



È T L B S I N I



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

armasuisse



INVISIBILITÉ

Office fédéral de l'armement
armasuisse Sciences et technologies
Gestion de la recherche et de recherche opérationnelle
Feuerwerkerstrasse 39, CH-3602 Thun

ISBN: 978-3-9525653-7-7

contact: quentin.ladetto@armasuisse.ch

DES CAHIERS D'EXERCICES

pour anticiper les ruptures

Deftech, le programme de prospective technologique d'armasuisse Sciences et Technologies, a pour objectif d'anticiper les usages de rupture pour la défense suisse.

Cette anticipation repose sur une compréhension de technologies et de leurs évolutions combinées. Il faut appréhender les effets qu'elles produiront et la manière dont elles pourront être utilisées pour relever différents défis. Pour y arriver, on doit aussi envisager les différentes situations futures et réfléchir aux contextes dans lesquels pourraient évoluer ces technologies.

Les cahiers ***deftech exploration*** s'inscrivent dans cette démarche. Ils proposent une exploration-compréhension de différents domaines technologies ainsi que de thématiques liées à un ou à la convergence de ceux-ci.

Chaque cahier est organisé selon une même structure. Vous y trouverez une présentation de la technologie, des actualités liées au thème et de courtes fictions prospectives. Ces différents éléments sont accompagnés d'exercices qui vous aideront tant à explorer les différentes facettes des domaines technologiques qu'à vous projeter dans le futur. Le format standard A4 permet indistinctement une impression et reliure chez un professionnel tout comme l'impression sur une imprimante de bureau.

L'exploration accompagnée des exercices peuvent être effectués individuellement, mais ils sont aussi pensés pour un travail à plusieurs lors d'ateliers.

Invisibilité

Être invisible sur le champ de bataille offre un intérêt certain, mais il devient légitime aujourd'hui de se poser la question de l'invisibilité par rapport à quel type de senseur, dans quelle sphère opérationnelle et dans quelle situation ! Est-il possible de disparaître des écrans sur l'ensemble du spectre électromagnétique ?

Fort est à parier qu'avec les évolutions technologiques, nous serons forcés d'opter pour une invisibilité temporaire, spécifique à l'accomplissement d'un effet désiré. Que ce soit par camouflage, dissimulation ou leurre, les défis sont bien présents et l'ingéniosité à mettre en place pour les résoudre en font des domaines passionnants.

Nous espérons avec ce cahier fournir une introduction et une vue d'ensemble des pistes de recherche et d'innovation poursuivies.

Bonne lecture, ou plutôt, bonne exploration !



Quentin Ladetto

Responsable prospective technologique
armasuisse Sciences et Technologies

C'EST QUOI L'INVISIBILITÉ ?

1

L'invisibilité désigne la capacité à rendre quelque chose invisible, c'est-à-dire imperceptible aux yeux humains ou à d'autres formes de détection.

L'invisibilité d'un objet ou d'un humain dépend de l'observateur. Elle diffère si c'est un être vivant ou une machine.

L'INVISIBILITÉ EST LIÉE À UN OBSERVATEUR

L'observateur est un être vivant

Son œil, ses oreilles, son nez, ses capteurs ne repèrent pas la présence d'un objet ou une chose.

→ **ACTUS**
V C L n s

Moustique trompé

Une société californienne, *ieCrowd* développe une cape d'invisibilité antimoustiques. Un patch collé sur les vêtements rend la personne invisible aux moustiques pendant 48 heures.

Le moustique repère les humains avec le dioxyde de carbone qu'ils dégagent. Les composés du patch inhibent le système olfactif du moustique. Comme il ne perçoit plus le CO₂, il ne pique plus.

Cette solution est en priorité destinée à la population touchée par le paludisme.

L'observateur est une machine

Les radars, caméras et autres dispositifs ne détectent pas la présence d'une personne ou d'un objet.

Les radars sont des machines actives ou passives

➔ Radar actif

Il détecte une cible en émettant des ondes électromagnétiques et en recevant des échos en retour quand elles rencontrent un obstacle. Le temps écoulé entre l'émission et le retour de ces ondes détermine la position de l'objet ainsi repéré.

➔ Radar passif

Il n'émet aucune onde. Il utilise celles émises par les émetteurs de radio et de télévision et par les réseaux de téléphonie mobile.

Ces ondes sont réfléchies dès qu'elles rencontrent un obstacle (un avion, un navire), puis sont captées par le récepteur du radar passif.

Comme c'est juste un détecteur, le radar passif est indétectable.

En revanche, il ne fonctionne que s'il y a suffisamment d'émetteurs d'ondes dans les environs et que les signaux reçus sont assez forts.

ACTUS



Below the word ACTUS, the letters V, C, L, n, and 2 are shown in a stylized, outlined font, appearing to be part of a larger graphic or code.

Fuir aux radars

Le 11 février 2015, Yoann Barbereau est victime d'un « *kompromat* » (terme russe désignant des documents compromettants, authentiques ou fabriqués utilisés pour nuire à une personne). Il est emprisonné.

Le 11 septembre 2016, il échappe de sa surveillance en recouvrant son bracelet électronique d'aluminium. Les ondes émises sont réfléchies et enfermées par l'aluminium. Le récepteur ne reçoit plus le signal et le français devient invisible pour les radars.

Après une cavale de deux ans et demi et 8 000 kilomètres parcourus, Yoann Barbereau réussit à se réfugier en France.

Les appareils d'observation sont de plus en plus performants

Avec le James-Webb Space Telescope, on voit au-delà de ce que l'humanité a déjà regardé.

Bill Nelson

«L'homme est la mesure de toute chose», croyait en son temps le penseur antique grec Protagoras.

Les progrès de la science ont toutefois rapidement montré que ce qui nous entoure n'est qu'un petit aperçu, très partiel, de ce qui est. Il existe également un monde de l'immensément grand à l'infiniment petit, qui se trouve hors de notre perception courante.

Avec les évolutions technologiques, les mondes de l'infiniment petit et de l'infiniment grand lèvent des voiles en permanence.

→ Infiniment petit

L'invention de la loupe est attribuée à Roger Bacon, un moine savant du XIII^e siècle.

Aujourd'hui on observe l'infiniment petit avec des microscopes à effet tunnel et des microscopes à force atomique. Ils permettent de cartographier des surfaces avec une précision allant jusqu'à l'angström (10⁻¹⁰ m).

→ Infiniment grand

Lancé en décembre 2021, le *James-Webb Space Telescope* observe l'espace à 1,5 million de kilomètres de la Terre. « On voit au-delà de ce que l'humanité a déjà regardé », a déclaré le patron de la NASA Bill Nelson.



LES SATELLITES AIDENT À VOIR L'INVISIBLE

La télédétection utilise la lumière réfléchie pour surveiller les caractéristiques physiques, biologiques et même chimiques d'une zone. Grâce à ces techniques, il est possible de voir des choses qui sont normalement invisibles.

Le satellite *Copernicus Sentinel-5P* est équipé d'un spectromètre atmosphérique mesurant la pollution de l'air. Il surveille ainsi des changements presque invisibles sur Terre.

La résolution augmentant, on pourra demain inspecter les champs depuis l'espace.

Dr Valentina Tamburello, University of Zurich, RSL, NPOC

ILS EN PARLENT



La technologie peut aussi faire évoluer les capacités de l'observateur humain.

ACTUS →

VCLn2

Voir dans le noir

Des chercheurs l'université des *Sciences et Technologies de Hefei* (Chine) ont réussi à doter des souris de vision infrarouge. Ils leur ont injecté des nanoparticules dites « à conversion ascendante » qui convertissent les photons IR en photons dans le spectre visible. Ces nanoparticules se sont fixées sur les photorécepteurs de l'œil. Selon les chercheurs, cette procédure pourrait s'appliquer aux humains.

2038 FICTION ↘

À la chasse

➔ Depuis qu'on lui avait installé la vision infrarouge, Max voit aussi bien la nuit que le jour. Maintenant, il aimerait devenir invisible pour les chasseurs qui le sollicitent pour repérer les animaux sauvages dans la forêt.

À l'avenir, chacun aura droit à son quart d'heure d'invisibilité mondiale !

« À l'avenir, chacun aura droit à son quart d'heure de célébrité mondiale », écrivait Andy Warhol en 1968.

Un bon demi-siècle plus tard, le défi pourra être de devenir invisible pendant le même temps. L'affaire risque de ne pas être simple vu la multiplication des systèmes d'observations.

Vu du ciel

On peut vous observer depuis les satellites. Aujourd'hui, les satellites prennent des photos de la Terre pour surveiller le climat et l'environnement, pour la communication et la navigation, et pour de nombreuses autres applications.

La qualité de la résolution ne permet pas encore de distinguer les individus. Mais, vu les évolutions des technologies, cela pourrait arriver dans un futur proche. On pourra alors relier une image satellitaire avec une banque de données numériques.

Il est également possible de voir des personnes en utilisant des caméras placées sur des drones ou des avions.

Souriez, je vous identifie

Les caméras de surveillance ont envahi l'espace public. Des grandes métropoles aux plus petits villages, des entrepôts aux supermarchés, il est difficile de trouver un endroit sur Terre qui ne soit pas quadrillé par des caméras.

La Chine possède plus de 600 millions de caméras. Le gouvernement chinois a investi dans la surveillance de masse. Le pays a basé une grande partie de son système de social scoring sur son réseau de caméras. Traverser hors des clous peut se traduire par une interdiction de voyager !

Les caméras de surveillance dépassent aujourd'hui les capacités de l'œil humain. Elles sont équipées d'une intelligence artificielle qui leur permet d'analyser tous types de données et en particulier les visages.

À Londres, et dans d'autres grandes villes, le « maquillage urbain » devient à la mode. Une certaine façon de se barioler le visage de couleurs vives et de formes géométriques permet de leurrer les algorithmes de reconnaissance faciale, les empêchant de vous enregistrer, et plus tard de vous cibler.

