

# L'USINE NOUVELLE

Demain se fabrique aujourd'hui



[www.industrie-techno.com](http://www.industrie-techno.com)

## L'USINE DIGITALE

CAHIER N°2 DE L'USINE NOUVELLE N°3694 & IT N°1043-1044 . JUIN 2021



## QUANTIQUE, IA, DEEPTECH, HPC, HPDA... | **25 PÉPITES QUI DYNAMISENT LE NUMÉRIQUE FRANÇAIS**

### ENTRETIEN

Philippe Duluc, Atos :  
«Une vague inédite  
d'innovations dans les  
processeurs» **PAGE 4**

### CALCUL QUANTIQUE

La course aux qubits  
reste ouverte  
**PAGE 32**

### SUPERCALCULATEURS

L'Europe en quête  
de souveraineté  
**PAGE 36**

### FORMULE 1

Simulation, big data...  
Quand le numérique  
booste les performances  
de Mercedes **PAGE 42**



# Le CEA au cœur de l'innovation pour le calcul intensif et le Big Data

## Le CEA et Atos co-développent les technologies pour l'exascale<sup>1</sup>

La maîtrise de l'exascale pour le calcul et les données permettra au début de la décennie d'ouvrir un champ inexploré dans le domaine de la simulation.

Pour relever ce défi, le CEA développe en partenariat avec Atos les technologies pour :

- réduire la consommation énergétique
- traiter et gérer les flux massifs de données
- accroître la performance, l'efficacité et la modularité des architectures informatiques
- concevoir des architectures informatiques encore plus tolérantes aux pannes

TERA 1000, développé pour les besoins propres du CEA en partenariat avec Atos/Bull, et installé en 2016, préfigure les calculateurs de classe exaflopique.



© P.Szajaja/CEA

1 - À l'échelle du milliard de milliards d'opérations par seconde (exaFlops) et d'octets de mémoire (exaoctet).

## Le CEA, un tremplin pour l'innovation industrielle



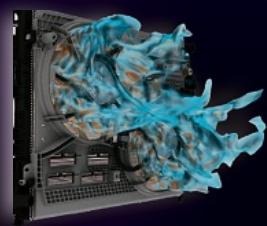
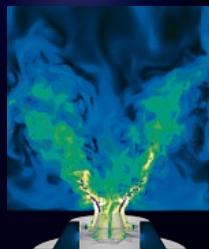
Localisé dans le Très grand centre de calcul du CEA (TGCC) à Bruyères-le-Châtel (Essonne), le CCRT renouvelle cette année ses moyens de calcul.

Il disposera désormais d'une puissance de calcul de près de 9 petaflops.

Véritable soutien de l'innovation industrielle dans le domaine du HPC, le CCRT propose à ses partenaires des services et une expertise basée sur les compétences des équipes du CEA dans le domaine de la simulation numérique.

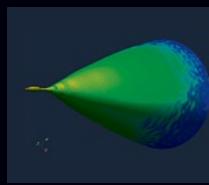
**Partenaires actuels du CCRT :** ArianeGroup, Cefracs, EDF, IFPEN, Ineris, Ingéliance, IRSN, L'Oréal, Michelin, Onera, Safran Aero Boosters, Safran Aircraft Engines, Safran Helicopter Engines, Safran Tech, Synchrotron Soleil, TechnicAtome, Thales Defence Mission Systems, Thales Alenia Space, Valeo, CEA ainsi que le projet France Génomique, soutenu par le PIA.

Simulation d'écoulements diphasiques dans une turbine à gaz.  
IFPEN - DLR



Simulation aérotHERmique dans un module de refroidissement automobile.  
VALEO

Simulation des courants de surface sur un radôme de pointe avant d'avion de combat.  
TALEOS



## SOMMAIRE

## ENTRETIEN

Philippe Duluc (Atos) : « Une vague d'innovations inédite dans les processeurs » **P. 4**

## LES PÉPITES

25 start-up dessinent l'avenir **P. 8**

Simulation **P. 10**

Intelligence artificielle **P. 12**

Quantique **P. 16**

Technologies immersives **P. 18**

Électronique **P. 22**

Et aussi... **P. 24**

## ENQUÊTES

## INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

L'outil derrière le buzz **P. 26**

## DATA SCIENCE

Plates-formes collaboratives pour une IA industrialisée **P. 28**

## PROGRAMMATION

Les grands industriels font leur gamme **P. 30**

## CALCUL QUANTIQUE

La course aux qubits reste ouverte **P. 32**

## SUPERCALCULATEURS

L'Europe en quête de souveraineté **P. 36**

## JUMEAU NUMÉRIQUE

Ruée vers un monde en 3D **P. 40**

## REPORTAGE

## FORMULE 1

Mercedes en pole position **P. 42**

## EN COUVERTURE

Le logiciel d'Alteia s'appuie sur l'IA pour établir des modèles prédictifs personnalisés, comme ici celui de la construction d'un pont.

## Maturité

**A**ccroître la collaboration entre l'industrie et la tech. L'objectif du partenariat annoncé le 1<sup>er</sup> avril par Bpifrance et France Industrie est clair. Pour Paul-François Fournier, le directeur exécutif de Bpifrance chargé de l'innovation, il s'inscrit dans l'évolution de ces start-up qui fleurissent en France depuis une petite décennie : « La french tech dans son ensemble doit se rapprocher des entreprises traditionnelles de l'industrie car elle est devenue plus mature. »

Cette maturité, c'est bien sûr celle de la taille de ces start-up, qui ont grandi et sont plus à même de travailler avec des industriels. Mais c'est aussi, et peut-être surtout, celle de leur orientation : dépassant le triptyque connectivité-système d'information-appli, de plus en plus de start-up développent des technologies plus proches de l'industrie. Ce sont quelques-unes de ces pépites que nous mettons en avant dans ce supplément. Celles qui conjuguent le numérique à la sauce deeptech, ces technologies de rupture issues le plus souvent des laboratoires de recherche. Puces pour l'intelligence artificielle (IA) ou pour les futurs supercalculateurs européens, simulateurs de pointe, calculateurs quantiques, casques et logiciels de réalité augmentée, solutions d'IA...

Les innovations qu'elles portent constituent à la fois les nouveaux moteurs du numérique et les outils qui permettent à l'industrie de s'en emparer. Entre ceux qui apprennent à programmer en quantique, ceux qui mettent en place l'IA dans leurs lignes de production ou ceux qui déploient des plates-formes de data science, les industriels font montre d'une intégration croissante de ces technologies numériques. Au point qu'il est possible de renverser la proposition de Paul-François Fournier : l'industrie dans son ensemble doit se rapprocher de la french tech car elle est devenue plus mature dans le numérique. Le développement et le déploiement en France des innovations de rupture dépendent de leur collaboration.

De plus en plus de start-up développent des technos proches de l'industrie.



JULIEN BERGOUNHOUX,  
MARION GARREAU  
ET MANUEL MORAGUES

Président, directeur de la publication **Julien Elmaleh**  
Directrice de la rédaction **Christine Kerdellant**  
Directrice adjointe de la rédaction **Anne Debray**  
Responsables éditoriaux **Manuel Moragues, Julien Bergounhoux et Marion Garreau**  
Rédacteur en chef édition **Guillaume Dessaias**  
Directeur artistique **Vincent Boiteux**

Secrétariat de rédaction  
Claire Nicolas avec Claire Laborde, Judith Boisriveau et Rébecca Lecauchois  
Maquette **Sylvie Louvet, Laurent Pennec**

**TARIFS ABONNEMENTS FRANCE**  
(TVA : 2,1% incluse)  
1 an : 399 euros TTC  
1 an étudiant : nous consulter.  
Étranger : nous consulter.  
Règlement à l'ordre de « L'Usine Nouvelle ».  
Pour l'Union européenne, préciser le numéro de TVA intracommunautaire.



Origine du papier : Finlande  
Ce papier provient de forêts durablement gérées et  
ne contient pas de fibres recyclées. Certification PEFC.  
Impact sur l'eau (P tot) :  
0,01 kg/tonne

Dépot légal 2<sup>e</sup> trimestre 2021 - Autor. minist. 29-957-29382.  
Imprimé par Roto France Impression 77185 Lognes, C.O.  
310.905-1977 - Numéro d'enregistrement à la Commission paritaire  
pour les publications non quotidiennes 072.2.181903. N° ISSN :  
0042-126X. Éditeur : Groupe Industrie Services Info. Société par  
actions simplifiée au capital de 38 628 352 euros. Siège social : 10,  
place du Général-de-Gaulle 92160 Antony. 309.395.820 RCS  
Nanterre. Directeur de la publication : Julien Elmaleh

Philippe Duluc

## « UNE VAGUE D'INNOVATIONS INÉDITE DANS LES PROCESSSEURS »

**Edge computing, intelligence artificielle, supercalcul hybride et quantique... Le directeur technique big data et sécurité d'Atos détaille les nouveaux enjeux du numérique.**

PROPOS RECUEILLIS PAR MANUEL MORAGUES

**En 2020, avec le Covid-19, la numérisation des entreprises s'est accélérée. Avez-vous constaté cette évolution chez vos clients ?**

Oui, mais je ne crois pas que cette accélération ait été seulement due au Covid-19. Des disruptions sont à l'œuvre, qui sous-tendent la transformation digitale de nos clients: d'une part, l'explosion du volume de données générées, avec l'intelligence artificielle (IA) pour les traiter, d'autre part, le développement de l'internet des objets. Il y avait 30 milliards d'objets connectés en 2020, il y en aura 75 milliards en 2025. Et ces objets génèrent des données. On ne pourra pas continuer à envoyer toutes celles-ci dans des « datacentres ». Jusqu'ici, 80 % des données collectées se trouvaient dans les datacentres, locaux ou dans le cloud, et 20 % à l'extérieur. Ce rapport va s'inverser. C'est un bouleversement.

**Cette bascule dont vous parlez, c'est le développement de l'edge computing...**

L'edge computing consiste en effet à mettre le calcul

près de l'objet qui génère les données pour éviter de les transférer. Si l'on part du far edge ou extreme edge, c'est-à-dire les terminaux (drone, montre...) qui produisent des données et consomment des ordres, il y a un premier niveau d'edge, avec par exemple du prétraitement d'images pour une grappe de caméras. Puis un edge un peu plus gros, souvent dans un micro-datacentre, qui permet notamment de faire de l'apprentissage de modèles d'IA. Nos machines BullSequana Edge et BullSequana SA sont des unités de calcul de ces deux types. Ensuite, il y a les datacentres classiques. En évitant de transférer les données, l'edge apporte de la sécurité et probablement de la sobriété énergétique. La question de l'empreinte carbone du numérique va devenir très importante et il va falloir des indicateurs rigoureux pour comparer les pratiques et les matériels. Ce travail d'évaluation commence.

**Quelles sont les innovations qui vont avec cette nouvelle architecture ?**

La 5G va être disruptive, avec ses capacités inédites de transmission des données. Il y a déjà des innovations en opération, comme l'apprentissage distribué (federated learning), sur lequel nous avons travaillé. Plutôt que de rassembler toutes les données dans un datacentre pour entraîner un modèle de machine learning, des serveurs edge vont entraîner le modèle localement sur leurs données. Le datacentre collecte ensuite les résultats de ces apprentissages locaux pour former le modèle final. Cela fonctionne très bien et s'avère utile pour respecter les règles de confidentialité des données propres à chaque lieu. En R&D, on travaille à aller plus loin pour garantir la confidentialité des modèles locaux. Ce ne serait plus ces modèles mais des informations sur ces modèles qui seraient envoyées au datacentre.



« L'edge apporte de la sécurité et probablement de la sobriété énergétique. La question de l'empreinte carbone du numérique va devenir très importante. »

**Comment l'usage de l'IA se développe-t-il chez vos clients ?**

Quel que soit le logiciel, le métier ou la fonctionnalité, une question s'impose: que peut apporter l'IA? Et à chaque fois, celle-ci s'avère utile. Il reste cependant bien souvent à aller au-delà de la preuve de concept [ou démonstrateur, ndlr]: l'IA doit être intégrée dans un système d'information (SI), avec du support, de la maintenance... Bref, il faut en faire une brique comme une autre du SI. Cela représente un certain nombre de challenges sur lesquels nous travaillons. De grands sujets sont posés: l'éthique, bien sûr, mais aussi la fiabilité et la robustesse. La nécessité pour certaines applications de pouvoir expliquer les décisions prises par l'IA pourrait ainsi conduire à délaisser les réseaux de neurones, qui ressemblent un peu à des boîtes noires, pour se tourner vers des technologies plus explicables. Enfin, la question de la frugalité de l'IA en termes de calcul et de données devrait monter en puissance. Là aussi, c'est l'empreinte carbone qui est en jeu.



DAIMANE

## **L'IA a aussi stimulé le développement de nouveaux processeurs. En tant que fabricant de supercalculateurs, quel regard portez-vous sur cette évolution ?**

Le monde des puces est en effervescence ! Pendant de longues années, nous avons vécu avec le quasi-duopole des processeurs Intel x86 pour les serveurs, ce qui était confortable pour les fabricants de supercalculateurs, et des puces ARM pour les mobiles. Puis, certains se sont aperçus que l'on pouvait faire de l'IA plus efficacement avec des processeurs graphiques (GPU), cela a déclenché une explosion dans la R&D sur les puces. L'IA est le moteur de cette vague d'innovations. Aujourd'hui, on trouve sur le marché une grande diversité de processeurs : les IPU de la start-up Graphcore, des TPU, des FPGA... [respectivement : intelligent processus unit, tensor processing unit et réseaux logiques programmables, ndlr]. L'accélération est brutale et nous impose de travailler sur des architectures de calcul hybride. C'est-à-dire des machines intégrant des processeurs de différents types et capables d'attribuer chaque tâche à la puce la plus adaptée. Cela a commencé par l'intégration d'accélérateurs GPU dans nos supercalculateurs et cela va continuer.

## **Autrement dit, le HPDA (high performance data analytics, ou analyse de données haute performance), s'impose...**

Le HPDA, c'est le croisement du calcul haute performance et de la science des données. Le côté matériel, ce sont les architectures hybrides, qui demandent notamment de gérer la circulation de données hétérogènes entre les nœuds de calcul. Mais il y a d'autres aspects, comme dans la simulation numérique. Celle-ci repose sur la résolution

« Il faut faire de l'IA une brique comme une autre du système d'information. De grands sujets sont posés : l'éthique, bien sûr, mais aussi la fiabilité et la robustesse. »

approchée des équations de la physique. Une grande méthode est celle dite des éléments finis, qui nécessite d'autant plus de calculs que l'on veut un résultat précis. Elle est utilisée pour des sujets très variés et importants, de la météo à la simulation nucléaire en passant par les crash-tests automobiles. Mais les modèles numériques ainsi construits arrivent à la limite des puissances de calcul. On s'est alors mis à utiliser l'IA pour travailler sur des métamodèles, ou modèles de substitution : on exécute le modèle numérique de la simulation sur des points d'entrées bien choisis pour déterminer les résultats correspondants. Et à partir de ces couples d'entrées-sorties, on entraîne un modèle de machine learning à reproduire le calcul de simulation. On obtient un modèle du modèle numérique –un métamodèle–, dont l'utilisation demande beaucoup moins de calcul. C'est un domaine dans lequel nous avançons beaucoup avec nos clients, notamment dans la météo et l'écoulement des fluides. Les résultats sont prometteurs.

## **L'autre grande évolution du calcul intensif et de la simulation, c'est le quantique. Google, en 2019, puis des chercheurs chinois, fin 2020, et européens, début 2021, ont revendiqué la démonstration de la suprématie quantique. Qu'en pensez-vous ?**

Ce sont des jalons importants. Même si la supériorité avancée par Google a été critiquée et semble moindre qu'annoncé, cette expérience était très intéressante car il s'agissait de l'exploitation d'un vrai circuit quantique de calcul avec 53 qubits [bits quantiques, analogues aux bits de l'ordinateur classique, ndlr], un nombre conséquent. Les travaux des Chinois témoignent d'une avancée dans une autre technologie, les qubits photoniques. Enfin, la dernière équipe, dont des chercheurs du CNRS, a réalisé un très beau travail, notamment théorique, pour démontrer de façon incontestable que si l'on voulait réaliser la même tâche sur un ordinateur classique, cela prendrait un temps impossible à définir, supérieur à l'âge de l'univers. Bien sûr, aucune de ces expériences ne correspond à des calculs utiles pour de vraies applications, mais la science progresse.

## **La science progresse, mais peut-on vraiment espérer voir prochainement des applications du quantique ?**

Le monde du quantique a vraiment changé depuis qu'Atos s'est engagé dans cette voie en 2016. C'était alors un pari sur le futur. Aujourd'hui, on sent qu'on arrive à la supériorité quantique dans les applications. C'est n'est plus qu'une question d'années. Il y a encore près de deux ans, on n'en était pas sûr. On pensait qu'il fallait des qubits parfaits pour réaliser des calculs. Or il faut un très grand nombre de qubits physiques pour réaliser un qubit parfait, et

# L'ENTRETIEN

leur intégration sur une même puce est très difficile. On craignait de ne jamais y arriver. Depuis, il est apparu qu'on pouvait faire des calculs intéressants avec des qubits bruités en nombre limité. C'est ce qu'on appelle le Nisq (noisy intermediate scale quantum, ou quantique bruité d'échelle intermédiaire). On peut obtenir des résultats, notamment en utilisant des algorithmes hybrides dont une partie, optimisée pour résister au bruit, tourne sur la puce quantique, et l'autre tourne sur une puce classique. Les choses avancent donc aussi du côté des applications et nous attendons la sortie des premières puces Nisq d'une cinquantaine de qubits. Aussi avons-nous annoncé l'an passé que nous commercialiserons dès 2023 un vrai accélérateur quantique pour des applications Nisq.

## Quelles seront les applications de votre accélérateur quantique Nisq ?

Deux domaines sont visés. Le premier concerne la chimie, plus précisément la simulation de molécules et la compréhension, la prévision, des réactions chimiques. Total, partenaire d'Atos, utilise le quantique et notamment notre émulateur de qubits, la Quantum learning machine (QLM), pour simuler l'absorption de CO<sub>2</sub> par de grosses molécules. Le second domaine porte sur l'optimisation combinatoire. Un problème classique de ce type est celui du voyageur de commerce: j'ai N villes à visiter, quel chemin dois-je prendre pour qu'il soit le plus court et ne passe qu'une fois dans chaque ville ? C'est un problème très compliqué, dit de type NP. Aujourd'hui, la seule façon de le résoudre consiste à tester tous les trajets possibles. Ce qui implique un temps de calcul croissant exponentiellement avec N. On sait qu'avec le quantique, on peut résoudre ce problème beaucoup plus rapidement, dans un temps polynomial en N [le temps de calcul croît par exemple en N<sup>3</sup>, ndlr]. L'optimisation combinatoire intéresse beaucoup de monde. EDF travaille ainsi sur l'optimisation des recharges de voitures électriques dans les stations d'une ville. Au-delà d'une cinquantaine de voitures et autant de stations, cela devient très compliqué à traiter en classique.

## Le plan quantique français, présenté mi-janvier, va-t-il donner un nouvel élan à l'écosystème national ?

Ce plan était très attendu. Il reprend en grande partie le très bon rapport Fortezza, publié un an plus tôt. Il donne une impulsion forte, avec l'implication du gouvernement et du chef de l'État, ce qui montre



« Le plan quantique français donne une impulsion forte. Atos entend bien jouer un rôle de locomotive industrielle pour les différents acteurs. »

qu'il s'agit d'un sujet important pour l'économie. Il y a une recherche de premier plan en France, faisons le maximum pour qu'une industrie du quantique se développe. Ce plan pousse à une meilleure coopération entre start-up, centres de recherche et entreprises via des dispositifs de financement. Sur la partie calcul, Atos entend bien jouer un rôle de locomotive industrielle pour ces acteurs. Nous attendons notamment le grand défi du Conseil de l'innovation portant sur le Nisq, qui repose sur un financement public-privé. Nous avons déjà un plan pour le Nisq, mais avec l'apport d'un financement public, nous pourrons accélérer et avoir plus de chances de réussir l'intégration du Nisq dans notre architecture hybride de calcul.

## Sur quelle technologie matérielle misez-vous pour cet accélérateur ?

Notre stratégie est la même que pour le supercalcul classique: nous n'investissons pas dans les puces,

nous travaillons avec des partenaires. Cela nous permet d'être agnostiques en termes de technologies de qubits. Cela signifie aussi que nous devons connaître toutes ces technologies. Ce parti pris est déjà à l'œuvre dans notre émulateur de qubits: il peut simuler tous les types de qubits en incluant les topologies, les phénomènes de bruit et les portes quantiques propres à chaque technologie. Pour notre accélérateur, nous avons plusieurs fers au feu. Nous sommes notamment partenaires de la start-up française Pasql, qui travaille sur les atomes froids, de l'université d'Innsbruck, spécialiste des ions piégés, et de la start-up finlandaise IQM, qui mise sur les qubits supraconducteurs. D'ailleurs, nous réaliserons peut-être plusieurs accélérateurs. Car on se rend compte que les technologies de qubits sont plus ou moins intéressantes suivant les applications. On pourrait avoir des QPU (quantum processing units) de différentes technologies et, suivant le calcul, on aiguillerait sur un QPU Pasqual, un QPU à ions piégés ou un QPU supraconducteur... On rejoint le concept de calcul hybride déjà à l'œuvre dans le classique. Je doute que l'on ait un jour un calculateur quantique universel. On est dans le domaine de l'accélération, qui est très dépendant de la nature de l'accélérateur. Et des tâches: le nombre d'applications pouvant être accélérées par le quantique est très limité. Mais l'accélération est telle, qu'elle peut disrupter des secteurs entiers !

