

AÉRO, SANTÉ, DÉFENSE, AUTO, SOUS-SOLS... **SIMULATION L'ÈRE DES JUMEAUX NUMÉRIQUES**

ENTRETIEN

Bernard Charlès,
PDG de Dassault
Systèmes: «Il faut
une vision holistique
de la simulation»

PAGE 4

AUTOMOBILE

Renault optimise
la production
de ses moteurs

PAGE 6

INNOVATION

Comment la France
simule le climat

PAGE 10

JEU VIDÉO

Flight Simulator
repousse les limites
du réalisme

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'exascale¹

La maîtrise de l'exascale pour le calcul et les données permettra au début de la prochaine 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, co-développée par le CEA/DAM et ATOS/BULL, répond aux besoins propres de la Direction des applications militaires du CEA (DAM) et préfigure les supercalculateurs de classe Exaflopique.

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

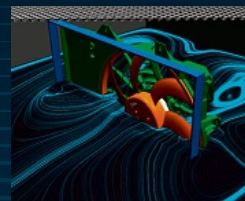
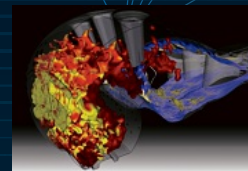


Localisé dans le Très grand centre de calcul du CEA (TGCC) à Bruyères-le-Châtel (Essonne), le CCRT dispose d'une puissance de calcul de 2,4 Pflop/s. Véritable soutien de l'innovation

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.

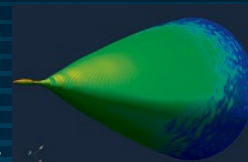
Partenaires actuels du CCRT : ArianeGroup, Cerfacs, EDF, IFPEN, Ineris, Ingeliance, IRSN, L'Oréal, Michelin, Onera, Safran Aero Boosters, Safran Aircraft Engines, Safran Helicopter Engines, Safran Tech, Sanofi, Synchrotron Soleil, TechnicAtome, Thales, Thales Alenia Space, Total, Valeo, CEA ainsi que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

Simulation numérique de la combustion dans un foyer de turbomoteur d'hélicoptère.
TURBOMECA



Simulation de moto-ventilateur.
VALEO

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



SOMMAIRE

ENTRETIEN

Bernard Charlès : « Il faut une vision holistique de la simulation » **P. 4**

L'ESSENTIEL

Renault optimise la production de ses moteurs **P. 6**

La réalité virtuelle se déploie chez Safran et Daher **P. 8**

Comment la France simule le climat **P. 10**

Daniel Verwaerde : « L'IA va s'inscrire dans les microprocesseurs » **P. 12**

DOSSIER

EN COUVERTURE

Un pied dans le réel, l'autre dans le virtuel **P. 18**

STRATÉGIE

Le jumeau numérique donne vie à l'industrie 4.0 **P. 20**

AÉRONAUTIQUE

Les avions passent à l'action **P. 24**

CHIRURGIE

Les organes se mettent au virtuel **P. 28**

DÉFENSE

Naval Group accélère la conception des navires **P. 30**

URBANISME

La smart city se teste en virtuel **P. 32**

SOUS-SOLS

Les jumeaux de l'invisible **P. 34**

AUTOMOBILE

Les lignes de production se dédoublent **P. 38**

FOCUS

JEU VIDÉO

Flight Simulator repousse les limites du réalisme **P. 42**

EN COUVERTURE

Maquette numérique d'un A 350 d'Airbus.

Sur tous les fronts

Partout. La simulation numérique est aujourd'hui partout dans l'industrie et, plus largement, dans l'économie. Parfois encore perçue uniquement à travers le prisme du calcul intensif dédié à la mécanique des fluides et des matériaux, elle doit aujourd'hui, comme le martèle Bernard Charlès [lire l'entretien page 4], être prise « de la manière la plus holistique possible », comme la représentation de l'évolution dans le temps et l'espace d'un système en interaction avec son environnement. C'est à cette aune que se mesure l'engouement actuel de l'industrie pour les jumeaux numériques, qui croissent de plus en plus modélisation multiphysique et données de terrain pour créer des doubles virtuels de machines, d'installations industrielles ou d'organes vivants, qui vont jusqu'à évoluer dans le temps avec leurs jumeaux réels.

Optimiser la production d'avions et de voitures, améliorer la maintenance de Mirage 2000, répéter les interventions chirurgicales, réduire les coûts d'exploitation de puits de pétrole, accélérer la conception de sous-marins,

explorer l'impact d'aménagements urbains... Notre dossier montre comment des entreprises de tous secteurs s'en emparent, chacune à sa façon. Reste que cette simulation démocratisée et renouvelée à l'heure du big data, de l'internet des objets et de l'intelligence artificielle n'efface pas pour autant la simulation

La simulation participe à la lutte contre la pandémie de Covid-19.

historique. Celle qui mobilise d'énormes puissances de calcul pour résoudre numériquement les complexes équations de la matière.

Cette simulation participe aujourd'hui à la lutte contre la pandémie de Covid-19, à l'image de Summit, le plus puissant supercalculateur américain, qui, en simulant les dynamiques moléculaires, a testé virtuellement la capacité de 8 000 molécules à interagir avec une protéine du coronavirus SARS-CoV-2, dite protéine S, pour l'empêcher d'infecter les cellules humaines. 77 molécules ont ainsi été retenues. En Europe, le programme Exscalate4CoV a été lancé mi-mars en Italie. Il s'appuiera sur la plateforme de supercalcul Exscalate et sa bibliothèque de 500 milliards de molécules pour identifier de potentiels médicaments contre le Covid-19. De son côté, le logiciel Folding@home permet à chacun d'offrir une fraction de la puissance de calcul de son ordinateur personnel pour accélérer l'étude par des chercheurs de la structure et du comportement des protéines virales du SARS-CoV-2. La simulation est sur tous les fronts.



**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 Dessaix
Directeur artistique Vincent Boiteux

Secrétariat de rédaction
Claire Nicolas, Judith Boisriveau
Maquette Sylvie Louvet,
Laurent Pennec, Philippe Juncas

TARIFS ABONNEMENTS FRANCE
(TVA : 2,1 % incluse) 1 an : 369 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.



Dépôt légal 2^e trimestre 2019 - Autor. minist. 29-95729382. Imprimé par Imprimerie de Compiègne, avenue Berthelot, ZAC de Mercières, BP 60524, 60205 Compiègne Cedex - Numéro d'enregistrement à la Commission paritaire pour les publications non quotidiennes 0712 T 81903. N° ISSN : 0042-126 X. 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



PEFC 10-31-1668 / Certifié PEFC

Bernard Charlès

« IL FAUT UNE VISION HOLISTIQUE DE LA SIMULATION »



Le PDG de Dassault Systèmes décrit comment la simulation, démocratisée et devenue omniprésente, s'enrichit des données et s'attaque à la santé.

PROPOS RECUEILLIS PAR MARION GARREAU
ET MANUEL MORAGUES PHOTOS PASCAL GUITTET

Qui y a-t-il le plus remarquable dans la simulation aujourd'hui ?

Si la simulation a des décennies d'existence, elle est désormais omniprésente. On la retrouve dans la plupart des secteurs de l'économie. On a connu la simulation dans des domaines extrêmes comme le nucléaire et l'aéronautique, on l'utilise aujourd'hui pour étudier le bruit à l'intérieur d'une voiture ou les flux d'air conditionné...

Peut-on dire qu'elle a pris une place centrale dans la conception ?