On peut jouer avec les lumières pour aveugler la caméra avec des LED infrarouges fixées à un chapeau.

Des brouilleurs déclenchent un flash lorsqu'un radar de feu rouge tente de flasher un véhicule.



Manteau anti-caméras

Des étudiants chinois ont fabriqué un manteau baptisé *InvisDefense* qui permet de passer devant les caméras de surveillance sans être repéré. Des motifs camouflage générés par algorithme trompent les caméras. La nuit, des dispositifs thermiques intégrés perturbent les capteurs infrarouges.

InvisDefense coûte 500 yuans (71 \$), soit une somme minime pour planter une écharde dans le système de surveillance de masse.

Les étudiants ont indiqué que leurs futures recherches porteraient sur des projets d'invisibilité plus ambitieux (voitures, objets...). Mais avant qu'une Batmobile ou un Invisible Jet ne voient le jour, les étudiants souhaitent contourner d'autres types de caméras, comme celles qui utilisent la télédétection ou encore les satellites.



2038

FICTION

Voiture invisible

➔ Max a recouvert sa voiture d'un manteau qui la rend indétectable aux radars. Il est très fier de dire qu'il peut rouler à grande vitesse en ville vu qu'il ne risque pas d'avoir une amende. Il ne précise pas qu'il ne prend plus sa voiture depuis que d'autres l'ont imité.

Un mouchard dans la poche

Pour devenir invisible, il faut aussi éliminer le mouchard que chacun a dans sa poche. Le smartphone enregistre nos activités et notre géolocalisation. Nous devons renoncer au confort proposé par la technologie.

En prime, il faut aussi faire attention à ses proches. Ils prennent une photo. Vous n'avez pas le temps de réagir que le cliché est déjà sur les réseaux sociaux, à la merci des algorithmes. Tous vos efforts de discrétion sont alors réduits à néant.

ACTUS

VCLn2

Le téléphone tue

Le réveillon de la Saint-Sylvestre 2022 a tourné au bain de sang pour des centaines d'hommes russes mobilisés dans le cadre de l'invasion de l'Ukraine. Entre 89 et 400 soldats russes célébrant le Nouvel An ont péri lors d'un bombardement de l'artillerie ukrainienne.

Les soldats ont été repérés à cause de la géolocalisation de leurs téléphones utilisés massivement pour appeler leurs proches.



Masque pour téléphoner invisible

La start-up française *Skyted* a conçu un masque muni d'un absorbeur de son pour passer des appels silencieux et sécurisés en public.

2038

FICTION

Maquillage
verrouille

➔ Virta a enfin trouvé le moyen d'être invisible. Elle se maquille avec des nanocomposants qui empêchent la reconnaissance. Depuis, elle doit se démaquiller pendant vingt minutes pour déverrouiller son téléphone.

ACTUS →

VCLN2

Parler invisible

Les utilisateurs de médias sociaux ont de plus en plus recours à des mots codés, à des emojis et des fautes de frappe délibérées. Ce qu'on appelle l'algospeak évite que les intelligences artificielles chargées de la modération des applications suppriment le contenu.

2038

FICTION ↘

Drone de surveillance

➔ Depuis que son père n'a plus toute sa tête, Mélinda a investi dans un drone de surveillance qui le suit dès qu'il sort de chez lui. Depuis quelques jours, elle est inquiète. Les drones étant partis faire la guerre, son père est invisible.

Disparition

Nous sommes en 2050. Votre challenge est de devenir invisible.

Comme la ville est envahie par des radars, des caméras de surveillance, des capteurs, des intelligences artificielles qui enregistrent toutes les données, l'affaire va être compliquée.

- ① Indiquez pourquoi vous voulez devenir invisible ainsi que la durée souhaitée pour votre invisibilité.

Imaginez de nouveaux contextes sociaux, politiques ou (et) des technologies disruptives.

Exemple : La ville a été privatisée. Il faut un passe pour se promener dans certains quartiers. Vous n'avez pas l'argent nécessaire.

- ② Envisagez une combinaison de moyens pour y arriver.
*Exemple : Vous utilisez un algospeak pour que les intelligences artificielles ne comprennent pas vos messages.
Vous enfillez des peaux d'ours et marchez à quatre pattes...*

PS: N'HÉSITÉZ PAS À VOUS ÉGARER DANS L'ABSURDE.
IL Y AURA DANS LA MASSE D'IDÉES, QUELQUES PERLES.



- ③ Réunissez toutes les moyens utilisés par les participants. Utilisez-les pour construire un prototype d'invisibilité pour le soldat de demain. Envisagez ses limites.

① →

② →

③ →

L'invisibilité est un thème récurrent dans la science-fiction, qui a été exploré de nombreuses façons dans les romans, les films, les séries télévisées et les jeux vidéo. Elle est présentée comme une capacité surhumaine ou comme un gadget technologique qui permet à une personne ou à un objet de devenir invisible.

Les héros invisibles sont des personnages puissants et mystérieux qui utilisent leur capacité d'invisibilité pour protéger les autres et lutter contre le crime.

Ils utilisent différents moyens pour devenir invisibles. Quelques exemples :

Des outils

Le Seigneur des Anneaux (J.R.R. Tolkien) possède un anneau magique qui lui permet de devenir invisible.

Harry Potter (J.K. Rowling) a une cape d'invisibilité.

Les héros de *Star Trek* ont des combinaisons de camouflage.

Spider-Man (Marvel), ainsi que ses vêtements, a la capacité de réfracter la lumière. Il se mélange avec son environnement.

Des potions

Dans *l'homme invisible (H.G. Wells)* crée une formule scientifique qui lui permet de devenir invisible.

Dans *Le Secret de Wilhelm Storitz (Jules Verne)*, Wilhelm Storitz utilise une potion d'invisibilité concoctée par son père pour assouvir sa vengeance envers la famille de la jeune fille qu'il souhaitait épouser.

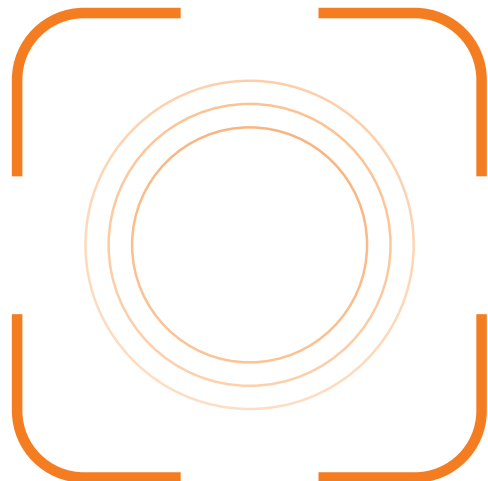
Des propriétés étonnantes

M. Fantastic (Marvel) possède la capacité de devenir invisible en étirant son corps.

Ant-Man peut diminuer de taille et devenir invisible à l'œil nu.

Martian Manhunter (DC) peut changer de forme, voler, se régénérer. Il devient invisible en faisant perdre aux biopolymères de son corps leur capacité à réfléchir la lumière.

Sue Storm, ou *Sue Richards*, première héroïne féminine de Marvel, peut non seulement devenir invisible, mais peut aussi traverser des objets solides.





Les superhéros de l'invisible

**Vous êtes un super héros.
Vous avez un superpouvoir
d'invisibilité.**

- ① Définissez-le.
Comment procédez-vous pour devenir invisible ?
Qu'est-ce que votre invisibilité vous permet de faire ?
Quelles sont ses limites de votre pouvoir ?

Comme ce n'est pas tous les jours qu'on est un superhéros, profitez-en pour ne pas limiter votre créativité. Envisagez un superpouvoir d'invisibilité pas encore exploré.

Exemples : Vous devenez infiniment petit. Votre corps se confond avec les décors. Vous rendez les autres aveugles...

- ② Vous avez ce pouvoir d'invisibilité pour une minute, une heure, 24 heures. Racontez comment vous allez l'utiliser.



- ③ Mettez en commun les expériences d'invisibilité et définissez ensemble la charte éthique de l'invisibilité. Cette charte intègre bien entendu l'invisibilité face à l'ennemi.

①



②



③



DEVENIR INVISIBLE

2

JOUER AVEC LA LUMIÈRE

Un objet ou un individu est visible parce qu'il diffuse la lumière qui arrive à sa surface. Être invisible, c'est savoir jouer avec la lumière.

Un objet est visible parce qu'il diffuse la lumière qui arrive à sa surface. Il réfléchit, émet ou transmet de la lumière.

➔ Pour qu'un objet soit visible par l'œil humain, il faut que...

- Il soit éclairé. Il réfléchit la lumière captée par l'œil.
- Il émet de la lumière (lampe, étoile...).
- Il est transparent, mais éclairé par une source de lumière derrière lui.

➔ Pour recevoir la lumière, il faut que...

- L'œil doit être orienté de manière à ce que la lumière émise par l'objet puisse pénétrer dans la pupille. L'œil est un récepteur qui la convertit en messages nerveux transmis au cerveau par le nerf optique. Le cerveau interprète les messages et reconstitue une image.
- La quantité de lumière émise par l'objet est suffisante.
- L'espace entre l'œil et l'objet laisse passer la lumière.

Dans l'obscurité totale, les hommes et les objets sont invisibles pour l'œil humain. Ils ne le sont pas à un « œil » voyant le rayonnement électromagnétique des objets.