[www.usinenouvelle.com](http://www.usinenouvelle.com)



AU CŒUR DES TECHNOLOGIES NUMÉRIQUES

## Le Campus Teratec : Pôle européen de compétence

SIMULATION  
HPC HPDA  
IA QUANTIQUE

**Industriels.** De grands groupes, PME et Start-up y développent des activités couvrant toute la chaîne de l'informatique de grande puissance depuis les composants et les systèmes jusqu'aux logiciels et aux applications.

**Laboratoires.** Des laboratoires industriels de recherche travaillent au développement et à la maîtrise des technologies nouvelles du calcul intensif et du BigData et sur leur mise en œuvre.



- INDUSTRIELS UTILISATEURS
- ENTREPRISES TECHNOLOGIQUES
- ENSEIGNEMENT & RECHERCHE

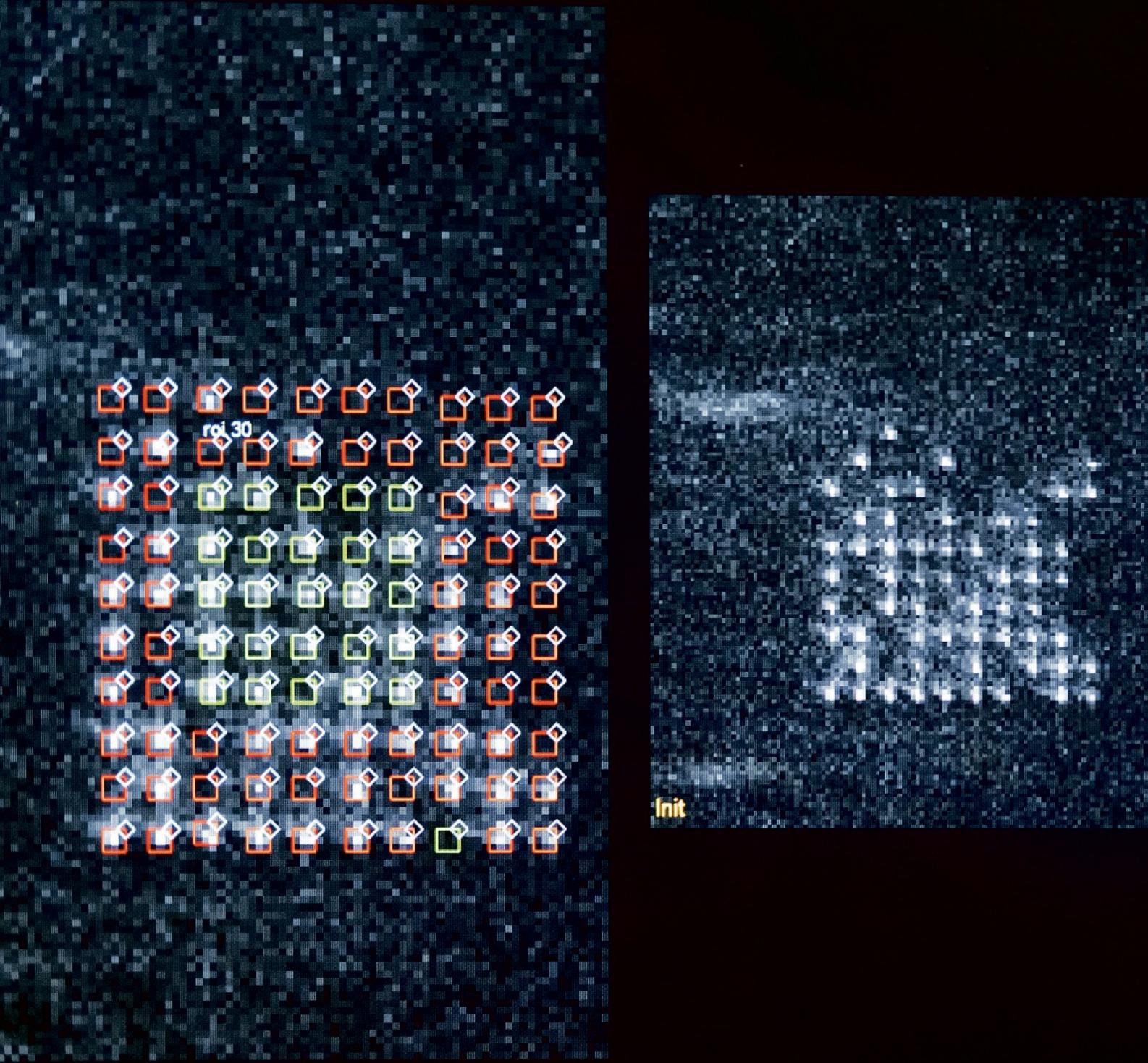
### Contact & Informations

Jean-Pascal Jégu  
jean-pascal.jegu@teratec.fr • Tél. +33 (0)9 70 65 02 10  
Campus Teratec  
2 rue de la Piquetterie - 91680 Bruyères-le-Châtel - France

[www.teratec.eu](http://www.teratec.eu)

*Rejoignez-nous !*

# LES PÉPITES



La start-up Pasqal est capable de manipuler près de 200 qubits et vise les 1 000 qubits d'ici à 2023. Elle prépare l'industrialisation de son processeur quantique fondé sur la manipulation d'atomes uniques refroidis par laser.

## INNOVATION

# 25 START-UP DESSINENT L'AVENIR

À l'heure où le numérique domine le monde, la France ne peut plus seulement se reposer sur ses champions industriels. La relève est là, portée par un écosystème de start-up agiles et inventives.

JULIEN BERGOUNHOUX

**L**a période actuelle, placée sous le sceau du Covid-19 et des restrictions sanitaires, n'est pas pour autant synonyme de marasme pour les entreprises françaises du numérique. Agiles et innovantes, elles n'ont pas cessé d'accélérer malgré la crise. À l'occasion de ce hors-série, nous avons sélectionné 25 pépites, réparties dans cinq grands domaines technologiques, qui représentent cette nouvelle vague entrepreneuriale. Cinq domaines, car nous avons cette année décidé d'élargir la thématique de ce hors-série au-delà de la seule simulation, sur laquelle il se concentrat jusqu'à présent. Elle reste notre première catégorie, car l'excellence française en la matière, représentée par des start-up comme CosmoTech et Nextflow Software, n'est plus à démontrer. Face à l'urgence climatique, mais aussi au besoin de modéliser la propagation épidémique ou simplement de concevoir toujours mieux et plus vite, la simulation est plus cruciale que jamais. Elle sera l'un des grands enjeux de cette décennie, avec un besoin de précision toujours accru.

#### De la simulation aux technologies de rupture

Mais l'innovation numérique est aujourd'hui beaucoup plus large. Les progrès de la recherche en matière d'intelligence artificielle et l'automatisation qui en découle vont transformer aussi bien l'industrie et la logistique que la recherche médicale. C'est pourquoi Sanofi a fait appel à la jeune Aqemia pour trouver un antiviral contre le Covid-19. Ils ouvrent également de nouveaux champs des possibles, par exemple en matière de perception des machines, fief d'Arcure, ou de supervision des infrastructures à grande échelle, spécialité d'Alteia.

Si ces nouveaux usages sont le fruit de l'innovation logicielle, avec la création de méthodes d'apprentissage et l'analyse de toujours plus de données, ils sont aussi liés aux progrès des composants matériels qui les exécutent. Là encore, les jeunes pousses hexagonales sont à l'œuvre pour mettre au point des solutions souveraines capables de rivaliser avec les géants américains. Kalray se démarque comme un leader du calcul embarqué pour la conduite autonome, tandis que Scalinx développe des puces de conversion du signal utiles aussi bien pour la 5G que les radars militaires.

Les pépites de la french tech sont aussi très présentes dans le domaine des technologies de rupture, comme l'informatique quantique et la visualisation immersive. Celles-ci portent les enjeux du numérique pour les trente prochaines années. Pasql développe par exemple un simulateur quantique qui sera bientôt capable de manipuler jusqu'à 1 000 qubits, tandis que Quandela se spécialise dans la photonique quantique. Pixee Medical ambitionne de son côté de révolutionner les méthodes de travail des chirurgiens en les guidant lors des opérations grâce à des lunettes de réalité augmentée. Quant à DNA Script, il a conçu une technologie d'impression 3D d'ADN à l'échelle moléculaire. Il ne fait aucun doute que l'innovation numérique sera la clé de l'essor industriel et économique de demain. Découvrez sans plus attendre les jeunes entreprises qui en sont les pionnières.

# SIMULATION

La simulation numérique permet de reproduire très précisément les interactions du monde réel (physiques, chimiques, mécaniques...) afin de mieux les anticiper. Introduite lors de la Seconde Guerre mondiale, elle n'a cessé de se développer et reste cruciale aujourd'hui.

## KEJAKO SECONDE JEUNESSE

Après avoir modélisé l'œil en 3D, la start-up utilise un laser pour redonner de l'élasticité au cristallin.

**À partir de 45 ans, la presbytie commence à affaiblir la vue. Le cristallin perd de sa souplesse** en vieillissant, rendant difficile la focalisation de la vision. Les solutions pour pallier cette déficience sont le port de lunettes ou la chirurgie. David Enfrun et Gilles Bos, les fondateurs de Kejako, ont imaginé une alternative : « Nous utilisons un laser femtoseconde avec un faisceau infrarouge pour désagglomérer la matière et redonner son élasticité au cristallin sans incision de la cornée. Nous le rajeunissons », détaille David Enfrun. L'idée est de traiter l'origine du

problème plutôt que de le corriger, pour redonner une vision normale au patient pendant plusieurs années. « Les simulations et essais en cours montrent que l'on peut déjà traiter pendant trois ans la presbytie. Mais on veut apporter un maximum d'efficacité », poursuit le dirigeant.

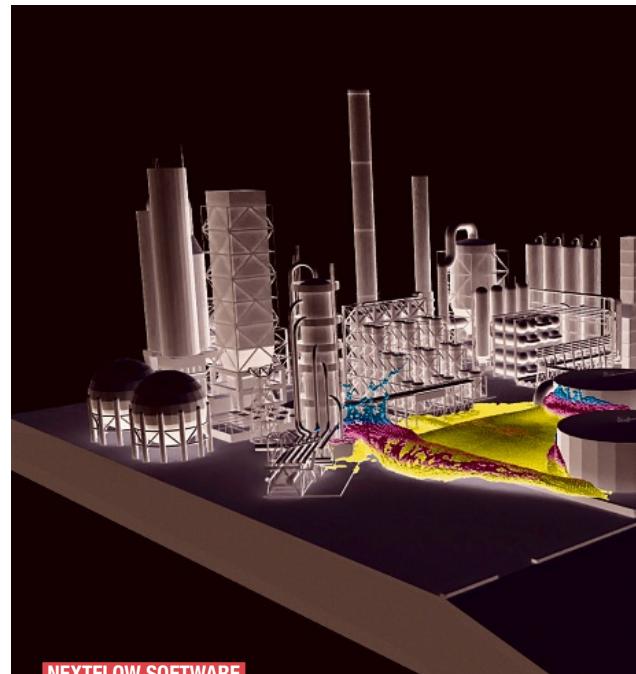
Avant d'aboutir à cette solution, les deux ingénieurs ont créé un modèle numérique des différentes parties de l'œil, incluant

le cristallin, mais aussi son système de ligaments, la rétine, le vitré ou encore la cornée. « Nous avons fait une représentation exacte de l'œil des patients, paramétrable en jumeau numérique de chaque œil », précise David Enfrun. Cet outil de simulation multiphysique intègre à la fois les fonctions mécaniques, fluidiques et optiques de l'œil. « Nous pouvons simuler l'accommodation visuelle, la capacité de l'œil à s'adapter, son vieillissement, mais également simuler les solutions que l'on veut évaluer. » Avec cet outil, la start-up planifie la procédure adaptée à chaque patient grâce à sa représentation numérique et dimensionne le traitement avant d'envoyer au laser le programme correspondant.

« La simulation permet de diminuer la zone et le volume à traiter dans le cristallin et de garantir une performance minimale pour chacun en fonction de sa situation. » Alors que David Enfrun espère lancer la commercialisation de Kejako en 2024, il rappelle que la start-up vient de lancer une levée de fonds de 2,5 millions d'euros qui devrait aboutir avant l'été. **NADÈGE HUBERT**



## KEJAKO CORRIGE LA PRESBYTIE GRÂCE AU LASER

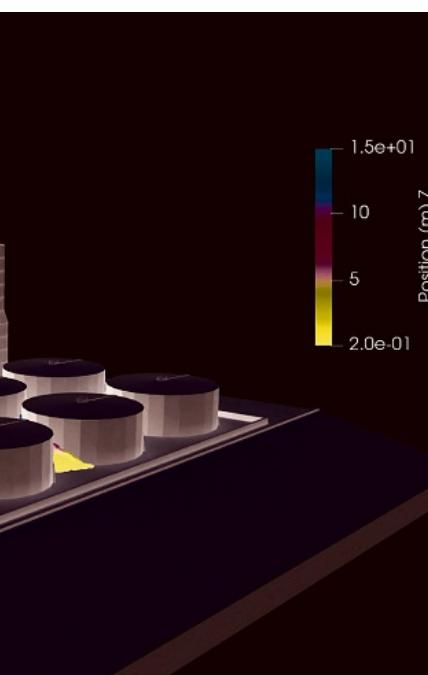
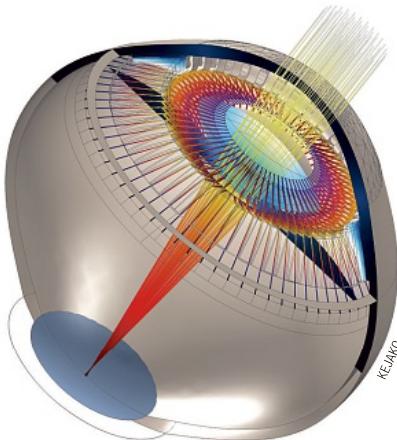


## NEXTFLOW SOFTWARE PRÉVENTION DES RISQUES

Son logiciel qui simule les écoulements des fluides permet par exemple de prévenir la rupture d'un réservoir de pétrole dans une raffinerie.

## EIKOSIM INJECTE UNE DOSE DE RÉEL DANS LA SIMULATION

**Faire converger le réel et le virtuel dans l'industrie.** Tel est l'objectif – ambitieux – que se sont fixé Florent Mathieu et Renaud Gras, les fondateurs d'EikoSim. Pour ces deux normaliens, tombés dans l'entrepreneuriat en 2016, tout est parti d'un constat : « Lorsque nous travaillions au laboratoire de mécanique et de technologie (LMT) de l'ENS Paris-Saclay, nous nous sommes rendu compte que les nombreuses données collectées



## NEXTFLOW SOFTWARE INNOVE DANS LES FLUIDES

**Nextflow Software est spécialisé dans la simulation appliquée à la mécanique des fluides.** Fondé en 2015 et issu du laboratoire de recherche de l'École centrale de Nantes, il a développé des logiciels destinés aux sociétés d'ingénierie et aux industriels travaillant sur des systèmes ou des produits impliquant des écoulements de fluides. Ils s'adressent à tous les secteurs : automobile, aéronautique, maritime, énergie, manufacturing, procédés, environnement... La société travaille avec plusieurs grands groupes français, dont Michelin, sur la problématique de l'hydroplanage, mais aussi Renault, Dassault Aviation, Airbus et EDF. Elle mène également plusieurs collaborations de recherche avec des structures comme l'IRT Jules Verne, le CNRS ou son équivalent italien, le CNR-INM. La mission première de cette start-up nantaise reste en effet de développer des méthodes innovantes de simulation numérique pour l'hydrodynamique. Fort de son succès en France, elle entend accélérer son déploiement à l'international. Elle a pour cela bouclé une première levée de fonds de 3 millions d'euros en octobre 2020. Cette opération doit lui permettre d'accélérer son développement commercial à l'étranger, qui représente aujourd'hui 20 % de son activité. « En Asie et en Amérique du Nord, nous avons commencé à mettre en place un réseau de distribution et de revendeurs. Nous allons continuer à le renforcer », indique Vincent Perrier, le PDG de l'entreprise, qui vient de signer un contrat de licence avec LG.

MAUREEN LE MAO

## COSMOTECH AUGMENTE LE JUMEAU NUMÉRIQUE

**Modéliser un système industriel complexe** pour optimiser son fonctionnement, des flux logistiques aux cycles de maintenance des machines. Voici l'objectif de CosmoTech, spin-off de l'École normale supérieure (ENS) de Lyon fondée en 2010. Pour y parvenir, la pépite – qui a levé 18 millions d'euros fin 2018 – apporte au jumeau numérique la puissance de la simulation. En plus de reproduire le fonctionnement d'une usine et de son réseau de fournisseurs, sa solution permet d'explorer différents scénarios. Par exemple, que

faire si telle machine tombe en panne ou si tel fournisseur ne peut plus livrer ? « Nous ne pouvons pas nous contenter des données du passé pour se projeter dans l'avenir », résume Michel Morvan, son cofondateur. L'intelligence artificielle de CosmoTech, améliorée par des boucles de rétroaction grâce aux données du terrain, montre « les futurs possibles, les impacts de ses choix ». Une manière de mettre en lumière des poches de valeur jusqu'ici invisibles. Et de gagner en résilience en anticipant les défaillances. GAUTIER VIROL

pendant les essais mécaniques étaient en définitive peu utilisées lors de la conception, rappelle Florent Mathieu. Les choix sont souvent arrêtés lors de la phase de simulation, qui n'intègre pas ces données issues du terrain. » Leur idée pour éviter cette perte d'information ? Une approche hybride de la conception afin de renforcer l'exactitude des modèles et de dépasser certaines limites inhérentes au tout-virtuel. « La simulation

intègre certaines marges de sécurité qu'une approche plus précise pourrait permettre de réduire », explique Florent Mathieu. La pièce peut ainsi être optimisée et gagner en légèreté. Baptisée EikoTwin, leur plate-forme logicielle convertit des données issues des instruments de test en données interprétables par l'outil de simulation. Elle capte des données de mesure (imagerie classique ou infrarouge, ultrasons, capteurs

de force...) et les applique à un maillage qui vient se superposer au modèle. Pour développer sa solution, EikoSim a noué des partenariats avec des éditeurs comme Dassault Systèmes et Altair. Très implantée en France, la société parisienne commence à trouver ses marques à l'international : depuis 2020, un accord de distribution lui permet d'être présente en Chine et à Taïwan. ALEXANDRE COUTO

## ALTEIA MISE SUR L'INTELLIGENCE VISUELLE

Fruit d'une récente scission de Delair, fabricant français de drones professionnels, Alteia édite une plate-forme logicielle qui permet aux entreprises de développer des applications de traitement et d'analyse d'images. Drones, internet des objets, smartphones ou autres sources, la solution peut « ingurgiter tout type de données », assure Michaël de Lagarde, son directeur général. Si le socle logiciel est commun, les modèles de traitement sont personnalisés en fonction des usages. Ainsi, pour Enedis, son premier client public, Alteia a mis au point une solution d'analyse automatique de son réseau aérien moyen tension. Grâce aux images provenant de drones et de lidars, celle-ci repère les endroits où la végétation est trop proche des lignes électriques. Ces analyses sont poussées dans l'ERP d'Enedis pour que des commandes d'élagage soient faites automatiquement. L'application peut aussi anticiper la façon dont les plantes vont pousser grâce à un modèle prédictif. **LÉNA COROT** 

### ALTEIA | MODÈLES PRÉDICTIFS

Sa plate-forme traite des images issues des drones, de l'IoT, des smartphones... pour construire des modèles personnalisés.



# INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Vision par ordinateur, traitement du langage naturel, moteur de recommandation... L'IA est un vaste domaine qui connaît une renaissance grâce à la disponibilité de grandes quantités de données, l'augmentation de la puissance de calcul et l'avènement de méthodes comme l'apprentissage profond.

