

# I'MTech.

LE MEILLEUR DE 2022



**I'MTech.**

---

**LE MEILLEUR DE 2022**



---

# ÉDITO

---

Rarement le sujet de l'énergie aura été autant débattu qu'en 2022. À la fois technique, historique, et économique, il est surtout inextricable de sa dimension politique : l'énergie est une affaire de choix reflétant une vision de la société. À cela, les sciences ne peuvent que tenter d'apporter, à leur échelle, réponses et solutions aux questions et problèmes qui conditionnent les orientations du secteur. Après tout, « *la science ne connaît qu'une loi : la contribution scientifique* » écrivait Bertolt Brecht dans *La vie de Galilée*. Aussi ce best-of 2022 des articles publiés sur l'MTech propose au lecteur une sélection des contributions des chercheuses et chercheurs des écoles de l'Institut Mines-Télécom sur le sujet de l'énergie ; de la valorisation des déchets, à la durabilité de éoliennes en mer, en passant par la question complexe de l'organisation de la maintenance nucléaire.

Cependant, l'énergie ne saurait éclipser les autres sujets qui ont fait l'actualité de l'année passée et qui mobilisent la communauté scientifique. Alors que la réalité virtuelle continue de gagner en maturité dans le secteur vidéoludique, elle intéresse aussi la recherche et les industriels pour sa capacité à immerger les collaborateurs dans des environnements abstraits, tels qu'un système informatique pour en améliorer la sécurité. Sur les technologies numériques encore, les études européennes se précisent quant aux risques de l'exposition aux champs électromagnétiques de la 5G. Et pour rester sur les avancés européennes, la régulation des plateformes numériques est montée d'un cran en 2022 avec l'arrivée notable du Digital Services Act, qui poursuit la ligne entreprise par le RGPD.

Ces sujets, et bien d'autres encore, sont à lire dans cette sélection des meilleurs articles 2022 du média d'actualités scientifiques et technologiques de l'Institut Mines-Télécom : l'MTech.

**Benjamin Vignard**  
**Rédacteur-en-chef**



---

# SOMMAIRE

---

ÉDITO	5
<b>NUMÉRIQUE</b>	<b>9</b>
DIGITAL SERVICES ACT : VERS UNE RESPONSABILISATION DES PLATEFORMES NUMÉRIQUES	10
LA RÉALITÉ VIRTUELLE POUR MIEUX GÉRER LES CRISES ET LA CYBERSÉCURITÉ	14
EXPOSITION AUX ONDES : COMPRENDRE LES RISQUES POUR MIEUX S'EN PRÉMUNIR	18
<b>ÉNERGIE &amp; ENVIRONNEMENT</b>	<b>23</b>
DÉCHETS PLASTIQUES : TRANSFORMER LE PROBLÉMATIQUE EN ÉNERGÉTIQUE	24
NUCLÉAIRE : LES ENJEUX DE LA SOUS-TRAITANCE	28
BEEP MN : SURVEILLER LES ABEILLES POUR MIEUX LES CHOUCROUTER	32
<b>MATÉRIAUX</b>	<b>39</b>
PROTÉGER LES CONSTRUCTIONS EN MILIEU MARIN POUR UN ÉOLIEN OFFSHORE DURABLE	40
DES IMPRESSIONS 3D PLUS RÉSISTANTES	44
DES MASQUES CONNECTÉS POUR ANALYSER L'HUMIDITÉ ET LA RESPIRATION	49
<b>PARTENARIAT THE CONVERSATION</b>	
COMMENT LUTTER CONTRE LES CYBERATTAQUES?	52
PODCASTS	60



# I

---

# NUMÉRIQUE

---

## 1

DIGITAL SERVICES ACT :  
VERS UNE  
RESPONSABILISATION  
DES PLATEFORMES  
NUMÉRIQUES

---

## 2

LA RÉALITÉ VIRTUELLE  
POUR MIEUX GÉRER  
LES CRISES ET LA  
CYBERSÉCURITÉ

---

## 3

EXPOSITION AUX ONDES :  
COMPRENDRE  
LES RISQUES POUR  
MIEUX S'EN PRÉMUNIR

---

---

# DIGITAL SERVICES ACT

---

## VERS UNE RESPONSABILISATION DES PLATEFORMES NUMÉRIQUES

---

Après le RGPD en 2016, l'Union européenne continue de renforcer sa souveraineté numérique avec le Digital Services Act (DSA). Adopté le 4 octobre 2022, le DSA augmente le contrôle sur les grandes plateformes du numérique. En ligne de mire : la lutte contre la désinformation, et une meilleure protection des utilisateurs.

**L**e 4 octobre 2022, le Conseil de l'Union européenne a adopté le *Digital Services Act* (DSA), qui rentrera en application en 2024. Ce texte vise à lutter contre la diffusion de contenus illicites, la désinformation en ligne, et d'autres risques sociétaux liés au numérique. Le DSA fixe des obligations claires pour les fournisseurs d'accès à internet, les services d'informatique en nuage (le *cloud*), les réseaux sociaux, les boutiques d'application, et les très grands moteurs de recherche.

---

**« Si une entreprise fournit des services sur le marché européen, elle doit respecter les lois en vigueur dans l'Union européenne. »**

---

*« L'idée derrière le DSA est la suivante : si une entreprise fournit des services sur le marché européen, elle doit être installée physiquement dans un pays européen et doit de ce fait respecter les lois en vigueur dans l'Union européenne »,* indique Nicolas Soulié, chercheur en économie numérique à Institut Mines-Télécom Business School. En pratique, cela suppose qu'une entreprise établie hors de l'Union Européenne (UE) désigne un représentant légal pour travailler avec les autorités nationales.

L'un des objectifs du DSA est notamment de lutter contre la désinformation. Pour

justifier qu'une information est fausse, les plateformes devront travailler avec des entités expertes désignées comme « signaleurs de confiance ». Ces entités devront œuvrer avec les plateformes pour remonter vers les personnes responsables de la circulation des fake news. Au final, c'est un tribunal judiciaire qui décrètera si une information est fausse. *« Si des comptes diffusent des fake news de façon régulière, le DSA permettra aux tribunaux de juger que ces comptes doivent être fermés ».*

Cependant, Nicolas Soulié pointe que *« des acteurs trouveront toujours un moyen de contourner les barrières ».* Il faut aussi noter que le temps qu'une information soit reconnue comme erronée, elle peut avoir le temps de devenir virale. De cette façon, des personnes peuvent prendre cette information pour acquise et ne pas remettre sa véracité en cause même si elle est reconnue comme fausse par un tribunal judiciaire. En dépit de ce décalage de temporalité, le DSA reste un cadre légal qui permet de sanctionner des diffuseurs de fausses informations.

### Lutter contre le ciblage des utilisateurs

Autre grand changement introduit par le DSA : le ciblage précis des utilisateurs des plateformes sera limité. Jusqu'à ce jour, des plateformes utilisent un ciblage qui se fonde sur un modèle prédictif pour proposer des produits ou des contenus à leurs utilisateurs. Ces modèles probabilistes permettent d'évaluer la probabilité d'une action future d'un utilisateur à partir de son historique de données. *« Lors d'une campagne de publicité, il est*

possible de cibler les personnes en ligne en fonction de leurs orientations politiques », indique Nicolas Soulié. Cela est possible grâce à des algorithmes qui analysent le comportement des internautes.

« Typiquement, si un individu retweete un discours d'une personnalité politique, la plateforme identifiera l'individu comme favorable à cette personnalité et à ses idées et fera des recommandations en lien avec elles », poursuit le chercheur. Les recommandations peuvent également se faire à partir de données personnelles comme la religion, l'âge ou le sexe. Sauf consentement explicite des utilisateurs, ce type de recommandations sera interdit suite à l'adoption du DSA. La pratique de la publicité ciblée envers les mineurs sera quant à elle entièrement illégale pour toutes les plateformes.

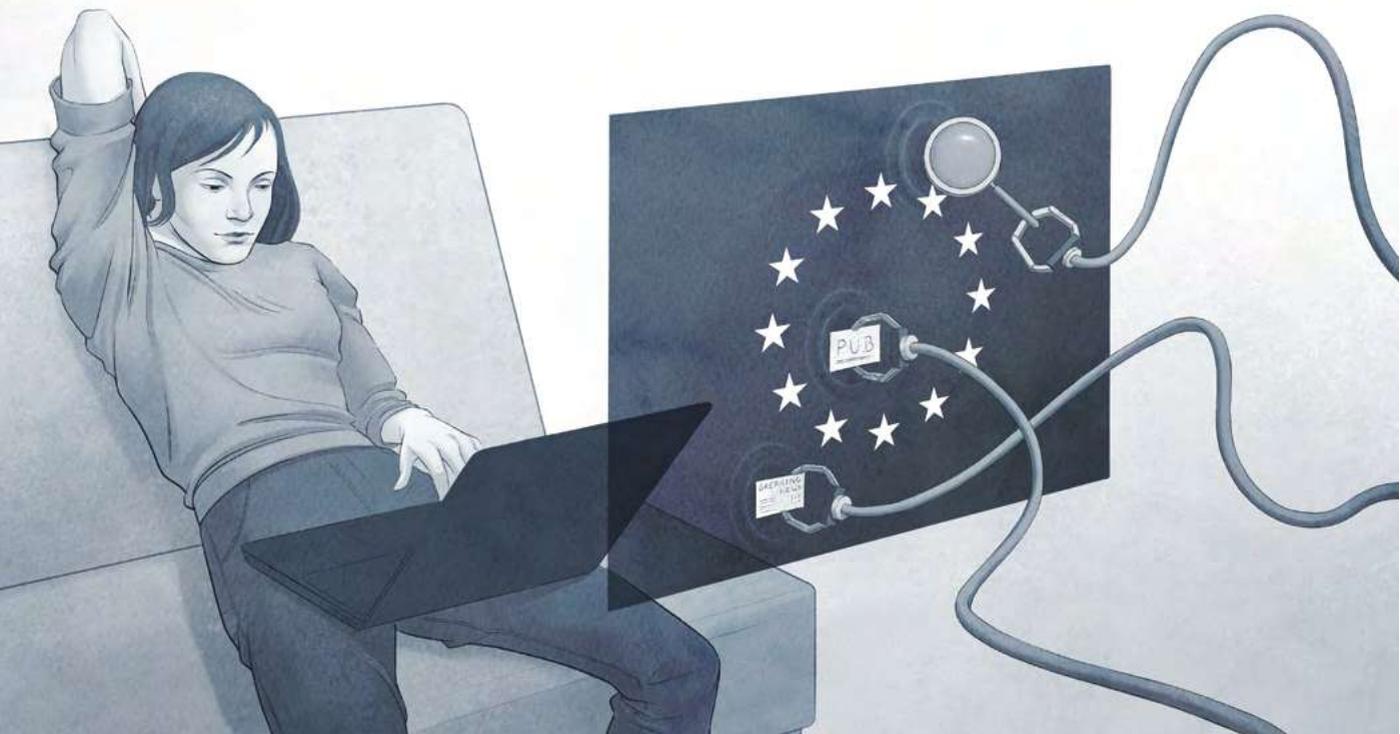
---

## « L'idée derrière le DSA est aussi de lutter contre les stéréotypes. »

---

Par ailleurs, des plateformes qui utilisent des algorithmes de reconnaissance faciale sur des photographies peuvent faire du ciblage en fonction de la supposée ethnie de l'utilisateur. « L'idée derrière le DSA est aussi de lutter contre les stéréotypes », pointe Nicolas Soulié. Avec la nouvelle réglementation, ce type de ciblage sera aussi interdit.

Toutefois, le but du DSA n'est pas d'interdire systématiquement la personali-



sation des recommandations mais de la limiter afin d'atténuer la stéréotypisation des individus. Les organismes publics ou privés peuvent actuellement utiliser des méthodes qui permettent d'anonymiser les données afin de ne pas porter atteinte à la vie privée. C'est cette philosophie que le DSA compte faire appliquer. Les données des utilisateurs peuvent en effet être utiles pour les sociétés publiques ou privées afin d'améliorer leurs services par exemple. « *Il est donc nécessaire de trouver une solution pour placer le curseur judicieusement entre l'ultra-personnalisation et la non-personnalisation* », estime Nicolas Soulié.

### Faire pression sur les plateformes

Pour garantir que les services respectent la vie privée des utilisateurs, le DSA compte renforcer la traçabilité des commerçants sur les places de marché en ligne. Pour cela les plateformes devront rendre leurs algorithmes transparents afin de laisser les autorités européennes vérifier s'ils sont compatibles avec le DSA. « *Un acteur qui ne suivrait pas les règles du DSA pourrait se voir infliger des amendes significatives l'incitant à quitter le marché européen* », décrit Nicolas Soulié.

