique pour le premier et un saut dans l'inconnu pour le deuxième.

Missiles et vecteurs hypervéloces

Entre 7 fois et 27 fois la vitesse du son (entre 2.5 km/s et 9 km/s !), ce sont les vitesses auxquelles se déplacent (ou déplaceraient) ces nouvelles armes. Tombant depuis l'espace, en mesure de modifier leurs trajectoires en phase finale notamment, les systèmes de défense anti-missiles actuels de tous pays sont complètement dépassés face à ce nouveau type de menace. La recherche va bon train dans tout ce qui concerne les matériaux, l'aérodynamisme, la propulsion, etc. et la course ressemble fortement à celle à l'arme nucléaire. Il semble effectivement que le caractère dissuasif soit confirmé, d'autant plus qu'il semble qu'une tête nucléaire puisse équiper ce nouveau vecteur.

Risques potentiels associés au non-suivi des évolutions : Tout comme pour la possession ou non de l'arme atomique, le défi est de savoir comment s'en protéger. Actuellement trop peu d'informations fiables sont disponibles sur le sujet, mais la menace est sérieuse.

Nouveaux matériaux

Les progrès effectués dans les nanotechnologies, la chimie, la physique ainsi que les leçons obtenues par l'observation de la nature ont permis l'apparition de matériaux aux propriétés exceptionnelles. Changeant de forme en fonction de paramètres tels que la température, l'humidité; réagissant à des stimuli spécifiques; se dissolvant dans l'organisme après avoir soigné une blessure; de plus en plus résistant tout en restant flexibles et légers, les exemples sont innombrables et touchent un nombre infini d'applications. Sous forme de poudre

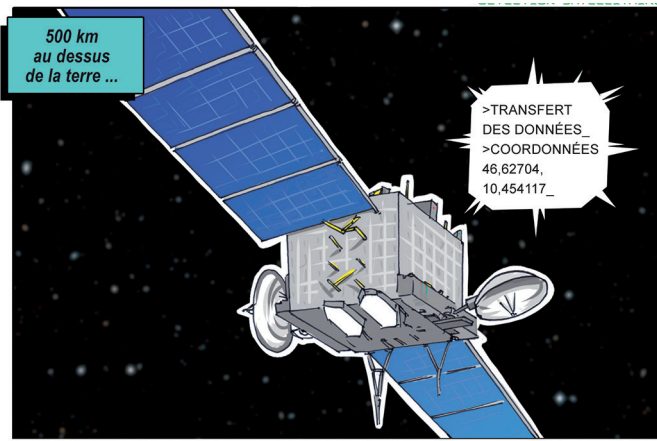


Illustration 5 : La démocratisation du domaine spatial amène une accélération des développements dans ce domaine avec notamment la création de satellites d'observation pouvant offrir images et vidéos à des résolutions jusque-là réservées aux scénarios cinématographiques.

les matériaux, nouveaux ou non, servent de base à la fabrication additive.

Risques potentiels associés au non-suivi des évolutions : Méconnaissance de matériaux pouvant avoir une influence sur les signatures (radars, thermiques, infra-rouge, etc.) de certains systèmes et de même rendre impossible leur détection (Illustration 4). Impossibilité de concurrencer certaines avancées dans les domaines aérospatial (incluant les vecteurs hypervéloces), médical, informatique, etc. Améliorations limitées de certaines propriétés de matériaux influençant le poids, la consommation énergétique, l'efficacité, la résistance aux impacts entre autres, de certains systèmes ainsi que sur l'équipement du soldat.

Spectre électromagnétique

Que ce soient des signaux satellitaires permettant de se positionner, de naviguer d'un endroit à l'autre, de transmettre et recevoir de l'information sous une forme ou une autre, l'observation de phénomènes dans le domaine du visible ou de l'invisible, dans le chaud ou dans le froid, le proche ou le lointain, tous ces éléments observés ont un lien avec le spectre magnétique et utilisent (ou sont) des ondes classées généralement par leur fréquence ainsi que leur longueur (d'onde). Une maîtrise ainsi qu'une gestion attentive permet à toutes ces ondes de co-exister sans interférer les unes avec les autres. La manipulation des ondes ainsi que du contenu informationnel originalement transmis peut avoir des conséquences dramatiques si non détectés et corrigés.