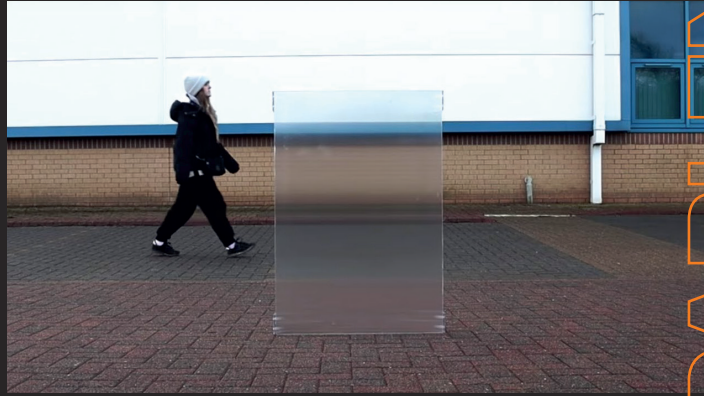
RECHERCHES INVISIBLES

Les recherches sur l'invisibilité sont orientées sur la manipulation de la lumière.

L'objectif n'est pas de rendre un objet invisible, mais de le faire disparaître du champ de vision des humains et de détection des machines.

L'invisibilité par réflexion

L'invisibilité par réflexion consiste à donner l'illusion que l'objet est invisible en détournant les ondes lumineuses.



LE BOUCLIER D'INVISIBILITÉ

Le bouclier d'invisibilité *HyperStealth* est constitué d'un matériau fin, léger et transparent.

Il utilise une lentille à double face décalée. L'indice de réfraction négatif du bouclier crée une invisibilité à large bande en courbant la lumière ultraviolette et infrarouge à ondes courtes. Bloquant les signatures thermiques, il rend invisible une personne à l'œil nu et aux détecteurs laser et LIDAR.

Les applications militaires sont la dissimulation du matériel et du personnel de défense. De nombreuses batailles utilisent des drones pour identifier les cibles. Le bouclier *HyperStealth* rend les cibles invisibles. Les drones protégés avec ce bouclier ne peuvent pas être détectés.

HyperStealth travaille sur la version 3 du bouclier d'invisibilité qui utilisera des ondulations quantiques.

Guy Cramer, président et directeur général de HyperStealth Biotechnology Corporation





Scénarios invisibles

2028.

Le bouclier d'invisibilité est à la fois rigide et souple. Différents usages sont envisageables.

1 → Un pilote saute en territoire ennemi. Son parachute en matériau invisible cache sa chute. Il se couvre avec le parachute. Devenu invisible, il attend les secours.

2 → Un débarquement est envisagé. Les soldats enfilent des combinaisons qui les rendent transparents. Ils s'infiltrent dans les défenses sans être détectés.

3 → Les avions sont rangés dans des hangars invisibles. Ils sont indétectables des satellites-espions, des drones aériens ou des yeux des ballons de surveillance à toute heure du jour ou de la nuit.

4 → Le sous-marin est emballé dans la protection d'invisibilité. Il reste caché à la surface et sort son périscope sans être vu.

5 → Les soldats peuvent pénétrer dans les bâtiments sans être vus.

6 → Les chars sont invisibles. Les ennemis ne savent pas s'ils sont encerclés.

7 → Le tireur d'élite peut s'approcher de sa cible. Il peut avancer en terrain découvert.

2050.

On produit industriellement des boucliers d'invisibilité à un bon prix.

- ① Imaginez cinq scénarios où il est utilisé dans la vie civile et cinq pour l'armée.

Vous avez fait un saut dans le temps. Envisagez un monde et des armées qui ont évolué, voire radicalement changés.



- ② Créez une carte des futurs usages de ce matériau d'invisibilité en rassemblant ceux qui sont similaires ou proposés dans le même secteur.

Pour chaque groupe, définissez les atouts et les limites de cette invisibilité.

→ ACTUS

Petit, mais méga invisible

Des scientifiques du *Lawrence Berkeley National Laboratory (Berkeley Lab)* du *Département américain de l'énergie (DOE)* et de l'*Université de Californie (UC) Berkeley* ont mis au point une cape d'invisibilité ultramince qui épouse la forme d'un objet.

Cette microcape est recouverte de nanoantennes en or. Cette couverture a à peine 80 nanomètres d'épaisseur. La cape peut être activée ou désactivée simplement en changeant la polarisation des nanoantennes.

Cette cape peut pour l'instant cacher des objets de la taille de cellules. Selon les chercheurs, les principes développés devraient pouvoir s'appliquer un jour à de grands éléments.

L'invisibilité par réfraction

L'invisibilité par réfraction consiste à faire réfracter la lumière vers l'arrière. C'est-à-dire dans un angle opposé à celui auquel elle est entrée dans le matériau. Cela fonctionne si le matériau a un indice de réfraction négatif. L'objet doit aussi avoir un indice de réfraction identique ou très similaire au milieu qui l'entoure.



Invisibilité thermique

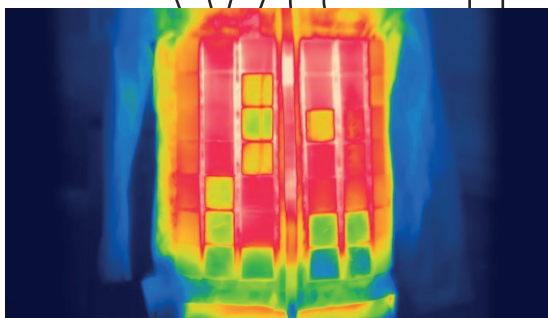
La marque de vêtements *Vollebak* a créé une veste d'invisibilité thermique.

Le prototype est recouvert de 42 carrés composés d'une centaine de couches de graphène. Chaque carré est connecté par des fils en or et cuivre et programmé par microcontrôleur intégré à la veste.

En appliquant une tension électrique sur les carrés, des ions sont poussés entre les couches de graphène. Plus il y a d'ions, moins le carré émet de rayonnement thermique et plus il semble froid. En augmentant le nombre de carrés et en réduisant leur taille, il sera possible de ne pas se faire repérer par une caméra thermique.

Théoriquement, la veste n'est pas limitée au spectre infrarouge. Selon les chercheurs, avec suffisamment d'énergie, il sera possible de changer la couleur du graphène dans le spectre visible. Avec cette technologie on peut donc espérer avoir un jour une vraie cape d'invisibilité.

ACTUS



La transparence

L'invisibilité se caractérisant par une absence de réfraction de la lumière, la forme la plus naturelle d'invisibilité est un objet qui est transparent. C'est à dire a la capacité de laisser passer la lumière.

Fabriquer la transparence

L'équipe de *Viviana Gradinaru* de l'*Institut de Technologies de Californie* a rendu le corps d'une souris transparent.

Les chercheurs ont plongé le corps de l'animal dans un gel qui, à l'exception des lipides (la graisse), se lie aux molécules biologiques. Ce gel, en se solidifiant, forme une matrice qui maintient la structure de l'organe ou du corps. Ensuite, ils mettent la souris dans une solution permettant au gel de pénétrer en profondeur dans les tissus par le système vasculaire.

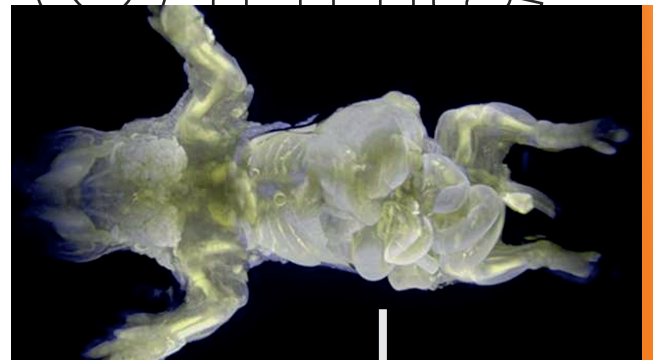
À la fin, la souris ressemble à un bloc de gélatine en forme de rongeur.

Grâce à cette transparence, les chercheurs ont pu cartographier de façon ultra-détaillée le système nerveux de l'animal.

La méthode a peut-être son intérêt. Son défaut majeur est qu'il faille euthanasier l'animal. Il est donc préférable que l'humain attende !

ACTUS

VACCINOS



Les métamatériaux

Au début du XXI^e siècle, le physicien-théoricien anglais *Sir John Pendry* découvre les métamatériaux (méta signifie « au-delà » en grec).

Ces matériaux peuvent être à la fois transparents, métalliques, ou miroirs. À l'aide de trous de formes diverses (cylindriques, carrés), les scientifiques contrôlent la trajectoire des rayons lumineux. S'ils les laissent passer, l'objet est transparent.

Les métamatériaux sont des matériaux artificiels et structurés composés de résonateurs en or ou d'argent. En modifiant les paramètres géométriques des structures qui les composent, et en ajustant l'indice de réfraction, ils peuvent diffuser la lumière de façon contraire aux matériaux « classiques » (aluminium, fer...).

Des physiciens du California Institute of Technology annoncent être parvenus à créer un matériau nanoarchitecturé susceptible de réfracter la lumière vers l'arrière. Pour l'instant, il fonctionne avec de la lumière infrarouge.

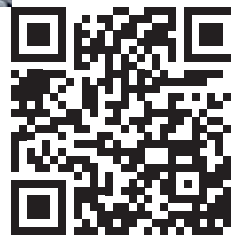
Camouflage

Le principe est de se confondre dans le paysage.

→ ACTUS



ne



Cape caméléon

En 2015, deux chercheurs japonais ont imaginé une cape d'invisibilité basée sur le camouflage. Une petite caméra est située derrière le porteur de la cape. L'image est transmise à un ordinateur. Grâce à un projecteur situé devant le sujet, elle est projetée sur la cape.

La cape affichant ce qu'il se passe derrière, le sujet fond dans le paysage. La cape est faite d'un matériau rétro réfléchissant, comme les réflecteurs de vélo ou les bandes réfléchissantes de certains vêtements.

Est-ce que sortir dans la rue avec une cape fluo, une caméra et un projecteur rendra invisible? On peut en douter. Il faut intensifier les recherches pour que l'homme imite le caméléon.

Les limites techniques de l'invisibilité

Avant qu'un vivant ou une chose devienne invisible, différents problèmes doivent être résolus.