La Commission européenne envisage en effet d'infliger aux plateformes dans l'illégalité des amendes pouvant aller jusqu'à 6 % de leur chiffre d'affaires mondial. En cas de violations répétées au droit européen, les plateformes pourraient même être interdites d'exercer leurs activités sur le territoire de l'Union européenne. Avec ses 447 millions d'habitants, l'UE représente un marché majeur pour les plate-

formes numériques. Celles-ci devront évaluer si l'opacité de leurs pratiques vaut la peine d'être préservée au détriment du respect des droits européens, et donc potentiellement de leur économie. ▲

Rédigé par Rémy Fauvel.

---

# LA RÉALITÉ VIRTUELLE

---

## POUR MIEUX GÉRER LES CRISES ET LA CYBERSÉCURITÉ

---

Connue pour son usage ludique, la réalité virtuelle offre aussi des perspectives intéressantes dans la gestion de crise et la cybersécurité. À IMT Mines Albi et IMT Atlantique, deux projets visent d'ailleurs à simuler virtuellement les crises sur les chaînes logistiques et à visualiser les cyberattaques.

**D**ans la gestion d'une chaîne logistique ou d'un environnement numérique, il peut être difficile de visualiser l'ensemble des paramètres à considérer pour prendre des décisions. La réalité virtuelle est actuellement un moyen intéressant pour tenter de pallier cet inconvénient. Elle permet à un utilisateur de disposer de données complexes, variées et simplifiées dans un même espace. Avec la réalité virtuelle « il est possible d'utiliser des métaphores visuelles pour rendre concrets des objets abstraits », explique Frederick Benaben, chercheur en systèmes d'information à IMT Mines Albi et directeur de POD, un projet de simulation de crise sur des chaînes logistiques.

Une fois que l'utilisateur a mis son casque de réalité virtuelle, il se retrouve sur une plateforme au-dessus de laquelle lévite une ligne verte. Celle-ci représente la performance de la chaîne logistique. Dans la même direction que la ligne se trouve un axe qui représente l'idéal de la performance de cette chaîne selon différents indicateurs de performance pertinents. Si des risques, tels qu'une tempête ou une pénurie se produisent et endommagent le fonctionnement de la chaîne logistique, la trajectoire de la ligne dévie de l'axe représentant le fonctionnement nominal. « Plus la déviation est grande, plus le risque d'endommager la chaîne est important », indique Frederick Benaben. Ces risques sont représentés par des sphères qui, lorsque l'utilisateur les attrape dans l'environnement virtuel, affichent la probabilité que les préjudices se produisent compte tenu de la situation.

Dans cette simulation, les sphères peuvent aussi représenter des opportunités telles que le fait de travailler avec un certain fournisseur. En les saisissant, il est possible de corriger la trajectoire de la ligne pour remédier aux dommages. Frederick Benaben et son équipe ont testé ce dispositif de réalité virtuelle sur des contextes réalistes. « *Nous nous sommes demandés si nous pourrions évaluer et prévoir l'impact de combinaisons de risques et d'opportunités (tels que la rupture d'un fournisseur ou un accident climatique sur une zone de production) que pourrait rencontrer une chaîne logistique mondiale* », déclare le chercheur.

#### Des algorithmes de machine learning pour calculer les impacts

Dans la simulation, seuls les paramètres connus qui peuvent affecter la chaîne logistique sont pris en compte. « *Pour une chaîne logistique, la ligne verte directrice peut par exemple correspondre à des indicateurs financiers, à la qualité des produits ou à la satisfaction des clients, aux délais de livraison, etc.* », indique Frederick Benaben. Des algorithmes calculent de façon formelle les conséquences d'un ou de plusieurs événements et quantifient les conséquences sur les indicateurs de performance considérés afin d'obtenir une déviation formelle représentable visuellement.

Les décideurs sont libres de choisir les paramètres qu'ils souhaitent mais il en existe certains qu'ils n'ont pas forcément envisagés. À partir d'une base de données qui lui est soumise, le programme pourrait déceler des paramètres ou des indicateurs cruciaux qui doivent être pris en compte pour gérer une crise de la meilleure façon.

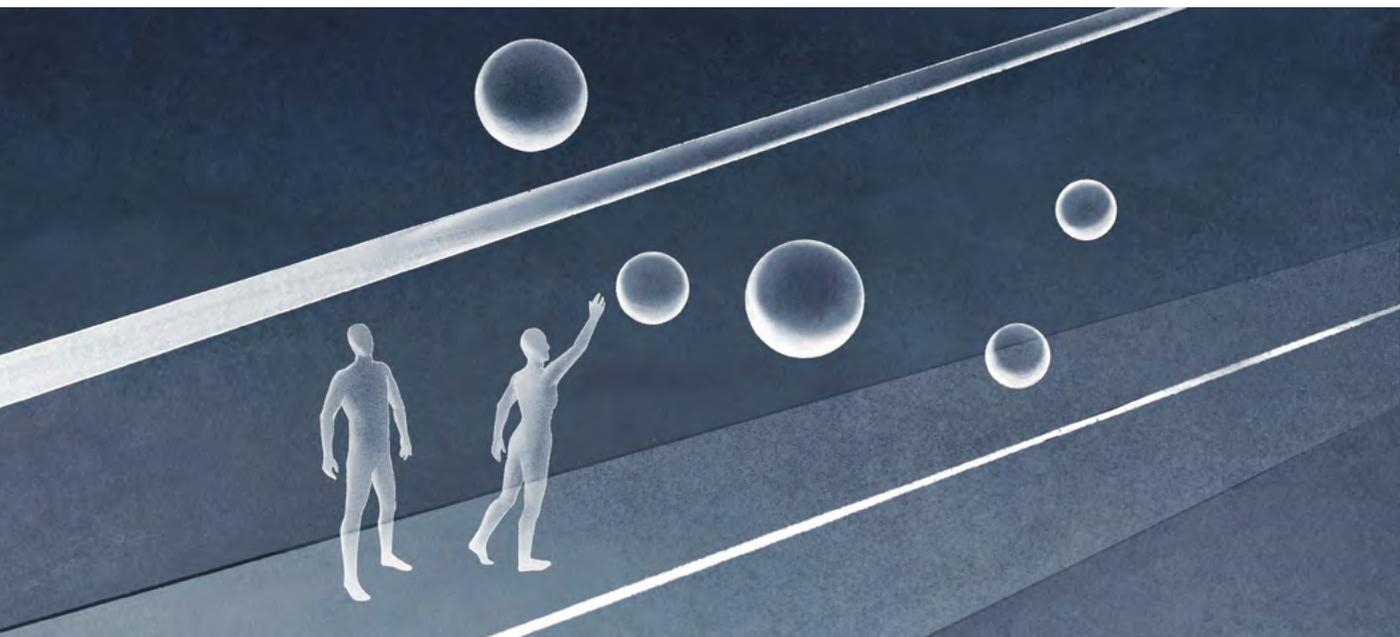
### La réalité virtuelle pour la cybersécurité

Si la réalité virtuelle peut être utilisée pour anticiper les risques d'une chaîne logistique, elle peut aussi être intéressante pour gérer les dangers informatiques. Marc-Oliver Pahl<sup>1</sup>, chercheur en cybersécurité au laboratoire IRISA à IMT Atlantique, développe avec son équipe de la chaire industrielle Cybersécurité des Infrastructures Critiques, un projet d'émulation en réalité virtuelle qui permet une visualisation de données en temps réel. « *Le but est de visualiser l'état d'un système informatique en temps réel pour détecter la présence d'attaques ou d'incidents et de visualiser les possibilités d'évolutions du système face à une attaque informatique* », explique le chercheur. « *Le canal entre le logiciel et l'humain est plus performant lorsque ce dernier utilise plusieurs sens comme la*

*vue, l'ouïe ou le toucher, ce qui nous a poussés à utiliser la réalité virtuelle pour développer notre nouvelle interface* », ajoute-t-il.

Comme avec Frederick Benaben « *l'idée est de produire des métaphores compréhensibles par des experts de différents niveaux* », résume-t-il. Le chercheur souhaite développer un système collaboratif dans lequel les professionnels de différents domaines d'expertise et partout dans le monde, pourraient visualiser au même moment dans un même espace virtuel des données identiques ou différentes. Dans la version actuelle du prototype virtuel, les machines intégrées dans un réseau sont représentées par des chambres et les liens entre elles sont symbolisés par des lignes le long desquelles circulent les paquets de données, symbolisés par des sphères.

1. Marc-Oliver Pahl est également membre du comité de pilotage de l'académie franco-allemande pour l'industrie du futur qui soutient True-view, un projet de visualisation des données. Le projet d'émulation de Marc-Oliver Pahl est financé par les partenaires de la chaire industrielle Cybersécurité des Infrastructures Critiques (cyberCNI.fr) de l'Insitut Mines-Télécom portée par IMT Atlantique, Télécom SudParis et Télécom Paris avec les partenaires Airbus, Amossys, BNP Paribas, EDF, SNCF, la région Bretagne et le FEDER en liaison avec le Pôle d'Excellence Cyber (PEC).



Le prototype est actuellement connecté à une Airbus cyber range, un environnement virtuel qui modélise des systèmes dans lesquels sont reliées des dizaines voire des centaines de machines. Le cyber range est un outil utile pour simuler des cyberattaques. « Dans une attaque de déni de service par exemple, nous allons observer une quantité anormalement élevée de paquets qui arrivent sur un nœud et vont le saturer », illustre le chercheur. Dans l'émulation actuelle, cela se manifeste par un nombre anormalement élevé de sphères qui se déplacent le long de lignes vers une ou plusieurs chambres qui représentent par exemple des ordinateurs.

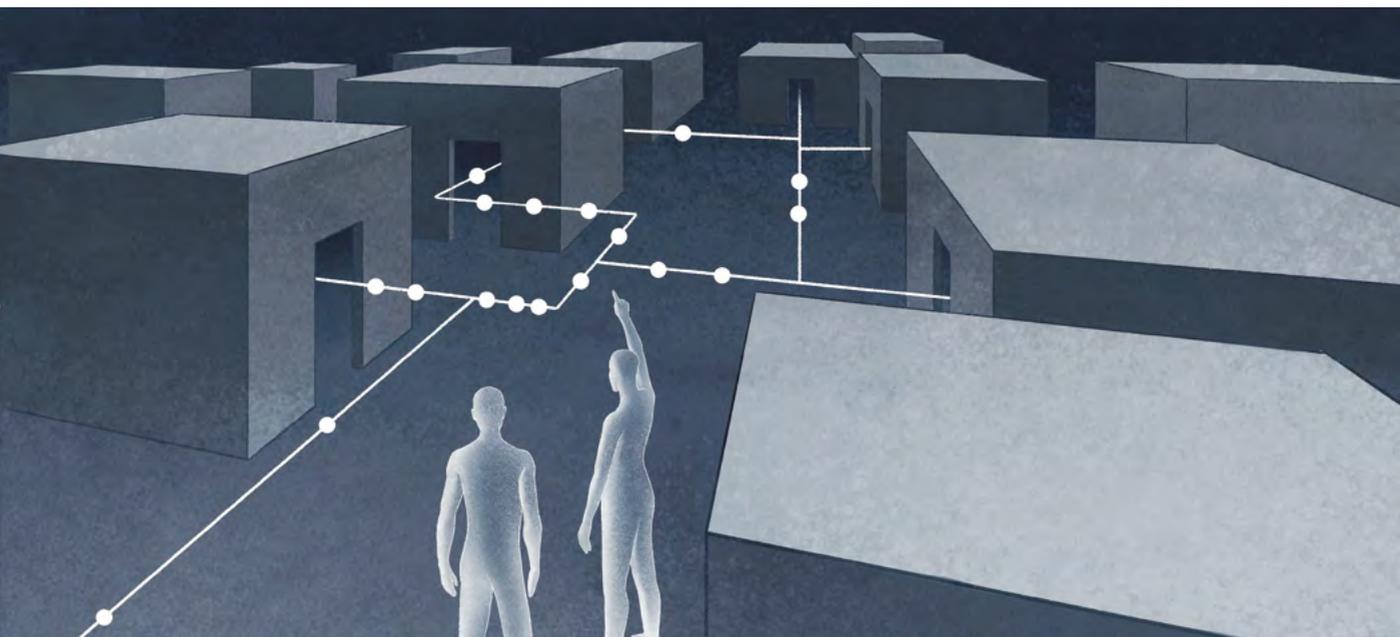
### Une collaboration envisageable entre deux projets

« Le lien avec les travaux de Frederick Benaben en réalité virtuelle est assez fort, puisque comme lui et son équipe, nous travaillons avec des outils similaires et des cas d'usage assez liés, comme sur la simulation de crise, même si les données que nous visualisons sont assez différentes », remarque Marc-Oliver Pahl. Une collaboration entre les deux projets ouvrirait des perspectives d'amélioration quant à l'ergonomie de l'interface virtuelle.