Effectivement. Mais il faut bien voir que c'est une sorte de retour aux origines. Bon nombre d'observateurs considèrent que la simulation a succédé à la CAO [conception assistée par ordinateur, ndlr], c'est-à-dire la représentation, la modélisation. En réalité, la CAO est née de la simulation. Ce sont les logiciels de simulation, utilisés à l'époque pour des contraintes aérodynamiques, qui ont guidé les choix de représentation des formes. Quand Dassault a

conçu le logiciel Cati [renommé Catia, ndlr], tout le monde pense que c'était pour définir la surface. Non, c'était pour définir le support sur lequel la simulation aérodynamique allait être réalisée, afin de remplacer les essais en soufflerie. Il ne faut pas s'y tromper : la simulation a façonné la modélisation.

Le terme de simulation peut être aussi trompeur...

Longtemps, elle a été associée à la méthode des éléments finis [une méthode de résolution numérique d'équations aux dérivées partielles, ndlr]. Or, la simulation aujourd'hui, c'est bien plus large que ce que présentent certains spécialistes. Faire tourner un mécanisme, c'est de la simulation. Mettre le processus d'assemblage d'un véhicule au point, c'est de la simulation. Préparer la trajectoire d'un robot, gérer des flux, séquencer l'assemblage de systèmes, c'est de la simulation.

Comment la définiriez-vous ?

La simulation est à prendre de la manière la plus holistique possible. C'est la représentation dans le temps et l'espace d'un comportement, de quelque chose qui évolue dans son environnement. Cette vision est nécessaire pour comprendre comment aller plus loin, notamment avec le jumeau numérique. Ce dernier n'est pas que l'objet, c'est aussi la manière de la fabriquer et la façon dont il va être utilisé. Le jumeau numérique, c'est une tentative de représenter au plus près ce qu'est le réel et d'agir sur ce double virtuel pour lui donner vie.

Une autre de ses évolutions notables, c'est sa démocratisation...

C'est un phénomène considérable : la simulation est devenue beaucoup plus accessible, tant en termes

« Solidworks permet à un technicien d'effectuer un travail d'ingénieur sur la dynamique du système qu'il conçoit. L'ingénieur, lui, peut revenir à son vrai travail : imaginer. »



de prix que de connaissances. Notre logiciel Solidworks permet à un technicien, un dessinateur 3D, d'effectuer un travail d'ingénieur sur la dynamique du système qu'il conçoit, sur la caractérisation des matériaux nécessaires pour réaliser une structure légère et résistante. On a vulgarisé la simulation et le calcul scientifique. Jadis, vous deviez être un spécialiste en éléments finis pour interpréter les résultats de calculs de stress. Aujourd'hui, c'est « vert, c'est bon, rouge, ça casse ». Cette démocratisation redéfinit profondément les métiers. L'ingénieur, lui, peut revenir à son vrai travail : imaginer.

Quelles sont les prochaines évolutions ?

Deux grandes évolutions sont en cours. Premièrement, la simulation devient multiphysique. C'est-à-dire qu'elle va coupler des phénomènes mécaniques, magnétiques, thermiques... pour décrire plus complètement le comportement d'un objet, d'un système. Peu de gens maîtrisent la simulation multiphysique – Dassault Systèmes est de loin le



« Notre ambition est de créer le jumeau numérique de l'être humain. L'enjeu est de faire progresser les recherches thérapeutiques et la pratique médicale. »



premier au monde sur ces questions – et elle correspond encore à un marché réduit, car il faut être assez pointu pour savoir l'utiliser. Mais à l'avenir, cela va se vulgariser à grande vitesse et les coupages vont devenir faciles à utiliser. L'autre grande évolution, c'est le recours aux données observées pour réajuster l'intelligence des modèles ou apprendre des comportements que le scientifique ne réussit pas à mettre en équation.

Comment négociez-vous le virage de la data ?

Il y a un monde qui considère que le futur réside dans les données et un autre qui estime que le futur est dans les équations. Pour Dassault Systèmes, le futur, ce sont les deux, évidemment. Il est quand même utile de savoir que $E = mc^2$! La capacité humaine à déterminer de formidables représentations abstraites de phénomènes ne doit pas être sous-estimée. Pas plus que l'apport des données, qui n'est pas nouveau pour nous puisque la capacité à aligner représentation théorique et monde réel a toujours été cruciale. La problématique du tolérancement dans les grands systèmes est un exemple concret de la nécessité historique de prendre en compte le réel, sous forme de données.

Les modèles appris des données sont parfois comparés à des boîtes noires, dont on ne saurait expliquer les résultats. Qu'en pensez-vous ?

Je trouve les débats sur l'explicabilité de l'intelligence artificielle assez... amusants ! Car le sujet n'est pas nouveau. Donner l'explication complète de simulations de crash reviendrait à livrer ma propriété intellectuelle ! Et seul un nombre très limité de personnes seraient capables de comprendre cette explication.

Ce que l'on fait, en matière d'explicabilité, c'est donner le domaine de validité de la simulation, c'est-à-dire le domaine d'usage dans lequel le comportement réel sera conforme aux résultats de la simulation. Il suffit de faire de même pour les modèles d'IA. Les réseaux de neurones ne changent pas la donne en matière d'explicabilité. La seule différence, c'est la question de l'évolution du modèle avec l'absorption de nouvelles données. Là encore, on ne part pas de zéro puisque les modèles statistiques sont utilisés depuis longtemps dans les usines et qu'ils s'affinent au fur et à mesure de la production. L'explicabilité, dans ce cas, revient à dire que tout système adaptatif doit pouvoir rendre compte, à tout moment de son apprentissage, du champ de paramètres qu'il utilise pour prendre ses décisions.

Dassault Systèmes s'est considérablement renforcé dans la santé avec le rachat de Medidata. Dans quel but ?

Nous avons commencé à travailler dans le domaine

de la biotech il y a une douzaine d'années. Le rachat d'Accelrys, en 2014 pour 700 millions de dollars, nous a permis d'accélérer. Nous disposons aujourd'hui de la plate-forme la plus avancée de simulation en chimie et biochimie. En y ajoutant Medidata, qui concentre les données de 50 % des essais cliniques du monde, nous voulons construire des représentations des phénomènes concernant l'être humain au plus proche de la réalité. Nous avons déjà un modèle du cœur qui inclut les phénomènes électriques, ce qui permet de déterminer en amont où mettre le signal électrique du pacemaker. On travaille aussi sur le cerveau. Le squelette est déjà à peu près maîtrisé. Notre ambition est de créer le jumeau numérique de l'être humain.

Que peut apporter le jumeau numérique d'organes ou de l'être humain à la médecine ?

L'enjeu est de faire progresser les recherches thérapeutiques et la pratique médicale. La médecine est un monde d'artisans, pas d'industriels. Il y a de l'excellence, bien sûr, mais l'excellence dans l'art ne dépassera jamais, dans la fiabilité et la performance, une approche industrielle. Je pense que le monde de la médecine va changer assez radicalement grâce au virtuel. En devenant capable de simuler, de s'entraîner, de regarder, après l'acte, la déviation par rapport à la réalisation prévue, de se souvenir de l'expérience, de l'enrichir avec les autres et d'utiliser tout cela pour faire mieux la prochaine fois. N'est-ce pas la beauté de l'industrie ?

www.usinenouvelle.com

Nvidia SIMULER LA CONDUITE AUTONOME

Annoncé en 2018, le système de simulation de conduite autonome Drive constellation de Nvidia est désormais disponible. Il permet de simuler numériquement des situations de condition autonome de façon hyperréaliste en combinant deux serveurs. L'un génère l'environnement virtuel et les données des capteurs, l'autre reproduit exactement le comportement de conduite des véhicules autonomes (car il s'agit du même système que celui que Nvidia propose aux constructeurs). Le premier à en avoir fait l'acquisition est Toyota, au travers de son institut de recherche TRI-AD (Toyota research institute-advanced development). Drive constellation se présente comme une solution pour l'entraînement des systèmes de conduite, mais aussi pour leur validation par les organismes de régulation. Il est utilisé par l'allemand TÜV SÜD, spécialiste de la certification et de l'évaluation des risques. **S J. B.**