→ La lumière

Les technologies de camouflage optique utilisent des matériaux qui peuvent rediriger la lumière. Il est difficile de rediriger toutes les longueurs d'onde de lumière. L'objet peut encore être visible dans certains spectres de lumière ou sous certains angles de vue.

→ Les diverses formes de détection

Il existe de nombreuses autres formes de détection. La détection thermique, radar ou sonore peuvent révéler un objet même s'il est invisible à l'œil humain.

→ La physique

Des lois de la physique interdisent l'invisibilité complète d'un objet. Par exemple, lorsqu'un objet est en mouvement, il crée des perturbations susceptibles d'être détectées. L'objet exerce des forces sur d'autres objets. Ces interactions révèlent sa présence.

Des animaux utilisent l'invisibilité pour se protéger des prédateurs.

L'invisibilité est un mécanisme utilisé par les animaux et les plantes pour se défendre contre les prédateurs.

Ils utilisent plusieurs dispositifs :

➔ Ils se confondent avec leur environnement en utilisant des caractéristiques physiques (couleurs ou motifs). Les caméléons ont la capacité de changer de couleur pour se fondre dans leur environnement. Les grenouilles poison arboricoles ont des motifs qui se confondent avec les feuilles sur lesquelles elles se perchent. Cette stratégie de survie est utilisée par de nombreux céphalopodes, notamment les poulpes, les calmars et les seiches. La peau de certaines seiches peut générer des motifs dynamiques imitant les taches lumineuses projetées par les vaguelettes de surface de l'eau. Cette prouesse vient du fait que cette peau est constituée de trois couches de cellules pigmentaires : les leucophores prennent une teinte blanche ; les iridophores réfléchissent la lumière et donnent des reflets irisés ; les chromatophores peuvent changer de couleur rapidement.

➔ Ils utilisent le mimétisme. Ils imitent les formes et les mouvements d'autres animaux pour se protéger. Des plantes ressemblent à des feuilles mortes ou à des branches. Des poissons ont des motifs qui ressemblent à ceux du fond marin. Le phalène du bouleau (papillon nocturne) porte une couleur semblable à celle du tronc du bouleau, afin de se rendre invisible.

➔ Ils produisent des éblouissements. Cette bioluminescence déroute les prédateurs qui pensent qu'ils regardent le soleil.

ACTUS

Cachez ce sang que je ne saurais voir !

La grenouille de verre est un amphibien nocturne. Avant d'aller se coucher, elle devient transparente en faisant migrer 90 % des globules rouges de son sang vers le foie. Elle conserve dans le plasma que ce qui est strictement nécessaire à la survie de ses organes. Son foie ne la trahit pas. Des millions de nanocristaux entourant l'organe forment une sorte de miroir qui renvoie la lumière.



Vivons heureux, vivons transparents

La pieuvre de verre est presque complètement transparente. Elle mesure jusqu'à 45 cm avec ses tentacules et vit sous la surface dans les eaux tropicales et subtropicales.

Seuls ses yeux, ses nerfs optiques et son système digestif ne sont pas transparents. Les yeux doivent absorber la lumière pour fonctionner, il n'est donc pas possible qu'ils soient transparents. Les tripes sont trahies par leur contenu, donc à moins qu'un animal ne se nourrisse d'aliments transparents, elles seront visibles. Cette pieuvre améliore sa transparence en orientant son corps pour cacher les éléments non transparents et minimiser son ombre sur le sable.

En voir de toutes les couleurs

Le dimorphisme sexuel est généralement très prononcé chez les oiseaux. Chez un grand nombre d'espèces, les mâles possèdent des plumes aux couleurs plus voyantes, tandis que les femelles se font plus discrètes.

La femelle du colibri Jacobin a des plumages de couleur sombre. *Jay Falk*, chercheur à l'université de Washington, a découvert que près de 20 % des femelles adultes conservent les couleurs vives qu'elles arborent depuis la naissance pour contrer le harcèlement dix fois plus fréquent envers les volatiles de couleurs sombres et donc les femelles. Elles imitent le plumage des mâles pour éviter le harcèlement.





2038

FICTION

Douche de transparence

➔ Depuis qu'on pouvait se doucher avec de la peau de pieuvre de verre, tout le monde était transparent. Il n'y avait plus personne dans la rue. La seule trace d'humanité était la présence de robots chargés de détecter les humains.

Éloigner les prédateurs

Les animaux deviennent invisibles pour se protéger des prédateurs. C'est un moyen de survie.

- 1 Imaginez cinq situations où les humains survivraient ou du moins s'en sortiraient en devenant invisibles.

Nous sommes en 2050. Le monde peut être merveilleux (la technologie a réglé tous les problèmes. Oui, rien n'interdit de rêver !). Ou terrible (cataclysmes dus au réchauffement climatique, inégalités dévastatrices. On peut aussi se faire peur).

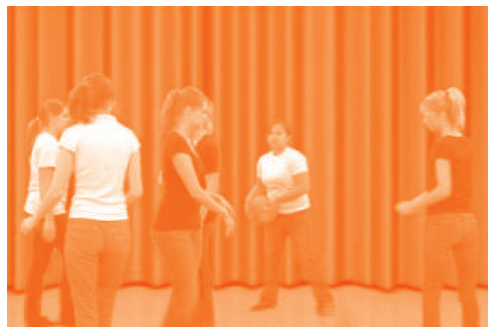


- 2 Après cet échauffement de l'esprit, vous allez envisager une guerre avec des soldats invisibles.

Divisez-vous en deux équipes. Chacune propose une attaque intégrant un objet ou un humain invisible. L'autre déjoue l'attaque.

Notre système visuel nécessite une multitude de points de fixation du regard pour construire une image mentale complète et précise.

Quand l'attention est dirigée sur quelques points, de nombreuses parties d'une scène sont ignorées ou vues en vision périphérique très dégradée. On peut orienter l'attention de multiples manières : une consigne à suivre, une distraction, une émotion...



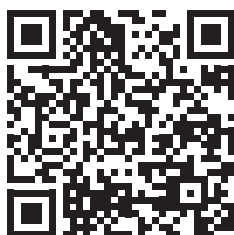
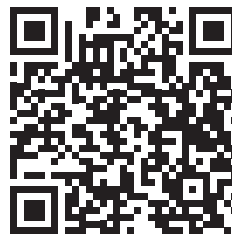
Le test du gorille invisible (« *The Invisible Gorilla* ») a été mis au point en 1999 par *Christopher Chabris* et *Daniel Simons*, deux chercheurs en psychologie cognitive de l'Université Harvard.

Une vidéo présente deux équipes de joueurs de basket, l'une habillée en blanc, l'autre en noir. Les participants doivent compter les passes de l'équipe blanche.

Pendant la partie, une personne déguisée en gorille traverse la scène de droite à gauche. On demande aux participants combien de passes ils ont comptées et s'ils ont vu quelque chose d'étonnant. Plus de 50 % des personnes ne voient pas passer le gorille.

Ce test montre que quand nous effectuons une tâche qui requiert toute notre attention, nous ne prenons en compte un stimulus inattendu. Ce phénomène cognitif est connu sous le nom de cécité d'inattention (traduction de l'expression anglaise *inattentional blindness*).

Le test du singe invisible est ensuite proposé. Les consignes sont identiques. Les participants voient le gorille, mais pas que l'un des joueurs de l'équipe en noir a quitté la scène avec le gorille et que le rideau a changé de couleur.



Ce n'est pas le manque d'attention qui fait que nous ne voyons pas quelque chose, mais le trop d'attention.

Cette étude montre que lorsque notre attention est concentrée sur une chose, on ne remarque pas d'autres choses dans notre champ de vision. Ce n'est pas le manque d'attention qui fait que nous ne voyons pas quelque chose, mais le trop d'attention.

Les facteurs de la cécité d'inattention sont la remarquabilité, la charge cognitive, l'anticipation et la capacité d'attention.

➔ **La remarquabilité** est la capacité d'un objet à attirer l'attention, et en particulier à être aisément visible. La remarquabilité est liée aux propriétés physiques de l'objet : la couleur, la luminosité, la familiarité... Plus la remarquabilité est faible, plus la cécité d'inattention se produit.

➔ **La charge cognitive** est la quantité d'attention consciente mobilisée sur une ou plusieurs tâches. Lorsqu'elle est trop élevée (exemple : on conduit en téléphonant) l'attention diminue.

➔ **L'anticipation** ou le fait de s'attendre à ce que certaines choses se produisent bloque la perception d'autres possibles.

➔ **La capacité d'attention** mesure la quantité d'attention nécessaire pour accomplir une tâche. Un pianiste expert peut jouer un morceau sans y penser. Il est en pilotage automatique. Un débutant est attentif à chaque touche qu'il frappe.

➔ 2038

FICTION

**Cécité
machinale**

➔ L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE EXPERTE RENDIT SON VERDICT

Les caméras de surveillance étaient cassées parce qu'elles souffraient de cécité d'inattention. Elles pouvaient analyser la couleur des yeux, la texture de la peau des personnes dans son champ de vision. En revanche, leurs algorithmes n'identifiaient pas les robots qui utilisaient un lance-pierre pour les détruire.

La guerre cognitive

Regardez les vidéos.

- 1 Quand vous avez bien compris ce qu'est la cécité d'inattention, vous allez l'utiliser pour imaginer de nouvelles stratégies de combats.

Les combats peuvent se passer sur terre, en mer, dans les airs, l'espace et bien entendu le cyberspace.

Comme une idée en entraîne une autre, vous allez imaginer vos stratégies cognitives pour chaque facteur de la cécité d'inattention : remarquabilité, charge cognitive, anticipation, capacité d'attention. (Voir plus haut).

Exemple

Remarquabilité : vous élaborerez des nuages qui représentent les visages des dirigeants de l'armée des ennemis. Les soldats étonnés ne s'intéressent plus aux combats pendant quelques minutes. Nous sommes en 2050, vous pouvez utiliser toutes les technologies pour envisager des leurres.