« L'objectif est que la réalité virtuelle nous permette de faire des choses impossibles dans la réalité, comme la manipulation d'un même objet de façon non coordonnée par plusieurs personnes », déclare Frederick Benaben. « Aujourd'hui nous n'avons pas encore étudié en profondeur les possibilités sur la partie décision multi-utilisateurs », ajoute-t-il.

Le déploiement de méthodes collaboratives constitue donc une prochaine étape dans le développement des interfaces des deux chercheurs. Mais à cela s'ajoutent des problématiques plus générales. Les casques de réalité virtuelle sont plutôt encombrants, ce qui ne facilite pas leur usage par les utilisateurs. De plus, les coûts sont encore trop élevés pour que la réalité virtuelle soit utilisée couramment. « Le jour où les lunettes remplaceront les casques, les coûts seront plus bas et les logiciels seront attractifs, alors l'usage de la réalité virtuelle pourrait se généraliser », envisage Frederick Benaben. ▲

Rédigé par Rémy Fauvel.



---

# EXPOSITION AUX ONDES

---

## COMPRENDRE LES RISQUES POUR MIEUX S'EN PRÉMUNIR

---

Avec le déploiement de la 5G, les préoccupations concernant de possibles risques liés aux usages de la téléphonie mobile ont été renforcées. Dans le cadre du projet européen GOLIAT financé à hauteur de 7 M€ par l'Union européenne, Télécom Paris et la chaire C2M participent à la surveillance des niveaux d'exposition aux champs électromagnétiques de certaines populations et à l'identification de potentiels effets sur leur santé. Le projet a été lancé en juin 2022 pour une durée 4 ans. Entretien avec Joe Wiart, titulaire de la chaire C2M.

**P**ourquoi, alors que des directives visant à limiter l'exposition aux CEM sont déjà appliquées par les États membres, l'Union européenne a-t-elle lancé l'appel à projets « Santé et exposition aux CEM » ?

**Joe Wiart** – La 5G utilise de nouvelles fréquences et va engendrer de nouveaux usages. Les champs électromagnétiques (CEM) émis par la 5G, les antennes relais et les équipements doivent être conformes aux directives européennes (directive travailleurs, *Radio Equipment Directive*) et aux limites recommandées par la commission européenne. Afin de garantir la validité de ces limites de protection, celles-ci sont régulièrement réévaluées. Ainsi en 2020, l'ICNIRP (la commission internationale de protection contre les rayonnement ionisant), a adopté de nouvelles recommandations prenant en compte l'avancée des connaissances.

Avec les évolutions d'usage et de technologie, il est important de bien caractériser les niveaux d'exposition aux champs électromagnétiques radiofréquences (RF), de fournir de nouvelles informations sur les effets potentiels neuropsychologiques et biologiques causaux, et de comprendre la perception et la communication des risques en utilisant une approche paneuropéenne transdisciplinaire.

**Dans le cadre de GOLIAT, sur quelles populations porteront les études et avec quels objectifs ?**

**JW** – Les études vont porter sur les travailleurs et la population générale, avec une attention particulière aux enfants.

L'objectif est de bien évaluer les expositions aux ondes RF et de maîtriser ces expositions et leurs évolutions en fonction des évolutions technologiques telles que la 5G et les antennes à faisceaux directs, et de l'utilisation des fréquences millimétriques. GOLIAT va caractériser et surveiller les modèles et les niveaux d'exposition aux CEM chez les jeunes et les travailleurs, dans le contexte du déploiement des réseaux de radiocommunication de nouvelle génération. GOLIAT va analyser l'exposition aux ondes RF et les effets neuropsychologiques potentiels sur la fonction cognitive, la santé mentale et le sommeil chez les jeunes et les travailleurs. Le projet va identifier les effets biologiques et neuropsychologiques potentiels de l'exposition aux ondes électromagnétiques de la 5G sur la fonction cérébrale, la thermorégulation et le stress induit sur l'organisme, par le biais d'expériences *in vitro*, *in vivo*, chez l'homme, et par la simulation numérique (*in silico*), en utilisant une approche intégrative.

**Déjà impliqués dans le projet SEAWave, les chercheurs de Télécom Paris apportent leur contribution scientifique à GOLIAT. De quelle nature est-elle ?**

**JW** – La contribution des chercheurs de Télécom Paris dans ces projets va principalement concerner les travaux relatifs à la collecte et la modélisation des expositions. Pour cela, nous allons étudier les apports et les limites de l'intelligence artificielle dans l'évaluation des expositions. Nous allons collecter des données expérimentales (*via* les réseaux de capteurs, les *drive tests* et les mobiles), des données ouvertes relatives aux architectures des réseaux (par ex. la localisation, le plan de



fréquence), et étudier la reconstruction spatio-temporelle des cartes d'exposition.

### Qui sont les partenaires engagés dans le projet GOLIAT ?

**JW** – GOLIAT est porté par ISGlobal (Institute for Global Health, Barcelone, Espagne). Monica Guxens, professeur, médecin spécialisée en santé publique et en médecine préventive, en est la responsable. Les 21 autres partenaires sont répartis dans 11 pays d'Europe (Autriche, Belgique, Espagne, France, Grande-Bretagne, Hongrie, Italie, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Suisse) et aux États-Unis.

---

**« La question est donner à chacun les moyens de comprendre et de réduire son exposition s'il le désire. »**

---

### À terme, quelles sont les solutions envisagées pour prévenir les risques d'une trop grande exposition aux CEM ?

**JW** – La question n'est pas tant de développer des solutions pour prévenir les risques d'une trop grande exposition aux CEM, car les expositions sont très en dessous des limites, mais de donner à chacun les moyens de comprendre et de réduire son exposition s'il le désire. Les études de GOLIAT vont porter sur les moyens efficaces de réduire l'exposition. Ceux-ci sont importants non seulement en termes de réduction de la dose et des risques potentiels pour la santé associés, mais également parce qu'ils constituent

une voie vers une acceptation plus large des technologies capables d'apporter une gamme d'avantages sociétaux. ▲

Propos recueillis par  
Véronique Charlet.

---

### Les partenaires de GOLIAT

**Autriche** University of Vienna (UNIVIE) ;

**Belgique** Ghent University (UGent) ;

**Espagne** Barcelona Institute for Global Health (ISGlobal), Science for Change (SC) ;

**France** Télécom Paris (TP), Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), National Institute of Industrial Environment and Risks (INERIS) ;

**Grande-Bretagne** University of Bristol (UNIVBRIS), University of Exeter Medical School (UNEXE) ;

**Hongrie** National Public Health Center (NPHC), University of Pécs (UP) ;

**Italie** Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Università degli Studi di Torino (UNITO), University La Sapienza (UNIROMA1), University of Bologna (UNIBO) ;

**Norvège** Norwegian University of Life Sciences (NMBU) ;

**Pays-Bas** Academisch Medisch Centrum (AMC) ;

**Pologne** Nofer Institute of Occupational Medicine (NIOM) ;

**Suisse** Swiss Tropical and Public Health Institute (SwissTPH) ;

**USA** Massachusetts General Hospital (MGH), Harvard School of Public Health (HSPH), University of Michigan (UMich).



# II

---

## ÉNERGIE & ENVIRONNEMENT

---

### 1

DÉCHETS PLASTIQUES :  
TRANSFORMER  
LE PROBLÉMATIQUE  
EN ÉNERGÉTIQUE

---

### 2

NUCLÉAIRE :  
LES ENJEUX  
DE LA SOUS-TRAITANCE

---

### 3

BEEP MN :  
SURVEILLER  
LES ABEILLES  
POUR MIEUX  
LES CHOUCROUTER

---

---

# DÉCHETS PLASTIQUES

---

## TRANSFORMER LE PROBLÉMATIQUE EN ÉNERGÉTIQUE

---

Le cycle de vie linéaire des plastiques, trop peu recyclés, exerce une pression accrue sur l'environnement. Le procédé de gazéification permettrait de réduire cet impact en transformant davantage de déchets – actuellement incinérés ou mis en décharge – en ressources d'intérêt comme l'hydrogène ou le biométhane. Javier Escudero, chercheur en génie des procédés à IMT Mines Albi, vise à perfectionner cette approche pour favoriser son implémentation locale.

**D**es déchets plastiques comme s'il en pleuvait. S'il est bien connu qu'ils s'accumulent dans les décharges et les océans, une étude américaine parue dans le journal *Science* a également montré que des fragments virevoltent dans l'air que nous respirons. Malgré cette pollution accrue, la production mondiale continue sa croissance fulgurante. Cependant, en bout de chaîne, le recyclage n'a jamais réussi à suivre la tendance. En France, le taux de recyclage moyen de l'ensemble des plastiques serait de 28 %, un quota majoritairement obtenu grâce au recyclage des bouteilles (54,5 % du total). Une grande majorité de ces matériaux est donc incinérée ou mise en décharge.

Afin de répondre efficacement à la crise du plastique, d'autres formes de valorisation doivent être développées. « *La gazéification permet de transformer ces déchets en vecteurs énergétiques utiles tout en perdant le moins de matière possible* », expose Javier Escudero, chercheur en génie des procédés à IMT Mines Albi. Une alternative qui s'inscrit dans un contexte d'économie circulaire.

### **Des emballages made in plastic pas fantastiques**

Les plastiques rigides utilisés dans les bouteilles sont généralement constitués d'un seul matériau, ce qui facilite leur recyclage. Les films d'emballage, représentant 40 % des gisements de déchets, n'ont pas cette chance. Ils consistent en une combinaison multicouche de différents plastiques : polyéthylène, polyu-

---

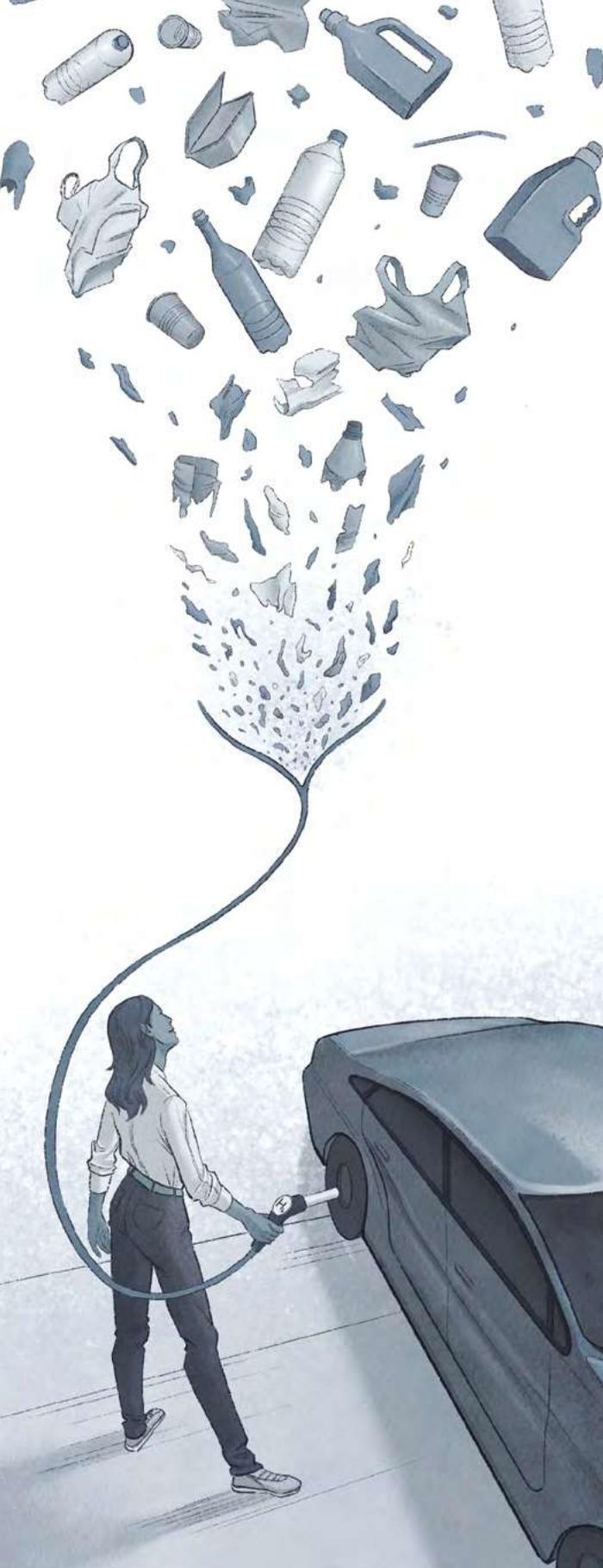
## **« En France, le taux de recyclage des plastiques serait de 28 %. »**

---

réthane, etc. parfois mêlée à d'autres matériaux comme les cartons. Cette composition chimique complexe rend leur recyclage trop coûteux. Dans les centres de tri, ils se retrouvent donc en masse au sein des combustibles solides de récupération (CSR) – des déchets non dangereux utilisés pour la valorisation énergétique. Ils sont donc incinérés pour alimenter des turbines et générer de l'électricité.