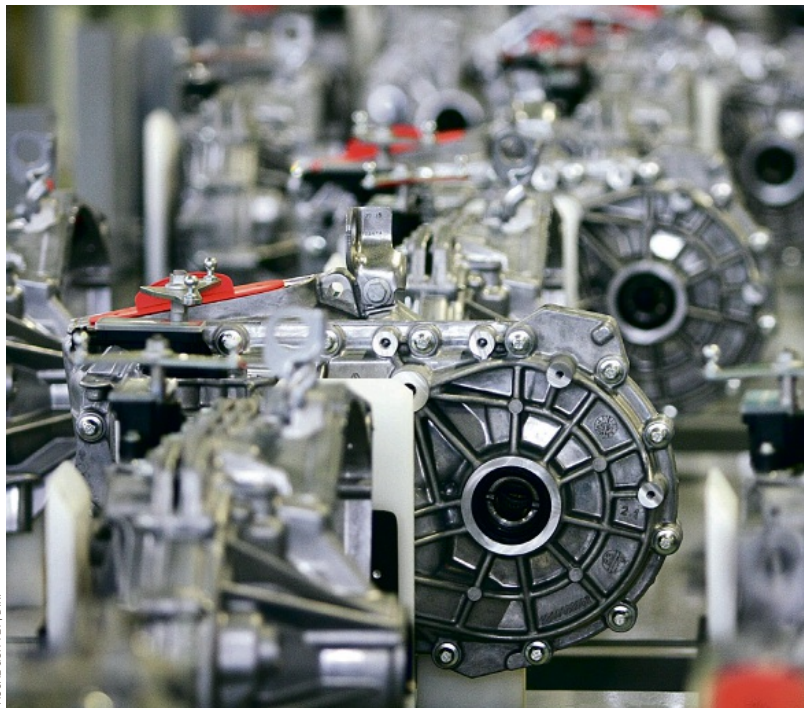
Cyberattaques CITALID ÉVALUE LES RISQUES FINANCIERS

Quand ils étaient experts en cybersécurité à l'Agence nationale de la sécurité des systèmes d'information, Maxime Cartan et Alexandre Dieulangard ont constaté que les entreprises avaient souvent du mal à estimer l'impact financier que représentent les cyberattaques, et qu'elles n'intégraient pas cet aspect dans le périmètre des solutions de cybersécurité traditionnelles, plus focalisées sur les aspects techniques et le risque opérationnel. Cela leur a donné l'idée de créer, en 2018, Citalid, qui a réalisé en juin 2019 une levée de fonds d'amorçage de 1,2 million d'euros. Son ambition : permettre aux responsables de la sécurité des systèmes d'information (RSSI) d'évaluer les coûts engendrés par de futures attaques et donc de justifier les investissements en amont dans des moyens défensifs appropriés. La start-up dit modéliser tout type de pertes : productivité, amendes juridiques (liées au RGPD, par exemple), compétitivité ou encore réputation. **S J. B.**

Jumeau numérique RENAULT OPTIMISE SA PRODUCTION DE MOTEURS

Au salon Supply Chain Event, en décembre 2019, à Paris, Renault a présenté un retour d'expérience sur l'utilisation d'un jumeau numérique de l'outil de production. Mis au point par la start-up Cosmo Tech, il a permis de cartographier et d'optimiser le système opérationnel du constructeur. «Le secteur automobile est en pleine mutation. La demande pour des véhicules à motorisation électrique progresse plus vite que prévu, et nous avons dû optimiser nos flux d'approvisionnement et de production, explique Aimé-Frédéric Rosenzweig, expert supply chain chez Renault. Le problème était le suivant : comment produire davantage de moteurs avec les mêmes capacités, sur un marché qui évolue rapidement ? »

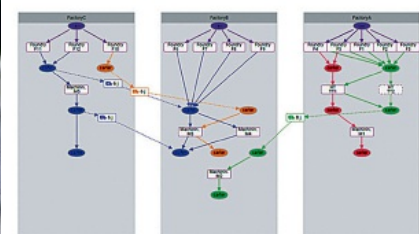
Pour relever ce défi, Renault s'est rapproché en 2017 de Cosmo Tech, qui lui a proposé de numériser les flux, les processus métiers, l'infrastructure de production, ainsi que les ressources humaines et financières de l'entreprise. Grâce à ces informations, le logiciel de la start-up produit, sous la forme d'un organigramme dynamique, une véritable cartographie des postes clés et de leurs interconnexions. En quelques clics, toute la dynamique de la chaîne de production devient visible. « Cette étape permet de placer tout le monde face à une même représentation de l'outil de production. C'est indispensable pour mieux comprendre les éventuelles failles dans notre stratégie opérationnelle », souligne Aimé-Frédéric Rosenzweig. Pour Michel Morvan, ancien mathématicien et cofondateur de Cosmo Tech, il ne s'agit que d'une première étape dans l'utilisation du jumeau numérique. « Les industriels collectent de nombreuses informations que nous pouvons organiser pour leur offrir une représentation de leur processus de production. Mais étudier les données du passé pour connaître l'état d'un système n'est pas suffisant, l'industriel doit pouvoir interroger le système sur ses états futurs. » Le jumeau numérique de Cosmo Tech repose sur « vingt ans de recherches en algorithmes » menées par Michel Morvan en tant que professeur à l'École normale supérieure de Lyon. Il peut ainsi simuler



PASCAL GUITTET, D.R.



Le constructeur a fait appel à Cosmo Tech pour développer un logiciel qui cartographie la chaîne de production.



Aviation SEMAXONE SONDE LA CHARGE MENTALE DES PILOTES

La cognition augmentée, tel est le domaine de Semaxone. Fondée à l'été 2018 et incubée à l'école d'ingénieurs IMT Mines Alès, cette start-up gardoise a été sélectionnée en 2019 par le programme «Companies on Campus» lancé par l'i-Site Montpellier Université d'Excellence (Muse). «Cela nous permet de collaborer en profondeur avec EuroMov et d'utiliser son simulateur pour configurer des situations réelles et étudier la charge mentale des pilotes», confie Guilhem Belda, le président fondateur de Semaxone. Le centre

européen de recherche sur le mouvement humain EuroMov dispose du simulateur iMose de mouvement à corps entier. Ce bras robotique place les sujets (debout ou assis) dans deux «gondoles» amovibles, face à des scénarios expérimentaux. Des capteurs analysent le rythme cardiaque, l'activité cérébrale, les mouvements des yeux. Un micro capte la voix... Les mesures permettent d'établir le diagnostic de la charge cognitive, soit «une vision de l'état mental de l'opérateur».

Semaxone collabore également avec le laboratoire de génie informatique et d'ingénierie de la production (LGI2P) de l'IMT Mines Alès. Ses outils, en développement, font notamment appel au traitement du langage naturel et visent à compenser des surcharges, à mettre en valeur certaines informations, à rajouter des stimuli... «Notre originalité, notre valeur ajoutée, est de proposer la convergence entre les capteurs et les sciences de l'information pour réunir, dans un même modèle psycho-informatique, l'état cognitif, assure Guilhem Belda, qui va embaucher un profil informatique. L'objectif est d'avoir un prototype dans moins d'un an.» Semaxone a déposé récemment une candidature au second «batch» de l'appel à projets Man machine teaming (MMT), mis en place en 2018 par le ministère des Armées et consacré à l'intelligence artificielle et à l'aviation de chasse. Résultats prévus dans neuf mois. À terme, Semaxone ciblera d'autres secteurs où le facteur humain est important et où les hommes sont soumis à des conditions à risques, comme l'aérospatial, le nucléaire... «Un certain nombre d'entreprises se posent déjà la question de l'état cognitif de leurs salariés», indique Guilhem Belda. **S SYLVIE BROUILLET**

des scénarios pour atteindre un objectif donné et assurer un plan d'action face à des événements imprévus.