- 2 C'est parti pour la guerre cognitive. Deux camps. Chacun raconte sa stratégie. Pour rendre plus ludique, donc plus créative, cette aventure, récompensez ceux qui ont les meilleures idées.





**Je suis invisible
parce que les gens
refusent de me voir.**



Dans son roman de 1952 « *Homme invisible, pour qui chantes-tu ?* », l'écrivain afro-américain *Ralph Ellison* met en scène un narrateur noir anonyme confronté à sa propre transparence aux yeux des Blancs :

« *Je suis invisible parce que les gens refusent de me voir, dit-il. [...] Cette invisibilité est due à une disposition particulière des yeux des gens que je rencontre. Elle tient à la construction de leurs yeux internes, ces yeux avec lesquels, par le truchement de leurs yeux physiques, ils regardent la réalité.* »

Puisqu'être visible, c'est exister pour les autres et que sa condition de Noir pauvre le soustrait au regard des Blancs riches de sa ville, il est invisible socialement.

Le concept d'invisibilité sociale est forgé en 1963 par *Edward Clifford*. Ce psychologue différencie la visibilité positive, dans le cas où l'individu est perçu comme contribuant au fonctionnement du groupe et la visibilité négative, quand l'individu est considéré comme gênant pour le fonctionnement du groupe. L'invisibilité sociale existe lorsque l'individu occupe une place, mais n'est pas perçu comme apportant une contribution.

Depuis, l'invisibilité sociale évoque les travailleurs étrangers, les maladies professionnelles non reconnues, le travail domestique des femmes, les minorités religieuses ou sexuelles...



Pour ou contre le filtre d'invisibilité

Nous sommes après-demain. Des génies (c'est eux qui se considèrent comme tels !) ont inventé le filtre « *Plus belle la ville* » qui transforme votre ville en paradis.

En un claquement de doigts, il rend invisibles les poubelles qui débordent ou les personnes qui dorment dehors. Il élimine de votre champ de vision les rats, les moches, les robots. Vous pouvez aussi supprimer les bruits pénibles, les opinions dérangeantes, la pollution. Vous avez le choix entre un nombre incalculable d'options d'invisibilité.

- ① Listez les cinq éléments que vous allez faire disparaître de la ville.
- ② Envisagez les conséquences de cette invisibilité pour la ville : social, environnement, gestion...



- ③ Vous allez créer un débat intitulé « Pour ou contre le filtre d'invisibilité »

Vous vous divisez en deux groupes. Les uns vantent ses mérites. Les autres sont fondamentalement opposés à cette technologie.

Quand vous aurez épuisé vos arguments, imaginez ce que cela changerait pour l'armée si un tel filtre existait.

① → _____

② → _____

③ → _____

2038 FICTION

Si beau,
Si faux

→ Quand Mike a acheté le filtre « Plus belle la ville », il a repris le goût à la vie. Tout était si beau. Un mois plus tard, il sombra dans une déprime. Tout était si faux.

Et si l'on pouvait être invisible !

Si demain on pouvait disparaître de la vue des humains ou de la détection des différents types de radars, cela aurait de nombreuses conséquences. Quelques pistes :

→ Des avantages tactiques

L'invisibilité serait un avantage considérable pour l'armée et pour la police. Ils pourraient utiliser cette technologie pour mener des opérations de manière discrète et sûre.

L'invisibilité pourrait également être utilisée pour la reconnaissance et la surveillance, en permettant aux soldats et aux agents de s'infiltrer dans des zones ennemies sans être vus et de recueillir des informations précieuses.

→ Des risques pour la sécurité

L'invisibilité pourrait également être utilisée à des fins criminelles, en permettant aux criminels de passer inaperçus et de commettre des actes illégaux sans être vus ou pris. Cela pourrait mettre en danger la sécurité de la population et rendre plus difficile la tâche des forces de l'ordre.

→ Des conséquences éthiques et sociales

L'invisibilité pourrait créer des inégalités entre ceux qui ont accès à cette technologie et ceux qui n'en ont pas.

Elle pourrait affecter les relations entre les individus en rendant difficile de savoir qui est réellement présent dans un espace public et qui peut être invisible.

x
Devenir invisible

À vous de continuer la liste des impacts de l'invisibilité sur la société.

① Imaginez des conséquences positives et négatives dans quatre domaines différents (*Exemples : les relations personnelles, la citoyenneté, l'éducation, le voyage...*) et l'armée.



② Listez les problèmes causés par l'invisibilité et trouvez trois moyens pour les éliminer.

PS : Vous n'avez pas le droit de décider d'interdire l'invisibilité. Cela serait trop simple.

① → _____

L'ARMÉE ET L'INVISIBILITÉ

3

Si l'armée pouvait obtenir le Graal de l'invisibilité, les avantages seraient nombreux.

Les soldats et les véhicules pourraient avancer sans être repérés. Lors des combats, ils pourraient mener des opérations de manière discrète et sûre.

L'invisibilité pourrait être aussi utilisée pour des missions de reconnaissance et de surveillance. Les soldats s'infiltreraient dans des zones ennemies sans être vus et recueilleraient des informations sur les mouvements et les intentions de l'ennemi.

Pour ces raisons, depuis la nuit des temps, l'armée rivalise d'imagination pour se rendre le moins visible possible.

Le camouflage fait partie de toutes les guerres.

CAMOUFLAGE

Le camouflage est la science tendant à déguiser ou cacher une cible. Elle intègre toutes les méthodes pour tromper l'ennemi sur son emplacement, ses dimensions, ses finalités.

Changer de paysage

HIER



LES CAMOUFLEURS
DE LA PREMIÈRE GUERRE

Les camoufleurs ne cherchent pas tant à dissimuler des objets, mais plutôt de déformer leur image afin que les pilotes soient momentanément troublés et ratent leur cible.

Le camouflage a des précédents historiques, voire antiques. Dans *Macbeth* de *Shakespeare* (1606), Malcolm déplace Birnam Wood en cachant ses soldats sous les branches.

Lors de la Première Guerre mondiale, les camoufleurs créent des postes d'observation à proximité de l'ennemi qui se dissimulent dans le paysage.

Le camouflage est lié à la perception de la lumière et des ombres. Les camoufleurs ne cherchent pas tant à dissimuler des objets (ponts, réservoirs, etc.), mais plutôt de déformer leur image afin que les pilotes soient momentanément troublés et ratent leur cible.

Les tranchées sont très visibles depuis les avions parce qu'elles forment une ombre. L'ombre est un des éléments les plus durs à camoufler. Un décorateur de théâtre, *Georges Mouveau*, propose de les dissimuler avec des filets qui ne créent pas d'ombres portées. Pour renforcer l'illusion, des vaches en bois sont parfois placées sur le filet. Chaque soir, des hommes les déplacent pour les rendre plus vivantes.

Pour abuser l'ennemi et détourner son attention, les camoufleurs fabriquent des têtes de soldats avec du carton peint ou du papier mâché. Brandies au-dessus de la tranchée, ces têtes font réagir le guetteur ennemi qui révèle ainsi sa position.

Dans les nuages de poussière et la fumée des combats, ces silhouettes, brusquement dressées, donnent réellement l'illusion d'une attaque.



ACTUS

VCLN2



Cible en carton

L'Ukraine déjoue les missiles russes avec de fausses cibles en bois. Les drones russes transmettent la position de leur cible aux navires militaires en mer Noire, qui tirent ensuite des missiles à longue portée sur elle.

On trouve aussi des soldats-épouvantails disséminés en pleine nature ou dans des jardins. L'objectif est de tromper l'aviation russe, et l'amener à se tromper de cible ou à se dévoiler.



Camoufleur de demain

Nous sommes après-demain.
Vous avez été recruté par l'armée
au poste de camoufleur.

- ① Votre première mission est d'empêcher que l'ennemi repère cinq villes du pays. Comment allez-vous procéder ? Vous avez droit aux technologies existantes et imaginées.
Exemple : Vous colorez l'eau du lac de Genève afin qu'il devienne une grande prairie. Sans son lac, la ville n'est plus repérable.
- ② Votre deuxième mission est de camoufler des hommes et des véhicules terrestres et aériens en mouvement.

Protéger les véhicules et les soldats

→ ACTUS

VCLN2

Des tuiles électroniques

L'entreprise française *Nexter* travaille sur le projet *Caméléon*. Il consiste à installer des tuiles électroniques sur les blindés afin qu'ils se fondent dans le décor.

Des centaines de tout petits écrans changent de couleur en temps réel. Ils se modifient en fonction de l'environnement dans lequel le blindé évolue.

Cette technologie pourra être intégrée aux uniformes des soldats. Des fibres électroniques changeront de couleur.

Des uniformes moins visibles

HIER ← DE TOUTES LES COULEURS

EN 1829

Pour des raisons économiques (la teinture indigo des anciens uniformes coûte plus cher), *Napoléon* fait adopter le pantalon garance pour l'armée française. Le pantalon rouge masque les traces de sang des blessures.

EN 1880

La poudre sans fumée permet une meilleure visibilité sur le champ de bataille. On envisage alors les teintes neutres. L'armée britannique adopte le kaki en 1900, les États-Unis font le même choix en 1902, les Allemands adoptent la tenue « *feldgrau* » en 1907, l'Autriche-Hongrie s'habille de « gris brochet » en 1909, et l'Italie de gris vert.

EN 1914

Les Français partent au front en étant vêtus de leurs pantalons rouges. Comme ils font des cibles idéales, on fait fabriquer de nouveaux uniformes. En septembre 1915, ils sont équipés de la nouvelle tenue bleu-gris auquel s'ajoute un casque métallique qui remplace le képi.

Aujourd'hui, chaque armée a ses motifs pour les tenues de camouflage.

En Suisse, l'*alpenflage* était en vigueur jusque dans les années 1990 avant d'être remplacé par le *TAZ90*. Son originalité est d'intégrer du rouge.