Autres rebuts inéligibles au recyclage : les emballages de produits chimiques (industriels et grande consommation), considérés comme dangereux. Un pré-lavage de ces gisements retire une partie des composés toxiques (chlore, soufre, métaux, etc.) en surface. Toutefois, certains atomes migrent à l'intérieur de la matière que le pré-lavage ne permet pas de retirer. C'est là qu'entrent en jeu les avantages de la gazéification. « *Elle permet de traiter tous les plastiques – les CSR et les pollués – et ce, avec un prétraitement moindre en amont du procédé* », souligne Javier Escudero.

De plus, ce procédé a une plus grande capacité de valorisation des déchets plastiques que l'incinération, car elle produit des composés chimiques réutilisables par l'industrie. Ces gaz de synthèse peuvent être brûlés pour générer de l'énergie (chaleur, électricité) avec un



meilleur rendement que la combustion. Ils peuvent aussi être retraités et stockés sous forme de gaz d'intérêt énergétique (biométhane, hydrogène). Pour y parvenir, l'un des enjeux de recherche est d'observer l'influence des polluants, et donc de la composition des plastiques, sur les produits obtenus après gazéification.

### **Transformer la matière jusqu'à la dernière miette**

Les déchets broyés sont compactés sous forme de pastilles de taille homogène facilitant leur transformation en gaz au sein d'un gazéifieur. Mais valoriser au maximum les déchets demande d'adapter les paramètres de fonctionnement de la gazéification selon une classification des plastiques contenus dans ces pastilles. Par exemple, un traitement à basse température casse les longues chaînes de polymères constituant les films plastiques. Les molécules sont ensuite recoupées lors d'une nouvelle étape comme cela se fait en pétrochimie. En résulte une grande diversité de produits : hydrogène, méthane, acétylène, ainsi que des molécules plus lourdes.

Une transformation à plus haute température produit davantage de gaz de synthèse. Toutefois, elle favorise aussi la production de molécules aromatiques comme le benzène et le naphthalène. Ces composés, à la structure très stable, sont très difficiles à casser pour obtenir des molécules d'intérêt et peuvent se convertir en suies – des solides qui se déposent dans les conduits – synonymes d'une importante perte de matière. L'objectif des travaux de Javier Escudero sur la gazéification est donc de combiner les avantages de ces deux traitements afin d'éviter la formation de résidus solides, tout en produisant un maximum de gaz.

---

### **« La gazéification transforme un matériau d'origine fossile en énergie renouvelable. »**

---

Pour cela, le chercheur et son équipe jouent notamment sur l'injection de gaz qui vont briser les liaisons moléculaires des matières à transformer. Où et quand les injecter dans le procédé ? Avec quel rapport ? Comment réagit la matière ? Autant de questions nécessaires à l'amélioration du procédé. Pour les tests, le gazéifieur de la plateforme technologique Valthera située à IMT Mines Albi permet de traiter une vingtaine de kilogrammes de matière par heure. En plus de la matière, le procédé valorise l'énergie des matériaux. « *Les réactions de gazéification ont besoin d'énergie pour se*

*produire. Cela signifie que nous utilisons l'énergie stockée dans la matière pour alimenter sa transformation* », explique le chercheur.

#### **Dépenser moins, transformer plus**

L'hydrogène et le biométhane obtenus par gazéification alimentent directement les ambitions de la transition énergétique française. La gazéification transforme donc un matériau d'origine fossile, en énergie renouvelable. Cependant, ce procédé reste cantonné au cadre de la recherche. « *Il y a encore de nombreux petits aspects à étudier dans la conception des gazéifieurs pour les rendre plus performants et matures selon une quantité donnée de matière. Nous allons également nous concentrer sur l'épuration des gaz de synthèse dans le but d'identifier des solutions encore moins onéreuses* », rapporte Javier Escudero. La gazéification pourrait compléter les modes de gestion des déchets à l'échelle locale. Son coût demeure néanmoins le plus grand frein à son adoption par de petits acteurs industriels. ▲

**Rédigé par Anaïs Culot.**

---

# NUCLÉAIRE

---

## LES ENJEUX DE LA SOUS-TRAITANCE

---

Depuis la fin du XXe siècle, le phénomène de sous-traitance s'est amplifié en France. Un phénomène qui n'épargne pas des secteurs stratégiques comme le nucléaire. Stéphanie Tillement, chercheuse en sociologie à IMT Atlantique, a travaillé sur le rapport entre la sécurité et la sous-traitance dans l'industrie nucléaire.

« **D**epuis les années 1970, nous observons une aug-

mentation de l'externalisation dans de très nombreux secteurs industriels, notamment pour les activités de maintenance », déclare Stéphanie Tillement, chercheuse en sociologie à IMT Atlantique. Dans l'ouvrage intitulé *Contracting and Safety*, elle propose avec des chercheuses et chercheurs français et internationaux une analyse nuancée et sans a priori du recours à la sous-traitance. Le livre aborde notamment le cas du nucléaire. « *Nous avons voulu montrer la diversité des relations entre exploitants du nucléaire et sous-traitants, et des rapports entre sous-traitance et sûreté* », témoigne Stéphanie Tillement.

« *Contrairement à l'idée répandue, le terme 'sous-traitance' ne renvoie pas à une réalité homogène : les situations de sous-traitance varient par exemple selon la taille de l'entreprise prestataire, ou la durée de la présence du personnel prestataire sur l'installation* », poursuit la chercheuse. Au-delà du cas des « nomades du nucléaire », auxquels on associe souvent la sous-traitance dans le nucléaire, certains personnels sous-traitants travaillent depuis des années voire des décennies sur le même site et pour le même donneur d'ordre. Si les premiers interviennent de façon ponctuelle, au gré des arrêts de tranche, conduisant certains à dénoncer des formes de précarité du travail, il n'en va pas de même pour l'ensemble des prestataires externes. Ainsi, les conditions de travail, tout comme les formes

de socialisation entre donneur d'ordre et prestataire, varient grandement selon les types de sous-traitance considérés.

**« Les sous-traitants sont exposés à 80 % de la dose de rayonnement ionisant collective pendant les activités de maintenance. »**

#### Professions à risques

La sous-traitance dans le nucléaire et ses effets sur la sûreté et la sécurité des installations comme des travailleurs, ont fait l'objet d'une attention accrue du monde politique (voir la Commission parlementaire dite « Pompili » en 2018) comme du monde académique. La directrice de recherche honoraire du groupement d'intérêt scientifique sur les cancers d'origine professionnelle de l'Inserm, Annie Thébaud-Mony, a montré que « *sur les sites nucléaires français, les employés des entreprises sous-traitantes étaient exposés à 80 % de la dose de rayonnement ionisant collective pendant les activités de maintenance* », détaille Stéphanie Tillement. En d'autres termes, les salariés sous-traitants sont plus exposés que d'autres aux rayonnements ionisants.

Cela s'explique davantage par la nature des tâches externalisées, souvent dangereuses car nécessitant des interventions dans des zones à risques, que par la nature de la protection ou du suivi

des salariés sous-traitants. Par ailleurs, l'exploitant d'une installation nucléaire de base — par exemple un réacteur nucléaire ou une usine de traitement des déchets radioactifs — est juridiquement responsable de la sûreté de son installation, dans le cadre de la loi dite du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire. Cela s'applique aux activités sous-traitées. En cas d'incident ou d'accident, c'est l'exploitant qui reste responsable.

---

**« En cas d'accident,  
c'est l'exploitant  
qui reste responsable. »**

---

Une des questions majeures posées par le recours à la sous-traitance est celle de la surveillance des activités effectuées par les prestataires externes. Pour s'assurer que les tâches sont réalisées dans le respect des exigences de sûreté, l'exploitant est tenu de mettre en place une surveillance des salariés sous-traitants. Une réelle surveillance par le donneur d'ordre suppose que celui-ci ait conservé la maîtrise technique industrielle des activités externalisées, mais aussi que les moyens nécessaires (en ressources humaines, en temps) soient affectés à cette surveillance. « *Un enjeu majeur vis-à-vis de la surveillance réside dans les compétences de celui ou celle qui surveille : en cas de non maîtrise technique, le risque est que la surveillance se limite à des vérifications formelles et ne prenne pas en compte la réalité de l'activité* », indique la

sociologue. Dans le cadre de la sous-traitance de spécialité, cette problématique est d'autant plus prégnante que l'exploitant fait appel à des salariés sous-traitants possédant des compétences spécifiques qu'il ne détient pas en interne.

**Des rapports pluriels**

Dans le secteur nucléaire, les soudeurs sont un exemple emblématique de compétences spécifiques à la fois rares et très recherchées et dont le rôle est fondamental pour maintenir la sécurité des matériels. Leur travail nécessite un haut niveau d'expertise. Dans le cas de la sous-traitance de spécialité, les rapports de force peuvent ainsi être en faveur du prestataire, l'exploitant étant dépendant du sous-traitant. Ce dernier peut alors négocier des contrats plus favorables (avec une moindre pression sur les coûts et délais par exemple).

---

**« Un enjeu majeur vis-à-vis  
de la surveillance réside  
dans les compétences de celui  
qui surveille. »**

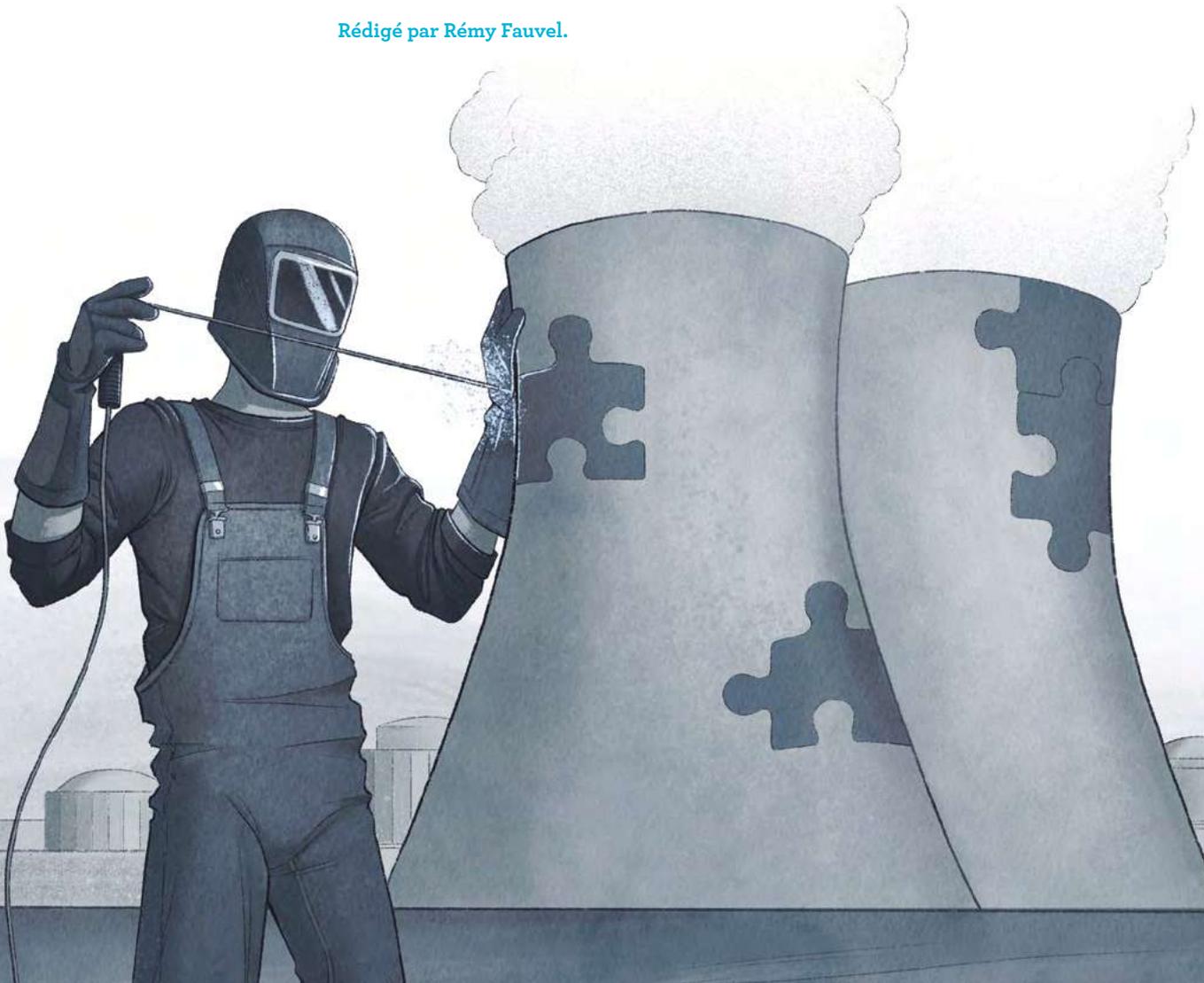
---

« *La sous-traitance pose le problème plus général de la fragmentation du travail et des organisations, qui s'accompagne d'une plus grande complexité liée aux multiples interfaces et interdépendances à gérer* », souligne Stéphanie Tillement. « *Souvent, on observe que les entreprises qui font le choix d'externaliser une partie de leurs activités envisagent principale-*

ment le gain à court terme », remarque-t-elle. « Ce faisant, elles omettent toute une série de coûts cachés sur le long-terme, concernant notamment la nécessité pour le donneur d'ordre de se réorganiser en interne pour permettre une coordination et une surveillance sur le long terme », poursuit la scientifique. Ces réorganisations peuvent être coûteuses et nécessiter des apprentissages substantiels pour garantir la sûreté et la sécurité des travailleurs sur le temps long. ▲

Rédigé par Rémy Fauvel.