Ces scénarios peuvent être générés selon deux commandes: «what if» et «how to». La première est un outil prédictif destiné à anticiper et maîtriser les conséquences de certaines décisions et à identifier les forces et les faiblesses de la stratégie opérationnelle. La seconde prescrit un plan d'action afin d'obtenir les meilleurs leviers d'optimisation.

Le groupe Renault semble conquis par ce système. «Cosmo Tech nous a permis d'identifier des goulots d'étranglement dans nos flux et de corriger le tir. Il est possible d'effectuer un jeu d'itérations, itérations qui ne dépossèdent pas les équipes opérationnelles de leur rôle. La machine révèle les problèmes et les équipes réfléchissent aux solutions qu'elles peuvent rapidement simuler», souligne Amédé-Frédéric Rosenzweig. Le constructeur automobile souhaite aller plus loin dans l'intégration du jumeau numérique de Cosmo Tech, notamment en automatisant l'acquisition en temps réel des données de production. **S ALEXANDRE COUTO**

////////////////////
www.usinenouvelle.com

Benoît Bardy, le directeur d'EuroMov, installé dans iMose. Ce simulateur permet aux pilotes de tester tous les scénarios de vol. Leur état de stress est analysé à l'aide de capteurs.



Transition énergétique

DALKIA, UN JUMENTAU POUR VALORISER L'ÉNERGIE DES DÉCHETS

La valorisation énergétique du traitement des déchets, pour produire de la chaleur et de l'électricité, est un enjeu croissant. C'est en partant de ce constat que la société Dalkia Wastenergy, filiale de Dalkia (EDF) spécialisée dans la valorisation de déchets d'ordures ménagères et implantée à La Défense (Hauts-de-Seine), s'est intéressée au jumeau numérique. « Nous avons décidé, il y a trois ans, de créer des clones numériques de nos usines afin d'améliorer la valorisation énergétique des déchets », explique Christophe Roulot, son directeur technique et ingénierie.

La société de 1 200 salariés s'est appuyée sur son expertise en thermodynamique pour développer en interne l'outil numérique Twin.

Composition et pouvoir calorifique des déchets entrants, traitement des fumées... Tous les éléments fonctionnels du traitement des déchets ont été intégrés dans ce logiciel, qui s'adresse aux ingénieurs thermiciens de Dalkia. « Pour chacun de nos sites de traitement des déchets, nous avons créé un jumeau numérique

reposant sur des algorithmes qui peuvent en quelques secondes reproduire tout ce qui se passe énergétiquement sur le site, détaille le dirigeant. Nous travaillons ensuite sur ce clone pour modifier des éléments d'installation et ainsi tester différentes solutions pour produire plus d'énergie avec la même quantité de déchets. »



EDF / GUILAUME MURAT

Plasturgie INTÉGRER LA SIMULATION À LA PRODUCTION

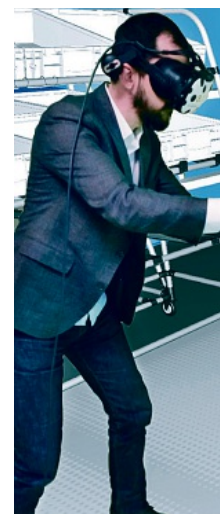
Au salon K 2019, qui s'est tenu en octobre en Allemagne, le concepteur de logiciel Autodesk et le fabricant de presses à injecter Engel ont annoncé un partenariat visant à lier la simulation de l'injection au processus de production réel. Les deux sociétés commercialiseront dès cette année Sim Link, une extension logicielle à l'interface de commande machine CC300 mise au point par Engel. Son intérêt : convertir les résultats des simulations rhéologiques réalisées avec l'outil Moldflow d'Autodesk en un jeu de données de réglages directement utilisable par la presse à injecter. « Cette fonctionnalité garantit la cohérence des données et évite une saisie manuelle qui est chro-

nophage et sujette aux erreurs », explique Engel. En outre, Sim Link remonte vers Moldflow les informations de la production en cours. Cet échange de données permet d'optimiser le processus de production en contrôlant en temps réel sa conformité avec le modèle numérique, mais également d'enrichir la simulation avec des mesures précises acquises lors du process. Avec cet outil, Engel et Autodesk veulent proposer aux PME de la plasturgie « un avantage concurrentiel ». **S A. C.**

Aéronautique LA RÉALITÉ VIRTUELLE SE DÉPLOIE CHEZ SAFRAN ET DAHER

Lors du dernier salon du Bourget, en juin 2019, ESI Group s'est fait remarquer en proposant des démonstrations de sa solution de réalité virtuelle IC.IDO pour Safran Nacelles et Daher. Ce dernier a commencé à utiliser ce logiciel dans le cadre de ses services pour l'industrie nucléaire, mais il s'en sert aujourd'hui de manière plus large. « Dans toutes ses chaînes de projets », affirme Tangi Meyer, ingénieur IC.IDO chez ESI France. Au salon du Bourget, la démonstration concernait les lignes d'assemblage du TBM 900.

De son côté, Safran exploite ce logiciel pour des cas d'usage expérimentés dans la formation à la maintenance de nacelles aéronautiques. Avec un recours à la réalité virtuelle plus étendu au sein du groupe, notamment





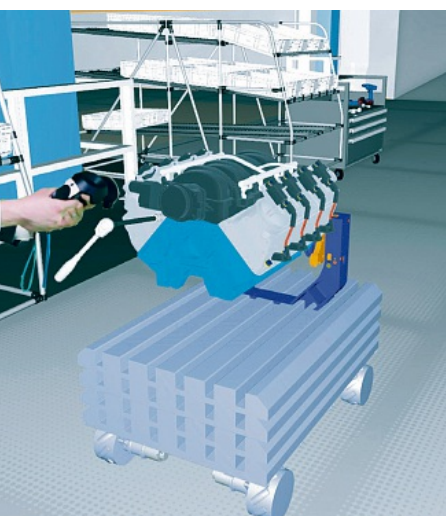
L'outil Twin a permis à Dalkia Wastenergy d'augmenter de 4,8% la production de ses sites en un peu plus d'un an.

Grâce à cet outil, Dalkia Wastenergy a vu la production énergétique de ses sites augmenter de 4,8% en un peu plus d'un an. Mais la société ne s'en sert pas uniquement pour optimiser ses sites –qui sont chacun unique puisque la taille du gisement des déchets entrants, sa composition et sa fréquence

diffèrent d'une localisation géographique à une autre. Twin facilite sa gestion des projets lancés avec ses clients, en l'occurrence les communautés d'agglomération et les syndicats de traitement des déchets.

Dalkia Wastenergy a ainsi développé avec la ville de Perpignan un réseau de chaleur urbain qui alimente à la fois l'hôpital et un fabricant de chocolats industriels. « Nous simulons le besoin énergétique du client dans le logiciel afin de pouvoir tester différents schémas de transfert d'énergie », explique Christophe Roulot. Ce transfert demande de faire des choix en matière de température et de forme de livraison, tout en s'assurant qu'il tienne sur quelques dizaines de kilomètres. « Avec Twin, nos clients peuvent se projeter et nous communiquons mieux avec eux, souligne par ailleurs le dirigeant. Nous avons gagné en rapidité car nous pouvons évaluer la pertinence du projet ensemble, sans que chacun n'ait à réaliser les études d'impact de son côté. » De quoi produire plus d'énergie et la faire circuler plus efficacement. **S MARION GARREAU**

////////////////////
www.usinenouvelle.com



BARAMURATOLU

Les industriels de l'aéronautique, (Safran, Daher ou Boeing) utilisent IC.IDO, le logiciel d'ESI Group, pour le prototypage, les chaînes de montage, la maintenance.

afin de valider la conception avant de passer à l'industrialisation. « Pas une modification des lignes d'assemblage n'est effectuée chez eux sans une revue en réalité virtuelle pour vérifier l'ergonomie ou l'implantation de l'outillage, assure Tangi Meyer. C'est une étape imposée dans les processus. »