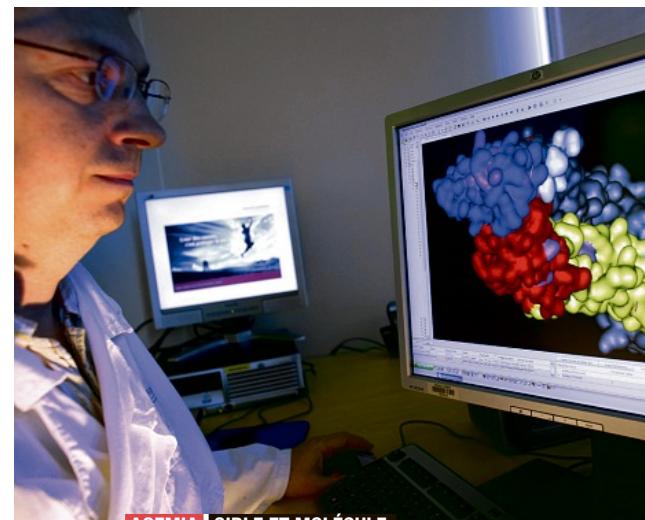
## AQEMIA AIDE LA RECHERCHE MÉDICAMENTEUSE

**La pépite Aqemia a mis au point un logiciel capable de prédire l'affinité entre les candidats**

médicaments et les cibles thérapeutiques responsables des maladies. Maximilien Levesque, son directeur général et cofondateur, affirme que ce logiciel est capable d'effectuer

une prédiction en quelques minutes, contre quelques jours habituellement. La technologie de cette spin-off de l'École normale supérieure (ENS) fondée en 2019 est le fruit de huit années de recherches. Elle repose sur le développement de systèmes d'apprentissage automatique pour trouver des candidats médicaments prometteurs parmi des millions de

molécules. Après une première levée de fonds de 1,6 million en 2019, la start-up a signé un partenariat avec Sanofi, fin décembre 2020, pour trouver un traitement efficace contre le SARS-CoV-2, le virus à l'origine du Covid-19. L'objectif de cet antiviral sera de perturber le cycle de réPLICATION du virus en l'empêchant de rentrer et sortir des cellules. **ALICE VITARD** 



### AQEMIA | CIBLE ET MOLÉCULE, UNE QUESTION D'AFFINITÉ

Cette pépite a signé un partenariat avec Sanofi pour trouver un traitement contre le Covid-19.

L'Usine Nouvelle se réinvente pour vous guider dans la relance économique et la reconstruction industrielle

+ Relocalisations

& Made in France

+ Transition écologique & énergétique

+ Transformation numérique

+ Innovations

Découvrez toutes nos nouveautés



Profitez de nos offres de lancement !

Scannez le QR Code

Rendez-vous sur [usinenouvelle.com](http://usinenouvelle.com)



ALTEIA

Entrainer et faire fonctionner des algorithmes directement sur des microcontrôleurs afin d'intégrer dans n'importe quel objet la détection et la classification d'anomalies, voilà ce que propose Cartesiam. La start-up de 20 salariés, fondée en 2016, dont le siège et la R&D sont situés à Toulon (Var), a sorti, en février 2020, une bibliothèque d'algorithmes d'apprentissage machine adaptés à l'univers des microcontrôleurs. Avec cet outil baptisé NanoEdge AI Studio, tout développeur peut mettre une brique d'IA dans un objet. « Notre solution fonctionne sans données ni data scientist », souligne Joël Rubino, le cofondateur et dirigeant de Cartesiam. La technologie a aussi la particularité de s'exécuter entièrement sur le microcontrôleur. C'est là qu'ont lieu les phases d'apprentissage (pendant laquelle les modèles se construisent) et d'inférence (pendant laquelle les modèles déjà entraînés s'exécutent). Quand il crée un nouveau projet sur le logiciel, le développeur indique le comportement normal de l'objet, un exemple de comportement atypique,

puis laisse le logiciel tourner pour trouver, parmi des millions de combinaisons d'algorithmes, la plus précise. Avec l'avantage que les données de l'utilisateur ne sont ni partagées avec un tiers ni envoyées dans le cloud. L'industriel Crouzet l'utilise pour détecter une anomalie dans ses moteurs de fermeture des portes de train. Et Lacroix Electronics pour optimiser les fréquences de nettoyage des fours à refusion de ses usines. **MARION GARREAU**

## CARTESIAM MET L'IA DANS LES OBJETS

D.R.

## SHIPPEO TRACE LA LOGISTIQUE

Shippeo a mis au point une solution de visibilité en temps réel du transport qui s'appuie sur l'intégration de données à partir de centaines de systèmes de gestion de transport (TMS), d'ERP, ou de systèmes embarqués. La start-up fournit des données de localisation en temps réel, assure un suivi des livraisons et propose des algorithmes propriétaires pour calculer l'heure d'arrivée estimée d'une expédition. Sa plate-forme permet aux transporteurs d'identifier et d'éliminer les points sensibles et les inefficacités sur l'ensemble de leur chaîne

logistique et d'agir pour optimiser leurs processus, par exemple en réduisant les coûts. Malgré la crise du Covid-19, Shippeo a enregistré une augmentation de ses revenus et de sa base clients en 2020, avec l'arrivée de Kuehne+Nagel,

Total, Hager Group ou Krone. Au-delà du suivi des expéditions, son atout est de donner aux chaînes logistiques la flexibilité nécessaire pour répondre aux demandes des clients dans des conditions de marché incertaines. La start-up parisienne, créée il y a six ans, continue d'accélérer son développement. Elle a levé 32 millions de dollars en janvier et a acquis en octobre 2020 la société française oPhone, ce que lui a permis de s'attaquer aux secteurs de la distribution et de l'industrie. Ses effectifs ont été multipliés par deux au cours des douze derniers mois pour atteindre 160 employés, dont 45 % travaillent dans la R&D. Elle compte parmi ses clients Carrefour, Schneider Electric, Faurecia, Saint-Gobain ou Eckes Granini. **AUDE CHARDENON**



### AZMED | DIAGNOSTIC ACCÉLÉRÉ

Rayvolve détecte automatiquement les fractures osseuses sur les images médicales.

## AZMED SOULAGE LES RADIOLOGUES

Le nombre de radiologues chute à mesure que les besoins en analyse d'image explosent. C'est pour répondre à cette problématique que la start-up AZmed a développé un logiciel de détection et de localisation des fractures osseuses. Baptisé Rayvolve, il est actuellement utilisé dans plus 50 centres d'imagerie médicale en France. « Nous voulions concevoir un outil pour aider les radiologues sans qu'ils ne le voient réellement », explique Alexandre Attia, son cofondateur et directeur

technique. Ce data scientist de formation s'est associé à Elie Zerbib-Attal, médecin interne et Julien Vidal, spécialiste financier, pour créer AZmed en 2018 à Paris. Leur objectif : optimiser le flux de travail des radiologues grâce à l'intelligence artificielle. Le fonctionnement de Rayvolve est le suivant : le radiologue fait passer un examen à son patient suspecté d'avoir une fracture osseuse, l'image médicale est analysée par le logiciel qui va indiquer la présence et l'emplacement de la lésion. Rayvolve s'intègre directement aux outils utilisés par les radiologues. « Pour établir son diagnostic, le praticien peut se repérer sur l'information clinique, l'image médicale et la préiction de l'IA », indique Alexandre Attia. Pour limiter le nombre de faux positifs, les images médicales utilisées pour

l'entraînement du modèle sont annotées par plusieurs médecins. Il est par ailleurs continuellement alimenté par de nouvelles données anonymisées provenant des différents centres d'imagerie partenaires. Après avoir levé 1,2 million d'euros en 2019, AZmed veut exporter sa solution dans d'autres pays européens. La start-up a déjà signé près d'une centaine de partenariats et a officialisé en septembre la signature d'un contrat avec Wellbeing Software, principal fournisseur d'équipements du National Health Service (NHS), le système de santé publique du Royaume-Uni. Parallèlement, elle continue de développer des systèmes d'apprentissage automatique « pour des pathologies souvent présentes aux urgences ». **A. V.**

THE INTERNATIONAL MEETING  
CONFERENCES | WORKSHOPS | EXHIBITION

# Forum Teratec 2021

*Unlock the future !*



22-23-24 JUNE | DIGITAL EVENT

SIMULATION | HPC | HPDA | AI | QUANTUM



PLATINUM SPONSORS

**Atos**

**ddn**

**GRAPHCORE**

**Hewlett Packard Enterprise**

**intel.**

**VAST**

GOLD SPONSORS

**AEMPO**

**cea**

**doitnow**  
HPC Services

**exaion**  
EDF GROUP

**Lenovo.**

**UCIT**

SILVER SPONSORS

**arm**

**aws**

**GENCI**

**NVIDIA.**

**rescale**

**XILINX.**

# QUANTIQUE

La France a lancé en janvier un plan sur cinq ans doté de 1,8 milliard d'euros. L'enjeu: créer une filière d'excellence, qui reposera sur des labos, de grands groupes mais aussi des pépites d'envergure.

## PASQAL AVANCE SUR SON ORDINATEUR

**Près de 200 qubits en 2021 et plus de 1 000 qubits annoncés pour 2023.** Depuis sa création en 2019, la start-up Pasqal se rapproche pas à pas du passage à l'échelle de son ordinateur quantique et de sa commercialisation. Après avoir signé un partenariat avec Atos, fin 2020, la pépite a été sélectionnée pour équiper dès 2023 le supercalculateur du CEA Joliot-Curie et celui du centre de recherche allemand de Jülich. À l'Institut d'optique de Palaiseau (Essonne), elle conçoit son ordinateur tel qu'il sera commercialisé : un rack modulaire de deux mètres sur trois équipé pour être installé aisément dans un centre de calcul, appelé accélérateur quantique. Une réussite inédite en Europe, saluée par Emmanuel Macron, pour une technologie issue des travaux fondateurs du physicien Alain Aspect, qui a démontré dans les années 1980 le phénomène d'intrication

quantique. L'ordinateur de Pasqal repose sur l'approche des atomes neutres, où les qubits sont des atomes uniques, piégés et manipulés par des lasers pour effectuer des calculs.

« Des qubits parfaits », selon Adrien Signoles, le directeur de la R&D de la start-up, contrairement aux qubits supraconducteurs de Google ou IBM, fabriqués par des procédés manuels. Cette approche a permis d'effectuer la simulation d'un matériau antiferromagnétique, impossible à réaliser avec un calculateur conventionnel. Une démonstration de l'avantage quantique que seuls Google, la Chine et le CNRS ont réalisé jusqu'ici. Au-delà de cette expérimentation scientifique, la machine Pasqal sert déjà des entreprises comme EDF, qui a utilisé sa technologie pour optimiser l'alimentation de ses bornes de recharge de véhicules électriques. Fort de ses progrès, la pépite s'arme : elle a prévu de passer de 15 à 30 salariés dans l'année et a annoncé en mars une levée de fonds de plusieurs millions d'euros. Elle prévoit aussi de lancer son propre service de calcul quantique en cloud. Pour s'attaquer au plus vite à des problématiques industrielles concrètes. **G.V.**

## PASQAL LE FLEURON EUROPÉEN

Son ordinateur quantique repose sur la technologie des atomes neutres, manipulés par des lasers.



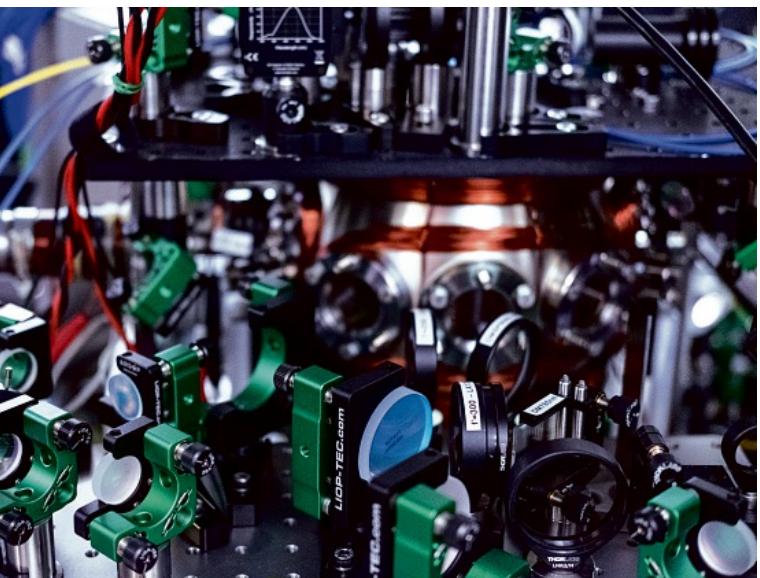
CYRIL FRÉSILLON/CNRS/QUANDELA

## QUANDELA MISE SUR LES PHOTONS UNIQUES

**La start-up francilienne Quandela avance méthodiquement sur la piste de l'ordinateur quantique photonique.** Fondée en 2017, elle a passé un cap mi-2020 avec Prometheus, un émetteur de photons uniques clés en main. « Nous devrions

en vendre entre 5 et 10 en 2021 pour près de 1 million d'euros de chiffre d'affaires », estime Valérian Giesz, son PDG et cofondateur. L'importance de Prometheus va cependant bien au-delà de ce marché. « Ce qui limite la possibilité de réaliser du calcul

quantique avec un dispositif photonique, ce sont les pertes optiques – c'est-à-dire les photons perdus –, qui ont lieu principalement au niveau de l'émetteur. Or notre technologie d'émission de photons uniques est très efficace. C'est



HERVÉ BOUTET



#### QUANDELA VERS UN CALCULATEUR RECONFIGURABLE

Son objectif à cinq ans : développer un ordinateur photonique intégrant la correction d'erreurs.

notre force, ce qui fonde nos ambitions dans le calcul », résume le PDG. Utilisant des « quantum dots », ou boîtes quantiques, nanostructures de semiconducteurs aux propriétés intermédiaires entre l'atome et le matériau massif, la technologie de Quandela atteint aujourd'hui près de 35 % d'efficacité. « Nous sommes partis de moins de 10 % et nous

travaillons à aller au-delà de 65 %. Scientifiquement, rien ne nous empêche d'y arriver. » Ce seuil de 65 % n'est pas anodin. « À partir de 2 photons sur 3 bien transmis, on sait que l'on peut commencer à implémenter des codes de correction d'erreurs cruciaux pour les calculs. » Après une levée de fonds de 1,5 million d'euros en 2020, Quandela

compte lever 25 à 30 millions d'euros en 2021, et encore autant pour parvenir à l'horizon de cinq à six ans à un véritable calculateur optique, reconfigurable (donc polyvalent) et intégrant la correction d'erreurs. En attendant, fidèle à sa stratégie de briques technologiques modulaires, la start-up veut réaliser en 2021 un générateur de nombre aléatoires

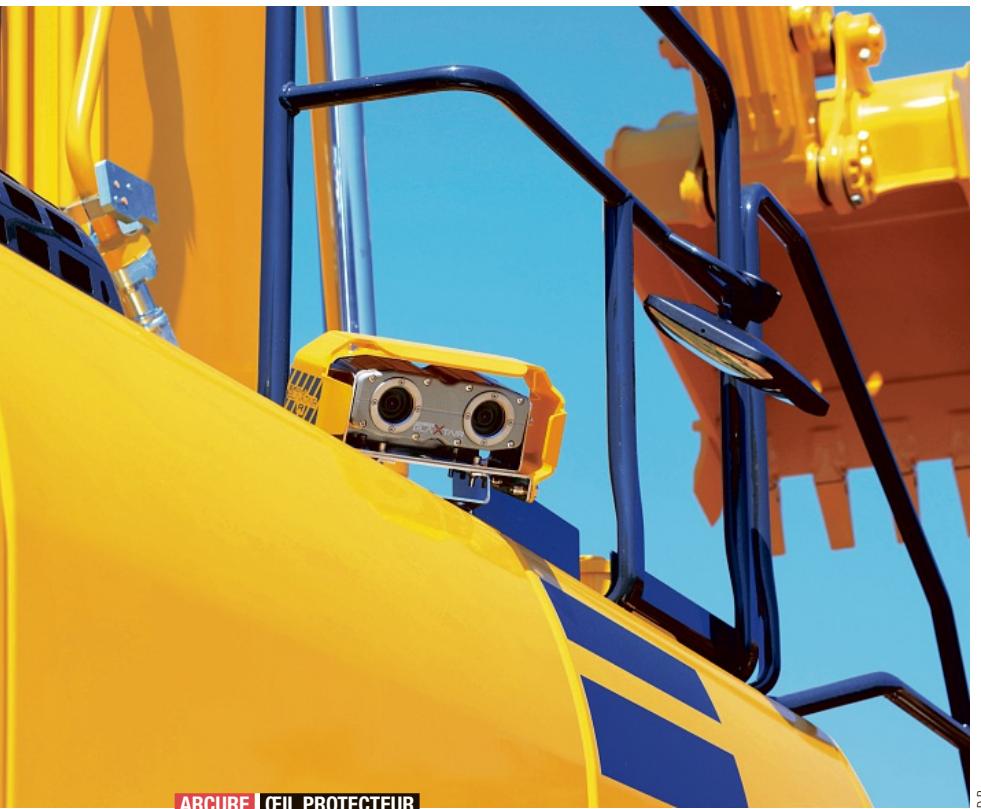
**Alice et Bob sont deux prénoms bien connus des physiciens**, utilisés pour personnaliser les points A et B des exercices de cryptographie. C'est aussi le nom d'une start-up, qui veut se faire connaître en construisant un calculateur quantique novateur. Fondée en février 2020, Alice & Bob développe des qubits supraconducteurs dits de Schrödinger, moins sensibles aux erreurs que ceux développés par Google ou IBM. Car la fiabilité est le blocage majeur à la fabrication d'un calculateur quantique industrialisable. « Même pour Google, qui a annoncé avoir atteint la suprématie quantique, la possibilité d'enchaîner vingt étapes de calculs sans erreur n'est que d'une sur dix mille », relate Théau Peronnin, le cofondateur de la pépite – hébergée à Paris par l'incubateur Agoranov et l'ENS Ulm –, dont le nom fait référence à « une blague de physiciens ». Pour pallier ce problème, Alice & Bob explore une approche à rebours de ses concurrents. « Eux cherchent à augmenter le nombre de qubits pour corriger les éventuelles erreurs, alors que nous cherchons à créer un qubit idéal, sans erreur, avant d'en associer plusieurs. » Ce qubit infaillible repose sur l'état quantique du chat de Schrödinger, qui est à la fois mort et vivant tant que l'on n'a pas ouvert la boîte dans laquelle il est enfermé. « Le bit quantique du chat de Schrödinger a une durée de vie stable 300 fois supérieure aux autres approches, estime Théau Peronnin. Il apporte une solution autonome et intégrée au problème central de la correction des erreurs. » La possibilité de créer ce « qubit de chat » a été démontrée par Raphaël Lescanne, le cofondateur de l'entreprise, lors de sa thèse.

Reste à faire sortir l'expérience du labo. « Notre premier prototype montre qu'il peut corriger les erreurs, argue le physicien. Nous devons maintenant réaliser un qubit logique, capable de faire des calculs. » Pour y parvenir, la jeune poussée s'entoure de chercheurs des ENS Paris et Lyon, des Mines ParisTech, de l'Inria, du CEA Saclay... Elle a levé 3 millions d'euros dès sa création, avec l'ambition de s'imposer face aux géants. **G. V.**

#### ALICE & BOB PART À LA QUÊTE DU QUBIT IDÉAL

fondé sur l'intrication de plusieurs photons et, en 2022, une puce photonique capable de faire tourner certains algorithmes quantiques variationnels. Et qui sera candidat au Grand Défi Nisq prévu par le plan quantique français.

**MANUEL MORAGUES**



D.R.

**ARCURE | ŒIL PROTECTEUR**

La caméra Blaxtair reconstitue en 3D l'environnement autour des véhicules de chantier et détecte les piétons.

**LYNX | AUTONOME ET PUISSANT**

Ce casque offre un rendu très réaliste, même avec une forte luminosité ambiante.

# TECHNOLOGIES IMMERSIVES

La réalité virtuelle et la réalité augmentée sont deux technologies différentes mais liées. Elles constituent un nouveau paradigme pour les interfaces utilisateur : l'humain est au centre d'un environnement numérique représenté en 3D.

**LYNX FABRIQUE UN CASQUE DE RÉALITÉ MIXTE**  
La pépite parisienne Lynx développe un casque de réalité mixte à destination des professionnels. Baptisé Lynx-R1, il est autonome et embarque une puce Qualcomm Snapdragon XR2. Fruit de trois ans de travail, il est capable de faire aussi bien de la réalité virtuelle que de la réalité augmentée grâce à deux caméras frontales soigneusement calibrées. Son usage premier est la réalité augmentée, c'est-à-dire l'intégration d'éléments virtuels dans un

environnement réel, à l'aide de ses caméras qui capturent le monde réel en 3D puis l'affichent sur les écrans du casque. Cette méthode est appelée « pass-through », car l'image « passe au travers » du système, par opposition aux appareils « see-through » comme Microsoft HoloLens, pour lesquels l'image est projetée sur un matériau transparent. L'intérêt ? Un rendu beaucoup plus réaliste et qui permet à l'utilisateur d'évoluer dans des milieux avec une forte luminosité. L'interaction se fait juste avec les mains, grâce à un module Ultraleap. Créer un

appareil électronique à la pointe est une tâche ardue. Lynx veut se démarquer en proposant une alternative aux géants technologiques comme Facebook. Des projets pilotes avec le Lynx-R1 sont déjà en cours au sein de certaines grandes entreprises françaises. La start-up travaille aussi sur un cas d'usage médical avec le professeur Patrick Nataf, chef du service de chirurgie cardiaque et vasculaire de l'hôpital Bichat à Paris. Une variante du casque pour le secteur de la défense est également en développement.