2038 FICTION

Un fantôme à la maison

➔ Max est timide. Depuis que son uniforme lui permet de se fondre dans l'environnement, il le garde toujours sur lui. Parfois, il se plaint que tout le monde fait comme s'il n'est pas là.

HIER ← PEINTURE ÉBLOUISSANTE

“

La peinture éblouissante atteint son objectif, non pas en éludant le sous-marin par l'invisibilité, mais en confondant son jugement.

”

On camoufle aussi les bateaux. Les coques des navires sont peintes de larges surfaces de tons contrastés.

La marine anglaise crée une section de camouflage maritime pour protéger les navires. En avril 1917, Cecil King et Norman Wilkinson conçoivent la «*Dazzle Painting*» (peinture éblouissante), une peinture qui déstructure totalement l'objet qu'elle recouvre.

Jan Gordon, lieutenant de la Royal Navy, qui a collaboré avec Wilkinson à la stratégie de camouflage, explique que «*La peinture éblouissante atteint son objectif, non pas en éludant le sous-marin par l'invisibilité, mais en confondant son jugement.*»

La Royal Navy met au point des bateaux qui ont la même apparence à l'avant et à l'arrière, de sorte que même à courte distance leur direction est impossible à déterminer.

Les Anglais inventent aussi des chalutiers dont la coque dissimule un second navire armé jusqu'aux dents pour chasser les sous-marins allemands Q-Boats. Les Anglais n'ont jamais été démasqués par les Allemands qui y ont laissé de nombreux hommes.

Quand le repérage des bateaux n'était plus visuel, on a commencé à utiliser des leurres anti-torpilles qui envoient le champ électromagnétique et/ou la fréquence de la signature acoustique du bruit de l'hélice.

Comme les torpilles hostiles s'accrochent généralement sur le signal d'intensité maximale, le véhicule poursuivi peut se mettre hors de portée de la menace.

Ce leurre étant rendu obsolète par l'amélioration des torpilles. Une nouvelle approche consiste à saturer les capacités d'analyse des torpilles en présentant plusieurs dizaines de fausses cibles éphémères. Un principe adopté aussi dans l'aviation.

Il existe également des dispositifs de brouillage pour sous-marin fonctionnant uniquement de manière acoustique : ils sont éjectés par l'écoutille d'évacuation des déchets et dégagent de grandes quantités de gaz. Les sonars adverses sont alors éblouis par cette bulle.



ÉCRANS DE FUMÉE

L'un des outils les plus utiles de l'histoire de la guerre est la fumée.

L'écran de fumée est une tactique utilisée pour masquer le mouvement ou l'emplacement d'unités militaires telles que l'infanterie, les chars, les avions ou les navires.

Dans les temps anciens, de simples feux de broussailles bien nourris suffisaient parfois à faire l'affaire. Au fil du temps, ils ont évolué.

Les écrans de fumée sont déployés soit par une cartouche (comme une grenade), soit générés par un véhicule (comme un char ou un navire de guerre).

Avec les évolutions technologiques, les écrans de fumée peuvent filtrer la lumière à infra-rouge pour empêcher la détection par des capteurs.

PARTIR EN FUMÉE



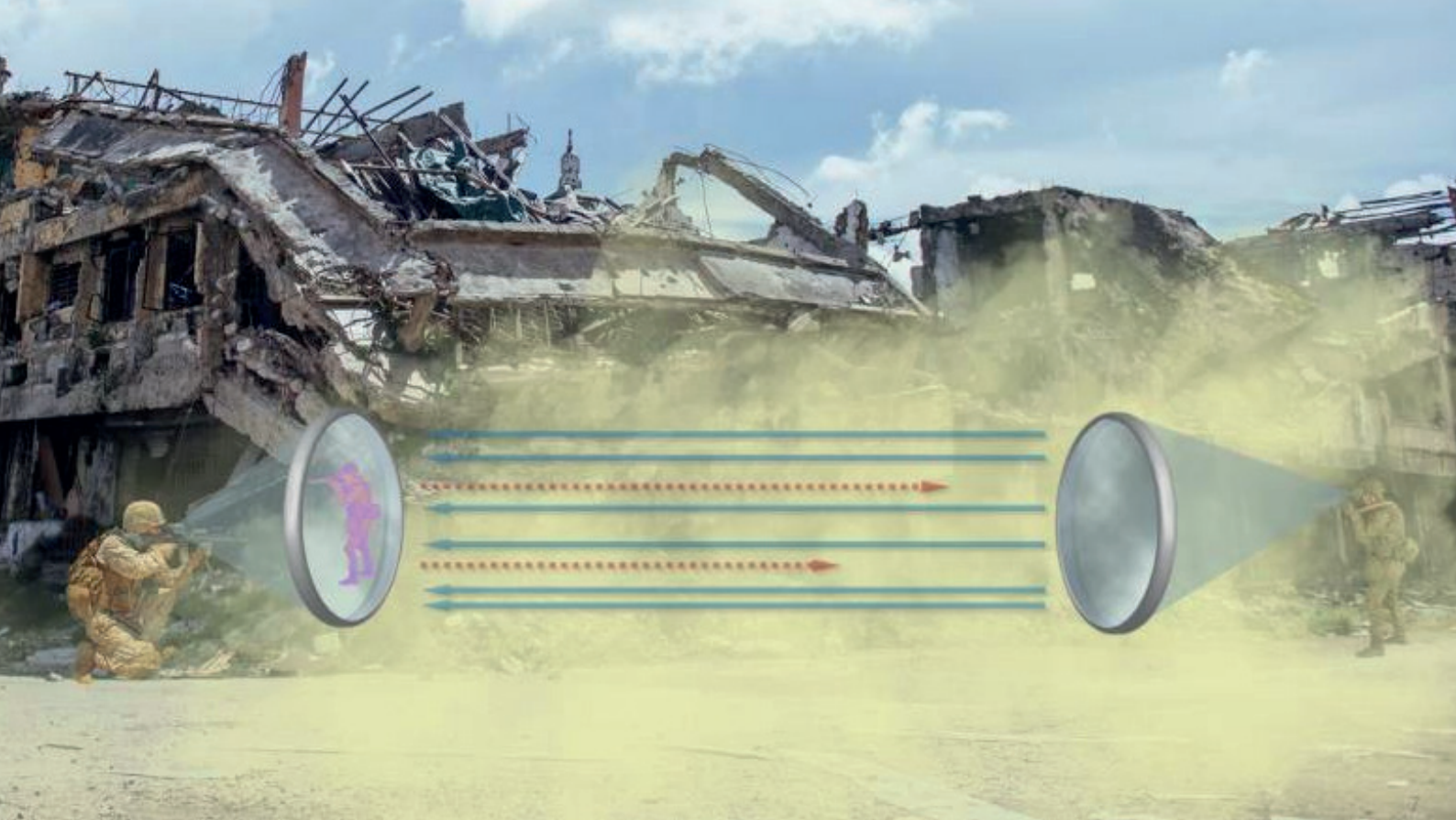
HIER



Pendant la Seconde Guerre mondiale, les pilotes utilisaient des avions équipés de réservoirs fumigènes M10 pour cacher les navires de guerre. L'envoi de fumée était principalement utilisé pour les opérations du jour d'envergure.

« Le 6 juin 1944, il est prévu que pour protéger le débarquement, le 88 posera un écran de fumée dans le secteur de Caen, le 342 Lorraine dans l'île Saint-Marcouf vers Grandcamp. Les avions voleront par paire, et le n° 2 émettra son écran lorsque le n° 1 en aura terminé avec le sien. Chaque paire sera espacée de 10 minutes, ce qui devrait assurer une couverture efficace d'une heure. La première paire décollera à 5 h. »

Jean Clément, auteur de Le groupe Lorraine et le débarquement en Normandie



→ ACTUS

VCLn2

Visibilité codée

La *Defense Advanced Research Projects Agency* (DARPA) cherche à développer un système obscurcissant semblable à de la fumée qui empêchera les troupes ennemies de voir à travers. Sa performance viendra du fait que le producteur de la fumée pourra toujours voir à travers. Cette asymétrie nécessite d'utiliser un matériau obscurcissant qui peut être réglé en temps réel et des métamatériaux bloquant la lumière sous certains angles.

Fumées sans feu

Maintenant que vous avez l'habitude de voyager dans le futur,

vous allez imaginer que les soldats ont dans le package des bombes de fumées à vision asymétrique. Les ennemis ne les voient plus, mais eux ils peuvent les voir.

- ① Dans quelles situations, vont-ils l'utiliser ?
- ② Quelles sont les limites de cet écran de fumée du futur ?

Exemple : les adversaires peuvent pirater la fumée réglable, ils pourraient la rendre opaque à un moment critique.

① → _____

② → _____

Jusqu'à la fin de la Seconde Guerre mondiale, les avions ne pouvaient être détectés qu'à la vue et au son. La furtivité consistait à peindre l'aéronef avec des couleurs lui permettant de se fondre dans l'environnement.

HIER ← DESSUS-DESSOUS

Les Anglais sont les premiers à tenter de camoufler leurs avions. Dès 1907 ils commencent à masquer leurs aéroplanes. En 1914, ils peignent leurs avions en couleurs mates et recouvrent leur fuselage de motifs bariolés qui déstructurent totalement la forme.

Les Français coupent l'avion en deux parties, celles du dessous et celle du dessus. Comme le dessous est visible du sol, on la peint en blanc, gris pâle, turquoise, ou bleu-vert pâle. Le dessus étant visible du ciel, on la peint d'une teinte verdâtre bariolée.

La furtivité consiste à rendre un objet indétectable aux radars.

Avec le radar, les choses ont changé. Il faut diminuer l'émission et la réception d'ondes.