**« Des apprentissages substantiels sont nécessaires pour garantir la sécurité des travailleurs sur le temps long. »**



---

# BEEPMN

---

SURVEILLER  
LES ABEILLES  
POUR MIEUX  
LES CHOUCROUTER

---

Au croisement de l'industrie 4.0 et de l'internet des objets, le projet de recherche BeePMN vient en aide aux apiculteurs professionnels et amateurs. Il proposera une application smartphone intuitive regroupant les processus métiers et des mesures en temps réel des ruchers.

**L**orsqu'un essaim d'abeilles devient trop peuplé pour sa ruche, la reine cesse de pondre et les abeilles ouvrières partent à la recherche d'un nouveau lieu pour fonder une nouvelle colonie. La ruche se divise en deux, ceux qui suivent la reine vers de nouveaux horizons, et ceux qui restent et choisissent une nouvelle reine pour reprendre la tête de l'essaim. Aussi excitante que soit cette nouvelle aventure pour les abeilles, pour l'apiculteur qui entretient cette ruche, ce nouveau départ est synonyme de complications. Notamment, la perte d'une partie de la colonie s'accompagne aussi d'une baisse de production de miel. Par ailleurs, la perte des abeilles peut avoir une raison bien plus redoutée, comme l'apparition d'un virus ou une invasion menaçant l'état de santé de la colonie d'abeilles.

---

**« La perte des abeilles peut signifier l'apparition d'un virus ou une invasion menaçant l'état de santé de la colonie. »**

---

Les apiculteurs suivent donc minutieusement ces événements ponctuant la vie des abeilles, mais suivre les ruches au jour le jour est un problème de taille ; ou plutôt, un problème de temps. Le projet BeePMN veut leur donner des yeux derrière la tête pour suivre en temps réel l'état de santé de leurs ruches. Il se situe au croisement des processus de l'industrie

4.0 et de l'internet des objets. BeePMN associe un système de capteurs non invasifs pour disposer de données en temps réel et une application intuitive et facile d'utilisation pour apporter de l'aide à la décision.

Ce projet a été lancé dans le cadre des Partenariats Hubert Curien qui soutiennent les échanges scientifiques et technologiques entre pays, offrant alors l'installation de sites à la fois en France à proximité d'Alès, et au Liban avec la coopérative apicole l'Atelier du miel. Il est porté par une collaboration entre une équipe menée par Gregory Zacharewicz, Nicolas Daclin et François Troussel à IMT Mines Alès, une équipe menée par Charles Yaacoub et Adib Akl à l'Université Saint-Esprit de Kaslik au Liban, et l'entreprise ConnectHive. Cette entreprise spécialisée dans l'ingénierie appliquée au domaine apicole a été créée par François Pfister, chercheur d'IMT Mines Alès à la retraite, et passionné d'apiculture.

Les buts de BeePMN sont multiples : surveiller l'état de santé des ruches, améliorer la production de miel ou encore faciliter le partage de connaissances entre professionnels et amateurs. « *Je travaille sur des problématiques de processus métiers plutôt dans l'industrie* », présente Grégory Zacharewicz, chercheur à IMT Mines Alès sur le projet. « *Mais la synergie avec ces différents partenaires nous a orientés vers le domaine de l'artisanat, notamment l'apiculture* », avec l'idée de proposer des outils pour accélérer leurs tâches ou des rappels sur certaines activités. « *Je compare souvent BeePMN avec un GPS : il est bien sûr possible*



de conduire sans, mais cet outil guide le conducteur pour optimiser ses choix », illustre-t-il.

### Prendre de meilleures décisions

Les différents sites, à la fois en France et au Liban, sont équipés de capteurs connectés, non-invasifs pour les colonies d'abeilles, prenant des données en temps réel sur l'état de santé comme l'humidité, la température ou le poids. Pour ce dernier, ils ont développé une balance nomade, moins coûteuse que l'équivalent fixe habituel. Puis, ces données sont répertoriées dans une application pour guider les apiculteurs dans leurs choix quotidiens. Des décisions auxquelles les professionnels sont certes habitués, mais ceux-ci n'ont pas forcément toutes les informations en main, ni le temps de surveiller l'ensemble de leurs ruchers.

Les données observées par les capteurs sont couplées à d'autres informations environnementales comme la saison en cours, les conditions météorologiques ou la période de floraison. Cela donne accès à des indications précises sur chacune des ruches, leur environnement, et améliore la pertinence dans les choix et actions possibles.

« Si par exemple, l'on observe une perte de poids subite d'une ruche de 60%, il n'y a pas d'autre possibilité que la récolte », indique Charbel Kady, doctorant à IMT Mines Alès également sur le projet BeePMN. En revanche, si la perte de poids est progressive dans la semaine, cela peut être associé à beaucoup d'autres facteurs comme un virus attaquant la colonie ou une partie de la

colonie emménageant ailleurs. C'est tout l'intérêt de combiner des données essentielles comme le poids avec des variables environnementales, pour améliorer les certitudes sur la cause d'un événement. « C'est donner du sens aux informations pour identifier la cause », souligne Charbel Kady.

Les chercheurs souhaiteraient d'ailleurs compléter les informations environnementales en ajoutant des cartes de végétation. Un aspect important, particulièrement au regard des plantes mellifères, mais ce sont aussi des informations difficiles à trouver pour certaines régions, et complexes à mettre en place dans une application. Le projet veut aussi évoluer vers des aspects de prévention : une doctorante, Marianne El Kassis, a rejoint l'équipe de BeePMN pour travailler sur des simulations et les intégrer à l'application pour pouvoir prévenir de risques potentiels.

---

## « L'un des intérêts de l'application est de faciliter l'entraide entre les apiculteurs :. »

---

### Apprendre par le jeu

Les deux chercheurs soulignent que l'un des intérêts de l'application est de faciliter l'entraide entre les apiculteurs : « Les apiculteurs peuvent partager des informations entre eux, et le modèle intéressant d'un collègue peut être adapté dans la vie quotidienne d'un autre », indique

Charbel Kady. L'application centralise les données pour un ensemble de ruchers et les apiculteurs peuvent partager leurs résultats avec d'autres, ou bien les mettre à disposition de débutants. C'est le cœur du second volet de ce projet, un *serious game* pour proposer une version simplifiée et ludique aux apiculteurs amateurs, moins autonomes.

Les professionnels ont l'habitude de répéter un certain nombre d'actions, il est alors possible de les formaliser avec les outils informatiques sous forme de processus métiers pour orienter les amateurs dans leurs activités. « *Nous avons organisé plusieurs rencontres avec des apiculteurs pour définir ces règles métiers et les intégrer à l'application, et lorsque les capteurs reçoivent l'information, cela va déclencher certaines actions ou alertes, comme s'occuper de la récolte de miel ou un besoin d'ajout de cire dans la ruche* », explique Grégory Zacharewicz.

« *L'aspect passage de connaissances et de compétences est fort, on peut imaginer cela comme une forme de compagnonnage pour transmettre les acquis d'expérience* », précise le chercheur. Là encore, l'image du GPS a toute sa place : « *Il met à disposition toute une série de choix historiques de professionnels et autres utilisateurs pour que lorsque vous rencontrez une situation particulière, il propose les meilleures actions en fonction de ce qui a été décidé par d'autres utilisateurs dans le passé* », ajoute le chercheur. Le concept de l'application est bien similaire, en offrant la possibilité de capitaliser sur les connaissances des processus métiers des professionnels

pour se former, apprendre, tout en étant accompagné.

---

**« Nous pouvons imaginer beaucoup d'activités humaines et industrielles dans lesquelles ce projet peut être transposé. »**

---

Le projet BeePMN est basé sur les activités apicoles, mais les chercheurs soulignent que le concept en soi peut être appliqué à de nombreux domaines. « *Nous pouvons imaginer beaucoup d'activités humaines et industrielles dans lesquelles ce projet peut être transposé pour accompagner la prise de décision et la rendre plus robuste* », conclut Grégory Zacharewicz. ▲

Rédigé par Tiphaine Claveau.





# III

---

# MATÉRIAUX

---

## 1

PROTÉGER  
LES CONSTRUCTIONS  
EN MILIEU MARIN POUR  
UN ÉOLIEN OFFSHORE  
DURABLE

---

## 2

DES IMPRESSIONS 3D  
PLUS RÉSISTANTES

---

## 3

DES MASQUES  
CONNECTÉS POUR  
ANALYSER L'HUMIDITÉ  
ET LA RESPIRATION

---

---

# PROTÉGER LES CONSTRUCTIONS EN MILIEU MARIN POUR UN ÉOLIEN OFFSHORE DURABLE

---

Le milieu marin est particulièrement agressif pour les structures soumises aux événements hydro-océanographiques, et pour les matériaux de construction en particulier. Afin d'améliorer la durabilité des constructions en mer, telles que les éoliennes offshore, il est nécessaire de mieux comprendre les mécanismes d'interaction entre le milieu marin et les matériaux structurels utilisés. C'est le but du projet DuMaCoBio qui vise à comprendre et à améliorer les interactions entre les matériaux de construction (béton armé, acier) et l'environnement marin (micro-organismes).

**L**a région Occitanie compte devenir en 2050 la première région d'Europe à couvrir intégralement ses besoins énergétiques par les énergies renouvelables. Si la région mise sur l'éolien flottant, il est cependant nécessaire de comprendre les mécanismes d'interactions entre le milieu marin et les matériaux structurels des éoliennes flottantes. C'est pourquoi la région Occitanie soutient DuMaCobio<sup>1</sup>, un projet qui s'oriente sur l'étude des interactions entre le béton et l'acier, l'eau de mer et les micro-organismes marins en mer Méditerranée.

Le premier objectif du projet est d'observer les interactions des matériaux de construction, béton armé et acier, avec l'environnement marin pour trois éléments : les flotteurs, les chaînes et les lests d'ancrages sous-marins. Grâce à l'expertise des entreprises Corrohm et A-Corros, divers systèmes anti-corrosion seront testés et modélisés. Par ailleurs, les micro-organismes présents en Méditerranée, qui colonisent toute surface immergée, pourront modifier le fonctionnement des dispositifs de protection mis en place.

Une question sur laquelle les chercheurs vont se concentrer est de savoir si la bio-colonisation de surface peut être favorable à la durabilité des matériaux colonisés. Le second objectif du projet est de réduire l'impact environnemental des structures sur toute leur durée de vie. Cela passe par l'utilisation de matériaux (bétons et aciers) et de techniques plus respectueuses de l'environnement.

---

**« Les micro-organismes  
présents en Méditerranée  
pourront modifier  
le fonctionnement des  
dispositifs de protection. »**

---

**Étudier les effets  
de la bio-colonisation**

L'environnement marin est considéré comme très agressif pour les ouvrages en béton notamment à cause de la houle et des vagues qui ont des actions érosives et mécaniques importantes sur ces constructions. De plus, la composition de l'eau de mer joue aussi sur la détérioration

---

**1.** Le projet DuMaCoBio pour *Durability, protection and environmental impact of marine structures – (bio)corrosion, anti-corrosion, ecodesign, biocolonisation*, est porté par le Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions (LMDC). Trois autres laboratoires sont associés au projet : le LGC (Laboratoire de génie chimique, UMR CNRS, UPS et INP Toulouse), le LMGC (Laboratoire de mécanique et génie civil, université de Montpellier) et le LBBM (Laboratoire de biodiversité et biotechnologies microbiennes de l'Observatoire océanologique de Banyuls-sur-Mer). La start-up toulousaine Corrohm, l'entreprise Arlésienne A-Corros et le spécialiste du ferrailage des ouvrages ProArmature sont également présentes dans le projet.

des édifices. En effet, les ions contenus dans l'eau de mer causent des agressions chimiques sur le béton et contribuent ainsi à endommager les ouvrages. Les actions d'origine biologique sur les édifices sont toutefois moins connues. C'est pour cela que DuMaCobio compte étudier les effets de la bio-colonisation sur la durabilité des matériaux.