Risques potentiels associés au non-suivi des évolutions : Augmentation de la surface d'attaque à tout brouillage et usurpation d'identité (spoofing). Diminution des capacités de détection, de communication, d'interopérabilité. Vulnérabilité face aux attaques cybernétiques. Problèmes pour garantir la fiabilité des systèmes autonomes (et apprenant).

Informatique quantique

En devenant réalité, l'informatique quantique libérerait une puissance de calcul qui rendrait instantanément obsolète toutes les méthodes de cryptographies traditionnelles, remettant en cause la sécurité des données et augmentant la pression de cyber-attaques. Cette puissance de calcul permettrait également la modélisation et simulation de nouveaux processus chimiques et pharmaceutiques impossibles avec l'état de l'art actuel. Quantités de scénarios pourraient être évalués simultanément et permettre le choix d'une solution optimale dans beaucoup de problèmes complexes aux innombrables paramètres (gestion du trafic urbain et des flux financiers, études cognitives, etc).

Risques potentiels associés au non-suivi des évolutions : Vulnérabilités accrues dans le domaine informatique par rapport aux cyber-attaques. Perte de compétitivité dans la découverte de nouveaux matériaux, médicaments, produits pharmaceutiques et chimiques. Ralentissement relatif du cycle OODA. Dépendance stratégique par rapport à qui détient la technologie.

Technologies spatiales

Des constellations de plusieurs centaines de satellites afin d'offrir une connectivité Internet à l'ensemble de la planète, tout cela réalisé par des entreprises privées ! Le domaine du spatial subit une démocratisation à tous les échelons. Le lancement de satellites, les télécommunications ainsi que l'observation de la Terre à images et vidéos à très hautes résolutions (Illustration 5) ne sont plus des services à disposition uniquement des gouvernements. Ce changement de dynamique offre de nombreuses opportunités, mais nécessite une gestion de l'espace nettement plus stricte, ne serait-ce qu'avec la densité grandissante de ces corps en orbite autour de la terre et la présence de débris spatiaux représentant un vrai défi pour la sécurité et la résilience des services.

Risques potentiels associés au non-suivi des évolutions : Dépendance pour l'accès à certains services ; Il est important de savoir ce qui est visible de la Suisse, de quel manière, à quel moment, avec quelle précision, de manière à pouvoir anticiper toute action. La technologie spatiale est l'unique solution permettant de détecter suffisamment tôt le lancement de missiles de dernière génération, principalement si l'on pense à ceux hypervéloces mentionnés précédemment.

Biologie de synthèse

Manipuler le vivant pour le rendre plus performant, plus résistant et le façonner de façon à répondre à des besoins spécifiques est un jeu dangereux mais fascinant. Être à même de produire biologiquement certains composants, de modifier ou d'éradiquer certains virus présente des opportunités infinies, mais les conséquences et dangers à long terme sont loin d'être connus.

Risques potentiels associés au non-suivi des évolutions : Mauvaise compréhension des risques encourus et par là-même une préparation insuffisante ou inadaptée aux menaces représentées par certains nouveaux produits. Méconnaissance de nouveaux composants et de systèmes biologiques n'existant pas dans la nature et pouvant modifier ou optimiser la production de certains produits, permettant une amélioration des propriétés (poids, résistance, etc) par rapport à celles naturelles.

Pour les lecteurs qui se poseraient la question de la cybersécurité, de l'utilisation du blockchain, de la cryptologie, etc, ces compétences sont bien entendu d'intérêt majeur et sont transversaux à de nombreux domaines cités dans cet article. Au sein d'armasuisse S+T ces thèmes sont traités en détail par le Cyber-Défense Campus³.

Comment gérer l'incertitude dans l'anticipation ?