ESI Group, qui se spécialise dans le prototypage virtuel, a racheté IC.IDO en 2011. Historiquement le logiciel fonctionnait avec des systèmes par projection (Powerwalls et Cave), mais il a été modernisé pour ne pas rater le virage des casques de réalité virtuelle. De quoi accélérer son déploiement, dépasser l'étape de la preuve de concept et être enfin mis en place dans une exploitation réelle. Outre les démonstrations présentes sur le salon, IC.IDO est fortement implémenté au sein de Boeing. Airbus en a aussi quelques licences. Expleo, qui fournit des services de conseil et d'ingénierie, s'en sert également pour faire des études d'implémentation de postes de travail dans des usines du sud de la France. **S J. B.**

Salon ANGERS REPOUSSE LES FRONTIÈRES

Après avoir créé en 2007 l'un des premiers centres de simulation français, le professeur d'anesthésie et de réanimation au Centre hospitalier universitaire (CHU) d'Angers Jean-Luc Grandry a une ambition : décloisonner le secteur et mettre en commun la recherche menée sur la simulation médicale et industrielle. Et un outil : le Congrès international de la simulation multisecteurs, qui s'est tenu à Angers (Maine-et-Loire) en octobre dernier. Dans la formation, la gestion de crise, la conception, l'amélioration d'un produit ou d'un procédé, les techniques de simulation dépassent les frontières entre les industries. « Le numérique oblige à avoir une vision commune, observe le professeur. Il y a beaucoup d'avancées sur le sujet, dans la santé, évidemment, mais aussi dans l'industrie 4.0, la voiture autonome... »

À titre d'exemple, Jean-Luc Grandry cite Simulation Australasia, un pôle de collaboration international et pluridisciplinaire centré sur la simulation. Implanté en Australie, ce pôle organise des conférences, met en place des collaborations et des financements pour accélérer la recherche.

Le palais des congrès d'Angers, malgré une surreprésentation d'entreprises du secteur de la santé, a accueilli nombre de sociétés industrielles, ou spécialisées dans l'urbanisme et la réalité virtuelle notamment. Parmi elles, Orange Labs et son projet de visualisation en 3D d'une métropole, DPS, qui travaille sur la simulation mécanique, thermique et électromagnétique de pièces manufacturées, ou encore la start-up 1001rues, qui utilise la simulation pour sonder les citoyens sur des projets de réaménagement urbain. Des initiatives inspirantes dont on a encore du mal à percevoir les synergies. Réponse lors de la seconde édition du congrès. **S G. V.**

Planète virtuelle

COMMENT LA FRANCE SIMULE LE CLIMAT

Des scientifiques français ont développé deux modèles de simulation climatique. Leurs projections contribueront au prochain rapport du Giec, prévu en 2021.

SYLVAIN ARNULF

Il n'y a pas de plan B car il n'y a pas de planète B», affirmait Emmanuel Macron en juin 2017, après l'annonce du retrait des États-Unis de l'accord de Paris sur le climat. C'est une évidence dans le monde réel... mais pas dans le monde virtuel. La simulation informatique permet ainsi de créer des jumeaux numériques de la Terre pour mieux comprendre comment elle fonctionne et réagit. Cette approche a été lancée il y a plus de vingt ans par le Programme mondial de recherche sur le climat. Et la France en est l'un des moteurs.

Les prévisions des scientifiques et ingénieurs français réalisées dans le cadre du nouveau cycle de simulation (la génération 6 du CMIP, le programme d'intercomparaison des modèles de climat) serviront de base au sixième rapport d'évaluation du Groupe

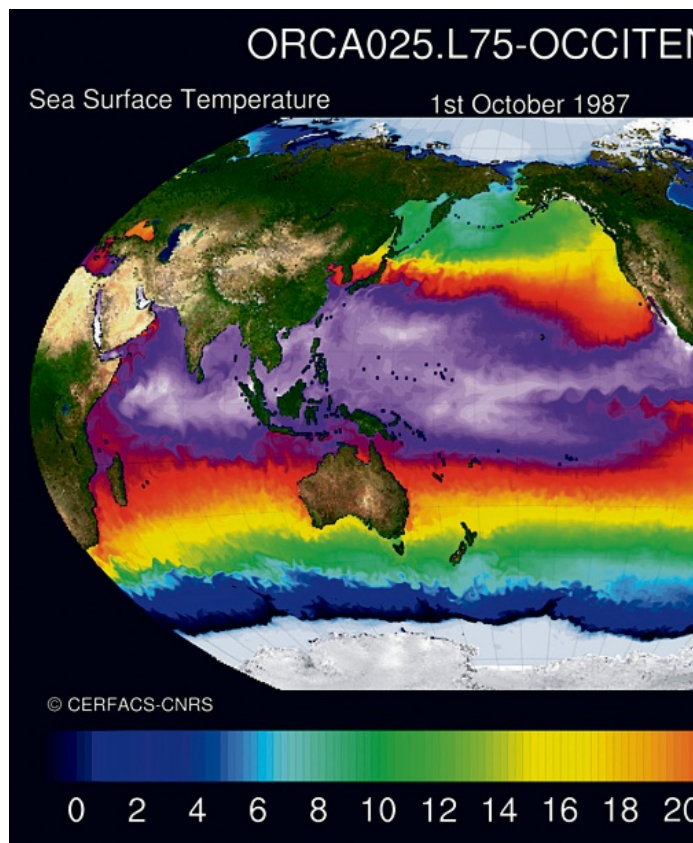
d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec), attendu en février 2021 [lire l'encadré]. Elles sont le fruit de quatre années de travail mobilisant une centaine d'experts. Et ont nécessité 500 millions d'heures de calcul intensif.

Les deux modèles de simulation développés en France, parmi la trentaine dans le monde, sont celui de l'Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL) de Guyancourt (Yvelines) et celui du Centre national de recherches météorologiques du CNRS et de Météo-France, à Toulouse (Haute-Garonne). Ces deux pôles concentrent les recherches de dizaines d'autres laboratoires spécialisés.

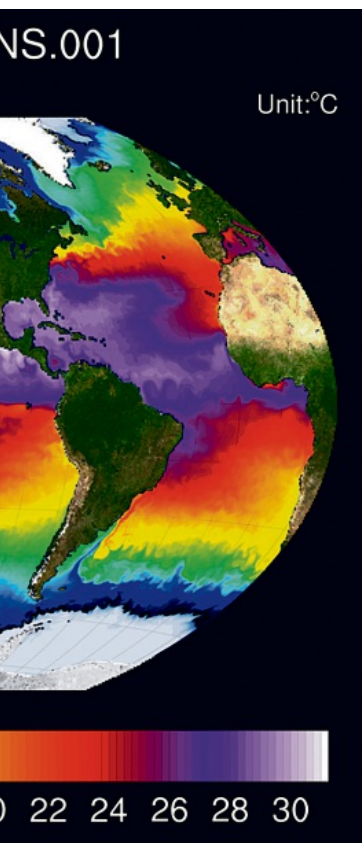
20 PETAOCTETS DE DONNÉES

Leurs modèles sont « des planètes virtuelles dans lesquelles on peut faire une grande variété d'échantillonnages pour traiter de multiples questions scientifiques », résume Pascale Braconnot, climatologue et directrice de recherche au CEA. Ces simulateurs reproduisent les paramètres du « système Terre » : atmosphère, océans, surface continentale, végétation, biogéochimie marine, chimie de la troposphère et de la stratosphère, glaces de mer. Chacun de ces composants bénéficie d'un déve-

loppement propre par des laboratoires français. Par exemple, le modèle de Météo-France inclut le simulateur d'atmosphère Arpege (le même que celui utilisé pour réaliser les prévisions météo), le modèle de surfaces continentales Surfex, le simulateur d'océans développé par le consortium Nemo, le modèle de glaces Gelato... Il faut aussi créer des coupleurs pour simuler les interactions entre deux milieux. Oasis, un outil conçu par le Centre européen de recherche et de formation avancée en calcul scientifique (Cerfacs) de Toulouse, est employé pour simuler les échanges entre l'océan et l'atmosphère. D'autres briques sont intégrées, comme le cycle du carbone et les aérosols (particules liquides et solides). On obtient alors environ 3000 données (température, humidité, vent...) par fragment de globe, plus ou moins gros selon



Modèle développé par le Cerfacs reproduisant le comportement de l'atmosphère et des océans sur une grande échelle temporelle, afin d'établir des projections climatiques.