---

## « Les ions contenus dans l'eau de mer agressent le béton et endommagent les ouvrages. »

---

Dans ce projet, Marie Salgues et Jean-claude Souche, deux chercheurs d'IMT Mines Alès, apportent leurs compétences sur l'interaction des mortiers et des bétons avec le milieu marin. Ils participent à l'étude des effets de la bio-colonisation sur les ouvrages, ou comment les organismes prolifèrent sur le béton et impactent ses propriétés. Pour cela, les chercheurs du projet ont immergé des échantillons de béton de compositions variées. « *Il s'agit d'échantillons de bétons les plus utilisés dans l'industrie de construction en milieu marin* », précise Marie Salgues. « *Nous comptons également mener nos études sur d'autres types de liants pour tester des bétons bas carbone afin de mieux considérer les problématiques climatiques et s'inscrire dans une stratégie bas carbone nécessaire* », ajoute la chercheuse.

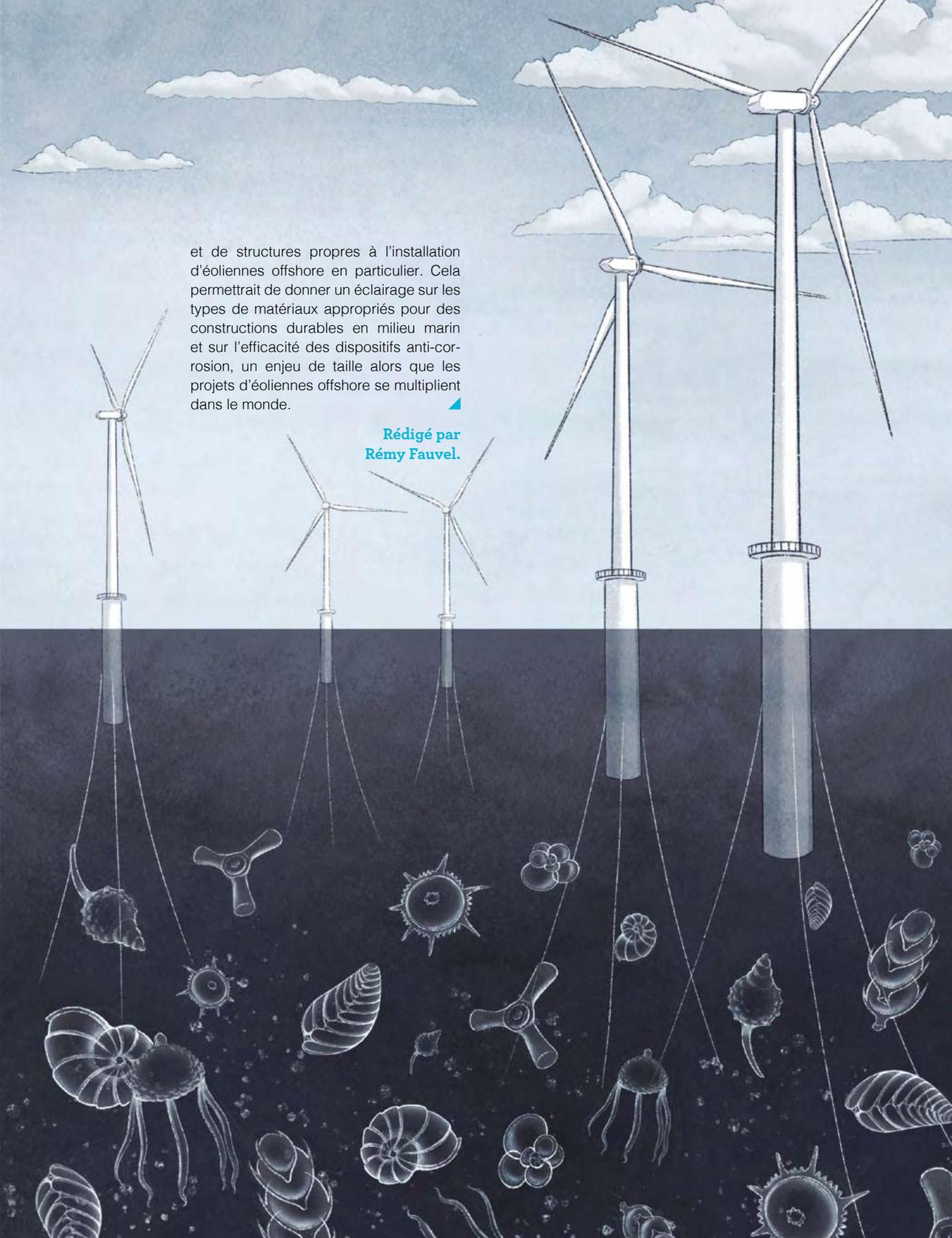
Les échantillons ont été immergés à 27 mètres de profondeur sur le site du LBBM (Laboratoire de Biodiversité et Biotechnologies Microbiennes) à Banyuls-sur-mer. Des plongées seront organisées toutes les semaines pour comptabiliser la bio-colonisation grâce au soutien de la plateforme REMIMED (Réseau marin instrumenté en Méditerranée).

« *On peut supposer que les bétons avec un pH de surface proche de celui de l'eau de mer soient plus colonisés que les surfaces des bétons avec un pH élevé* », indique la scientifique. En effet, un milieu qui se rapproche du milieu naturel des organismes sera davantage favorable à leur développement. La morphologie des surfaces et la rugosité peuvent aussi jouer sur la croissance des espèces. Les aspérités permettent une meilleure accroche pour certains micro-organismes tandis que certaines espèces d'algues préfèrent des surfaces lisses pour proliférer.

### L'écoconception au cœur du projet

Les recherches menées dans le projet DuMaCoBio s'ancrent dans une approche d'écoconception. Cela se traduit par le fait de concevoir des projets en considérant les préoccupations écologiques globales et locales. Il s'agit aussi « *de minimiser l'impact d'une structure, de sa naissance jusqu'à sa fin de vie et cela passe par un choix de matériau constructif pertinent et durable* », indique Marie Salgues.

Le projet DuMaCoBio a été lancé en avril dernier, et durera 4 ans. Les résultats obtenus à l'issue de ce projet pourraient être utiles pour orienter les donneurs d'ordres sur la construction d'ouvrages maritimes

The illustration shows several offshore wind turbines of varying sizes. The largest turbine is on the right, with its tower extending deep into the water. The water is dark, and the seabed is visible with various marine organisms like shells, jellyfish, and sea urchins. The sky is light blue with white clouds. The text is positioned in the upper left quadrant, and the author's name is in the center.

et de structures propres à l'installation d'éoliennes offshore en particulier. Cela permettrait de donner un éclairage sur les types de matériaux appropriés pour des constructions durables en milieu marin et sur l'efficacité des dispositifs anti-corrosion, un enjeu de taille alors que les projets d'éoliennes offshore se multiplient dans le monde. ▲

Rédigé par  
Rémy Fauvel.

---

# DES IMPRESSIONS 3D PLUS RÉSISTANTES

---

L'impression 3D est un procédé de fabrication utilisé tant pour le loisir que par les industries aéronautique, automobile, ferroviaire ou médicale. Le projet Shoryuken développé à IMT Nord Europe vise à améliorer les performances mécaniques des objets imprimés en matériaux plastiques et composites. Il utilise pour cela une association de technologies couplant l'impression 3D avec le soudage laser.

**D**ans l'industrie, certaines pièces de voitures, de trains, d'avions, ou encore des prothèses et orthèses sont désormais fabriquées par impression 3D. Ce mode de fabrication permet de produire, à partir de modèles numériques en trois dimensions, des pièces à géométrie complexe, personnalisées, en petite série, sans nécessiter de moules spécifiques coûteux. Il génère un gain de temps et de matière pour fabriquer des prototypes et des produits destinés à être commercialisés. Toutefois, l'impression 3D n'est pas exempte de limitations, en particulier lorsqu'elle s'applique à des matériaux composites structuraux, c'est-à-dire des matières plastiques renforcées de fibres avec une très haute résistance et rigidité.

---

**« L'impression 3D est limitée lorsqu'elle s'applique à des matériaux composites structuraux. »**

---

En effet, les procédés d'impression 3D de composites alimentés par des fils contenant des fibres de renforcement coupées conduisent généralement à des propriétés mécaniques relativement faibles. Pour améliorer les performances mécaniques

des pièces imprimées, des procédés de fabrication utilisant des fils renforcés de fibres continues sont aujourd'hui très demandés dans l'industrie. Ces fils sont composés de thermoplastiques, matériaux sensibles à la chaleur, et de fibres de carbone ou de verre continues. Lors de l'impression, les fils sont fondus pour que la matière qui les constitue soit empilée couche par couche. Les fibres de carbone contenues à l'intérieur des fils thermoplastiques ne fondent pas et apportent la solidité et la résistance à l'objet.

Mais les hautes résistances et rigidités recherchées ne sont accessibles que dans la direction des fibres, ces dernières étant orientées dans un seul plan d'impression. « *Les technologies actuelles d'impression 3D composites ne permettent pas d'obtenir des pièces à renforts fibreux continus orientés dans toutes les directions souhaitées de l'espace. Ceci est pénalisant en cas de contraintes mécaniques dans les trois dimensions* », explique André Chateau Akue Asseko, chercheur en sciences des matériaux à IMT Nord Europe et lauréat de l'appel à projets Jeunes Chercheuses et Jeunes Chercheurs de l'ANR (Agence nationale de la recherche).

**Une hybridation de technologies innovantes**

C'est justement ce verrou technologique que cherche à lever le projet Shoryuken<sup>1</sup>, récemment engagé. Le principe étudié

---

1. Le projet ANR JCJC SHORYUKEN sur « l'assemblage de composite carbone hybride thermoplastique – thermodurcissable : personnalisation de structures complexes » est financé par l'Agence Nationale de la Recherche au titre de l'AAPG 2021 – CE10 « Industrie et usine du futur : Homme, organisation, technologies »

dans cette initiative est le couplage de l'impression 3D avec le soudage laser. Cette combinaison permet d'imprimer deux ou plusieurs composants d'une même pièce en composites selon des directions d'impression différentes, puis de les assembler par soudage laser.

---

**« On peut obtenir des objets dans lesquels les fibres de renforcement supportent les charges mécaniques dans différentes directions. »**

---

« La difficulté est que la présence de fibres, voire de porosités, perturbe le trajet du faisceau laser, car les hétérogénéités engendrent des phénomènes de diffusion thermique et optique », pointe le scientifique. Ce procédé d'assemblage nécessite donc que des petites zones remplies de thermoplastique soient aménagées lors de l'impression 3D. Au niveau de ces régions, le rayonnement laser induit la fusion ciblée du polymère thermoplastique avec le matériau composite situé en vis-à-vis. Une fois soudés, les deux composants sont indissociables. On peut ainsi obtenir des objets dans lesquels les fibres de renforcement sont positionnées de telle sorte qu'elles supportent les charges mécaniques dans différentes directions.



### L'ingénierie virtuelle pour optimiser la fabrication

L'optimisation de ce processus de conception et de production novateur s'appuie en outre sur le développement d'outils de modélisation et de simulation intégrant les couplages multi-physiques. C'est-à-dire comportant des informations sur l'interaction entre le laser et la matière, les comportements thermiques et mécaniques. « L'ingénierie virtuelle permet de définir les conditions optimales d'assemblage garantissant la qualité de l'interface de soudage », indique André Chateau Akue Asseko. Alimenté avec les propriétés des matériaux d'intérêt, telles que la température de fusion, le logiciel développé a vocation à simuler le comportement des deux matériaux assemblés lors d'une soudure afin de ne pas dépenser trop de matière et de temps à faire des essais directement en impression 3D réelle.