S'il est important d'avoir un suivi de ces différentes évolutions, il est tout aussi primordial de pouvoir anticiper quels avantages ces technologies peuvent apporter à un système existant ou à une capacité présente, et surtout de les prioriser. Cela est l'occasion de mettre en contact des experts de différents horizons (opérationnels, de systèmes, technologiques, etc).

Pour ce faire, la Confédération Suisse développe un outil de prédiction, CREDO, en partenariat avec IDSIA⁴, l'Institut en intelligence artificielle à Manno au Tessin, et plus précisément avec son groupe de scientifiques spécialisés dans le domaine des probabilités incertaines⁵. CREDO n'est pas une boule de cristal mais une aide à la prise de décision. C'est un outil de modélisation

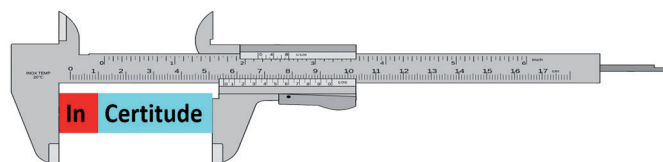


Illustration 6 : Prise en compte de la notion d'incertitude dans la prédiction d'un possible futur. La différence entre le risque et l'incertitude est que le risque est lié à une forme de certitude, à ce que l'on peut calculer avec plus ou moins de précision, donc au mesurable. L'incertitude par contre est ce que l'on ne connaît pas, ce que l'on ne peut pas ou ne sait pas calculer: on ne peut donc que l'estimer mais...sans certitude.

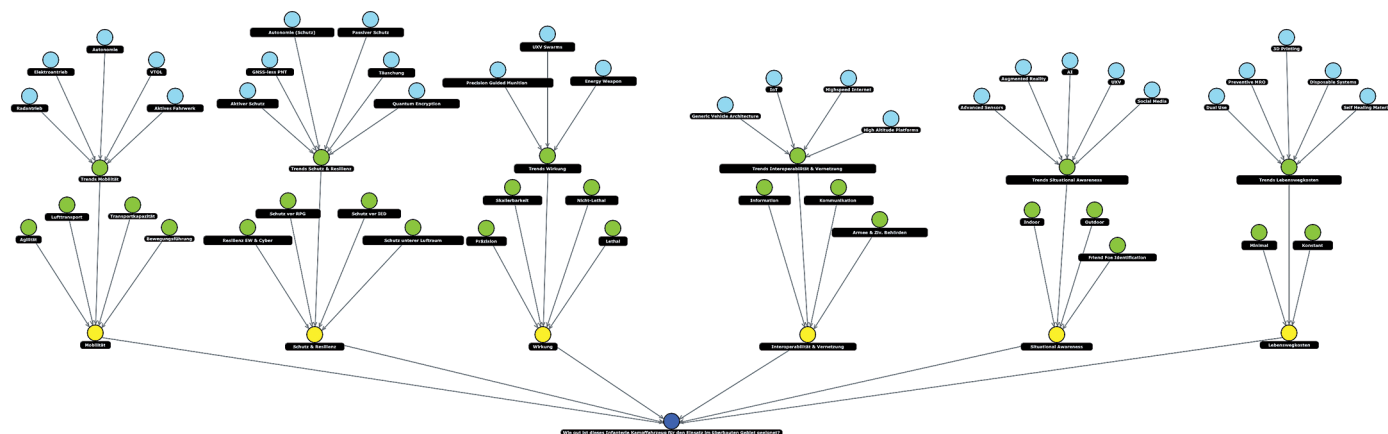
permettant de construire et de représenter visuellement un problème, en mettant en relation les différents acteurs, facteurs, paramètres et causes imbriquées qui font partie de la situation.

La particularité de CREDO est d'offrir aux experts d'un domaine la possibilité naturelle de ne pas être sûrs, d'hésiter, d'avoir des doutes et de ne pas tout savoir, car il y a plus à apprendre dans ce que l'on ignore que dans nos certitudes, et bien souvent le futur se cache sous le voile de l'imprévisible.