RÉCHAUFFEMENT, SÉCHERESSE, CANICULE NE SONT QU'UN DÉBUT

L'épisode de sécheresse observé en France l'été dernier, avec des nappes phréatiques au plus bas, est-il amené à devenir la norme ? Les canicules vont-elles se multiplier ? C'est ce que suggèrent les résultats des modèles de simulation climatique français. Dans le scénario le plus alarmiste, la canicule de 2003, exceptionnelle par sa durée et son intensité, pourrait devenir normale à la fin du siècle. « Quoi que

l'on fasse, le nombre de jours de canicule augmentera jusqu'en 2040-2050, et les pics de température également, précise Olivier Boucher, directeur de recherche au CNRS, responsable du Centre de modélisation du climat de l'Institut Pierre-Simon Laplace. Ce n'est qu'à partir de 2050 qu'il sera possible de stabiliser, dans le meilleur des cas, ces phénomènes. » Dans le scénario le plus pessimiste

des chercheurs français (qui envisage le maintien de la consommation d'énergies fossiles au niveau actuel), la hausse de la température moyenne globale pourrait atteindre 6 à 7 degrés en 2100. Dans le scénario le plus optimiste, le réchauffement estimé reste au-dessus de l'objectif de l'accord de Paris sur le climat, fixé à 1,5 degré : les experts français tablent sur une hausse de 2 à 2,5 degrés.



la résolution choisie, pour chaque « pas de temps » (un quart d'heure, une heure, trois heures, en fonction des ressources de calcul disponibles). C'est l'interaction entre tous ces systèmes qui permet de simuler le climat passé et actuel et de créer des projections futures.

Pour le modèle de l'IPSL, il a fallu un an d'essais et une quinzaine de versions intermédiaires avant de lancer les simulations du cycle 6. Cette phase de réglage a nécessité 32 simulations de la période passée (1850-2014) pour calibrer le modèle. Au total, quatre-vingt mille ans cumulés d'évolution du climat ont été recréés, à l'aide de calculateurs tournant 24 heures sur 24 et sept jours sur sept pendant plus d'un an, soit 20 petaoctets (1 petaoctet représente 1 million de milliards d'octets) de données générées. Cinq scénarios socio-économiques (du statu quo à la neutralité carbone assortie de captage de CO₂) ont été « injectés » dans le système et ont interagi avec la multitude de paramètres intégrés. Les cinq projections générées ont abouti à des estimations d'élévation de la température moyenne allant de 2 à 7 °C, en fonction des politiques climatiques mises en œuvre.

UNE MODÉLISATION PLUS PRÉCISE

De génération en génération, les modèles gagnent en précision et en robustesse. L'IPSL a mobilisé 1 000 cœurs de calcul par simulation, contre 32 pour la génération précédente. Les nouveaux modèles ont gagné en pertinence sur certains aspects, comme la physique de l'atmosphère, et se sont affinés. Il est possible de « zoomer » sur des zones, avec une résolution pouvant aller jusqu'à 50 km pour les continents et 25 km pour les océans. Cela permet de simuler plus précisément des phéno-

mènes régionaux, comme les cyclones autour de l'île de la Réunion et de Mayotte. On peut ainsi calculer, afin de mieux s'y préparer, la probabilité que des phénomènes extrêmes surviennent. Mais pas les prédire finement dans le temps et l'espace. Pour aller encore plus loin, il est nécessaire d'enregistrer de nouvelles données, toujours plus fines. « Pour comprendre comment les nuages interagissent avec le changement climatique, il faudra faire des campagnes d'observation très précises partout sur le globe, avec des études sur le terrain, des avions, des satellites », explique Marie-Alice Foujols, l'ex-directrice adjointe de l'IPSL, chargée du calcul intensif. Observation de terrain et simulation resteront indissociables pour faire avancer la recherche. « Seuls les modèles numériques permettent d'avoir une image intégrale de la Terre, même s'il existe de bons systèmes d'observation. Car certaines zones sont tout simplement inaccessibles en chacun de leurs points, comme les profondeurs des océans », rappelle Sébastien Denvil, ingénieur de recherche à l'IPSL, chargé de la gestion des données de modélisation du climat.

Les chercheurs devront en tout cas tenir compte d'une contrainte essentielle, en plus du tassement du nombre de spécialistes du climat : la puissance de calcul et l'espace de stockage ne sont pas illimités. Il faut donc gérer ces ressources intelligemment pour ne pas faire exploser les coûts financiers et... énergétiques. 5

www.usinenouvelle.com

« Seuls les modèles numériques permettent d'avoir une image intégrale de la Terre, même s'il existe de bons systèmes d'observation. »

SÉBASTIEN DENVIL, INGÉNIEUR DE RECHERCHE À L'IPSL

Daniel Verwaerde

« L'IA VA S'INSCRIRE DANS LES PROCESSEURS »

Le président de Teratec et ancien administrateur général du CEA évoque les défis et les transformations à venir pour le calcul haute performance au cours de cette décennie.

PROPOS RECUEILLIS PAR JULIEN BERGOUNHOX



PASCAL GUITTET

À l'aube de l'exaflops, quels sont les enjeux de la simulation pour la décennie à venir ?

Mon sentiment est qu'en poursuivant avec les technologies actuelles – CMOS, architectures des processeurs et réseaux –, on atteint avec l'exaflops une asymptote. Faire progresser les performances d'un facteur 10 ou 100 comme nous avons pu le faire par le passé demandera des ruptures technologiques. Deux murs se dressent devant nous. Le premier est celui de l'énergie. En extrapolant par rapport à nos besoins énergétiques actuels, le supercalculateur de demain consommera des centaines de mégawatts. Ce n'est pas tenable. Le second est le coût des fonderies. Quand j'ai commencé dans ce métier, le coût unitaire d'une fonderie était de 1 milliard de dollars. Pour produire des processeurs de 7 nanomètres, le montant atteint les 20 milliards.

Comment dépasser ces obstacles ?

D'un point de vue technologique, je pense que la clé sera une meilleure intégration des processeurs graphiques – les GPU – dans nos systèmes. Ils restent aujourd'hui pilotés par les processeurs centraux – les CPU –, et il n'y a aucune cohérence entre leur façon de fonctionner. Il faut gérer l'interaction à la main. À l'horizon 2023, leur utilisation deviendra transparente. C'est une nécessité, sinon on saura faire des calculateurs bien classés au top 500, mais qui ne seront pas bons. Une autre piste est celle des accélérateurs quantiques. Il reste

« Aujourd'hui, la bonne échelle pour développer le HPC et sa supply chain, c'est l'Europe. La France n'a plus les moyens. »

de vrais défis à relever, mais je pense qu'on verra les premiers calculateurs quantiques fonctionnels au cours de cette décennie.

Va-t-on voir une évolution des microarchitectures elles-mêmes ?