---

**« L'ingénierie virtuelle permet de définir les conditions optimales d'assemblage garantissant la qualité de l'interface de soudage. »**

---

L'utilisateur pourrait ainsi régler les valeurs des paramètres du laser pour réaliser directement une soudure optimale. « Grâce à ces simulations, on détermine les plages de températures et de vitesses optimales pour effectuer la soudure », explique le chercheur. La mise au point d'un tel outil permettrait aux entreprises de minimiser les coûts de développement

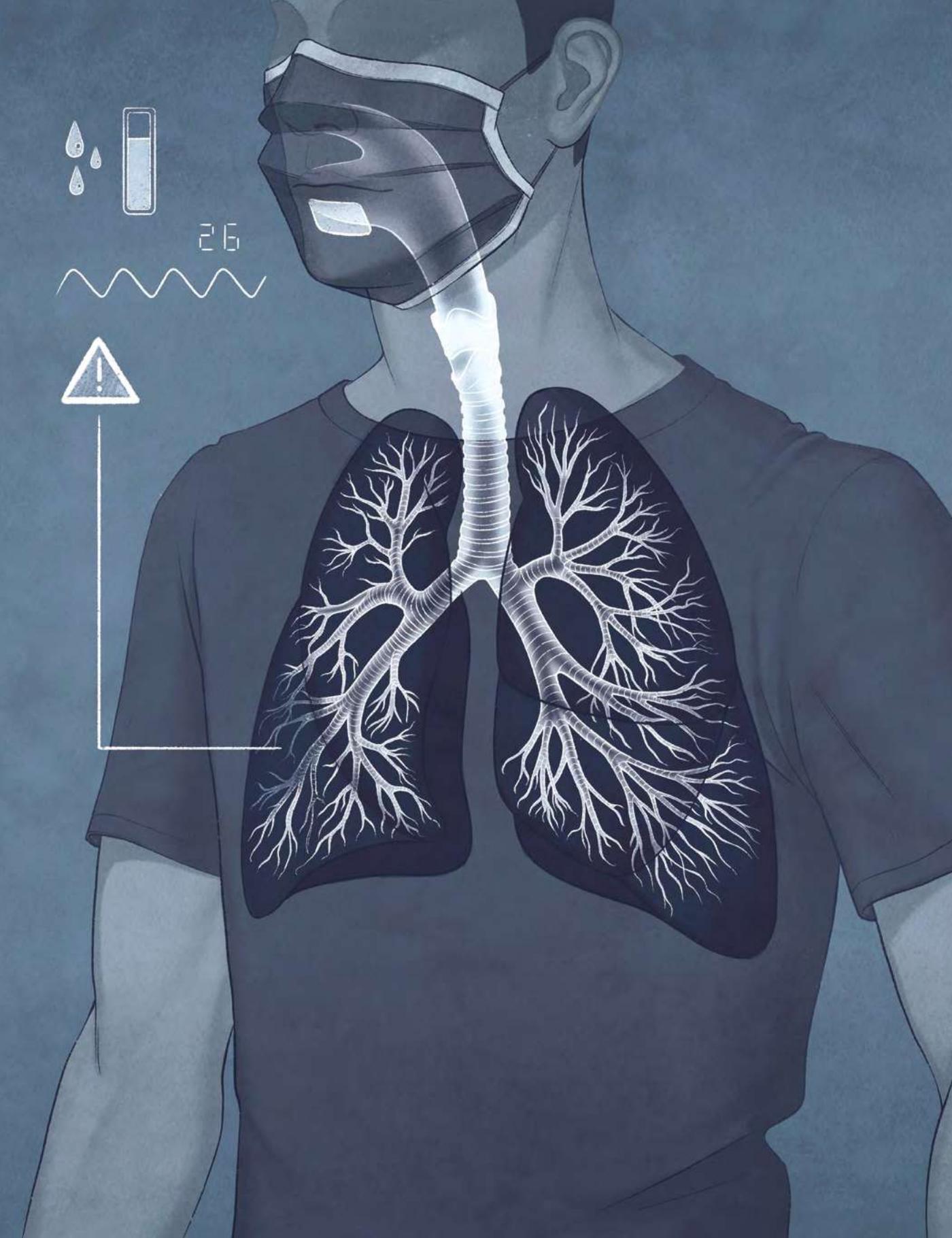
et d'industrialisation avant lancement de la production en évitant les éventuels problèmes d'assemblage. La performance mécanique des objets manufacturés fabriqués pourrait ainsi être assurée.

### Des applications multisectorielles

« Dans le cadre de ce projet, nous nous sommes focalisés sur le secteur de la santé en choisissant de réaliser une prothèse de bras comme démonstrateur », déclare le scientifique, actuellement en contact avec des entreprises spécialisées dans la conception de prothèses. André Chateau Akue Asseko explique qu'il a donné dans un premier temps la priorité à ce secteur applicatif pour des raisons pragmatiques. « Ce domaine est fortement demandeur d'objets personnalisés, adaptés à la morphologie des utilisateurs. Les pièces sont de tailles raisonnables, compatibles avec les capacités des équipements expérimentaux dont nous disposons », précise le chercheur.

Le projet Shoryuken prendra fin en 2026. À cette échéance, le procédé et l'outil numérique développés pourraient convaincre d'autres secteurs industriels comme le ferroviaire et l'automobile, pour la personnalisation et la fonctionnalisation sur mesure de pièces en petites et moyennes séries. Pour les entreprises du secteur des transports, l'allègement notable de pièces ainsi conçues et fabriquées permettrait de réduire la consommation de carburant, et par conséquent de minimiser les émissions de carbone, préoccupantes dans le contexte environnemental global actuel. ▲

Rédigé par Rémy Fauvel.



26



---

# DES MASQUES CONNECTÉS

---

## POUR ANALYSER L'HUMIDITÉ ET LA RESPIRATION

---

Les masques chirurgicaux ont été utilisés massivement pendant la pandémie de covid-19. Pour évaluer leur efficacité en temps réel, des scientifiques de Mines Saint-Étienne ont mis au point un masque connecté. Ce dispositif permet de récolter des données sur le taux d'humidité du masque mais aussi sur la respiration du porteur.

**L**a rétention d'humidité est souvent considérée comme une cause de la diminution de la filtration des masques. L'OMS recommande par exemple de changer de masque lorsque celui-ci est mouillé et pourtant, les effets du mouillage sur l'efficacité de filtration des masques ne sont pas bien connus. Pour comprendre ces effets, le groupe de recherche « Textiles Bioélectroniques » de Mines Saint-Étienne mène des travaux sur des masques chirurgicaux connectés. Ces dispositifs « *permettront de mieux comprendre les outils de protection que nous utilisons au quotidien* », indique Esma Ismailova, chercheuse en textiles bioélectroniques à Mines Saint-Étienne.

Le masque connecté développé par la chercheuse et son équipe est pourvu d'un capteur qui réagit à la condensation d'eau déposée sur le masque par son porteur et qui traduit ainsi le taux de mouillage. Le capteur contient des électrodes qui, lorsqu'une goutte entre en contact avec elles, génèrent du courant et l'envoie à un dispositif externe au masque. Ce dispositif transmet à son tour des données à l'ordinateur auquel il est connecté en *Bluetooth*. Les données sont ensuite analysées par un logiciel qui détermine les différents niveaux d'humidité.

Le capteur, d'une taille de l'ordre du micromètre, est imprimé sur le filtre du masque et se situe au niveau de la bouche. Il est tellement fin « *qu'on ne peut même pas se rendre compte de sa présence. C'est un dispositif non invasif, il n'obstrue pas la respiration du porteur* », explique

Esma Ismailova. Le matériau utilisé est un polymère de synthèse semi-conducteur organique : le PEDOT:PSS, qui peut être imprimé en couche mince sur des textiles. Ce matériau est organique et biodégradable, ce qui l'inscrit dans une « *approche verte de la création de nouveaux dispositifs électroniques* », indique Esma Ismailova. Cette thématique de recherche a été financée par l'agence nationale de recherche (ANR) à travers le projet ANR JCJC Orgtex.

---

**« Ces dispositifs permettront de mieux comprendre les outils de protection que nous utilisons au quotidien. »**

---

#### Des données sur l'humidité et la respiration

Le dispositif qui reçoit les données du capteur « *se clipse sur le masque et contient une batterie et un émetteur pour envoyer les données* » explique la chercheuse. Les scientifiques de Mines Saint-Étienne se sont aperçus que les signaux sur l'humidité contiennent aussi des données pour analyser la respiration du porteur. Le capteur « *mesure des variations électriques entre les deux électrodes qui traduisent les mouvements respiratoires tout en mesurant l'humidification de masque* », résume la chercheuse. La précision de ce capteur est si importante que les variations d'humidité qu'il détecte durant les exercices physiques permettent de déterminer la fréquence

de respiration, en suivant les pics correspondant chacun à une inspiration et une expiration.

Les mesures de fréquence permettront par exemple de détecter des anomalies qui traduisent une pathologie ou un problème psychologique tel que le stress. « *Certaines infections respiratoires se traduisent notamment par la fréquence d'expiration qui peut être caractéristique d'une pathologie particulière comme l'asthme ou une allergie* » pointe Esma Ismailova. Cependant, le dispositif ne permet pas de « *diagnostiquer une maladie comme la covid-19. Il ne s'agit pas d'un biocapteur capable de distinguer les types d'infections* », précise la chercheuse. C'est un dispositif de *monitoring* à distance permettant un suivi préventif ou post-thérapeutique. Le fait de combiner deux modalités d'information: la qualité de barrière du masque et la respiration, ouvre des opportunités de développement des pratiques d'hygiène et de santé au quotidien et de façon personnalisée. Cette action est soutenue par le projet européen H2020 *Biosensing with organic electronics* associant Mines-Saint-Étienne.

À l'avenir, les recherches de l'équipe pourraient porter sur les masques FFP2, très utilisés par les personnels soignants qui se trouvent en première ligne. L'idée serait d'utiliser les capteurs des masques pour évaluer la santé des soignants, étant donné qu'ils sont principalement exposés aux maladies. « *En récoltant des données sur la respiration des soignants, il serait intéressant de tester des solutions pour détecter la fatigue ou le stress qui*

---

**« Les mesures de fréquence permettront de détecter des anomalies qui traduisent une pathologie ou un problème psychologique. »**

---

*sont deux états de santé qui impactent la respiration* », estime Esma Ismailova. Les applications s'orienteraient donc vers le domaine de l'e-santé, qui sert à déterminer le niveau de santé des personnes via l'utilisation des technologies de l'information et de la communication. Mais pour le moment, les masques connectés restent des outils de recherche et ne sont pas encore destinés à être commercialisés. « *Cette première preuve de concept est destinée à produire des solutions peu coûteuses et efficaces pour répondre rapidement à une situation de crise pandémique* », conclut Esma Ismailova. ▲

Rédigé par Rémy Fauvel.

**RETROUVEZ AUSSI  
L'EXPERTISE  
DE NOS  
CHERCHEURS  
SUR  
THE **C**ONVERSATION**



---

# COMMENT LUTTER CONTRE LES CYBERATTAQUES ?

---

Article rédigé par Hervé Debar, Télécom SudParis,  
pour The Conversation France.

**P**lusieurs cyberattaques ont été rapportées dans la presse récemment. La mairie de Caen et le département de la Seine-Maritime ont fait mention d'interruptions de service significatives, mais sans publier de détails. D'autres cyberattaques largement publiées dans la presse ont touché le centre hospitalier sud-francilien (CHSF) et l'Institut National Polytechnique de Toulouse.

Dans ces deux derniers cas, il s'agit d'une attaque par *ransomware* ou rançongiciel qui consiste en l'envoi à la victime d'un logiciel malveillant qui chiffre l'ensemble de ses données et lui demande une rançon en échange du mot de passe de déchiffrement.

Dans ces deux cas comme dans d'autres, l'attaque se déroule en plusieurs temps. Tout d'abord, l'attaquant pénètre le système d'information et s'y propage. Il obtient ensuite l'accès à des données sensibles et les exfiltre. Il rend ensuite les données inaccessibles localement, en les chiffrant. L'intérêt du chiffrement plutôt que de l'effacement est qu'il rend la récupération très difficile, voire impossible. Finalement, il dépose une demande de rançon pour d'une part ne pas divulguer des données sensibles, d'autre part donner les outils nécessaires au déchiffrement des données.

Ces attaques sont bien connues et se déroulent depuis plusieurs années. On peut cependant noter plusieurs phénomènes inquiétants qui amènent à un accroissement du nombre d'attaques et

donc à un accroissement de l'impact de ces attaques.

- ▶ **Plates-formes** : les outils d'attaque se professionnalisent et deviennent disponibles sous forme de service, permettant à de très nombreux groupes ou individus d'acheter des « services » de cybermalveillance.
- ▶ **Multiplicité des canaux d'attaque** : les canaux d'attaque se sont multipliés. Initialement par mail, ils se sont également étendus aux SMS et aux grandes plates-formes de réseaux sociaux. Les attaquants envoient également de grands nombres de messages, réalisant ainsi une forme de pilonnage qui accroît la confusion potentielle des utilisateurs. Ils utilisent également des émetteurs de messages bien connus des victimes et qui les touchent de près, par exemple l'assurance maladie ou les banques.
- ▶ **L'émergence des attaques « zéro-click »** : nous sommes habitués à des attaques qui pour réussir demandent une action de la part de la victime (cliquer sur un lien, ouvrir un fichier). Les attaques zéro-click permettent d'exploiter une vulnérabilité en déclenchant des mécanismes automatisés sur l'équipement récepteur. Un exemple de ce type d'attaque a visé iMessage, le service de SMS avancé des iPhones. Lorsque l'attaquant émet un message, le téléphone qui le reçoit effectue automatiquement un ensemble de traitements pour afficher les messages, publier

une notification, traiter les messages. Une vulnérabilité présente dans cette chaîne de traitement infecte donc le téléphone sans que l'utilisateur ne fasse quoi que ce soit.

- ▶ **Multiplicité des motivations** : les motivations des attaquants sont également multiples, allant du vol à la destruction de données, à l'exposition publique de mauvaises pratiques, à la géopolitique.