Un engin militaire émet de l'énergie sous forme électromagnétique (radar de bord, radiocommunications, etc.), thermique (sortie du propulseur, échauffement cinétique, etc.) et acoustique (sonar actif, bruits de propulsion, d'écoulement ou d'auxiliaires). Il reçoit de l'énergie électromagnétique (radars de détection, antennes de radio ou de télévision, etc.), thermique (soleil) et acoustique (sonars actifs).

La furtivité consiste à rendre un objet indétectable aux radars. Elle regroupe les techniques et technologies utilisées pour réduire les émissions dans une direction donnée ou dans toutes les directions et donc rendre l'engin moins détectable, classifiable ou identifiable.

Les premiers aéronefs furtifs sont le chasseur-bombardier F-117 et le bombardier stratégique développés durant les années 1970.

L'ARME ABSOLUE EST VULNÉRABLE

➔ **HIER**

L'avion américain F — 117 est entré en service dans le plus grand secret en 1983. Il est révélé au grand public en 1991 lors de la guerre du Golfe. Il est alors présenté comme l'arme absolue.

Son profil anguleux et à facettes associé à l'emploi de matériaux composites et d'un revêtement absorbant les ondes électromagnétiques, divise par mille sa signature radar, la réduisant à l'équivalent de celle d'une balle de golf.

Sept ans plus tard, en pleine campagne contre le Kosovo, les forces serbes parviennent à détruire un F — 117. On découvre alors que les Américains sont conscients depuis plusieurs années que leurs avions furtifs présentent une vulnérabilité de taille : lorsque la longueur d'onde utilisée par un radar est un multiple de l'envergure de l'avion, l'énergie transmise crée un courant induit qui rayonne de manière incontrôlée dans toutes les directions.



La furtivité a pour objectif premier de retarder la réponse de l'ennemi.

Il existe plusieurs solutions pour rendre un objet furtif :

Être transparent aux ondes : l'onde traverse sans être réfléchi.

- Renvoyer l'onde dans une direction autre que celle d'où elle vient. Elle n'informe pas le radar.
- Absorber l'onde : l'onde n'est pas réfléchi.
- Envoyer une onde identique, mais déphasée de 180°. L'onde incidente et l'onde réfléchi s'annulent.

Différentes techniques améliorent la furtivité d'un avion :

➔ Sa forme

Si elle est plus arrondie, elle va réfléchir les ondes du radar dans d'autres directions.

➔ Le revêtement

Il absorbe une partie des ondes envoyées par

le radar. Les avions furtifs sont recouverts d'un revêtement (généralement directement dans la peinture) qui absorbe l'onde radio.

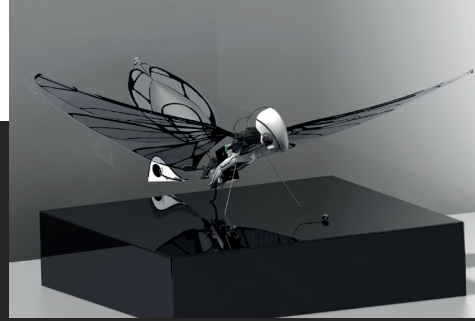
Le revêtement absorbe l'onde de façon chimique ou physique. Dans le premier cas, l'onde est transformée en chaleur en réagissant aux inclusions métalliques dans la peinture. Dans le second, l'onde est pour 50 % réfléchi, 50 % absorbée. Les deux ondes s'annulent. L'inconvénient est que cela ne fonctionne que pour une seule longueur d'onde.

➔ Des brouilleurs d'ondes

L'avion émet ses ondes pour brouiller les pistes et annuler les ondes qu'il reçoit.

La furtivité a pour objectif premier de retarder la réponse de l'ennemi. Si un avion arrive à passer pour un oiseau ou un nuage sur l'écran radar, il ne déclenche pas d'alerte.

LES OISEAUX MÉCANIQUES



Nos oiseaux mécaniques attirent de vrais oiseaux. Ils les prennent pour l'un des leurs !

En 1969, mon grand-père d'Edwin Van Ruymbeke a inventé un oiseau mécanique entraîné par un élastique. Quarante ans plus tard, j'ai conçu le premier oiseau radiocommandé.

L'objectif d'XTIM, est d'imiter le vol des oiseaux et des insectes, en adaptant aux dispositifs mécaniques les performances de la nature. Après avoir inventé *MetaFly*, un oiseau transparent radiocommandé, nous travaillons sur *BioFly*, un nouveau système avec des ailes battantes bio-inspirées.

Ces oiseaux mécaniques n'ont pas d'hélices et utilisent des matériaux flexibles et amortissants. Outre ne pas blesser les oiseaux, ils sont difficiles à identifier par des radars. Pour cette raison, ces oiseaux retiennent l'attention de l'Agence française de défense innovation.

Edwin Van Ruymbeke de Xtim



2038
 ↓
 FICTION

Remise en cause

→ Comme tous les matins, Max part à la recherche de sa voiture autonome. Après avoir fait plusieurs fois le tour du quartier, il se demande s'il a bien fait de prendre les options transparence et furtivité imposées par la loi de dépollution visuelle des quartiers historiques.

LES GUERRES INVISIBLES

4

La vision classique du conflit est qu'un ou plusieurs acteurs étatiques combattent d'autres acteurs étatiques par le biais de leurs forces armées.

La mondialisation et la technologie modifient ce modèle traditionnel en rendant les guerres moins visibles.

LA CYBERGUERRE

Le monde est désormais géré par les réseaux informatiques et truffés d'équipements interconnectés. Cet espace est devenu le théâtre de combats dont les armes sont des virus et des logiciels espions.

“

DE L'ESPIONNAGE À LA CYBERGUERRE

À l'origine de la cyberguerre, il y a l'espionnage de la guerre froide. Novembre 1989, le mur de Berlin tombe. Avec lui, c'est l'écroulement d'un système sociétal qui a marqué le siècle : le communisme.

À l'époque, les États-Unis et l'URSS s'échangeaient des espions sur des ponts, en Allemagne, au petit matin. Pour contrer l'URSS, les États-Unis disposent d'une foultitude d'agences et d'espions. La communauté du renseignement est importante : en 2010 le nombre de personnes disposant d'une accréditation « top secret » est estimé à près d'un million et demi de personnes.

Quand s'écroule le bloc de l'Est, cette communauté du renseignement se demande comment justifier les milliards de dollars de budget annuel sans l'ennemi historique.

Pour trouver un nouvel ennemi, la première idée est de diaboliser le personnage du hacker. C'est peu crédible. Dans l'esprit des Américains, le hacker est un gamin un peu asocial, avalant des pizzas et ingérant des litres de Coca.

À cette époque, la presse parle de « cyber Pearl Harbor ». On craint une attaque massive paralysant les réseaux américains. Pour augmenter la peur, on ajoute l'ombre terrifiante des fameux hackers russes, parfois nord-coréens, souvent chinois qui, soutenus par leurs pays, bénéficient de moyens faramineux. Voilà donc l'ennemi qui justifiera du besoin des budgets monumentaux.

La communauté du renseignement ajoute un dernier pion : la cyberguerre. Ne fait-on pas la guerre sur terre, dans le ciel, sur la mer ? Pourquoi ne pourrait-on pas faire la guerre dans les réseaux informatiques, dans « l'espace cyber » ? Bingo ! Les grandes armées commencent à intégrer le cyber dans leurs stratégies.

Fabrice Epelboin, entrepreneur, enseignant à Sciences Po.

”

ILS EN PARLENT

Un art complexe

Une cyberguerre est constituée de cyberattaques dont l'objectif de rendre inopérants les serveurs essentiels pour la bonne marche du pays ou de l'armée. Cette guerre est complexe.

➔ Choix 1

On paralyse les réseaux qui véhiculent les informations.

Difficulté pour réussir l'opération → le réseau Internet est résilient. Les données vont généralement toujours trouver une autre voie pour atteindre leur but.

➔ Choix 2

On sature les serveurs qui traitent les informations stratégiques.

Si 1 000 personnes se pressent à l'entrée d'un magasin qui ne peut en accueillir que 500, plus personne ne peut accéder à l'intérieur. Il en va de même avec un serveur Web. On utilise des milliers de machines piratées sur Internet pour lancer en même temps des milliers de requêtes sur un serveur.

Difficulté pour réussir l'opération → nombre de serveurs sont protégés contre ces attaques. Les serveurs sont rétablis, reviennent en ligne après un DDoS, les backups sont rétablis lorsque les données ont été effacées. Résultat, l'attaque ne dure pas longtemps.



Données protégées

En proie aux menaces russes, l'Estonie partage ses données administratives avec la Finlande et l'Islande au moyen du système *X-Road*, une plateforme garantissant la confidentialité, l'intégrité et l'interopérabilité des données. En cas de cyberattaques, les données sont protégées.

Pour l'instant, les cyberattaques créent des dégâts limités. Il n'existe pas encore un réseau électrique national, un seul opérateur téléphonique dont l'infrastructure a été définitivement détruite par des cyberterroristes ou des cybercombattants.

Dans la cyberguerre, plus un pays est puissant, plus il est vulnérable.

- Dans la guerre traditionnelle, plus un pays est puissant, plus il dispose d'armes sophistiquées et d'une force de frappe importante. Dans la cyberguerre, plus un pays est puissant, plus il est connecté, plus les possibilités d'intrusion dans son système sont nombreuses. Donc, plus un pays est puissant, plus il est vulnérable. La surface d'attaque s'étend parce que des milliards d'objets connectés non protégés entrent dans la danse.
- Un gouvernement ne peut répondre seul à une cyberattaque. Quand un pays subit une attaque aérienne ou terrestre, il demande à son armée de répliquer. Si la menace est intérieure, la police réagit. Pour contrer une cyberattaque, c'est une autre affaire. 80 % des infrastructures potentiellement concernées sont privées. Les menaces peuvent concerner les réseaux Internet, financiers, d'eau, d'électricité qui n'appartiennent pas à l'État. Le gouvernement ne peut donc faire cavalier seul.
- L'attribution d'une cyberattaque est difficile. On ne connaît pas son attaquant. On ne sait pas si c'est un individu ou un État qui est à l'origine de l'attaque.
- On ne peut pas ignorer un bombardement ou une arrivée de chars dans une ville. Dans la cyberguerre, souvent on ne sait pas que l'on a été attaqué. On peut l'être et le découvrir des mois plus tard.
- La cyberguerre ne peut être circonscrite à une zone précise. Elle peut déborder et avoir un effet boomerang en provoquant des dégâts à ceux qui ont lancé les attaques.
- Pour être véritablement efficace, la cyberguerre doit lancer des cyberattaques variées en lien avec les autres types de guerre.