**JULIEN BERGOUNHOUX**



## **ARCURE** SÉCURISE LES VÉHICULES INDUSTRIELS

La sécurité est un enjeu majeur pour les exploitants de sites industriels où évoluent des véhicules. C'est pour répondre à cette problématique qu'Arcure a mis au point Blaxtair, une caméra embarquée qui détecte les piétons en temps réel grâce à des modèles d'apprentissage automatique. Cette PME a été fondée en 2009 à Paris par Franck Gayraud et Patrick Mansuy, deux ingénieurs issus de l'industrie aérospatiale et de défense. Ils ont lancé cette caméra en 2011. Sa première version a été créée avec Colas, filiale du groupe Bouygues spécialisée dans la construction et l'entretien des infrastructures routières. Grâce à des capteurs, Blaxtair scrute en permanence les zones masquées autour des engins industriels mobiles et reconstitue son environnement en trois dimensions. Installée dans 90 % des cas à l'arrière des véhicules, la caméra est capable de différencier un humain positionné dans le champ d'action du véhicule d'un autre obstacle. En cas de détection, Blaxtair émet une alarme sonore et visuelle à l'attention du conducteur en fonction de l'imminence du danger. La recherche sur la partie algorithmique a été menée en collaboration avec le CEA, dans le cadre d'un partenariat exclusif. Compatible avec tous les engins industriels, Blaxtair est utilisée dans une trentaine de pays, par un millier d'entreprises dans les secteurs du recyclage, de l'industrie, de la logistique, des travaux publics, des mines, des tunnels et du nettoyage urbain. La caméra est notamment présente dans le chantier Crossrail à Londres, dans des centrales nucléaires et plusieurs sites d'ArcelorMittal. Elle ne constitue qu'une « première étape vers l'automatisation des véhicules industriels ». Franck Gayraud veut que sa société fournit de nouveaux capteurs intelligents pour que « les véhicules puissent se guider de façon automatique dans leur environnement ». A. V. 

La base de données de l'industrie et de ses décideurs

Nouvelle  
version en ligne  
**7 JOURS DE TEST GRATUIT**



## LES NOUVEAUTÉS DE VOTRE OUTIL DE PROSPECTION COMMERCIALE



UN NOUVEAU MOTEUR DE RECHERCHE



DES ALERTES PERSONNALISÉES



DES EXPORTS AU FORMAT EXCEL



UN DESIGN SIMPLE ET ÉPURÉ

[industrie-explorer.com](http://industrie-explorer.com)

01 77 92 96 94  info.ie@infopro-digital.com 



**MINSAR | À LA PORTÉE DE TOUS**

Cet outil, qui s'adresse notamment aux artistes, simplifie la création d'expériences de réalité augmentée.

## PIXEE MEDICAL ASSISTE LA CHIRURGIE ORTHOPÉDIQUE

Créé en 2017 à Besançon, Pixee Medical développe une solution de réalité augmentée à destination des chirurgiens orthopédiques. Les instruments chirurgicaux, dotés de QR code, deviennent des traceurs jouant le rôle d'un GPS pour guider la main du chirurgien pendant une opération du genou. « Un logiciel de navigation installé dans des lunettes connectées est associé à une instrumentation MIS réduite, équipée de capteurs stérilisables », précise Sébastien Henry, le fondateur de la start-up et spécialiste de la chirurgie orthopédique assistée par ordinateur. Les données transmises aux lunettes (des Vuzix M400) contribuent à améliorer le positionnement des prothèses du genou en remplacement des articulations diminuées. De son côté, la réalité augmentée aide le chirurgien en affichant la structure osseuse en 3D. Après avoir obtenu les autorisations nécessaires, le dispositif a été utilisé pour une première chirurgie en juin 2020 à Paris. Depuis, une vingtaine d'autres ont suivi. Les fabricants de prothèses s'y intéressent désormais. Un premier partenariat avec United Orthopedic Corporation a été signé pour le marché européen fin octobre, d'autres sont en cours. « Le marché chinois des prothèses, avec une croissance annuelle de 20 %, contre 5 % en moyenne ailleurs dans le monde, fait appel à nous », commente Sébastien Henry. L'entreprise travaille également sur le marché américain. Parallèlement, elle planche sur une nouvelle solution pour la chirurgie de l'épaule. **N. H.**



## SPECTRAL TMS GUIDE LES TECHNICIENS

Fondée en 2018 par Amaury Cottin et Maxence Boucas, Spectral TMS édite un logiciel de réalité augmentée à destination des techniciens industriels pour les accompagner, les guider et les former lors des opérations de maintenance, de production et d'exploitation. « Notre solution permet aux industriels de réaliser des parcours en réalité augmentée », détaille Amaury Cottin. Après avoir enfiler un casque HoloLens 2 de Microsoft, le technicien va être guidé via des informations apparaissant directement dans son champ de vision et positionnées dans l'environnement de façon naturelle. « Imaginez un technicien devant une machine. Il va voir un bouton en haut à gauche où sera écrit « appuyez ici », puis il va être guidé par une flèche jusqu'à une manette en bas à droite... », résume le directeur général. Le logiciel s'adapte à n'importe quel secteur industriel, et est déjà utilisé par une vingtaine de clients dans l'automobile, l'énergie, la chimie et la défense, dont un grand groupe du CAC 40 qui compte une soixantaine de sites dans le monde. **A. V.**



Minsar Studio, développé par Opuscope, est un outil permettant de créer des expériences de réalité augmentée de façon simplifiée, sans avoir besoin de compétences en développement informatique. Le secret ? Il utilise un casque de réalité virtuelle, l'Oculus Quest, ce qui rend la création beaucoup plus facile qu'avec un clavier et une souris. Cette approche « no code » permet à des agences créatives de concevoir des expériences rapidement et à moindre coût. Minsar est constitué d'outils de storyboarding, d'animation et d'interaction pour agir sur des modèles 3D préexistants, importés depuis Sketchfab notamment. Les expériences peuvent être publiées par WebXR sur les navigateurs compatibles, sur des plates-formes comme Facebook, Instagram et Snapchat, ainsi que dans des applications mobiles propriétaires. Minsar peut être utilisé par exemple pour des campagnes marketing sur les réseaux sociaux ou des packagings. Les marchés visés sont le luxe, l'immobilier et la distribution. **J. B.**



## MINSAR PERMET DE CRÉER SANS CODER



AU CŒUR DES TECHNOLOGIES NUMÉRIQUES

Pôle européen de compétence

## SIMULATION HPC HPDA IA QUANTIQUE

**Teratec fédère les acteurs majeurs du monde industriel et de la recherche pour :**

- assurer la maîtrise des technologies numériques au profit des entreprises et des organisations,
- faire progresser la recherche industrielle française et européenne en associant fournisseurs et utilisateurs,
- diffuser ces technologies dans l'ensemble du tissu économique, PME, ETI et grandes entreprises.

■ INDUSTRIELS UTILISATEURS

■ ENTREPRISES TECHNOLOGIQUES

■ ENSEIGNEMENT & RECHERCHE

*Rejoignez-nous !*

### Contact & Informations

Jean-Pascal Jégu

jean-pascal.jegu@teratec.fr • Tél. +33 (0)9 70 65 02 10

Campus Teratec

2 rue de la Piquetterie - 91680 Bruyères-le-Châtel - France

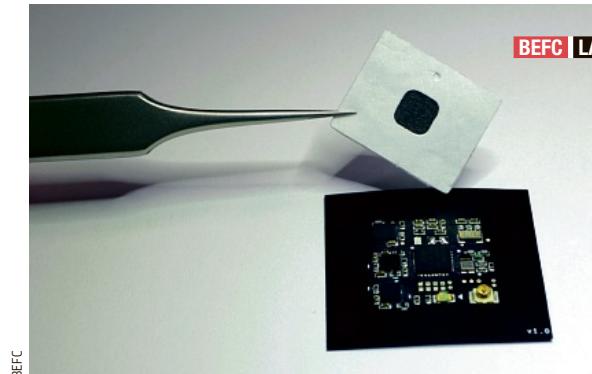
[www.teratec.eu](http://www.teratec.eu)

# ÉLECTRONIQUE

Avec des relocalisations de production et de nouvelles pépites qui proposent des innovations de rupture, l'électronique made in France est en plein essor.

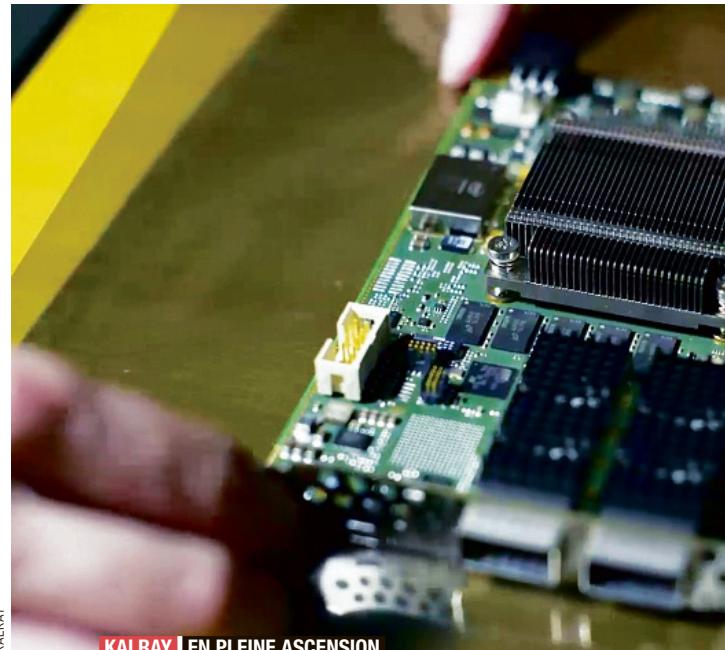
## BEFC PRODUIT DES PILE EN PAPIER

En janvier 2020, le nom de BeFC circulait déjà dans les allées bruyantes du Consumer electronics show (CES) de Las Vegas. La jeune poussée n'était pourtant qu'au stade de l'incubation, installée dans la société d'accélération du transfert de technologies (Satt) Linksiem, à Grenoble (Isère). Mais déjà, sa solution avait tout pour plaire au monde de la tech : une pile fine et flexible à base de papier, de glucose et d'enzymes. Un mélange d'originalité, d'écologie et d'innovation à destination d'un marché en croissance, l'internet des objets (IoT). De quoi multiplier les prix et les reconnaissances officielles en 2020. Loin de l'esbroufe néanmoins, la solution technologique développée par BeFC est le fruit d'un long travail de recherche universitaire au sein, notamment, de l'Institut polytechnique de Grenoble (Grenoble INP) et repose sur plusieurs brevets. Concrètement, la pile combine deux réactions à base d'enzymes, mobilisant le glucose qu'elle contient et l'oxygène ambiant pour générer un courant électrique. Une solution qui permet de concevoir des piles flexibles et sans métaux lourds (les électrodes sont en carbone), pouvant être déclinées selon les différents formats recherchés par l'industrie. Leur faible capacité (entre 5 et 10 mWh par centimètre carré selon l'utilisation) et la durée de vie limitée des enzymes (un mois maximum) rendent ces batteries idéales pour alimenter divers petits appareils électroniques. Dans les vêtements connectés (wearables), les capteurs de surveillance environnementale et agricole, le suivi de la logistique ou encore l'électronique de santé à usage unique. Après une levée de fonds de 3 millions d'euros à l'été 2020, le prochain objectif de la pépite, qui emploie une dizaine de personnes, est l'industrialisation. D'un millier de piles par semaine actuellement, elle souhaite passer à 20 000 unités d'ici à la fin de l'année et poursuivre sa montée en puissance. Pour cela, BeFC travaille sur des codéveloppements ainsi que sur des procédés de production de sa pile en papier. **NATHAN MANN** 



**BEFC | LA FIBRE ÉCOLO**

Recyclable, cette pile produit de l'électricité à partir de papier, d'enzymes et d'un système de biocatalyse.



**KALRAY | EN PLEINE ASCENSION**

Son processeur Coolidge, qui analyse à la volée de grandes quantités de données, séduit l'automobile, la défense, l'aéro...

## KALRAY SE RÊVE EN NVIDIA EUROPÉEN

C'est l'espoir de l'Europe dans les puces d'intelligence artificielle (IA). Kalray développe des processeurs de systèmes intelligents et rêve de devenir le Nvidia européen, accélérateur des traitements dans les datacenters, l'edge computing, la 5G, l'automobile ou encore les supercalculateurs. Depuis sa création en 2008 à Grenoble par essaimage du CEA-Leti, cette pépite a levé plus de 106 millions d'euros. Elle compte une centaine de salariés et dispose de bureaux aux États-Unis et au Japon. Elle développe un nouveau type de processeurs à traitement massivement parallèle adaptés au traitement à la volée de grands flots de données pour des prises de décision critiques en temps réel. Sa technologie intéresse des industriels de la défense et de l'aéronautique (Airbus, Safran, MBDA),

des constructeurs automobiles (l'alliance Renault-Nissan-Mitsubishi) ou encore des fabricants de serveurs comme le strasbourgeois 2CRSI. Depuis début 2019, elle a noué un partenariat stratégique avec NXP pour imposer sa solution dans la conduite automobile assistée et autonome. Elle en est à sa deuxième génération de puce, Coolidge, et développe la suivante, Coolidge 2, avec un lancement prévu en 2022. Comme la puce actuelle, elle sera fabriquée chez le fondeur taïwanais TSMC en technologie de 16 nanomètres. L'année 2021 s'annonce comme celle du départ de la production de volume, avec l'objectif de vendre 100 000 cartes dans deux ans pour les datacenters. De quoi générer un chiffre d'affaires de 100 millions d'euros entre mi-2021 et mi-2022, contre environ 1 million en 2020 réalisé exclusivement par la vente de cartes d'évaluation. Le démarrage du marché de la voiture intelligente, quasi monopolisé par Nvidia, est attendu en 2024. **RIDHA LOUKIL**



**Les mémoires magnétiques MRAM, c'est le terrain d'innovation d'Antaëos.** Fondée en 2017 par essaimage du plus grand laboratoire français en spintronique, le Spintec à Grenoble, cette pépite développe la génération prochaine, dite SOT-MRAM. Celle-ci améliore considérablement la vitesse, l'endurance et la consommation par rapport à la mémoire magnétique actuelle, la STT-MRAM, commercialisée par Everspin Technologies, GlobalFoundries ou Samsung. De quoi en faire la mémoire universelle capable de

## ANTAËOS RÉINVENTE LA MÉMOIRE MAGNÉTIQUE

remplacer celles qui sont utilisées actuellement dans l'embarqué : la mémoire flash et la DRAM (ou SRAM). Antaëos a levé 11 millions de dollars, avec l'objectif de réaliser un démonstrateur de sa technologie au deuxième trimestre 2021. Au tour de table figure un investisseur de poids, l'américain Applied Materials, l'un des tout premiers équipementiers mondiaux de production de semiconducteurs.

Dans une course mondiale à la MRAM du futur, il apporte une crédibilité à la technologie de la pépite grenobloise et un soutien industriel inespéré dans son développement. Antaëos compte une quinzaine de collaborateurs et prévoit de renforcer son effectif d'ici à la fin de l'année. Il revendique dix familles de brevets essentiels rachetées au CNRS. Un autre grand industriel américain des puces semble s'intéresser à sa technologie MRAM, mais son nom reste, pour l'heure, confidentiel. **R. L.**

## SCALINX VEUT DEVENIR UN FOURNISSEUR CLÉ DE L'EUROPE

**Spin-off de Télécom Paris fondée en 2015, Scalinx** revendique un savoir-faire unique en Europe dans la conception de circuits de conversion du signal analogique-numérique et numérique-analogique. Ces composants jouent un rôle essentiel dans la chaîne de traitement de signaux physiques, comme ceux captés par les radars ou les antennes 5G. Son innovation lui a permis de

s'autofinancer les premières années en signant des contrats de plusieurs millions d'euros avec Thales dans la défense et un équipementier européen dans l'instrumentation de mesure. En février, la pépite parisienne (une cinquantaine de collaborateurs répartis à Paris, Caen et Grenoble) a bouclé une levée de fonds de 10,5 millions d'euros. Son ambition : libérer l'Europe de sa dépendance aux fournisseurs américains dans les puces de conversion du signal. **R. L.**

« Les gens ont l'impression que toutes les pièces en composites sont faites par des robots, c'est faux. Les PME n'ont pas toujours les moyens de s'offrir des solutions automatisées. » Pour Bernard Laine, le cofondateur de 3DiTex, cela doit changer. Selon lui, la démocratisation de l'automatisation du tissage de fibres composites passe par une nouvelle approche de la fabrication additive. La machine développée par la start-up fondée fin 2018, et dont le premier modèle devrait voir le jour à la fin de l'année, promet de réduire

## 3DITEX TISSE LE COMPOSITE EN 3D

la consommation d'énergie, les coûts de main-d'œuvre et les déchets liés à la fabrication de pièces composites. Comment ? En tissant directement les pièces en trois dimensions. « Le concept est similaire à l'impression 3D, mais la technologie est complètement différente », précise le cofondateur. Pour résumer, « la technologie de 3DiTex est au tissage ce que l'impression 3D est à l'injection

plastique », indique le site internet de la start-up de huit salariés, implantée à Saint-Médard-en-Jalles (Gironde). Si la machine et le logiciel de 3DiTex ne sont pas encore finalisés, ils sont suffisamment aboutis « pour modéliser les produits que nous pourrons fabriquer », explique Bernard Laine. Il compte séduire les industriels de l'aéro et du spatial – qui consomment jusqu'à 20 % des composites sur le marché –, mais aussi du luxe, du sport et du design. Pour cela, il prévoit de lever, en 2022, plusieurs millions d'euros. **G. V.**



## ALTRNATIV.RADIO TRAQUE LE CIEL ET L'ESPACE

**À la confluence du spatial et du numérique, Altrnativ.radio est un ovni.** Appartenant au groupe Altrnativ, fondé en mars 2020 par Éric Léandri, le créateur du moteur de recherche français Qwant, la start-up s'est installée en octobre sur le campus de l'espace, à Vernon (Eure), aux côtés de Safran Aircraft Engines, d'ArianeGroup et de l'école d'ingénieurs ITII Normandie. Ses missions : cartographier le ciel et l'espace, repérer les objets déclarés (ou non) en orbite, suivre les débris spatiaux... Pour cela, elle a déployé sur les toits et les locaux du campus une quinzaine d'équipements de surveillance spatiale : lunettes et caméras astronomiques, télescopes, antennes de réception... Situé en bordure de forêt, à plus d'une heure de route de Paris, l'observatoire astronomique d'Altrnativ.radio bénéficie « d'un lieu privilégié » où « la pollution lumineuse est significativement réduite », selon son directeur, Gaël Musquet, également hacker éthique dans le milieu de la cybersécurité. La société a par ailleurs déployé des antennes radio capables de capturer les signaux émis par les transpondeurs des avions. Objectif : collecter des informations précieuses sur leur cap, leur vitesse, le numéro d'identification... Altrnativ.radio se rêve en Flightradar24 souverain, un fournisseur de référence sur les informations de navigation aérienne, grâce à sa propre infrastructure de collecte de données. La start-up a développé sa technologie avec l'armée de l'air, qui est également le premier client de son service, très utile pour la mission de police du ciel. Chaque équipement d'observation est relié à un ordinateur miniaturisé de type Raspberry Pi, équipé des derniers processeurs du fabricant Nvidia spécialisé dans le traitement massif des données. De quoi stocker et traiter des heures et des heures d'observation ! **HASSAN MEDDAH**



## DNA SCRIPT | ADN À LA DEMANDE

Son synthétiseur d'ADN permet d'accélérer le diagnostic de menaces d'origine biologique, telles que le Covid-19.

**Parfois, le transfert prend du temps.** Crée fin 2017 à partir de brevets du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), lumtek veut démocratiser pour l'industrie une technologie présente depuis plusieurs décennies dans les labos : la spectroscopie de plasma induit par laser (Libs, selon l'acronyme anglais). « Cette techno repose sur un principe d'identification des éléments atomiques, explique Ronald Berger-Lefebvre, le fondateur et président de la start-up. Elle mobilise un faisceau laser pour provoquer un plasma de la matière à analyser, et

## IUMTEK SCRUTE LES MICRO-PARTICULES AU LASER

en interprète ensuite l'émission d'énergie photonique, la lumière renvoyée. » De quoi réaliser « des instruments de mesure multi-élémentaires, en temps réel et in situ », c'est-à-dire capables d'analyser toutes sortes de matériaux sans préparation préalable pour en spécifier la nature et la concentration, ajoute l'entrepreneur. Cette solution pourrait intéresser les industriels en quête de méthodes de qualification autonomes et en temps réel, ou venir améliorer les programmes de détection des pollutions atmosphériques aux métaux lourds. Pour développer les briques mécaniques et logicielles nécessaires à la démocratisation du Libs, lumtek est hébergée chez Accelair, l'accélérateur de start-up d'Air liquide, aux Loges-en-Josas (Yvelines). La pépite commercialise depuis 2018 un instrument qui analyse tous types de matériaux pour les procédés industriels. Et vise désormais des appareils plus précis et spécifiques. **N. M.**





IUMTEK | L'ANALYSE IN SITU

IUMTEK

La spectroscopie sur plasma induit par laser est une technique qui nécessite peu ou pas de préparation des échantillons.

PASCAL GUILLET

## ET AUSSI...

De l'observation du ciel à la synthèse de l'ADN, en passant par l'instrumentation optique, l'innovation se niche partout. Zoom sur quatre start-up qui viennent disrupter leur secteur.