Afin d'illustrer la relation entre la prospective technologique et la méthode CREDO, nous avons choisi d'estimer leurs impacts probables sur l'aptitude technique d'un nouveau véhicule (Technologie Bewertung Bodensysteme 2030+). Concrètement, les experts ont modélisé le problème en élaborant un graphe représentant de manière hiérarchique l'influence de quarante-huit facteurs sur différents aspects intermédiaires,

Illustration 7 : Représentation graphique causale de la question principale: « dans quelle mesure ce type de véhicule est-il adapté à une utilisation dans les zones fortement urbanisées ? ». Explication des critères en fonction de leurs couleurs: en bleu (tout en haut): 28 technologies clés du futur pouvant influencer le choix du véhicule; en vert (milieu): 26 aspects liés aux aptitudes fonctionnelles des véhicules; en jaune (en bas): six domaines d'influence; et tout en bas: la question principale.

CREDO Modell Technologiebewertung Bodensysteme 2030+



³ https://www.ar.admin.ch/fr/armasuisse-wissenschaft-und-technologie-w-t/cyber-defence_campus.html

⁴ <http://www.idsia.ch/>

⁵ <http://ipg.idsia.ch/>

CREDO
Modell
Technologiebewertung
Bodensysteme 2030+

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport VBS

armasuisse
Wissenschaft + Technologie
Forschung & Operations Research

IDSIA
Istituto Dalle Molle di studi sull'intelligenza artificiale

Configuration

Elektroantrieb: Hat ein Elektroantrieb disruptive Auswirkungen auf die Mobilität ? #36	Tie
Autonomie: Hat Autonomie disruptive Auswirkungen auf die Mobilität? #28	Tie
VTOL: Hat VTOL disruptive Auswirkungen auf die Mobilität? Wie stark verbessert sich die Mobilität in überbautem Gebiet wenn ein Fahrzeug fliegen kann. #13	Tie
Aktives Fahrwerk: Hat ein aktives Fahrwerk disruptive Auswirkungen auf die Mobilität ? #36	Tie
Transportkapazität: Wie stark beeinflusst die Transportkapazität die Mobilität in überbautem Gebiet ? Tiefe Transportkapazität: Nur der Fahrer Hohe Transportkapazität: > 4 Personen inkl. Ausrüstung #8	Ho
Bewegungsführung: Wie stark beeinflusst die Bewegungsführung die Mobilität in überbautem Gebiet? Bewegungsführung beschreibt die Fähigkeit der freien Bewegung in überbautem Gebiet trotz Hindernissen (Minen, Blockaden, Trümmer, Menschen, etc.) Hohe Bewegungsführung: Fahrzeug hat kleine Abmessungen, ist leicht, weisst eine gute Umsicht auf (Personen in Fahrzeugnähe, und kann sich über Hindernisse rasch fortbewegen (Vgl. Panzersperre)) #3	Ho

Stored Configurations
Best case without trends Delete
Export Save
Show scores: ☒

Configuration Results Compute Show Change

Illustration 8 : Online web CREDO. Possibilité de choisir un scénario parmi cent mille milliards et de visualiser son impact en temps réel sur la question posée. Le choix du scénario se fait en sélectionnant pour chacun des quarante-huit facteurs l'état « Tief (faible) » ou « Hoch (fort) », à droite sur l'image (seulement six facteurs sont ici visibles). Pour chaque scénario, l'importance des facteurs dans le « jeu des influences » est proportionnelle à la longueur des barres bleues. Exemple : le facteur « Bewegungsführung/contrôle de mouvements » est en troisième position (#3) alors que « Elektroantrieb/moteur électrique » occupe la 36^{ème} place sur un total de quarante-huit. Une barre verte indique que ce facteur peut avoir une contribution positive si son état est modifié (« Hoch » au lieu de « Tief »). Plus la barre verte est longue, plus ce facteur apporte une contribution positive si on modifie son état, cela signifie ici que plus un véhicule sera adapté à une zone fortement urbanisée. Une barre rouge signifie que si ce facteur change d'état (« Tief » au lieu de « Hoch »), il aura une contribution négative.

en se propageant par cascades de causes à effets vers la question principale: *dans quelle mesure ce type de véhicule est-il adapté à une utilisation dans les zones fortement urbanisées ?*