J'en suis persuadé. La montée en puissance des calculs liés à l'intelligence artificielle devient extrêmement importante, et les acteurs de la simulation doivent l'intégrer dans leur raisonnement. L'IA va finir par s'inscrire en dur dans les processeurs, et la simulation a le choix de le subir ou d'en tirer parti. Les futures architectures seront spécifiées pour les gros clients, c'est-à-dire les usages grand public, pour lesquels l'IA joue une part importante. Dans les faits, il s'agit des smartphones. En France, 5000 personnes utilisent un supercalculateur et 50 millions un smartphone... La simulation devra s'adapter. Il y a vingt ans, on a eu une révolution similaire: le passage de processeurs vectoriels dédiés, qui coûtaient très cher, aux processeurs scalaires conçus pour le grand public.

Et les réseaux ?

Les capacités de communication sont extrêmement importantes, et le seront de plus en plus avec le développement de l'IoT et de la smart city, qui génèrent d'énormes quantités de données. C'est peut-être le vrai ressort de

cette transition. Teratec est parti d'une stratégie de développement du HPC [calcul haute performance, ndlr] autour d'un très gros calculateur. Mais à l'avenir, les usages ne se limiteront plus à cela. Il faudra faire fonctionner différents calculateurs ensemble, mais aussi des edge computers qui traiteront une grande partie des données en local, le tout relié par des réseaux à haute capacité. Il faudra sortir du paradigme du gros ordinateur centralisé.

Vous évoquiez les coûts de fabrication. Cela vaut aussi pour les calculateurs...

En effet. Aujourd'hui, la bonne échelle pour développer le HPC et sa supply chain, c'est l'Europe. La France n'a plus les moyens. Développer un calculateur exaflops coûte entre 5 et 10 milliards de dollars. La réponse ? Le projet EuroHPC, auquel Teratec est associé. Dans ce cadre, nous sommes candidat pour être le centre de compétences HPC pour la France, et pour participer au projet Fortissimo, dont le but est d'aider les entreprises à utiliser le HPC. La Commission nous a également demandé de structurer les souhaits des utilisateurs. Nous allons fonder, avec le laboratoire HLRS de l'université de Stuttgart, une association de droit européen qui réunira tous les industriels utilisateurs et qui pourra être force de proposition pour les futurs superordinateurs d'EuroHPC. Ils pourront faire de la R&D, et nous examinerons comment ils pourront effectuer des calculs commerciaux sur les équipements d'EuroHPC, moyennant finance. **S**

////////////////////
www.usine-digitale.fr

Les systèmes automobiles sous contrôle

L'un des plus grands défis pour les concepteurs de véhicules électriques et hybrides est celui de la création de systèmes de contrôle précis qui allient à la fois sécurité, performance et efficacité énergétique. Depuis presque 10 ans, Subaru s'appuie sur la solution Ansys SCADE pour développer le code logiciel qui sous-tend les unités de contrôle électronique (ECU) de son programme de voitures électriques.

Les systèmes critiques comme ceux pour la propulsion, l'accélération et le freinage sont complétés désormais par des systèmes d'info-divertissement, des options de chauffage et de refroidissement personnalisés et d'autres composants électroniques qui s'ajoutent à l'expérience de conduite. Pour rassembler tous ces éléments sophistiqués, en toute sécurité et de manière transparente, il faut un système de contrôle sans faille. La maintenance et la gestion de tous ces systèmes sont prises en charge par l'unité de contrôle électronique (ECU) qui est au cœur de chaque véhicule hybride et électrique. Soutenu par des millions de lignes de code logiciel embarqué - et soumis à une surveillance réglementaire stricte - l'ECU est l'un des éléments les plus cruciaux d'une voiture électrique.

Le processus de génération du code logiciel pour l'ECU commence par la définition de la logique de contrôle qui rassemble toutes les parties de l'architecture électronique de la voiture. Cet ensemble de règles logiques garantit l'intégration de tous les composants électroniques en toute sécurité. Il gère les interactions du système, envoie des alertes en cas de besoin et peut également arrêter les systèmes en cas d'urgence. Il contrôle la dynamique du véhicule, le fonctionnement du moteur, la consommation d'énergie du véhicule et la gestion de charge de la batterie électrique.

Alors que de nombreuses autres équipes d'ingénierie automobile s'appuient sur des méthodes manuelles pour accomplir ces tâches, Yuji Kawakami, Ingénieur Principal au département d'ingénierie électronique de Subaru, dirige les efforts de ses équipes pour accélérer ce processus avec Ansys SCADE. "Premièrement, les ingénieurs Subaru convertissent la logique de contrôle en un modèle SCADE de l'architecture globale du système, avec SCADE Suite Simulink Gateway. Ensuite, nos ingénieurs appliquent SCADE Suite KCG Code Generator pour créer un code d'implémentation basé sur ce modèle. Pour le premier véhicule hybride de Subaru, la Subaru XV, environ 80% des travaux de développement ont été automatisés en générant le code du logiciel de commande. L'équipe d'ingénierie de Subaru continuait à améliorer ses processus internes avec Ansys SCADE et le niveau d'automatisation a atteint 95% pour le code sous-jacent de l'e-BOXER. »

Aujourd'hui, il suffit d'une demi-journée pour les ingénieurs Subaru pour implémenter un modèle d'ECU une fois la logique de commande Simulink définie. Cela permet aux développeurs de Subaru de modifier la logique et l'architecture de l'ECU beaucoup plus fréquemment et plus facilement lorsqu'ils explorent en continue différentes conceptions innovatrices.

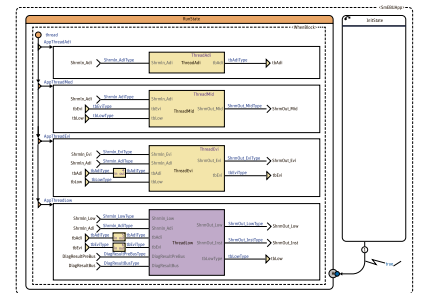
Contrairement aux outils génériques, SCADE est un outil spécialisé pour développer du code logiciel embarqué. Son environnement, basé sur des

modèles et son langage de script précis éliminent le risque d'erreur humaine car il traduit la logique de contrôle de l'ECU.

Puisque le générateur de code SCADE Suite KCG répond aux normes de l'industrie automobile, telles que ISO 26262, au plus haut niveau de sécurité (ASIL D dans ce cas), le code produit est automatiquement conforme à des réglementations strictes - réduisant considérablement le temps, les efforts et la documentation requis pour la vérification du code final. SCADE est un outil clé non seulement pour répondre aux normes réglementaires, mais aussi pour soutenir l'engagement de Subaru envers la sécurité des passagers.

Par ailleurs, l'utilisation de SCADE facilite un processus d'ingénierie logicielle en boucle fermée. Dans le cas où la logique de contrôle globale de l'ECU serait modifiée dans Simulink à une date ultérieure, les solutions SCADE reflètent automatiquement et universellement ces changements dans le modèle du système et le code logiciel intégré, éliminant les retouches coûteuses et les mises à jour manuelles.

Avec SCADE, les ingénieurs Subaru peuvent générer rapidement et avec précision, le code critique qui permet aux véhicules électriques de fonctionner en toute sécurité, quelle que soit la complexité de leur architecture technologique.



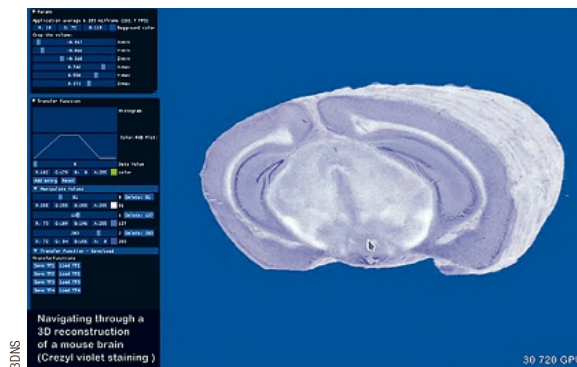
Yuji Kawakami
Ingénieur Principal au département
d'ingénierie électronique de Subaru

Retrouvez plus d'informations sur:
www.ansys.com

Santé CONTRE ALZHEIMER, LE CERVEAU MODÉLISÉ EN 3D

Achévé en juin 2019, le projet 3D NeuroSecure (3DNS) a développé une plate-forme capable de modéliser le cerveau d'une souris en 3D à une résolution de 0,2 µm, soit une taille vingt fois plus petite que celle d'un neurone. « L'idée était de se doter d'outils d'analyse d'images 2D et 3D de très grande dimension pour pouvoir traiter des résolutions d'imagerie médicale qui soient cellulaires », indique Gilles Mergoil, le président et fondateur de Neoxia, PME d'une centaine de personnes qui pilote le projet.