### DNA SCRIPT FABRIQUE UNE IMPRIMANTE 3D MOLECULAIRE

**DNA Script est à l'origine d'une technologie de synthèse enzymatique intégrée dans une sorte d'imprimante moléculaire**, baptisée Syntax. Elle est capable d'élaborer une séquence ADN personnalisée grâce à des cartouches contenant des enzymes naturelles en seulement quelques heures, soit beaucoup plus rapidement que les méthodes classiques. « Le système Syntax s'inspire de l'industrie du séquençage, où la mise à disposition d'instruments de séquençage directement dans les laboratoires a eu un impact décisif sur la recherche en génomique et en médecine personnalisée », explique Thomas Ybert, le président et cofondateur de DNA Script. L'idée derrière cette imprimante à ADN est donc de

permettre aux chercheurs d'écrire de l'ADN aussi facilement qu'ils peuvent le lire. La biotech française, fondée en 2014, connaît une ascension fulgurante, avec 126 millions d'euros levés depuis 2017. Elle enchaîne aussi les contrats. Elle a été choisie en mars par GE Research pour développer une plate-forme mobile dédiée à la fabrication rapide de vaccins et thérapies à base d'acides nucléiques pour protéger les populations et les forces armées contre des attaques biologiques et les maladies infectieuses. Un contrat à 9,35 millions de dollars. « Lorsqu'il s'agit de réagir face à une pandémie ou d'éviter l'émergence de variants plus dangereux d'une maladie infectieuse existante, il est essentiel de pouvoir fabriquer

en quelques jours de petits lots de vaccins prêts à l'emploi », déclare Thomas Ybert. Il s'agit du deuxième contrat remporté par DNA Script en seulement quelques mois. Fin janvier dernier, la biotech a été mandatée par l'Agence de l'innovation de défense du ministère des Armées pour développer « un prototype de laboratoire » pour la détection et le diagnostic rapides d'agents pathogènes en lien avec la pandémie de Covid-19. Parallèlement à ces projets, la jeune poussée travaille sur le développement d'une solution portable de stockage et de lecture de données dans l'ADN au sein du Molecular encoding consortium, aux côtés du Broad Institute et de l'université de Harvard. **A. V.**



## INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

# L'OUTIL DERRIÈRE LE BUZZ

Le battage médiatique autour de l'IA ne doit pas faire oublier que cette révolution s'inscrit dans la continuité des méthodes industrielles.

MANUEL MORAGUES

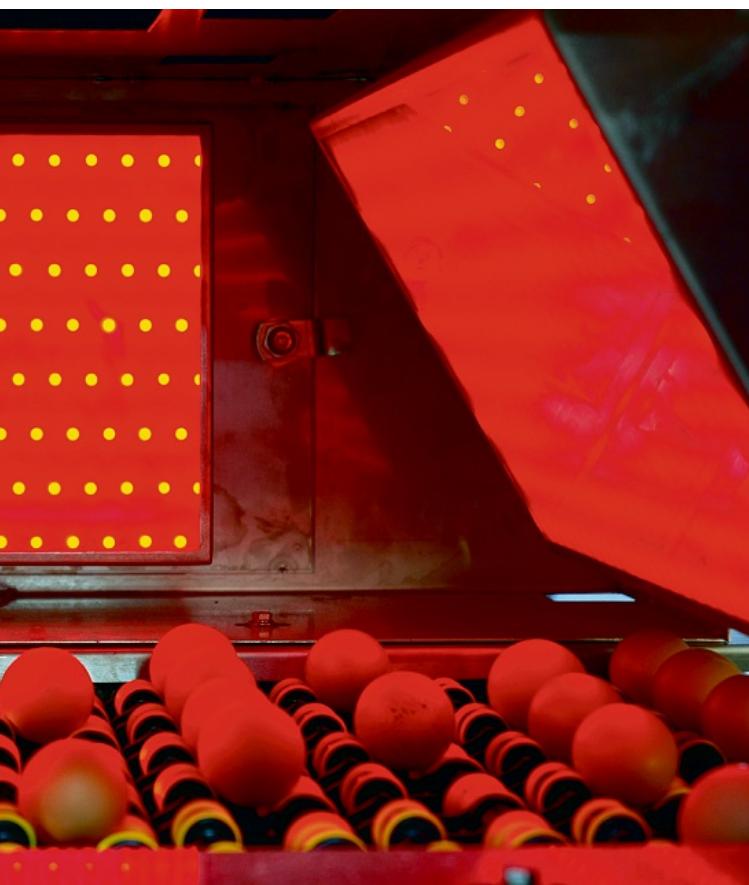
Impossible de passer à côté. L'intelligence artificielle (IA) sature les médias. Démonstrations de force du deep learning (apprentissage profond), promesses de gains faramineux, menaces sur l'emploi ou dérives liées à l'usage aveugle de ses algorithmes... l'IA est mise à toutes les sauces. En quelques années, elle a acquis le statut de révolution technologique du XXI<sup>e</sup> siècle et s'est imposée comme un enjeu géostratégique et économique mondial. Cet emballement a l'inconvénient majeur de la présenter comme un ovni numérique, a priori bien difficile à intégrer pour un industriel. Or l'IA s'inscrit au contraire dans la continuité des méthodes industrielles. « Analyser des données, identifier des corrélations, en tirer des enseignements pour optimiser ses process... Ce n'est pas nouveau, rappelle Alexis Fournier, le vice-président de la stratégie IA pour l'Europe, le Moyen-Orient et l'Afrique chez Dataiku, fort d'une expérience de vingt ans dans la datascience. On le fait aujourd'hui sur de nouveaux types de données et avec de nouveaux outils, mais c'est le même principe. » S'il y a bien une diffusion de l'IA dans l'industrie, elle vient d'abord des entreprises. « Ce n'est pas l'apparition du deep learning qui a fait entrer l'IA dans l'usine, mais la nécessité pour les industriels de piloter des systèmes de plus en plus complexes et le fait qu'ils ont commencé à stocker leurs données pour cela », tranche Patrick Sayd, le responsable de l'unité IA pour le langage et la vision au CEA List. IA, big data et industrie 4.0, même combat ! Il ne s'agit pas de nier la singularité des réseaux de neurones profonds du deep learning, ni la rupture technologique qu'ils représentent. Mais il faut replacer cette dernière dans son contexte. Celui de la recherche et celui de la performance en matière de perception. Soit le traitement de données homogènes (images, textes et sons, principalement). Ces progrès ont déjà permis un essor sans précédent des applications de commande vocale, de traitement automatisé de documents textuels et de vision par ordinateur. Cette dernière est très utile pour les opérations industrielles. Mais l'industrie a d'autres besoins, que le deep learning n'est pas, pour le



SEEMAX  
Seemax a développé une solution de mirage automatique dopée à l'IA pour contrôler la qualité des œufs.

moment, capable de satisfaire. Ou pour lesquels on ne peut pas encore lui faire confiance. Sans compter que recourir à cet outil très gourmand en données et en puissance de calcul reviendrait bien souvent à utiliser un marteau-piqueur pour enfoncer un clou.

Derrière l'arbre du deep learning, une forêt d'outils s'offre aux industriels : ceux du machine learning (apprentissage automatique). Voilà en quoi consiste l'IA dont on parle tant : des outils qui apprennent à partir des données pour élaborer des modèles. Contrairement à la simulation, qui part des lois de la physique, et de l'IA symbolique, qui s'appuie sur des règles explicitées par l'humain comme dans les systèmes experts. Appliqués à de nouvelles données d'entrée (l'étape d'inférence, par opposition à celle de l'apprentissage), ces modèles pourront prédire les sorties correspondantes, identifier des similarités, détecter les anomalies... Méthodes à noyau comme les machines à support de vecteurs, méthodes d'ensembles - AdaBoost, random forest - et réseaux de neurones... « Ces outils sont bien connus depuis une vingtaine d'années », rappelle Mathilde Mougeot, titulaire de la chaire Analyse de données industrielles et apprentissage automatique à l'ENS Paris-Saclay. Ils sortent aujourd'hui des laboratoires pour intégrer l'usine. « Les méthodes de machine learning peuvent traiter de grands volumes de



## À LA RECHERCHE D'UNE IA DE CONFIANCE

Comparé à la programmation classique et à l'IA symbolique, le machine learning produit des modèles dont il est souvent difficile d'évaluer la fiabilité. En effet, les données d'apprentissage ne représentent pas forcément tous les cas réels possibles, et surtout, concernant les réseaux de neurones, la théorie manque pour décrire les connaissances encodées. Ce qui rend d'ailleurs leur « raisonnement » inexplicable pour l'humain. Si nombre d'applications, même industrielles, peuvent s'en accommoder, ce n'est pas le cas de certains secteurs comme la sécurité ou l'aéronautique, pour qui

la confiance, préalable à la certification, est indispensable. L'un des grands défis lancés par le Conseil de l'innovation consiste à « développer une IA de confiance pour les systèmes critiques », résume Julien Chiaroni, son directeur, également chargé de la stratégie et des programmes du CEA List. Pour cela, il faudra créer une plate-forme logicielle pour la conception de systèmes sûrs à base d'IA, une plate-forme de validation des systèmes de mobilité autonome, et définir une stratégie de normalisation.

données de types variés pour résoudre des problèmes complexes et apporter plus de valeur ajoutée aux industriels», résume la professeure.

### Convergence des approches

Identification des défauts, réduction des rebuts, amélioration de la productivité, maintenance prédictive, automatisation du contrôle qualité, gestion des stocks et des approvisionnements... L'IA version machine learning se diffuse à travers de multiples applications. Deux grandes évolutions devraient accélérer le mouvement. D'abord, l'intégration croissante de l'IA dans les équipements industriels. La vision industrielle est la première à en bénéficier, avec l'émergence de caméras embarquant des algorithmes pour analyser les images en temps réel. Une tendance qui profite à plein de l'explosion de puces dédiées à l'IA : des processeurs graphiques (GPU) déclinés en version nano aux FPGA (field programmable gate arrays), en passant par toutes sortes de puces spécialisées. L'intégration de l'IA dans les machines s'effectue aussi via des algorithmes créés ou adaptés pour tourner dans de simples micro-contrôleurs. STMicroelectronics propose ainsi avec son outil logiciel STM32 Cube AI de transposer un réseau de neurones pré-entraîné vers un micro-contrôleur STM32. De son côté, la start-up Cartesiam crée des algorithmes capables d'apprendre à détecter des anomalies directement dans les micro-contrôleurs.

Deuxième grande évolution : l'apparition d'outils logiciels facilitant l'utilisation de l'IA dans les entreprises. L'open

source régnant sur l'IA, les algorithmes les plus performants sont en libre-service. « Jusqu'à récemment, les briques open source étaient destinées aux datascientists, avec des algorithmes à calibrer, à paramétriser, rappelle Anne-Sophie Taillandier, la directrice de TeraLab, la plate-forme big data de l'Institut Mines-Télécom. Mais on voit apparaître des outils adaptés aux non-experts, comme un ingénieur procédés qui voudrait expérimenter des modèles d'IA. » Des logiciels AutoML (machine learning automatisé) prennent ainsi en charge la construction de modèles adaptés aux données et aux cas d'usage de l'utilisateur.

Plus largement, des solutions ont émergé pour permettre un usage généralisé et structuré des données dans l'entreprise. Dataiku, licorne française, est pionnière de ce type de plate-forme qui fait graviter autour des données toutes les compétences nécessaires à leur bonne exploitation. Un atout majeur pour que les POC (proofs of concept, ou démonstrateurs) débouchent sur une mise en production. « Des data-scientists enfermés dans leur datalab comme dans une tour d'ivoire, qui ne connaissent ni le métier ni le contexte d'utilisation, ont peu de chances de créer une solution performante et qui soit adoptée sur le terrain », souligne Alexis Fournier. Si les prouesses du deep learning ont pu donner l'illusion que le machine learning allait balayer des décennies d'expertise, de modélisation physique et d'IA symbolique, l'heure est à la convergence des approches. Pour passer du buzz à l'usine, l'IA s'allie à l'humain.



GENERAL ELECTRIC

GE Aviation s'appuie sur la plate-forme Dataiku pour développer son programme Self-Service data. Cet outil a permis à ses équipes de mener plus de 2000 projets.

## DATA SCIENCE PLATES-FORMES COLLABORATIVES POUR UNE IA INDUSTRIALISÉE

Les datalabs mis en place par les industriels doivent s'ouvrir pour associer les experts métiers au développement des modèles d'intelligence artificielle. Des plates-formes de nouvelle génération le permettent.

ALAIN CLAPAUD

**S**ouvrir pour étendre et pérenniser les usages de l'intelligence artificielle. Le constat s'est imposé : il faut abattre les murs des datalabs et permettre à tous les experts métiers de collaborer, voire de développer eux-mêmes leurs modèles d'IA. Après Watson d'IBM, une nouvelle génération de plates-formes de data science se développe pour faciliter un usage plus intégré et industrialisé de la data par les entreprises. La première caractéristique de ses plates-formes, c'est leur vaste couverture fonctionnelle, comme l'explique Alexis Fournier, le vice-président de la stratégie IA pour l'Europe, le Moyen-Orient et l'Afrique chez Dataiku : « Nous proposons une plate-forme end-to-end, c'est-à-dire capable de couvrir l'ensemble des tâches du cycle de vie du modèle. L'idée est d'avoir une interface unique pour définir les sources de données, les analyser, concevoir et tester le modèle jusqu'à le déployer dans l'infrastructure. »

Reprise par de nombreux éditeurs, cette approche se traduit par des capacités d'intégration et de manipulation des données très développées. Le système doit pouvoir se connecter à l'ensemble des sources de données potentiellement exploitables par un algorithme, que celles-ci soient structurées (base de données), semi-structurées (fichiers XML) ou non structurées (textes, images, sons). Il fournit ensuite des outils de préparation de données qui vont permettre à un data engineer et à un expert métier de les rendre exploitables par un algorithme d'IA. Enfin, il offre des outils interactifs

de manipulation de données, de tests du modèle sur un échantillon de données jusqu'à son déploiement dans le cloud public ou sur un serveur de l'entreprise.

Concentrer tous les outils sur une même plate-forme implique que des profils très différents puissent travailler dessus. Les informaticiens de la DSI (direction des systèmes d'information) vont paramétriser les sources de données, les data scientists vont coder leurs algorithmes directement dans leur langage préféré, qu'il s'agisse de SQL, de Python ou des langages spécialisés R et SAS, et exploiter les bibliothèques d'algorithmes développées dans ces langages. Enfin, les experts métiers doivent, eux aussi, exploiter la plate-forme pour analyser leurs données. Il est difficile, voire impossible, de former ces profils non informaticiens à des langages complexes et de les contraindre à développer. La solution des éditeurs est de proposer un mode dual: les data scientists peuvent coder leurs algorithmes manuellement dans le langage de leur choix, tandis que les experts métiers disposent d'un mode de type «no-code». L'interface graphique leur permet d'élaborer un modèle en manipulant des algorithmes prêts à l'emploi, sous forme de composants. «Nous nous adressons à tous les utilisateurs potentiels de la donnée dans l'entreprise, souligne Raphaël Savy, le directeur pour l'Europe du Sud de l'éditeur américain Alteryx. Les utilisateurs métiers doivent pouvoir résoudre les problématiques qu'ils connaissent le mieux grâce à leur expertise, c'est ce que l'on appelle les citizen data analysts.» Le logiciel Alteryx Designer propose plus de 250 composants prêts à l'emploi, que les experts pourront manipuler pour analyser leurs données sans programmation.

### Vers une industrialisation de la production des modèles

Cette approche «no-code» est désormais reprise sur toutes les plates-formes de data science modernes et des algorithmes d'IA sont également déployés afin d'aider ces citizen data analysts à manipuler les données ou même à choisir le meilleur algorithme en fonction de la nature de ces données. C'est le cas de la plate-forme Viya de l'éditeur SAS, qui suggère les algorithmes en assortissant chacun d'eux d'un taux de confiance, mais aussi d'un argumentaire en langage naturel. Faire travailler tous les collaborateurs impliqués dans l'exploitation des données sur une même plate-forme est un moyen de faire émerger des idées et de les tester très rapidement sur un mode «test and learn». Mais il ne s'agit pas de se limiter aux POC (preuves de concept), bien au contraire. Ces plates-formes visent à accélérer la mise en production de modèles. La priorité doit être donnée à la réutilisation des traitements, notamment ceux qui portent sur l'intégration des données. «Le nettoyage et la normalisation des données sont des tâches très chronophages, précise Raphaël Savy. Il faut réduire les délais induits par ces manipulations grâce à la réutilisation et à l'automatisation des traitements à appliquer aux données.»

D'autre part, des workflows transversaux permettent aux projets de modèles d'avancer pas à pas jusqu'à la mise en production, qui prend souvent du temps. De nombreuses semaines sont parfois nécessaires pour les développeurs et

### «UNE NOUVELLE GÉNÉRATION D'OUTILS TRÈS ORIENTÉE BUSINESS»



HAMID HASHEMI

Fondateur de  
Data&People et expert  
en data intelligence

«La démocratisation et l'expérience utilisateur ont été pris à bras-le-corps par les éditeurs d'outils de data science et de machine learning. Un temps dédié aux statisticiens et aux data scientists, les premiers outils ont fait place à une nouvelle génération très orientée business, permettant aux métiers de prendre en main les algorithmes mais aussi des données de plus en plus massives et hétérogènes.

Auparavant, il fallait connaître parfaitement le fonctionnement de chaque phase de la valorisation de

la donnée, de la préparation à son utilisation. Dans le nouveau monde, les métiers doivent simplement savoir quelles données attend l'algorithme en entrée, à quoi sert l'algorithme et comment interpréter les sorties. Cette approche est plus rapide et moins coûteuse que celle consistant à former les utilisateurs au fonctionnement intrinsèque des algorithmes et au code.»

les ingénieurs d'exploitation afin d'industrialiser le modèle et d'assurer la sécurité des données. Les éditeurs apportent des solutions pour accélérer cette étape, notamment en hébergeant sur la plate-forme des web services prêts à être interrogés par les applications de l'entreprise, ou en générant de manière automatique des conteneurs logiciels prêts à être installés sur un serveur d'entreprise ou dans le cloud.

Pensées pour faciliter le travail collaboratif sur la data, ces plates-formes se veulent également simples à installer et à faire évoluer, en tout cas bien plus que les ERP (progiciels de gestion intégrés). «L'intérêt des plates-formes de data science modernes est que leur déploiement peut être progressif, souligne Pascal Brosset, le directeur technique de l'activité digital manufacturing de Capgemini. L'investissement initial est faible, notamment pour celles disponibles dans le cloud, et on va déployer les cas d'usage de l'IA un par un, en fonction des priorités et de la stratégie de l'entreprise.» La possibilité de souscrire à une plate-forme SaaS (software as a service), avec un paiement à l'usage, limite les dépenses et va permettre d'obtenir rapidement des premiers succès, un moyen de rallier peu à peu les différentes directions de l'entreprise et d'étendre les usages de l'IA partout où ils sont pertinents. Viendront ensuite la phase de structuration de toutes ces initiatives et la création d'un modèle de données commun, d'une sémantique commune à toute l'entreprise, qui faciliteront encore la création de nouvelles IA.

## PROGRAMMATION

# LES GRANDS INDUSTRIELS FONT LEURS GAMMES

Attirés par la puissance promise par le calcul quantique, de grands groupes fourbissent leurs algorithmes pour en tirer profit. Et les testent sur toutes les machines disponibles.

KEVIN POIREAULT

**L**a course au quantique se joue aussi du côté des utilisateurs. Face à l'accélération des développements de puces quantiques, certains industriels se plongent dans la programmation quantique. Et pour cause : avec le ralentissement de la loi de Moore, s'emparer de la puissance de calcul promise par les machines quantiques devient un enjeu majeur de compétitivité pour les entreprises gourmandes en calcul intensif.

Les premières à s'y intéresser, comme Lockheed Martin, se sont tournées dès le début des années 2010 vers D-Wave. Malgré les controverses sur la nature quantique de son processeur, le pionnier canadien a séduit de nombreux industriels, qui ont multiplié les preuves de concept. « Après avoir utilisé notre machine pour tester l'optimisation de ses véhicules [ses 10 000 taxis qui circulent à Pékin, ndlr], Volkswagen cherche maintenant à optimiser la programmation de la peinture de ses véhicules », affirme Alan Baratz, le PDG de D-Wave. Les résultats sont au rendez-vous, assure-t-il : « Le constructeur est parvenu à réduire de 80 % ses déchets et envisage une mise en production. » Si le processeur ana-

logique du canadien est particulièrement adapté aux problèmes d'optimisation, il est plus limité que les calculateurs quantiques numériques, à portes universelles, développés par les autres acteurs du hardware quantique. À commencer par IBM, dont les calculateurs quantiques supraconducteurs sont explorés par Daimler, JPMorgan Chase, Barclays ou Samsung. S'y est ajouté plus récemment Honeywell, qui a rallié Merck et DHL à sa puce à ions piégés.