Notons que toutes les organisations sont potentiellement vulnérables. À ce stade, il est difficile pour de très nombreuses organisations, administrations publiques ou petites entreprises, d'engager des ressources pour renforcer leur niveau de cybersécurité. L'augmentation du nombre d'attaques est donc à même de faire rapidement plus de victimes.

---

**« Plusieurs phénomènes inquiétants amènent à un accroissement du nombre d'attaques et de leur impact. »**

---

#### **Comment se prémunir face à ces attaques**

La première manière de se prémunir d'une attaque est de prendre conscience du risque et des conséquences qu'il peut avoir. D'après mon expérience, cette prise de conscience est d'autant plus

difficile que l'utilisateur est habitué à un fonctionnement normal des outils numériques et qu'il ne le voit pas comme un vecteur de menace, mais comme un outil facilitateur.

Il est également plus difficile de se méfier d'institutions de confiance, comme les impôts, l'assurance maladie ou les banques. Ces organisations peuvent légitimement vous envoyer des messages, et la consultation des informations ainsi transmises peut se révéler importante. L'utilisateur a donc naturellement tendance à agir sur réception d'un tel message, en le lisant, puis en ouvrant les pièces jointes ou en cliquant sur les liens pour aller visiter le site correspondant.

---

**« L'utilisateur est habitué à un fonctionnement normal des outils numériques, il ne les voit pas comme un vecteur de menace. »**

---

Les attaquants sont également capables soit d'usurper une adresse de messagerie, soit de voler l'accès à un compte légitime. Il peut ensuite vous envoyer un message en se faisant passer pour une personne de confiance. Il convient donc de regarder attentivement ce qui est envoyé, de considérer que tout message est potentiellement malveillant, et de bien regarder les liens envoyés avant de les utiliser.

Encore mieux, si possible, il est souhaitable de saisir directement dans la barre de navigation du navigateur le site vers lequel on souhaite naviguer. « impots.gouv.fr » ou « ameli.fr » font suffisamment peu de caractères pour être saisis directement.

La deuxième manière de se prémunir est de limiter les vulnérabilités présentes sur un poste de travail ou un téléphone. Cela veut dire qu'il faut installer régulièrement les mises à jour disponibles, tant des systèmes d'exploitation que des applications. Ces mises à jour peuvent être installées automatiquement, ce qui facilite leur prise en compte. Cependant, plusieurs obstacles pratiques peuvent limiter l'efficacité du processus de mise à jour, notamment le fait qu'elles demandent en général une bonne connectivité réseau, un accès à une source d'énergie, et une relance de l'appareil mis à jour pour être complètement opérationnelles.

Plus gênant, les magasins d'application mélangent mises à jour de sécurité et altération des fonctionnalités, et peuvent inclure des codes malveillants. Un exemple de mise à jour altérant les fonctionnalités est la suppression du composant flash par Adobe en décembre 2020. Ce composant était utilisé pour la gestion du trafic dans une station de train chinoise. La suppression du composant a été déclenchée par l'installation d'ordinateurs plus récents, ce qui a rendu impossible la circulation des trains.

Ces modifications « cachées » devraient pouvoir être refusées par les utilisateurs.

teurs, ce qui n'est pas toujours possible. A cet égard, la responsabilité des développeurs est engagée, car ils mélangent de manière invisible mises à jour de sécurité, mises à jour de fonctionnalités, et effets de bords non désirés. Par ailleurs, il peut être difficile de faire fonctionner des applications récentes sur des plateformes matérielles anciennes, laissant ainsi la place à des vulnérabilités.

Il convient par ailleurs de maîtriser la source des logiciels utilisés, en se limitant aux magasins d'applications officiels. Ceux-ci peuvent effectuer des traitements sur les applications pour vérifier leur innocuité et peuvent rapidement retirer des applications compromises.

Encore mieux, faire passer les logiciels et documents téléchargés dans une sonde de décontamination permet de limiter le

---

**« Pour restaurer un ordinateur, il est souvent nécessaire de faire une sauvegarde du disque dur. »**

---

risque d'infection. L'ANSSI décrit la spécification d'un tel équipement, et une implémentation à base de logiciels libres est disponible. Cette pratique n'est malheureusement pas accessible sauf à des utilisateurs avertis, et se limite aux plateformes informatiques. Tester les mises à jour d'applications sur smartphone me



semble actuellement hors de portée d'un utilisateur même averti.

La troisième manière de se prémunir est d'être capable de reprendre ses activités rapidement en cas de compromission. Cela veut bien entendu dire faire des sauvegardes, et s'assurer que ces sauvegardes sont effectives, c'est-à-dire que l'on sait restaurer ou récupérer les données. Si l'on utilise des disques durs externes, il est nécessaire de vérifier que ces disques ne sont connectés que pendant le temps de la sauvegarde, pour éviter que ceux-ci soient impactés par une attaque. Si l'on utilise une sauvegarde en nuage, il est également nécessaire de limiter la connexion à ce service, et également de sauvegarder séparément les identifiants de connexion à l'extérieur de sa machine, par exemple en les imprimant.

Pour restaurer intégralement un ordinateur, il est souvent nécessaire de faire une sauvegarde intégrale du disque dur. Il est donc également nécessaire lors de la restauration de vérifier que les codes malveillants ayant permis l'attaque ne sont pas présents dans la sauvegarde. Il est souvent préférable de réinstaller complètement le système d'exploitation, puis de réintroduire les données. Dans ce cas, il est possible de ne sauvegarder que des données essentielles.

Une autre problématique est l'authentification à double facteur (2FA). Dans de nombreux cas, cela repose sur l'usage d'un téléphone mobile et la possibilité de recevoir des SMS. Il faut donc apporter un soin particulier à la récupération rapide d'un téléphone, en faisant des sauvegardes régulières de celui-ci et en s'assurant de pouvoir obtenir rapidement une nouvelle carte SIM en cas de besoin, auprès de son opérateur.



### Comment réagir si l'on est une victime ?

Pour bien réagir, il est nécessaire de rester en alerte vis-à-vis de phénomènes imprévus se produisant lors de l'usage des systèmes numériques. Ces phénomènes peuvent indiquer une compromission. L'ordinateur ou le smartphone peut par exemple fonctionner plus lentement que d'habitude, voir se bloquer quelques secondes. On peut également voir des applications démarrer sans action de l'utilisateur, ou des fenêtres qui passent de manière fugitive à l'écran.

Plus celle-ci est détectée tôt, plus il est possible de limiter la contagion et d'éviter une compromission globale de tout le système d'information. Cela peut impliquer un changement de culture, notamment de reconnaître que l'on a commis une erreur. Alerter peut permettre de réagir efficacement, car la propagation peut être une question de minutes.

---

**« Plus celle-ci est détectée tôt,  
plus il est possible  
de limiter la contagion. »**

---

Si une machine est compromise, il faut l'isoler le plus rapidement possible, si possible physiquement. Cela implique de bloquer les connectivités, physiques et radio (WIFI, 4G...). Une connexion Internet est nécessaire pour diagnostiquer le problème, identifier le programme malveillant en cause, et rechercher des outils de remédiation, mais ces connexions et

recherches doivent être menées depuis un poste indépendant et sain. Les outils doivent être chargés sur des supports neutres et sains (DVD-RO/RW dans le meilleur des cas, clé USB sinon) et ne jamais être remis sur cette machine saine. Le DVD notamment RO (*Read Only*) ne peut s'écrire qu'une seule fois et il sera donc particulièrement résistant à une tentative d'altération.

Une autre possibilité, plus technique, est d'extraire le disque dur de la machine victime et d'y accéder en lecture seule, et surtout en empêchant l'exécution de tout programme depuis ce support compromis.

Une sauvegarde sur des supports de type DVD, malheureusement de moins en moins courant, permet d'éviter toute altération des données.

Si l'on est face à une machine compromise, il va être nécessaire de la réinstaller complètement. Une restauration partielle ne permet que rarement d'obtenir une machine utilisable. Il faut donc garder les supports de réinstallation nécessaires. Dans la plupart des cas, ces supports sont dématérialisés, contenus dans une partition spécifique du disque dur, et ils s'activent en modifiant la séquence de démarrage du système. La réinstallation nécessite également d'avoir sauvegardé un certain nombre de données très importantes, comme les clés de licence, ou les identifiants utilisés pour se connecter à différents services en ligne. La manière la plus simple de restaurer ces identifiants est soit d'utiliser un coffre-fort de mots de passe en ligne, soit de les imprimer régulièrement.

Un point important est le paiement de la rançon demandée par l'attaquant. Outre que cela est probablement illégal et constitue un encouragement à continuer à attaquer, payer ne permet souvent pas de récupérer ses données. Et rien n'empêche l'attaquant de laisser un cheval de Troie dans votre système pour recommencer quelques semaines plus tard, ou d'espionner toutes vos communications.

---

## « Payer ne permet souvent pas de récupérer ses données. »

---

### Et dans le monde professionnel ?

Le monde professionnel peut faciliter tout cela, tant en termes de protection que de détection et de reprise d'activité.

Tout d'abord, des actions de formation à la sécurité de l'information et aux risques sont menés dans les entreprises, de la même manière que l'on forme aux procédures d'évacuation en cas d'incendie. Ces actions de formation peuvent inclure les bonnes pratiques de l'hygiène informatique, et des recommandations particulières liées aux métiers exercés, ou au domaine d'exercice de l'entreprise.

Une organisation dispose également d'outils de sécurité et de gestion de parc plus sophistiqués, qui permettent de filtrer les échanges, de déployer des mécanismes de protection, et de gérer les mises à jour en bloc. Assurer une gestion au quotidien de son parc informatique augmente natu-

rellement la robustesse et la qualité de service du système d'information.

Un autre sujet est le niveau de confiance que l'on peut avoir dans un système qui a été compromis. Il peut toujours rester des résidus d'attaque permettant à l'attaquant de reprendre pied dans le système informatique. La récupération sur incident peut donc se révéler particulièrement coûteuse, puisque reconstruire une machine individuellement est faisable, mais appliquer cela à l'ensemble d'un parc informatique est extrêmement complexe.

Il ne s'agit plus de savoir si nous serons attaqués, mais quand. Il est donc indispensable d'être prêt à subir une compromission, et à s'en remettre lorsque cela arrive. Il faut mettre en place des mécanismes de sauvegarde robustes pour les données qui le nécessitent (pas question de sauvegarder les vidéos de chaton sur YouTube avec nos relevés bancaires...) et être capable de reconstruire sa machine le cas échéant (ordinateur, mais aussi téléphone portable, tablette, voire enceinte ou frigo connecté). Il faut finalement être conscient des risques possibles et utiliser avec raison et bon sens tous les outils numériques, pour en tirer le meilleur. ▲

---

**Hervé Debar,**  
**Directeur de la Recherche**  
**et des Formations Doctorales,**  
**Directeur adjoint, Télécom SudParis**  
**– Institut Mines-Télécom**

**Cet article est republié à partir**  
**de The Conversation sous licence**  
**Creative Commons.**

L'IMT, c'est aussi  
des podcasts.

## VOITURES INTELLIGENTES : SUR LA ROUTE DE L'AUTONOMIE

---

Nos voitures sont de plus en plus intelligentes, mais que manque-t-il pour qu'elles deviennent pleinement autonomes ? Dans ce nouvel épisode de L'apostrophe, focus sur les limitations techniques qui subsistent, et sur la recherche en cours dans les domaines de l'intelligence et de la cybersécurité de la voiture autonome.



Retrouvez nous  
sur Spotify !



## LE CLOUD, UN ENJEU DE SOUVERAINETÉ EN EUROPE

---

Du stockage des photos de vacances aux logiciels de travail en ligne, le cloud est un pilier de notre vie numérique. Derrière les services de l'informatique en nuage se cachent des géants de l'industrie, qui imposent leur propre vision du cloud, et plus généralement du numérique. Pour limiter le pouvoir de monopole de ces grands acteurs, l'Europe tente de créer un cadre qui protège les utilisateurs, citoyens ou entreprises.



**Rédacteur-en-chef :** Benjamin Vignard

**Rédacteurs :** Véronique Charlet, Tiphaine Claveau, Anaïs Culot, Rémy Fauvel.

**Secrétaire de rédaction :** Véronique Charlet

**Conception et illustrations :** Diane Rottner

**[www.imtechnews.fr](http://www.imtechnews.fr)**

**Twitter :** @IMTechfr

**LinkedIn :** IMTech



**Institut Mines-Télécom**

19 place Marguerite Pery  
91 120 Palaiseau



# I'MTech.

---

L'actualité scientifique  
et technologique  
de l'Institut Mines-Télécom

[www.imt.fr](http://www.imt.fr)

**Twitter :** @IMTFrance

**Linkedin :** IMT

19 place Marguerite Perey,  
91120 Palaiseau