L'illustration 7 peut se comprendre simplement comme un arbre: en bas, le tronc est la question principale que l'on se pose, puis au-dessus les six branches symbolisent six domaines d'influence principaux (en jaune), plus haut vingt-six fonctionnalités propres aux véhicules (en vert) et finalement tout en haut, les feuilles (en bleu) qui sont comme des capteurs sensibles aux nouvelles technologies et tendances. Dans l'exemple de savoir si un véhicule est adapté pour une utilisation en milieu fortement urbanisé, nous avons, en jaune, les domaines d'influence principaux d'un véhicule: mobilité, protection et résilience, action, interopérabilité et mise en réseau, connaissance de la situation (situational awareness) et coûts. En considérant le domaine de la mobilité, les fonctionnalités suivantes (en vert) ont été retenues: agilité, transport par les airs, capacité de transport, contrôle de mouvements et les nouvelles tendances pour la mobilité. Composant ces nouvelles tendances, nous nous sommes limités à prendre en compte les éléments suivants (bleu) : Nouvelles possibilités d'entraînement par roue (et non chenilles),

moteur électrique, autonomie, appareil volant avec décollage vertical (VTOL), châssis actif.

A partir des quarante-huit critères, CREDO génère 10^{14} scénarios⁶, soit cent mille milliards de futurs probables, avec pour chacun son degré de plausibilité, son impact sur la question posée et son incertitude. De plus, et c'est là que réside vraiment toute la nouveauté et la puissance de CREDO, les experts peuvent choisir un scénario de départ, puis automatiquement obtenir la liste des critères les plus importants dont il faut tenir compte pour atteindre au plus vite un scénario désiré. En d'autres termes, à partir d'une situation initiale donnée, CREDO propose le chemin le plus efficace pour atteindre la situation voulue. Cela permet de prioriser les facteurs clés (Illustration 8), de réduire au minimum les étapes de changements, de minimiser les risques, d'économiser de l'argent et de gagner du temps.

Ce dialogue structuré grâce à l'outil CREDO entre experts technologiques et experts opérationnels permet donc dans cet exemple d'anticiper l'importance et l'impact des nouvelles technologies sur le développement des futurs véhicules destinés aux zones urbaines. De façon plus

⁶ Chaque facteur possède deux états distincts, ce qui au total génère $2^{48} \approx 2.8 \cdot 10^{14}$ combinaisons possibles. Cela représente autant d'étoiles que dans mille galaxies semblables à notre voie lactée...