### EDF, Total, Airbus...

En France, les premiers utilisateurs du calcul quantique sont sans conteste EDF, Total et Airbus, qui se sont chacun dotés d'une force opérationnelle dédiée. Chez EDF, tout a commencé fin 2018, quand une équipe d'une dizaine de personnes s'est constituée autour de Stéphane Tanguy, le responsable de la R&D. « Avec l'objectif d'acquérir une expertise en interne d'ici à quatre ans », précise Marc Porcheron, qui copilote le projet. Début 2020, l'équipe a recruté trois doctorants, pour trois ans. L'un travaille sur « l'amélioration de la simulation physique des matériaux pour étudier leur vieillissement », les deux autres sur des problèmes d'optimisation combinatoire, difficiles à résoudre sur des ordinateurs classiques, comme les études probabilistes de sûreté des centrales nucléaires ou, dans la gestion de l'énergie, l'optimisation de la recharge intelligente de véhicules électriques. « Pour ce dernier cas, nous expérimentons le calculateur quantique à base d'atomes neutres de la start-up française Pasqal », témoigne Marc Porcheron.

Total compte lui aussi faire appel à la technologie de Pasqal pour tester son propre algorithme de partitionnement de graphe, une méthode d'optimisation, a dévoilé Marko Rancic, le responsable du quantique, lors de l'événement « Quantum computing in Paris-Saclay », fin octobre 2020. Cet algorithme a été développé par un stagiaire et la start-up américaine QC Ware depuis un an. Le travail devrait être poursuivi en interne par un doctorant grâce à un financement du projet européen Next applications of quantum computing (Neasqc). Afin d'atteindre son objectif zéro émission carbone d'ici à 2050, Total envisage également d'avoir recours au calcul quantique pour développer l'usage du MOF-5, un matériau nanoporeux, comme filtre pour capturer le CO<sub>2</sub>. Cet engagement fait l'objet d'un partenariat de deux ans avec la start-up britannique Cambridge Quantum Computing. De son côté, sa filiale Saft explore de nouveaux matériaux pour développer des batteries avec ses propres implémentations d'algorithmes quantiques bien connus, de type Variational quantum eigen-solver (VQE) et Imaginary time evolution (ITE). Ils sont testés

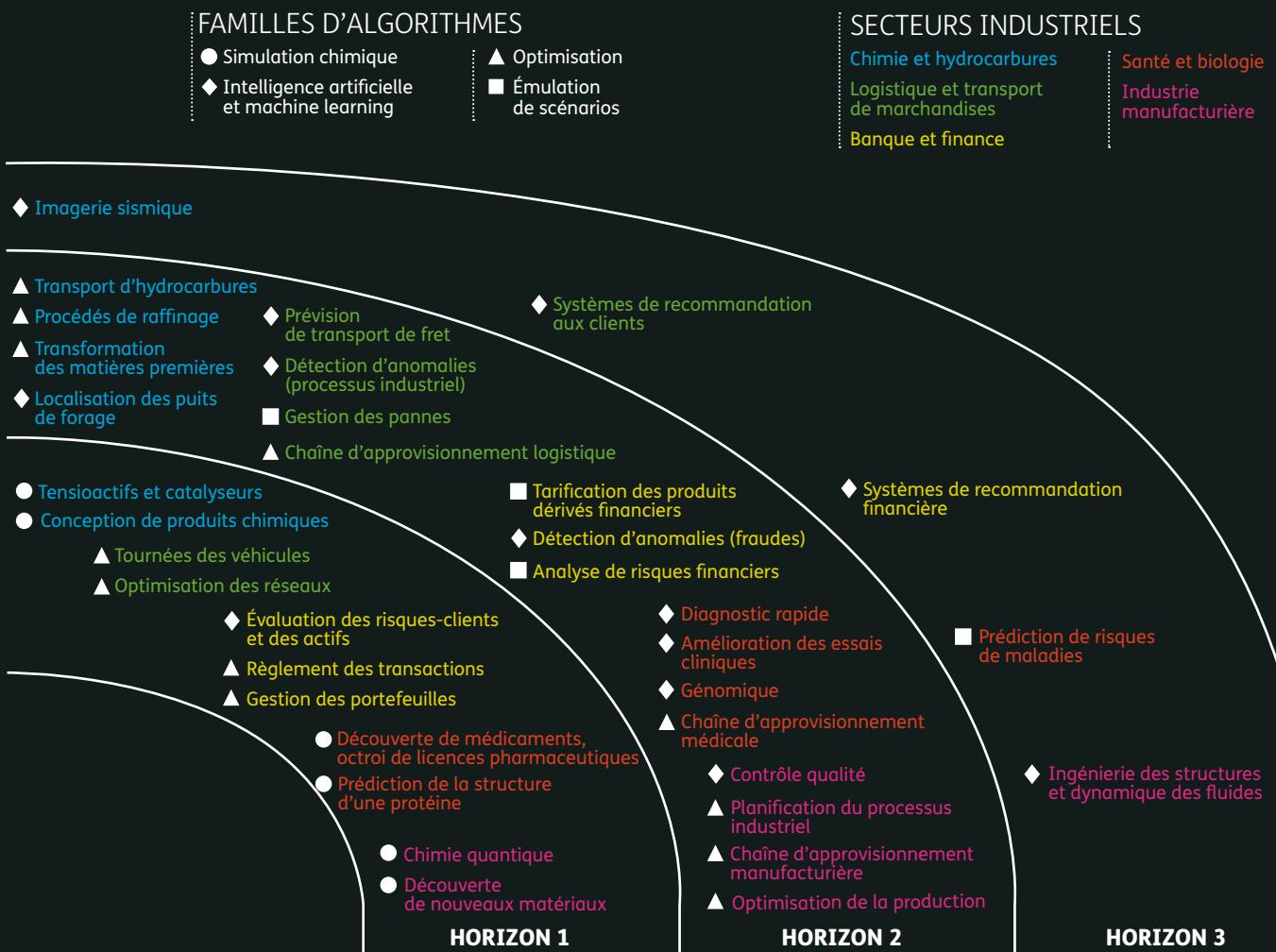
### SUR UN PETIT NUAGE

Une autre compétition mobilise les géants du quantique, celle des offres cloud. IBM a ouvert les hostilités dès 2016 avec l'IBM Q Experience. Cette plate-forme, la seule à proposer une interface de programmation quantique, Qiskit, donne accès aux 22 calculateurs d'IBM. D-Wave (avec Leap en 2018), Rigetti (avec QCS en 2018), Xanadu (en 2020) et bientôt Pasqal ont aussi décidé mettre leurs calculateurs dans le cloud. Amazon et Microsoft ont

préféré les partenariats : Amazon Braket permet d'accéder aux machines d'IonQ, de D-Wave et de Rigetti, et Azure Quantum à celles d'IonQ, de QCI, de Honeywell et prochainement de Microsoft. Google n'a pas encore de service de cloud quantique, mais un petit simulateur quantique sur le web, le Google quantum playground.

# UN FUTUR PLEIN DE PROMESSES

Applications du calcul quantique selon les secteurs et les usages



sur l'un des émulateurs de calculateur quantique d'Atos, la Quantum learning machine (QLM), que Total a installé sur son site de Pau (Pyrénées-Atlantiques).

## Un écosystème à construire

Comme EDF, Total expérimente également la combinaison de machines quantiques et d'algorithmes d'apprentissage automatique. «Les ressources quantiques sont coûteuses, admet Marko Rancic. Mais elles sont probantes: dans 96% des cas, nos algorithmes de machine learning ont apporté de meilleures performances avec les calculateurs quantiques qu'avec des ordinateurs classiques.» Total a lancé ces recherches avec un doctorant mi-2019, rejoint par un autre en avril 2020. Chez EDF, un quatrième doctorant se consacrera à ces travaux cette année. L'intérêt d'Airbus pour le quantique a débuté en 2017, lorsque son fonds de capital-risque a investi dans QC Ware. Depuis, l'avionneur a testé les machines D-Wave pour un cas d'usage: les arbres de défaillance. Surtout, il a lancé en 2019 l'Airbus quantum challenge, un concours autour de cinq défis techniques de l'aéronautique (ascension en vol, aérodynamique, mécanique des fluides, chargement de l'avion et conception du caisson d'aile). Le vainqueur déve-

loppera sa solution avec Airbus en 2021. EDF, lui, s'apprête à prendre en main Advantage, la nouvelle machine de D-Wave à plus de 5 000 qubits, tandis que Total est «en discussion avec Google et Xanadu», indique Marko Rancic.

Les entreprises attirées par la puissance de calcul du quantique multiplient les partenariats avec les fabricants de hardware et les spécialistes du software. Car l'écosystème du calcul quantique reste à structurer. Côté software, les briques logicielles dédiées à un cas d'usage, comme celle du français Qubit Pharmaceuticals, coexistent avec des couches reliant les interfaces de programmation les plus répandues (Cirq, Qiskit, QuTiP) avec les algorithmes développés par les utilisateurs finaux. Côté infrastructure, si les machines quantiques sont essentiellement accessibles via le cloud, Atos a l'ambition de proposer des supercalculateurs hybrides (classique-quantique) qui pourront être installés chez les utilisateurs et dans les grands centres de calcul. «Quel modèle sera le plus pertinent? Cela reste un mystère, résume Christophe Jurczak, le cofondateur du fonds Quantonation. À l'image de la course au hardware quantique, plus ouverte que jamais, tout reste à inventer dans l'utilisation de ces machines.»

## CALCUL QUANTIQUE LA COURSE AUX QUBITS RESTE OUVERTE

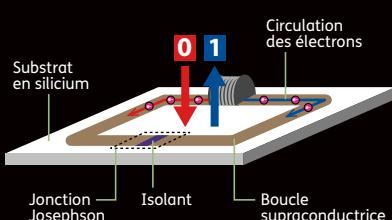
La large avance des supercalculateurs de Google et d'IBM ne doit pas masquer les autres technologies. Riche, divers et tourné vers l'industrie, l'écosystème français a de quoi faire des étincelles.

KEVIN POIREAULT

### LES CINQ PRINCIPALES TECHNOLOGIES EN LICE

#### QUBIT SUPRACONDUCTEUR

##### Le plus mature



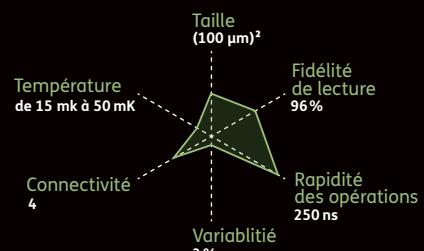
##### Principe

Le qubit supraconducteur de charge s'appuie sur une boucle d'un matériau supraconducteur contenant une jonction Josephson (supra-isolant-supra). Cet objet quantique possède deux états propres 0 et 1 correspondant aux deux sens du supercourant parcourant la boucle.

##### Avancée

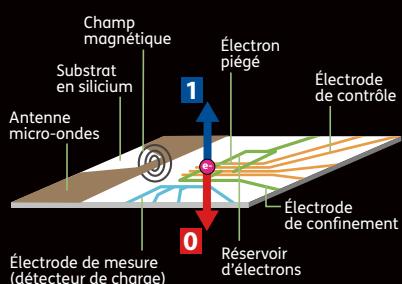
**Acteurs privés**  
IBM, Google, Intel, Rigetti, IQM, OQC, Raytheon, Alice & Bob...

**Nombre de qubits intriqués**  
53 (Google et IBM)



#### QUBIT SILICIUM

##### Proche de l'industrie

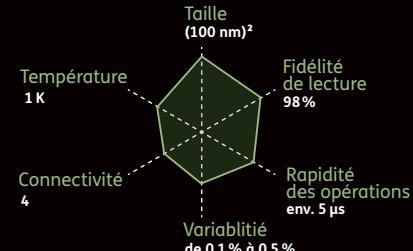


##### Principe

Un électron piégé dans une boîte quantique (quantum dot), couplée à un réservoir d'électrons et réalisée sur un substrat de silicium, forme le qubit. Les deux états 0 et 1 correspondent aux deux états « up » et « down » du spin de l'électron.

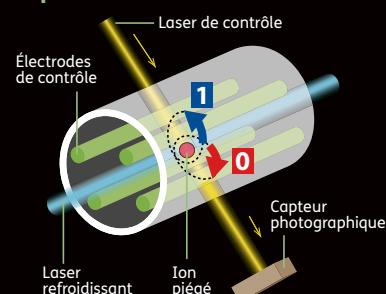
##### Avancée

**Acteurs privés**  
Intel, NTT, SQC, Equal1.labs, Quantum Motion  
**Nombre de qubits intriqués**  
4 (QuTech, TU Delft)



#### QUBIT À ION PIÉGÉ

##### Le plus fiable

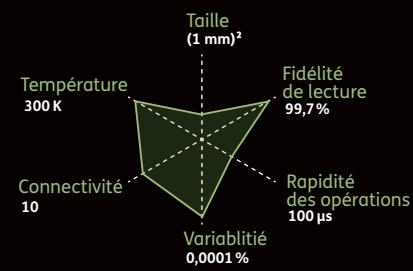


##### Principe

Le qubit repose sur un atome, par exemple d'ytterbium, ionisé et refroidi puis piégé sous ultra-vide à l'aide d'électrodes. L'encodage du qubit sur ses deux états 0 et 1 se fait sur deux états électroniques de l'électron de la couche de valence de l'ion.

##### Avancée

**Acteurs privés**  
IonQ, Honeywell, AQT, Oxford Ionics, Quantum Factory, NextGenQ  
**Nombre de qubits intriqués**  
11 (IonQ)



Il n'y a pas que les qubits supraconducteurs. La démonstration de la supériorité du calcul quantique sur le calcul classique publiée en décembre 2020 par l'équipe chinoise de Chao-Yang Lu est venue le rappeler. Leurs bits quantiques, ou qubits, ces éléments matériels qui codent l'information des calculateurs quantiques, s'appuient en effet sur des photons. Les qubits supraconducteurs représentent certes la technologie de qubits la plus avancée. Et pour cause : ses champions sont Google et IBM. Le premier avait fait sensation avec sa puce de 54 qubits à l'automne 2019. Le second a dévoilé en septembre 2020 une puce à 65 qubits, et compte dépasser les 100 qubits dès 2021, avant d'atteindre 1 221 qubits en 2023. Des start-up se sont lancées à leur poursuite dans la voie des supraconducteurs, comme l'américain Rigetti, qui a levé 79 millions de dollars en 2020 pour son calculateur à 32 qubits, en plus des 119 millions déjà récoltés. Pour autant, la messe est loin d'être dite. La course aux qubits reste ouverte, avec d'autres technologies qui progressent très vite, notamment en France.

Les qubits, équivalents quantiques des bits classiques, peuvent prendre la forme de divers objets physiques, pour peu que ces derniers expriment leurs précieuses propriétés quantiques de superposition et d'intrication. Nombre d'investisseurs misent sur des alternatives aux qubits supraconducteurs : l'américain IonQ avec son calculateur à base d'ions piégés a déjà obtenu 84 millions de dollars. PsiQuantum, la spin-off de l'université de Bristol, en Angleterre, aujourd'hui

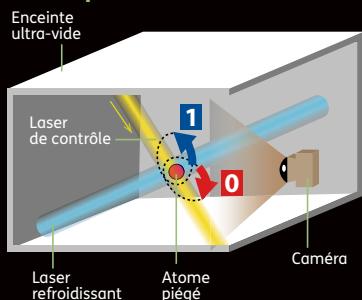
sise à Palo Alto, en Californie, a levé 230 millions de dollars pour ses qubits photoniques. Sans compter Intel, qui planche à la fois sur les supraconducteurs et la filière silicium, et Honeywell, géant industriel arrivé plus tard dans la bataille, mais qui a présenté en octobre 2020 un calculateur quantique à 10 qubits à ions piégés, «de la meilleure qualité à l'heure actuelle», comme le reconnaît Denise Ruffner, la vice-présidente d'IonQ. Si les alternatives aux qubits supraconducteurs sont ainsi explorées, c'est que ces derniers souffrent de nombreuses limites - notamment un taux d'erreur important - et d'incertitudes quant à leur marge de progression. Ce dernier point est souligné par Olivier Ezratty, auteur du livre en accès libre «Comprendre l'informatique quantique». «L'enjeu majeur est la mise à l'échelle, soit la capacité de créer des ordinateurs quantiques avec un grand nombre de qubits aussi faiblement bruités que possible pour que les calculs soient fiables, souligne-t-il. Cela implique énormément de défis en termes d'ingénierie, qui varient en fonction de la technologie adoptée.»

## Les records de qubits ne suffisent pas

Les partisans de la filière supraconductrice peuvent revendiquer des nombres record de qubits pour leurs puces. «Mais ils ont besoin de près de deux semaines rien que pour lancer leur machine, qui ne fonctionne qu'à des températures extrêmement basses, de l'ordre du millikelvin [0 kelvin, le zéro absolu, étant égal à - 273,15 °C, ndlr]», note Valérien Giesz,

## QUBIT À ATOME NEUTRE

### Le champion de la cohérence



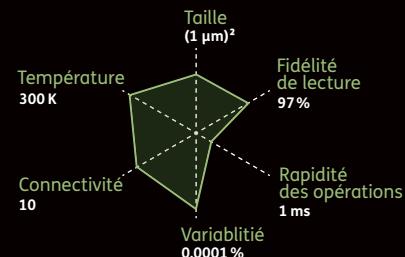
### Principe

Un atome, par exemple de rubidium, refroidi par laser et piégé par pince optique, sous ultra-vide, est placé dans un état d'excitation élevé, dit de Rydberg, où l'électron de valence est sur une orbite très éloignée du noyau. L'état 0 ou 1 du qubit correspond à deux niveaux énergétiques différents de l'atome.

### Avancée

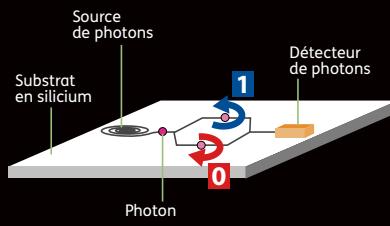
**Acteurs privés**  
Pasqal, Atom Computing, QuEra

**Nombre de qubits intriqués**  
51 (simulation)



## QUBIT PHOTONIQUE

### Le moins frileux



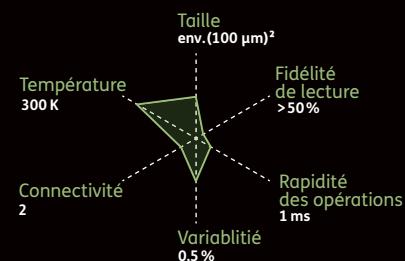
### Principe

Utilisant des sources, des manipulateurs et des détecteurs de photons optoélectroniques, le qubit photonique est généralement encodé sur la polarisation du photon, mais peut aussi l'être sur d'autres de ses propriétés comme la fréquence.

### Avancée

**Acteurs privés**  
PsiQuantum, Xanadu, Quandela, QuiX, Orca Computing, Tundra, LightOn, BardeenQ

**Nombre de qubits intriqués**  
20 (Chine)



le PDG de la start-up française Quandela, spécialiste des photons. Ce refroidissement extrême est un frein à la mise à l'échelle. IBM affirme vouloir le lever avec Goldeneye, un cryostat géant. « Mais cela ne suffira pas », estime Olivier Ezratty. Les qubits à base d'ions piégés sont une autre voie possible, qui font beaucoup parler d'eux en ce moment grâce à IonQ et Honeywell. « Ces qubits sont parmi les plus fiables, avec les taux d'erreur les plus faibles. Mais on ne sait pas s'il est possible d'obtenir plus de 100 qubits avec cette technologie », remarque le consultant.

## Viser des applications commerciales

Deuxième puissance européenne des technologies quantiques, derrière le Royaume-Uni, la France a de solides atouts pour jouer la course aux qubits. À commencer par des laboratoires de physique quantique parmi les meilleurs au monde. Le pays compte aussi une quinzaine de start-up positionnées sur presque toutes les pistes technologiques explorées pour réaliser des qubits. Les supraconducteurs avec Alice & Bob, les atomes froids avec Pasqal, les photons avec Quandela et le silicium avec l'ambitieux consortium Quantum Silicon Grenoble, alliant le CNRS et le CEA. Le plan quantique, enfin présenté en janvier, devrait leur donner un nouvel élan, avec 680 millions d'euros dédiés au seul calcul quantique.

Il était grand temps, car la course aux qubits s'accélère : pas question d'attendre de parvenir à des qubits parfaits pour réaliser l'ordinateur quantique universel, encore mythique, les technologies retenues devront rapidement faire leurs preuves avec leurs limites et leurs défauts. Tout le secteur assume ainsi de travailler non pas sur de véritables ordinateurs, mais sur des accélérateurs de calculs spécifiques reposant sur du hardware dit Nisq (noisy intermediate-scale quantum). Soit des puces à niveau de bruit significatif et à nombre de qubits limités. Un positionnement plus raisonnable pour un objectif clair que résume ainsi Christophe Jurczak, le directeur général de Quantonation, un fonds d'investissement dédié aux technologies de rupture : « L'enjeu majeur, aujourd'hui, pour les acteurs du calcul quantique est de démontrer sa supériorité sur l'informatique classique dans des applications commerciales. » Et pas seulement dans des tâches inutiles comme l'a fait Google, l'équipe de Chao-Yang Lu et encore plus récemment une équipe incluant des chercheurs du CNRS. Les forces du quantique doivent se confronter au monde réel.



## GENCI, votre accélérateur de connaissance et d'innovation

Depuis 15 ans GENCI booste la recherche et l'innovation ! Très Grande Infrastructure de Recherche, GENCI donne accès aux plus puissants supercalculateurs en France et en Europe, et en facilite l'utilisation. L'expertise de GENCI permet désormais un usage optimal de la convergence entre l'Intelligence Artificielle (IA), le Calcul Haute Performance (HPC) et le traitement de données massives dans la progression de vos recherches.