La guerre électronique

Des systèmes toujours plus complexes permettent de trouver des renseignements secrets, perturber les communications de l'ennemi, dévier des missiles ou lutter contre les drones.

L'armée française dispose d'un fusil futuriste qui supprime la relation entre le drone et son pilote. L'appareil s'écrase, ou se pose au sol quand il n'a plus de batterie.

Les armes électroniques apparaissent avec la Deuxième Guerre mondiale et deviennent réellement importantes au Vietnam. On brouille les signaux GPS en créant des interférences dans le signal.

La guerre cognitive

Le champ informationnel est devenu un lieu de compétition stratégique. L'information fausse, manipulée ou subvertie est une arme.

Florence Parly, ministre de la défense française

Dans la guerre cognitive, l'esprit humain devient le champ de bataille. Le but est de changer non seulement ce que les gens pensent, mais aussi leur manière d'agir.

Cette guerre invisible façonne et influence les croyances et les comportements individuels et collectifs et de les mettre en adéquation avec

les objectifs tactiques ou stratégiques d'un agresseur. Elle peut aller jusqu'à fracturer et fragmenter une société et supprimer la volonté collective de résister aux intentions d'un adversaire. L'adversaire soumet une société sans avoir recours à la force ou à la coercition.

2038 FICTION

Le nutri-
score de
l'info

➔ Depuis quelques années, l'information est sous contrôle. Toute information vous parvient avec un score de crédibilité de A à E. A l'information est validée. E, elle a toute chance d'être fausse.

Ce dispositif s'applique à tous les propos qu'on prononce. Le ministre de l'info s'inquiète. Dans les familles, entreprises et autres institutions, les échanges sont devenus très rares.



FAUX MESSAGES

Les fausses informations se diffusent beaucoup plus vite que les vraies.

Aujourd'hui, la technologie offre des moyens plus efficaces et économiques que la force d'infanterie conventionnelle de faire la guerre. Un des éléments est la désinformation via Google, Facebook ou Twitter. En 2016, la Chine a publié près de 500 millions de faux messages sur les médias sociaux afin de détourner l'attention de sujets sensibles.

Les deepfakes (hypertrucage exploitant les ressources de l'intelligence artificielle pour manipuler une vidéo ou un son) constituent un autre problème.

Les fausses informations se diffusent beaucoup plus vite que les vraies et rendent les vraies invisibles. Les recherches montrent que la vérité se propage rarement à plus de 1000 personnes, alors que les deepfakes atteignent souvent plus 100 000 personnes.

Ces fausses informations sont impossibles à contrôler. Un mémo interne de Facebook a admis que « modérer ce que les gens disent est pratiquement impossible ».

Jean-Marc Rickli, responsable des risques globaux et émergents, Centre de politique de sécurité de Genève

LES ARMES DE LA GUERRE COGNITIVE

La diffusion de fausses informations n'est pas la seule arme de la guerre cognitive. Un document gouvernemental embarrassant, piraté du compte de messagerie d'un fonctionnaire, divulgué anonymement sur un site de partage de médias sociaux ou distribué de manière sélective à des groupes d'opposition sur un réseau social, suffit à provoquer des dissensions.

Une campagne de messagerie sociale qui enflamme les passions des influenceurs en ligne peut rendre les controverses virales. Des groupes constitués sur les médias sociaux peuvent descendre dans la rue. Les dénégations officielles peuvent ajouter de la confusion qui ancre des récits créant du doute.

Les moteurs de recherche fournissent des informations qui correspondent aux préférences des usagers. Ce flux biaisé contribue à confirmer des croyances.

Université Johns Hopkins (Kathy Cao, Sean Glaister, Adriana Pena, Danbi Rhee, William Rong, Alexander Rovalino) ; Imperial College London (Sam Bishop, Rohan Khanna, Jatin Singh Saini) pour la Revue de l'OTAN

ILS EN PARLENT



Luttons contre les fausses infos !

Vous devez lutter contre les fausses informations de tous types.

- 1 Listez les sources de ce « faux » et les canaux de diffusion. Indiquez pour chacune le potentiel de nuisance.

Exemples : news, images ou vidéos truqués, donnés modifiés des senseurs...

- 2 Imaginez des mesures pour les éliminer. Soyez créatifs. L'enjeu est important.



- 3 Divisez-vous en deux groupes et évaluez les impacts des mesures prises par l'autre groupe.

PÉTER UN CÂBLE

TeleGeography estime à 530 le nombre de câbles télécoms sous-marins opérationnels ou en projet. S'étirant sur plus de 1,3 million de kilomètres, ils assurent 95 % du trafic Internet mondial.

Les dirigeants occidentaux redoutent que ces infrastructures fassent des cibles toutes trouvées pour la Russie et pour d'autres. Les craintes sont justifiées. Les opérations sur les câbles sous-marins sont fréquentes et ne datent pas d'hier.

Pendant la Première Guerre mondiale, la Grande-Bretagne a sectionné les câbles de télécommunications allemands traversant l'Atlantique. L'Allemagne a répliqué en endommageant des câbles alliés dans le Pacifique et dans l'océan Indien.

En 2013, *Edward Snowden*, informaticien à la NSA, l'agence américaine spécialisée dans le renseignement d'origine électromagnétique, a révélé qu'un projet anglo-américain avait mis sur écoute au moins 200 câbles à fibres optiques à travers le monde.

Jeremy Fleming, le patron du GCHQ, a prévenu que la Chine cherchait à détourner les flux de données internationaux de la région indopacifique vers des centres d'interception situés sur le territoire chinois.

En novembre 2021, des câbles alimentant des capteurs acoustiques sous-marins au large de la côte septentrionale de la Norvège, une zone fréquentée par les sous-marins russes, ont été sectionnés.

En septembre 2022, des explosions ont endommagé *Nord Stream 1 et 2*, les deux gazoducs qui relient la Russie à l'Europe sous la mer Baltique.

FUTURES GUERRES INVISIBLES

Vous avez 20 ans de plus au compteur.

(Rassurez-vous, vous allez les perdre aussi rapidement que vous les avez pris).

De nouvelles guerres invisibles sont apparues. Nous allons explorer quelques possibles.

Ensuite, vous allez imaginer quelques impossibles.

Guerre météo

Et si les cataclysmes météorologiques n'étaient pas le fait du déchaînement des éléments naturels, mais de l'action sournoise d'un ennemi maîtrisant une technologie redoutable ? Aux États-Unis comme en Russie, cette hypothèse a été récemment alimentée par les cyclones *Katrina* et *Rita*.

Les États-Unis ont financé des recherches allant dans ce sens après la Seconde Guerre mondiale. À partir de 1967, pendant la guerre du Vietnam, un projet baptisé *Popeye Project* devait prolonger la saison de la mousson afin d'enliser les troupes ennemies dans une jungle boueuse.

En 1977, le Pentagone consacrait 2,8 millions de dollars à des recherches sur la modification du climat. Inquiètes, les Nations unies émirent une résolution interdisant l'usage hostile de ces techniques. Un traité fut signé en 1978.

En 1996, des officiers américains demandèrent au ministère de la Défense de poursuivre les recherches dans ce domaine. Ils voulaient éviter d'être distancés par les Russes et les Chinois.

« *Agir sur le climat est possible, mais pas à une aussi grande échelle que les ouragans Katrina et Rita* », affirme *Louri Tokarev*, chercheur au NIRFI. Rien ne dit que cela le devienne dans quelques années.



2038 FICTION

La pluie
et le beau
temps

➔ Depuis qu'on peut contrôler la météo, c'est la guerre. Les uns veulent du soleil pour se promener. Les autres de la pluie pour arroser leur gazon. La pluie et le beau temps ne sont plus un sujet de discussion, mais de conflit à plein temps !

Les nouvelles guerres invisibles

Pour conclure cette exploration, dans l'invisibilité, vous allez imaginer les guerres invisibles du futur.

- 1 Choisissez trois domaines et faites fonctionner une chose aussi performante qu'invisible qu'est votre imaginaire.

Ne le bridez pas. Comme disait Jules Verne :
« Tout ce qu'un homme est capable d'imaginer,
un autre est capable de le réaliser. »

Exemples :

Environnement

L'ennemi diffuse des nanoparticules invisibles dans les potagers. Quand nous mangeons des légumes, nous les avalons et elles viennent se loger dans nos cerveaux. Au bout de quelques jours, elles bloquent la parole.

Santé

Des insectes téléguidés diffusent une substance qui modifie le génome de chaque individu. Leur taille se modifie. La population devient chaque jour un peu plus petite.

À SUIVRE...



deftech

deftech.ch

Conception-rédaction : Les Propulseurs propulseurs.com
Maquette & illustrations : Sophie Brakha sophiebrakha.com

Être invisible sur le champ de bataille offre un intérêt certain, mais il devient légitime aujourd'hui de se poser la question de l'invisibilité par rapport à quel type de senseur, dans quelle sphère opérationnelle et dans quelle situation ! Est-il possible de disparaître des écrans sur l'ensemble du spectre électromagnétique ?

Ce cahier d'exploration vous permet de découvrir les évolutions et recherches dans ce domaine. Des exercices individuels et collectifs vous aident à vous projeter dans le futur.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra



Editions
Propulseurs



9 783952 565377