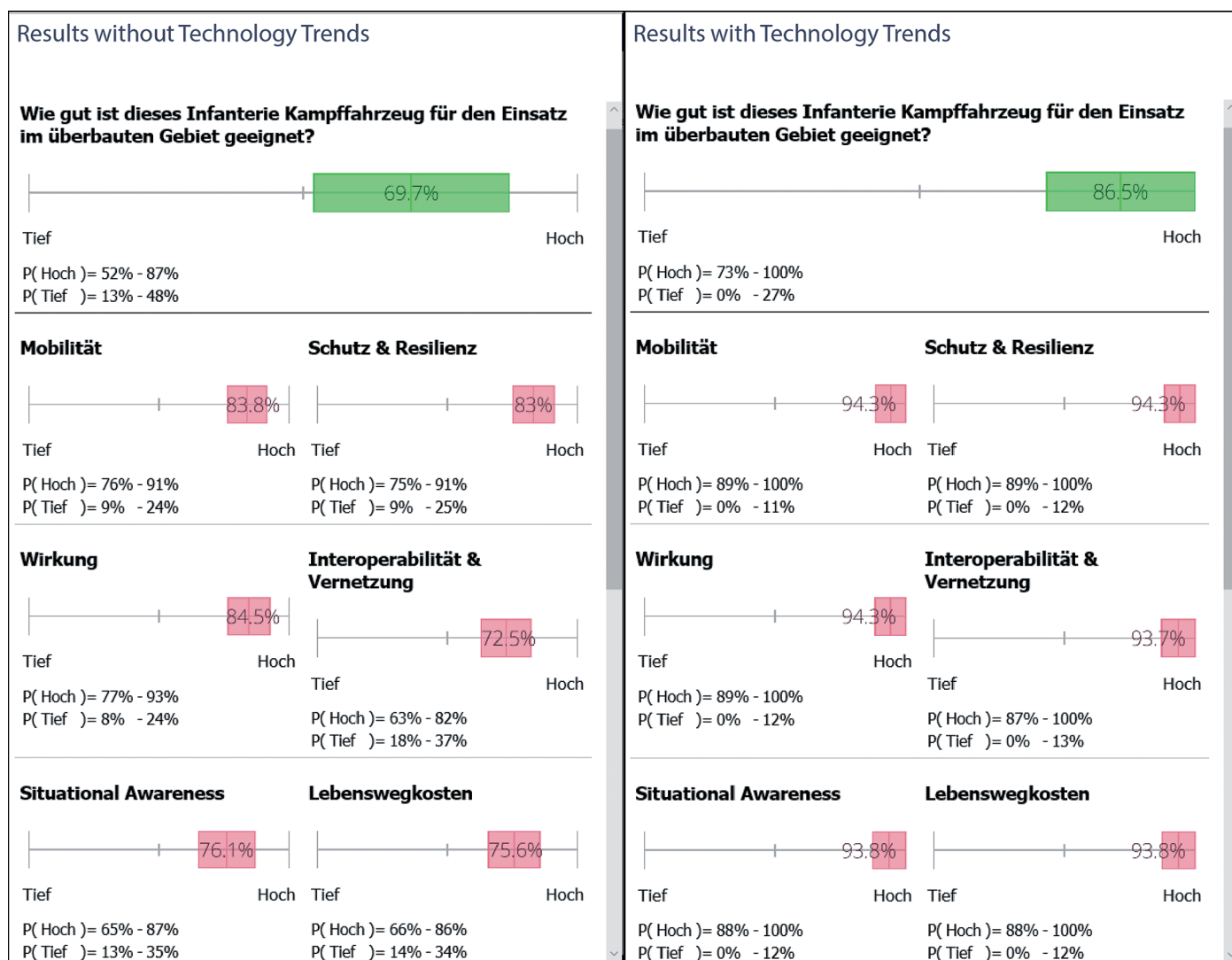


Illustration 9 : Online web CREDO. Visualisation des résultats pour deux situations différentes: **avec** et **sans** les technologies futures. La réponse à la question principale se trouve tout en haut (en vert); celles concernant les six domaines sont en-dessous. L'incertitude de chaque résultat est montrée par des rectangles colorés. Plus le rectangle est long, plus l'incertitude est grande. Les valeurs indiquées correspondent aux valeurs moyennes (centre de l'intervalle). On voit clairement que les technologies du futur ont un impact important sur la question posée.

générale pour tout cas de figure, en fonction des priorités et du budget disponible, les domaines technologiques stratégiques futurs peuvent ainsi être identifiés et priorisés en toute transparence et connaissance de causes. La prospective technologique n'est de loin pas une science exacte, mais il est désormais possible de matérialiser cette « inexactitude », paramètre primordial à toute prise de décision (Illustration 9). Comme le disait si bien Niels Bohr, « *La prédiction est un exercice très compliqué, spécialement quand elle concerne le futur* »⁷; considérant le monde actuel et les nouvelles interactions fédérant chaque jour d'innombrables innovations et inventions, on ne peut certainement pas lui donner tort !

Les illustrations 1 à 5 sont extraites de la bande-dessinée «CH-2050 The Future Soldier » disponible sous <https://deftech.ch/publications>. Dessins de Matthieu Pellet et graphisme de Annie Seiko Rubattel.

Liens :

armasuisse Sciences et Technologies : <https://armasuisse.ch/wt>
 programme de prospective technologique : <https://deftech.ch/wt>
 produits du programme de veille: <https://deftech.ch>

Q. L., P. L.

⁷ Physicien danois (1885-1962). Un des pères fondateurs de la mécanique quantique. Prix Nobel de physique 1922.