### Gratuité, puissance et accessibilité

Cumulant une puissance totale de 53,5 PFlop/s\*, nos trois supercalculateurs sont hébergés et opérés au sein de 3 centres de calcul souverains : au TGCC (CEA à Bruyères-Le-Châtel), à l'IDRIS (CNRS sur le plateau de Saclay) et au CINES (CPU à Montpellier). Dans une dynamique de recherche ouverte, les travaux réalisés gratuitement à l'aide des moyens matériels et humains de GENCI et des centres de calcul doivent donner lieu à publication.

### L'avenir commence aujourd'hui

Plus de 1000 projets par an émanent de tous les secteurs scientifiques bénéficiant de nos accélérateurs de connaissance et d'innovation. En 2020, les supercalculateurs de GENCI ont par exemple servi à modéliser un projet visant à la réduction du cycle et des coûts de conception des futurs moteurs d'avion, ou encore un projet d'amélioration du rendement de cellules photovoltaïques ultrafinnes etc.

Dans la lutte contre la COVID-19, GENCI a un rôle actif dans une quarantaine de projets de recherche français et européens, impliquant académiques, startups et grands groupes, et répondant à un besoin inédit de simulation en situation de crise.

Pour en savoir plus : [www.genci.fr](http://www.genci.fr)  
[contact@genci.fr](mailto:contact@genci.fr)

\*53,5 millions de milliards d'opérations par seconde



# TROPHÉES DES FEMMES DE L'INDUSTRIE 2021

28 septembre 2021

En présentiel et en digital

**Les femmes de l'industrie  
à l'honneur depuis 10 ans**

**Vous êtes ou vous connaissez  
une femme de l'industrie ?**

**Déposez votre candidature, en tant que candidate, marraine ou parrain avant le 14 mai !**

Infos et dossier de candidature sur : <http://events.usinenouvelle.com>

Contact : [tfi@infopro-digital.com](mailto:tfi@infopro-digital.com)

En partenariat avec :



Avec le soutien de :

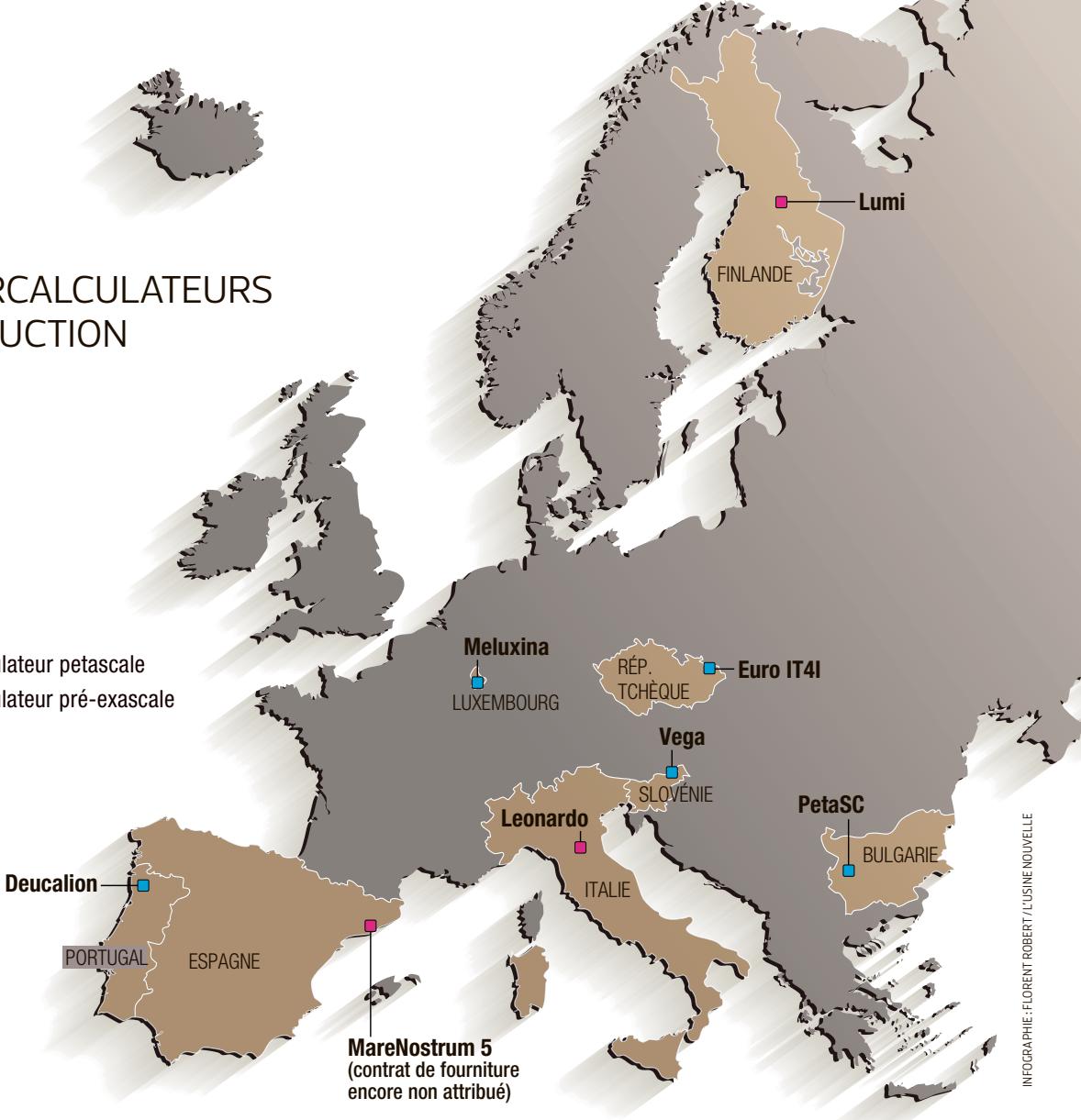


Un événement :

**L'USINE NOUVELLE  
EVENTS**

## HUIT SUPERCALCULATEURS EN CONSTRUCTION

■ Calculateur petascale  
■ Calculateur pré-exascale



INFOGRAPHIE: FLORENT ROBERT/L'USINE NOUVELLE

### SUPERCALCULATEURS

# L'EUROPE EN QUÊTE DE SOUVERAINETÉ

Une première série de supercalculateurs européens est en construction et l'objectif de l'exascale devrait être atteint à l'horizon 2024. Reste à tenir celui d'un calculateur 100 % made in Europe.

ALAIN CLAPAUD

**A**cheter un supercalculateur, c'est facile, en construire un de A à Z, c'est autre chose! Si l'Europe du calcul intensif a réalisé un bond en avant en 2020, c'est, pour le moment, toujours à partir de composants américains. L'EuroHPC joint undertaking, la structure d'achat public-privé de l'Union européenne, a lancé la construction de sept supercalculateurs, et bientôt d'un huitième, afin de replacer le Vieux Continent dans la course, alors que la Chine et les États-Unis se partagent les premières places du top 500, le prestigieux classement des supercalculateurs les plus puissants. Ce plan devrait faire entrer l'Europe dans le clan des puissances exaflopiques, c'est-à-dire disposant de calculateurs d'une puissance au moins égale



PASCAL GUILLETET

## « Se placer au niveau des Américains sera déjà un exploit »

**DANIEL VERWAERDE,**  
président de Teratec

deux machines exaflopiques qui sera construite en 2023 ou 2024 repose sur des technologies européennes.

### En quoi la construction de huit supercalculateurs est-elle une bonne nouvelle pour l'Europe ?

La recherche européenne va disposer de très belles machines qui multiplieront d'un facteur 5 à 10 l'offre d'heures de calcul pour ses chercheurs et leur donnera les moyens de leurs ambitions pour les quelques années à venir. Cela montre aussi que le projet EuroHPC en tant que joint-venture a pris corps et fonctionne bien.

### Du point de vue industriel, que peut changer cette initiative ?

Atos Bull va construire plusieurs grands calculateurs, ce qui est une bonne nouvelle pour l'industrie européenne. C'est une reconnaissance du niveau d'Atos Bull sur ce marché. Le challenge est de faire en sorte que l'une des

### L'Europe pourra-t-elle tenir ce pari avec des composants européens d'ici à 2023 ou 2024 ?

Nul ne sait encore si les technologies qui sont en cours de développement seront à la hauteur de ce que délivreront les acteurs américains dans le même temps. Ces derniers font évoluer leurs produits depuis quinze à vingt ans. Se placer à leur niveau sera déjà un exploit. L'important est d'acquérir de l'expérience et du savoir-faire pour revenir dans cette course technologique. Ce qui compte aujourd'hui, c'est avant tout de reconstituer des compétences et d'assembler des moyens pour être capable de le faire, mais c'est un effort de longue haleine.



à l'exaflops, soit 1 milliard de milliards d'opérations par seconde.

L'objectif de l'EuroHPC est double : replacer l'Europe en bonne position dans le club des superpuissances du calcul, mais aussi reconstituer un véritable écosystème de fournisseurs et d'experts HPC. Sur les sept supercalculateurs commandés après des appels d'offres publics et ouverts à la concurrence,

pas moins de quatre seront livrés par Atos Bull - Deucalion sera construit au Portugal par Fujitsu, Lumi, en Finlande, et Euro IT4I, en République tchèque, seront fournis par Hewlett Packard Enterprise. Le constructeur français a su se placer comme le constructeur européen de référence, mais si l'on regarde dans le détail les composants qui seront assemblés par Atos Bull, tous sont d'origine américaine, fournis par AMD, Intel et NVidia.

### Reprendre la main sur les microprocesseurs

Pour mettre fin à cette dépendance envers les États-Unis pour les puces haut de gamme, l'European processor initiative (EPI) a été lancée dès 2015. Elle regroupe 32 industriels et centres de recherche. L'objectif est de rebâtir une véritable industrie du microprocesseur pour les supercalculateurs, mais aussi pour l'informatique d'entreprise, et, à moyen terme, des puces embarquées pour le secteur automobile. Une entreprise a été créée afin de porter ces projets, la start-up française SiPearl. Jean-Marc Denis, le président de l'EPI et directeur de la stratégie d'Atos, résume le défi que représente ce programme : « L'Europe ne dispose pas des bases industrielles pour produire des microprocesseurs et des GPU [processseurs graphiques, ndlr] haut de gamme. Reprendre la main sur ces technologies exige un travail en amont sur la propriété intellectuelle, travail de longue haleine impliquant de lancer une R&D sur des TRL [technology readiness levels, niveau de maturité technologique, ndlr] bas - de 1 à 3 - et de monter jusqu'à un TRL 9 afin de lancer une puce en production à l'échelle industrielle dans une dizaine d'années. C'est l'une des ambitions de l'EPI. »

L'EPI vise aussi à délivrer des résultats tangibles avant cette échéance de dix ans. Pour cela, un premier microprocesseur européen s'appuiera sur une architecture d'ARM, l'ex-pépite britannique rachetée par Softbank en 2016 et qui pourrait

passer sous le contrôle de Nvidia en 2021 si les principales autorités de la concurrence de la planète ne s'y opposent pas. C'est ce type de puce qui équipe le supercalculateur japonais Fugaku, premier du top 500 mondial. L'EPI a arrêté son choix sur le cœur ARM Zeus, déjà choisi par la Corée du Sud pour son futur supercalculateur orienté vers l'intelligence artificielle. Un jalon important devrait être posé l'année prochaine avec la phase du « tape-out », la remise des plans au fondeur l'année prochaine. Sauf imprévu, cette puce devrait équiper l'un des deux supercalculateurs exaflopiques européens attendus pour 2023-2024.

À plus long terme, l'Europe mise sur le jeu d'instructions Risc-V pour concevoir une puce haut de gamme à l'horizon 2030. Contrairement à la production d'une puce ARM au design éprouvé, sa mise au point va se faire par étapes. Des composants de test seront gravés en 22 nanomètres en fin d'année, bien moins que les 5 nanomètres déjà en production chez le fondeur taïwanais TSMC. Le but de ces

premiers composants ne sera pas encore d'aller chercher les performances, mais de valider l'architecture du processeur qui est en phase de conception. Les Européens se sont ainsi engagés dans une démarche que la Chine a déjà adoptée avec succès: après des dizaines de milliards de dollars investis depuis dix ans, le pays peut se targuer d'avoir construit le Sunway TaihuLight, le plus gros calculateur chinois, entièrement animé par des puces made in China.

L'Europe regagne en compétences sur la conception des microprocesseurs, mais devra encore compter sur TSMC pour produire ses puces. Ses faibles capacités de production en matière de microprocesseurs ont été cruellement mises en lumière ces derniers mois, avec la multiplication des pénuries

de composants chez les industriels du secteur automobile. Pourra-t-elle relever la tête aussi dans la production microélectronique ? Thierry Breton, le commissaire européen au Marché intérieur, semble vouloir changer la donne et lancer un nouveau chantier pour redonner à l'Europe sa souveraineté sur l'ensemble de la filière, y compris dans la fabrication des puces en 2 nanomètres... Un nouveau pari à tenir pour la recherche et les industriels européens.



## Daniel Opalka

«L'UN DE NOS OBJECTIFS EST D'ÉLEVER LE NIVEAU D'ADOPTION DE LA SIMULATION NUMÉRIQUE PAR L'INDUSTRIE»



**Responsable des programmes de recherche et d'innovation de l'EuroHPC**

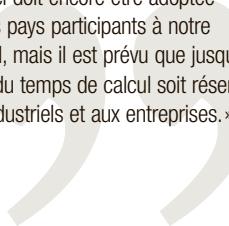
PROPOS REÇUEILLIS PAR ALAIN CLAPAUD

«Une grande part de l'activité de l'EuroHPC joint undertaking est concentrée sur la construction d'une première génération de supercalculateurs européens. À l'heure actuelle, nous avons sélectionné sept sites où les premiers supercalculateurs seront construits et signé les contrats avec les fournisseurs. Ces machines sont en cours d'installation et devraient être

opérationnelles d'ici à la fin de l'année. Elles délivreront une capacité de calcul de l'ordre de 670 petaflops dès le début de 2022. C'est une étape pour aller vers l'exascale, notre plan étant de construire deux systèmes exascale à partir de 2022 ou 2023. Ces systèmes exascale seront extrêmement complexes et leur construction se fera en plusieurs phases.

L'industrie européenne fournit déjà des parts significatives de ces grands systèmes, mais les microprocesseurs ne sont pas européens. Nous avons l'EPI – l'European processor initiative –, dont nous espérons qu'elle pourra fournir ce processeur et que celui-ci pourra être utilisé dans les futurs systèmes, mais un supercalculateur comporte bien d'autres composants qui peuvent déjà s'appuyer sur des technologies européennes. C'est le cas des systèmes de refroidissement, des cartes mères, de l'intégration des composants... Nous souhaitons que les fournisseurs de technologies européens jouent un rôle important dans la construction de ces systèmes.

D'autre part, l'un de nos objectifs est d'élever le niveau d'adoption de la simulation numérique par l'industrie. Nous avons déjà plusieurs initiatives sur les usages industriels du HPC [High performance computing, ou calcul haute performance, ndlr], notamment pour des PME qui ont à la fois besoin d'expertise et d'aides financières afin d'accéder à des ressources de calcul. L'accès aux infrastructures de calcul que nous sommes en train de bâtir sera gouverné par une politique d'accès que nous avons élaborée ces derniers mois. Celle-ci doit encore être adoptée par les pays participants à notre conseil, mais il est prévu que jusqu'à 20 % du temps de calcul soit réservé aux industriels et aux entreprises.»



# #CONNECT

fleet

1 & 2  
DEC

SAVE  
THE  
DATE

DEAUVILLE

L'ÉVÈNEMENT DES RESPONSABLES DE PARC

[www.connectfleet-automobile-entreprise.com](http://www.connectfleet-automobile-entreprise.com)

## JUMEAU NUMÉRIQUE

# LA RUÉE VERS UN MONDE EN 3D

Grandes entreprises technologiques et start-up font la course pour cartographier la Terre en trois dimensions. À la clé, de nouveaux usages comme la conduite autonome et la réalité augmentée.

JULIEN BERGOUNHOUX

**L**e concept de jumeau numérique est devenu très populaire ces dernières années. La création d'un double numérique a en effet de nombreux avantages pour la conception, l'ingénierie et la maintenance dans des secteurs allant de l'automobile à l'aviation, en passant par le bâtiment. Mais les grandes entreprises du numérique voient plus loin. Plusieurs d'entre elles – à commencer par Microsoft, Facebook, Intel, Google et Apple – ont pour projet de numériser une grande partie de la planète. Leur objectif ? Pour certaines, permettre aux robots de se repérer, notamment dans le cas des voitures autonomes. Pour d'autres, rendre possible des expériences de réalité augmentée, qu'elles perçoivent comme la prochaine plate-forme informatique après le smartphone.

Ces projets sont directement liés aux avancées de la vision par ordinateur, l'une des disciplines du champ de recherche de l'intelligence artificielle, depuis 2005. Il est aujourd'hui possible à un appareil léger doté d'un processeur mobile de calculer sa position et ses mouvements dans l'espace en temps réel, avec une latence de l'ordre de quelques millisecondes. Pour cela, il utilise des caméras qui cherchent des points de repère comme références pour s'orienter : surfaces, formes géométriques... Ces derniers sont couplés à une unité de mesure inertielle, qui combine accéléromètre, gyroscope et magnétomètre pour déterminer la vitesse angulaire, la force et l'orientation de l'appareil.

### Des cartes HD pour appréhender l'environnement

En superposant le double numérique d'un environnement à son équivalent réel, la machine peut alors comprendre le monde qui l'entoure. Pour les véhicules autonomes, la cartographie haute définition (HD) permet de mieux appréhender l'environnement et débloque des fonctionnalités, et ce, même lorsque la voiture n'est équipée que d'une seule ca-



Les modèles – comme celui de Chicago – contiennent de riches couches de données et d'attributs alignés sur la géométrie et le terrain du monde réel.

méra basse résolution. C'est notamment la stratégie que suit Intel Mobileye depuis plusieurs années. On peut citer par exemple la compréhension des marquages au sol, la détection des bords de la route même discontinu, la simulation précise des délimitations de voies avec ou sans marquages, et la détection des voies navigables ou pas.

Même pour les modèles équipés de multiples caméras, voire d'un capteur lidar (qui mesure l'environnement très précisément à l'aide d'un laser), ces cartes HD fournissent un référentiel qui renforce la prise de décision de la machine et limite le risque d'accident. Elles indiquent où se trouvent les panneaux, les feux, mais aussi l élévation de la route, le tout avec une précision de l'ordre de quelques centimètres. Elles sont aujourd'hui considérées comme l'une des pierres angulaires des technologies de conduite autonome. Les entreprises traditionnelles de cartographie routière, telles Tom Tom et Here Maps, ou de nouvelles start-up spécialisées, comme DeepMaps et Carmera, se sont lancées dans la course. Certains acteurs de la conduite autonome vont jusqu'à créer leurs propres cartes, à l'image de Mobileye et Waymo, la société soeur de Google.

Sont concernées toutes les routes de la plupart des pays développés, mais aussi les parkings souterrains afin de créer



HERE TECHNOLOGIES

des services de voituriers autonomes, et parfois les voies ferrées. C'est le cas en Allemagne, où la Deutsche Bahn a lancé le projet Sensors4Rail en janvier. Elle veut créer un jumeau numérique complet de son réseau, qui inclura également les bâtiments, les poteaux, les rebords de plates-formes... Il servira de référence pour détecter d'éventuels changements dans l'environnement, mais aussi à terme pour augmenter la capacité du réseau ferroviaire grâce à une localisation très précise des trains.

Les principes en jeu sont sensiblement les mêmes pour les expériences de réalité augmentée. Le but est d'intégrer des objets virtuels dans un environnement réel, et que ces objets soient visibles par tous de la même manière, au même moment et au même endroit, tant que chacun est équipé d'un appareil adéquat. Des applications de ce type existent déjà sur smartphone, mais elles sont limitées à un utilisateur unique ou nécessitent un tag visuel spécifique servant de point de repère. Pour aller plus loin, les grandes sociétés

technologiques visent d'ici à 2030 des lunettes dédiées qui rendront cette intégration complètement naturelle, y compris en matière d'interaction des utilisateurs avec ces éléments virtuels. Pour les positionner de façon précise dans un environnement tridimensionnel, une carte 3D du monde est nécessaire. C'est tout l'objet du projet Live maps de Facebook, un jumeau numérique du monde réel pensé pour des expériences sociales. Il implique une numérisation très complexe, avec plusieurs couches : volume, texture, sémantique, interactions... L'objectif étant, là encore, de permettre aux appareils de comprendre le monde qui les entoure afin de mieux assister les utilisateurs.

La création de cette carte 3D du monde sera nécessairement mutualisée. Facebook voudrait à terme que chaque utilisateur capture son environnement depuis son propre appareil électronique et les envoie dans le cloud. À noter que, comme pour les voitures autonomes, la création de ces cartes a plusieurs avantages. Naviguer dans des environnements déjà cartographiés permettra, par exemple, de réduire de façon drastique la puissance requise par de futures lunettes de réalité augmentée. De fait, ces dernières pourront être à la fois plus fines et plus légères.

Mais Facebook n'est pas le seul à s'intéresser à cette infrastructure numérique. Google, Microsoft et Niantic - le créateur de Pokémon Go - développent leurs propres solutions de «cloud AR». Tous perçoivent ce double numérique de la Terre comme un avantage compétitif, déterminant à l'avenir.

#### Gare au respect de la vie privée

Mais pour cela, il faudra aussi régler la question du respect de la vie privée. En effet, la création de ces cartes passe par l'utilisation de caméras pour capturer l'environnement à très haute résolution. Comment y parvenir sans empiéter sur les libertés individuelles ? Ce sera le principal défi à relever pour garantir l'adoption de ces technologies. Facebook, dont la réputation est sévèrement écornée en la matière, en est particulièrement conscient. Apple, qui travaillerait également sur le sujet, même si rien n'a été officiellement annoncé, pourrait avoir trouvé une solution. Il est parvenu à miniaturiser un capteur lidar, qui est désormais embarqué dans ses iPhone. Ces derniers ne capturent que des nuages de points, limitant leur aspect intrusif, tout en restant très efficaces pour aider l'appareil à se situer dans l'espace. Cela pourrait être un bon compromis.

Évidemment, le monde ne serait rien sans ceux qui l'habitent. Ces mêmes entreprises travaillent également sur la virtualisation des personnes ; on parle alors de «digital humans». Il ne s'agit pas ici de jumeau numérique, mais plutôt d'avatars très réalistes, capables de reproduire avec précision les expressions de chacun. Facebook, qui communique le plus sur le sujet, y voit le futur des appels vidéo et visioconférences dans un monde où le télétravail et la télé-éducation seront devenus la norme.

**Le projet Live maps de Facebook, pensé pour des expériences sociales, implique une numérisation très complexe du monde réel.**



S. ETHERINGTON/MERCEDES-BENZ GRAND PRIX LTD

# FORMULE 1 MERCEDES EN POLE POSITION

FORMULE 1

Discipline reine des sports mécaniques, la F1 est soumise à des règles très strictes. Pour améliorer les performances de ses voitures, l'écurie allemande fait appel aux technologies numériques.

JULIEN BERGOUNHOUX



Entraînement d'un pilote sur simulateur de conduite, deux jours avant le Grand Prix d'Abu Dhabi 2020.

**L**a 72<sup>e</sup> édition du championnat du monde de Formule 1 a débuté dimanche 28 mars 2021, par le Grand Prix de Barheïn. En tête des écuries favorites, Mercedes-AMG Petronas, qui enchaîne les victoires depuis 2014. Un succès qu'elle doit, bien sûr, à ses pilotes, Lewis Hamilton et Valtteri Bottas. Mais pas seulement. Elle peut aussi compter sur ses équipes techniques qui ont développé, au fil des compétitions, des capacités de simulation et d'analyse des données hors pair afin de repousser les limites de ses monoplaces. Discipline reine des sports mécaniques, la F1 est en effet soumise à des règles très strictes concernant la puissance du moteur, la taille et le poids des voitures, la configuration des carrosseries, mais aussi le nombre d'essais sur piste ou le

temps de préparation... Face à ces nombreuses contraintes, les constructeurs n'ont pas d'autre choix que de faire appel aux technologies numériques pour concevoir et optimiser leurs voitures. Ils ont ainsi recours à des simulateurs de conduite - Mercedes en possède trois -, mais aussi à la mécanique des fluides numérique (computational fluid dynamics) et aux tests d'aérodynamique en soufflerie sur des modèles réduits. Tous les résultats obtenus à l'aide de ces outils sont corrélés aux données issues des courses et des essais sur piste. Les performances réelles de chaque version de la voiture sont comparées aux performances des simulations.

## DES DOUBLES NUMÉRIQUES, MAIS PAS DE JUMEAU

« Nous avons des modèles numériques vivants, explique Geoff Willis, le directeur de la technologie chez Mercedes-AMG Petronas. Certains sont simplement alimentés par les données issues des interactions avec le monde réel, comme les kilomètres parcourus, le poids ou les cycles de fonctionnement. Nous les associons aux données liées aux pièces critiques pour savoir dans quelle voiture ces pièces ont été, pendant quelle course, si elles ont connu des surcharges. Bref, tout ce qui peut nous intéresser. Nous avons également des modèles plus intelligents pour les unités de puissance et les boîtes de vitesses. Ils sont mis à jour en fonction de l'usage auquel sont soumis ces composants. Cela nous permet de connaître en temps réel leur niveau d'usure. Ce sont de vrais doubles numériques. »

Des doubles numériques de chaque pièce de la voiture, mais pas de jumeau numérique de la voiture à proprement parler. « Nous disposons des composants et des technologies nécessaires pour en créer un, mais pour l'instant, nous procédons par spécialité, détaille le directeur de la technologie. Ce sont nos besoins qui motivent nos décisions, et s'il devient nécessaire de créer un jumeau numérique, nous le ferons. » Cela ne sera pas aisé. « La voiture en elle-même est une structure dynamique. Prenons nos châssis par exemple : nous n'en avons que cinq, mais ils sont fabriqués avec d'autres composants, les commandes de pilotage, les boîtes de vitesses... Ces éléments-là changent très souvent. Il est donc difficile de n'avoir qu'un jumeau numérique. »

## AÉRODYNAMIQUE ET PNEUMATIQUES, DES DÉFIS POUR LA SIMULATION

La simulation est aujourd'hui très proche des conditions réelles. Mais il existe deux domaines de la F1 où des écarts persistent : l'aérodynamique et les pneumatiques. Pour le premier, « nous avons trois sources d'information : les modèles réduits utilisés dans les souffleries, la mécanique des fluides numérique et les données collectées lors des essais en conditions réelles », commente Geoff Willis. La soufflerie permet de réaliser des mesures très précises à partir d'un modèle, mais dans des conditions particulières : le vent souffle de façon continue et à un angle prédéfini. En revanche, les essais sur piste produisent des informations en conditions réelles, mais qui ne peuvent pas être mesurées précisément et sont sujettes à de nombreuses variables. Enfin, la mécanique des fluides numérique est très précise, mais limitée par la taille du problème à résoudre, ce qui contraint les

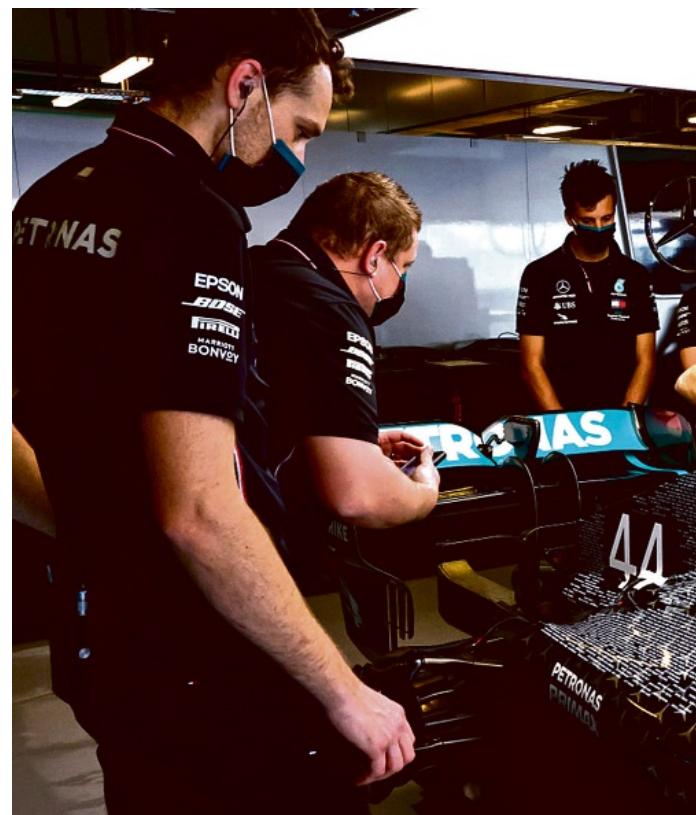
Les ingénieurs examinent la monoplace avant les essais sur piste effectués la veille de la course.

ingénieurs à faire des approximations dans la physique de la simulation. Les pneumatiques, quant à eux, nécessitent des modèles thermodynamiques très sophistiqués, qui doivent prendre en compte la voiture, le type de gomme, les variations de température dans le pneu, l'interaction avec la piste, qui est à la fois mécanique et chimique. «Nous sommes capables d'en prédir une grande partie, hormis les détails les plus fins de l'interaction entre le caoutchouc et le macadam», détaille Geoff Willis. Nous utilisons les essais sur piste pour combler les variables inconnues de notre modèle. Dès que nous déterminons, pour un jour donné, les caractéristiques de la piste et les conditions météorologiques, nous pouvons réaliser des prédictions très précises, avec une marge d'erreur de quelques pourcents.»

Les pilotes fournissent également aux équipes techniques de précieux retours lors de leurs entraînements sur les simulateurs de conduite. Ils indiquent notamment si le modèle reflète bien les sensations de conduite de la voiture ou non. «Nous sommes plutôt confiants. Nos prédictions sont correctes à 95-99%. La marge d'erreur sur le temps nécessaire pour effectuer un tour de piste est de 0,5%», estime le directeur de la technologie.

## MIEUX EXPLOITER LES DONNÉES

Toutefois, récolter le maximum de données ne suffit pas, encore faut-il savoir les exploiter. Depuis 2017, Mercedes a consacré d'importants efforts à l'amélioration de sa gestion des données et de ses capacités d'analyse. «Dans la F1, nous n'avons pas de big data comme Google ou Amazon, c'est-à-dire de grandes quantités de données transactionnelles, mais nous avons des masses de données dans des domaines spécifiques», souligne Geoff Willis. Pour mieux tirer profit de ces informations, le constructeur a noué un partenariat avec l'éditeur américain Tibco et s'appuie sur sa plate-forme Spotfire. Elle permet de visualiser facilement de très grandes quantités de données, avec de nombreuses dimensions. Des capacités de dataviz très utiles pour repérer les anomalies et accélérer la prise de décision. «Ainsi, en 2019, lors du Grand Prix de Hongrie, nous avons choisi de changer les



Les performances réalisées lors des essais sur piste sont comparées à celles issues des simulations.

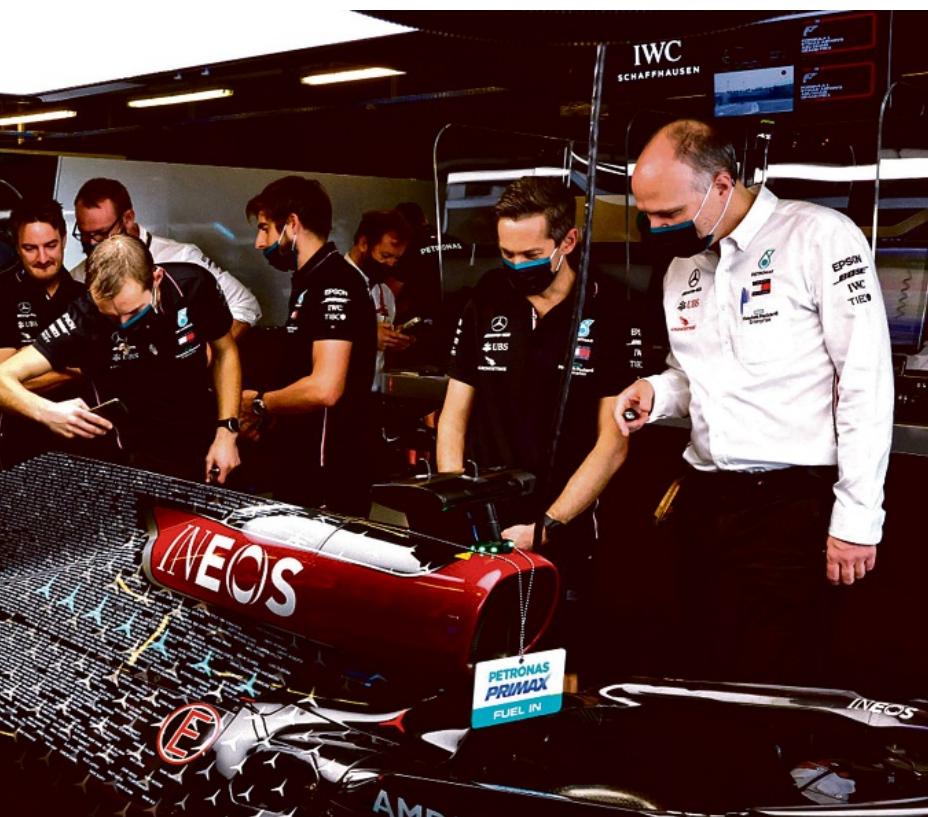
pneus, alors que nous avions vingt secondes de retard. Nous avons réussi à arracher la pole position deux tours avant la fin, car les pneus de l'adversaire étaient endommagés. L'analyse de données permet de prévoir l'imprévisible», ajoute le directeur de la technologie.

L'écurie mène également des projets autour des données provenant directement de la voiture et de la soufflerie. Car certaines variables, comme la façon dont les pneumatiques interagissent avec la piste, ne peuvent pas être anticipées et impliquent d'actualiser le modèle après les essais. De nombreuses données que les ingénieurs doivent intégrer en quelques heures, dans la nuit du samedi au dimanche. L'équipe effectue des modifications sur la voiture jusqu'à la veille du départ. Il ne s'agit pas de changements majeurs. Ils concernent les amortisseurs, la configuration des ailerons, la garde au sol... «Nous n'en faisons pas beaucoup, car nous n'avons droit qu'à deux sessions d'une heure et demie. Nous



**Geoff Willis**, directeur de la technologie de Mercedes-AMG Petronas

«Nous améliorons les outils qui permettent de comparer les jeux de données réelles et simulées. Nous voulons unifier ces deux univers.»



S. ETHERINGTON / LAT IMAGES / MERCEDES-BENZ GRAND PRIX LTD

Les essais sont une étape déterminante pour optimiser les performances de la voiture avant le départ.

n'avons le temps que pour deux expériences au maximum, donc nous comptons beaucoup sur les simulations et sur les hypothèses que nous élaborons à l'avance», explique le directeur de la technologie. Les constructeurs ne peuvent pas changer de pièces pendant une course, à l'exception des ailerons avant, lorsque cela est nécessaire, par exemple à la tombée de la nuit si la température baisse ou en cas de pluie. Mais les données permettent d'apporter aux pilotes un retour sur leur façon de conduire la voiture. «C'est l'un des aspects les plus importants. Cela les aide à analyser quelle caractéristique de leur conduite génère la chaleur du pneu. Lewis Hamilton est très fort en la matière.»

Le développement de la voiture se poursuit entre chaque course. Il s'agit aussi bien de régler des problèmes que d'obtenir de meilleures performances. Les concepteurs formulent de nouvelles idées, mettent au point des pièces, puis les testent en soufflerie (cela représente un cycle de

quatre semaines). Finalement, si ces pièces sont viables, ils les produisent pour la voiture (un cycle de huit semaines).

## NORMALISER LES DONNÉES DANS UN FORMAT COMMUN

Mercedes travaille aussi avec Tibco pour mieux exploiter les données liées à la performance des monoplaces. «Nous avons beaucoup de données, issues de milliers de sources : les forces que subissent les composants, les charges structurelles, les températures, les actions du pilote ou ce que fait la voiture, et tout cela provient à la fois du monde réel et de la simulation, note Geoff Willis. Nous améliorons les outils qui permettent de comparer et contraster ces jeux de données réelles et simulées. Nous voulons unifier ces deux univers pour les rendre plus accessibles et simplifier la couche suivante qui est la data science.» Un chantier engagé il y a trois ans dans l'objectif de faire de l'analyse

## UN DATACENTER MOBILE POUR RECALCULER LES DONNÉES AVANT LES COURSES

Mercedes utilise deux datacenters modulaires pour la mécanique des fluides numérique et les clusters de simulation. Le stockage rapide est principalement géré par Peer Software, et le traitement des données par HPE. L'écurie dispose également d'un datacenter mobile pour les courses. Les données y sont ingérées, puis répliquées à l'usine. «Un grand chantier engagé en 2018, lors duquel nous avons mis à jour nos équipements pour pouvoir recalculer les données du vendredi pendant la nuit. Nous ne pouvions pas le faire avant», détaille Geoff Willis. Il faut dire que la masse de données à traiter n'est pas négligeable. Une voiture comprend 150 000 canaux de données. Donc en un week-end, celles-ci, ajoutées à la vidéo et aux données thermiques, peuvent représenter près de 5 à 6 téraoctets. Et avec celles issues de la mécanique des fluides numériques et de la simulation, on atteint plusieurs dizaines de téraoctets. Sans oublier ceux provenant de l'usine. Au total, Mercedes gère des quantités de l'ordre du petaoctet. À l'heure actuelle, le constructeur n'utilise pas de cloud computing, mais cela pourrait changer à la suite des nouvelles règles financières mises en place pour la saison 2021, qui limitent les investissements.

# REPORTAGE

Les équipes techniques travaillent la nuit précédant la course pour régler les derniers préparatifs.



S. ETHERINGTON / MERCEDES-BENZ GRAND PRIX LTD

Un changement de pneumatiques judicieux peut décider de la victoire... et inversement.

prédictive des défauts, mais qui nécessite que toutes les données soient dans un même format.

Or c'est une tâche herculéenne, car ces dernières sont très disparates. «Le projet sur lequel nous travaillons a mis au jour un grand nombre de difficultés, relève le directeur de la technologie. Nous avons des outils personnalisés qui fonctionnent très bien dans le contexte des courses. Nous voulons comparer vingt minutes de conduite avec nos simulations en seulement quelques minutes, puis renvoyer la voiture sur la piste pour une autre session de vingt minutes. Nos outils et nos formats de données ont évolué en fonction des spécificités et des besoins de cet environnement.» Mais ils ne sont pas adaptés à d'autres utilisations.

## VERS LA DATA SCIENCE... ET LE MACHINE LEARNING

À la fin de chaque saison de F1, les données doivent être formatées différemment pour la data science. Le but de Mercedes et Tibco est de mettre au point un format optimal pour ces deux usages. «Nous n'avons pas encore trouvé la solution, mais nous constatons qu'il nous faut construire des outils différents pour des usages différents. Notre objectif final est bien d'unifier toutes nos données pour avoir une seule source, et ensuite de les adapter à différents outils»,

analyse Geoff Willis. L'un des intérêts de cette unification est d'obtenir une vue d'ensemble la plus complète possible, qui regroupe tous les facteurs en jeu, pour comprendre les causes de tel ou tel phénomène. Pour étudier les performances de la voiture sur le plan de l'aérodynamisme, par exemple, il faut savoir s'il y avait d'autres voitures derrière ou devant, comment était la météo à ce moment donné... Car de mauvaises performances peuvent être dues à une aile endommagée, mais aussi à la voiture placée devant.

À terme, cette unification des données et ce développement de la data science ouvriront aussi la voie à l'utilisation de techniques d'intelligence artificielle. «Je pense qu'il y a des opportunités en matière de machine learning, assure Geoff Willis. La réglementation nous pousse à réaliser moins d'essais réels. Trois jours seulement avant la saison, au lieu de six jours auparavant. Nous devons donc tirer davantage de valeur à partir de moins de données concrètes.»

**L'Usine Nouvelle se réinvente  
pour vous guider dans la relance économique  
et la reconstruction industrielle**

**+ Relocalisations & Made in France**

**+ Transition écologique & énergétique**

**+ Transformation numérique**

**+ Innovations**

**Découvrez toutes nos nouveautés**

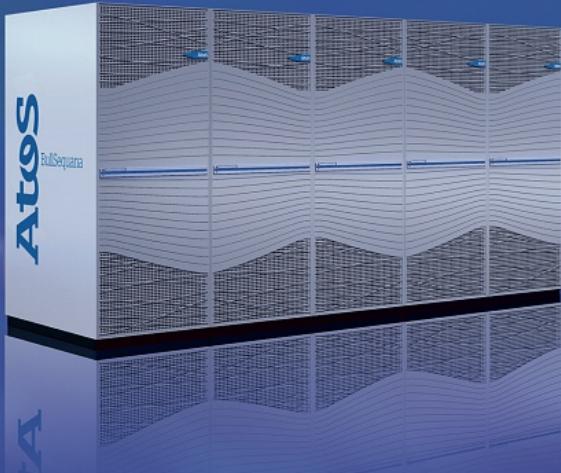


**Profitez de nos offres de lancement !**

Scannez le QR Code

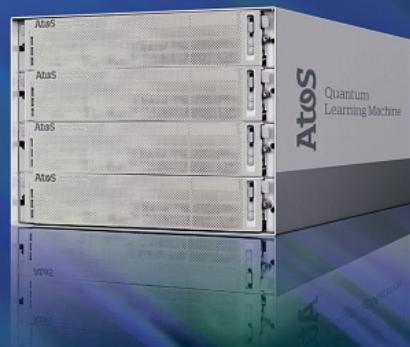
Rendez-vous sur [usinenouvelle.com](http://usinenouvelle.com)

# Faster, smarter and greener



BullSequana XH2000  
Boostez vos capacités  
de simulation !

Quantum Learning Machine  
Prenez l'avantage dans  
la révolution quantique !



BullSequana Edge  
Relevez vos défis avec  
l'analyse vidéo en temps réel !

atos.net

Trusted partner for your Digital Journey

**Atos**