La difficulté pour obtenir un modèle en 3D avec une telle résolution vient de la masse de données à traiter. « C'était le verrou technologique à lever. Aujourd'hui, les laboratoires ne disposent d'aucun logiciel capable de le faire », indique Gilles Mergoil. Car un cerveau de souris de 2 à 3 mm de longueur, scanné



La plate-forme 3DNS est capable de modéliser le cerveau d'une souris en 3D à une résolution de 0,2 µm.

en 3D avec une résolution de 0,2 µm, représente 1,5 téraoctet (To) de données pour une seule modalité. Or plusieurs modalités sont nécessaires dans le cadre d'une étude. C'est-à-dire plusieurs types d'images obtenues avec différents marqueurs qui apportent les informations désirées – nombre de neurones, inflammation... Les croiser permet de faire des corrélations. « Il faut quatre ou cinq modalités par cerveau, précise Gilles Mergoil. Et une étude sérieuse porte sur plusieurs souris. Donc, nous arrivons vite à une centaine de téraoctets pour une seule étude. » Sans que cela soit un frein. « Nous pouvons faire tourner notre code sur un supercalculateur, mais aussi sur un cloud public comme celui d'Amazon, ce qui permet de le rendre accessible à

tous les types de structures », précise le président et fondateur de Neoxia.

La plate-forme 3DNS se veut un moyen d'assistance aux biologistes. En particulier pour la recherche sur les maladies neurodégénératives comme celles d'Alzheimer ou de Parkinson. Et Neoxia voit plus loin, visant notamment la simulation moléculaire pour concevoir des médicaments avant de passer à l'analyse in vivo. **S XAVIER BOVINET**

////////////////////
www.usinenouvelle.com

Nucléaire FORTUM UTILISE LA RÉALITÉ VIRTUELLE POUR FORMER SON PERSONNEL



VARJO/JANI YLINEN

L'énergéticien finlandais a formé 90 % des employés de son site de Loviisa.

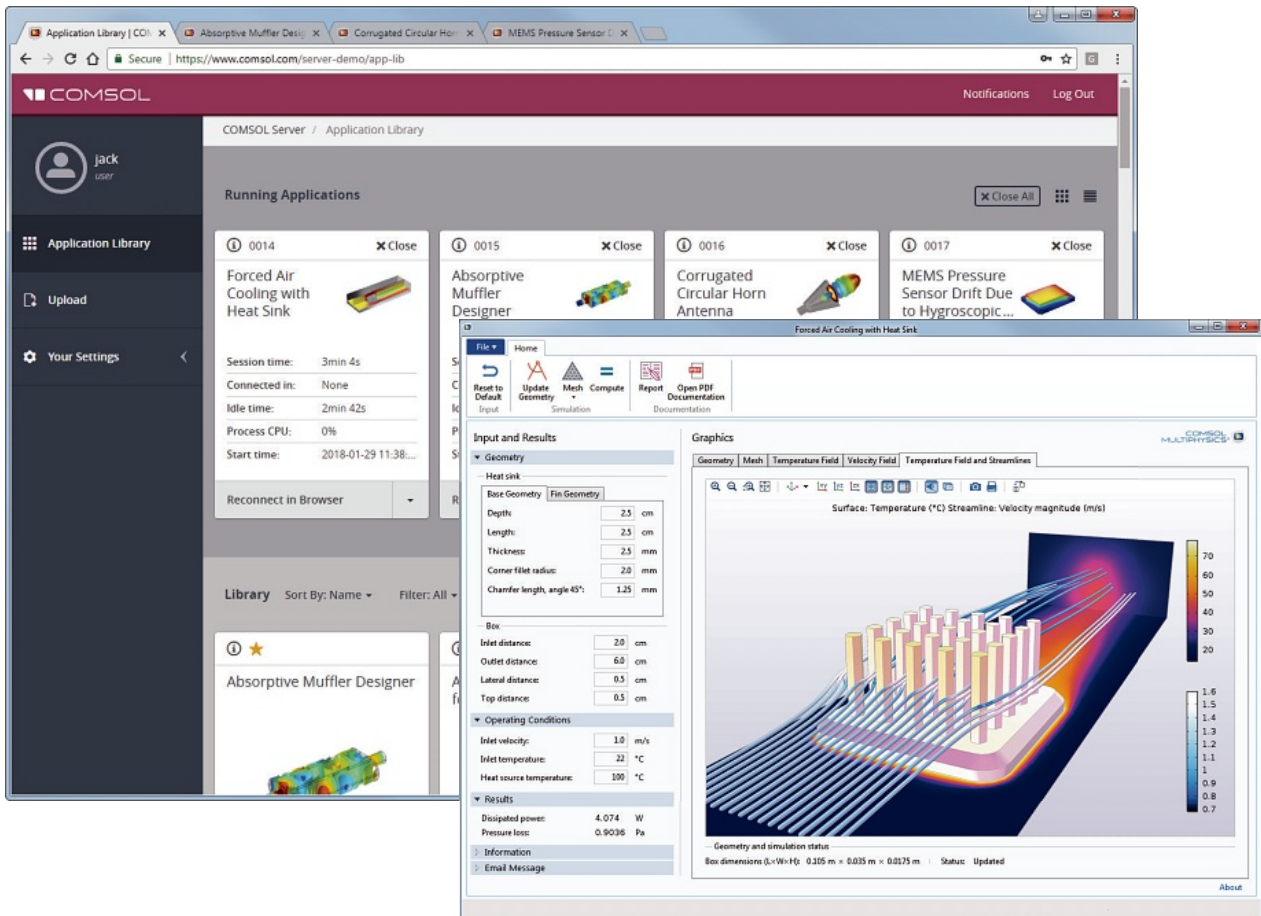
L'énergéticien finlandais Fortum innove dans la formation du personnel de ses centrales nucléaires. Il a mis au point un simulateur en réalité virtuelle qui reproduit à la perfection une salle de contrôle. Cette salle interactive a été testée par 90 % des employés du site pilote de Loviisa, en Finlande. La technologie fait désormais partie du cursus de base. Le développement est effectué par Fortum eSite, une filiale dédiée à la formation industrielle en réalité virtuelle, et supervisé par Joakim Bergroth, un spécialiste du facteur humain, fort de dix ans d'expérience dans l'industrie nucléaire.

D'après lui, les simulateurs en réalité virtuelle peuvent être développés pour un dixième du coût d'un simulateur physique, dont la construction représente des millions d'euros. Ils peuvent également être déployés facilement (et à moindres frais) par

la suite sur d'autres sites, alors que les simulateurs physiques sont peu nombreux et très demandés.

L'utilité des simulateurs virtuels ne se limite pas seulement à la formation. Ces derniers peuvent aussi servir à tester et à valider de nouveaux équipements ou de nouvelles procédures avant qu'ils ne soient installés sur des sites. Auparavant, la validation intervenait au cours de la dernière phase d'un projet et la moindre erreur de design pouvait s'avérer onéreuse et difficile à corriger. D'après Joakim Bergroth, dans le pire des cas, cela pouvait retarder un projet d'une année entière. La possibilité de tester très tôt les évolutions permet, selon lui, d'économiser de nombreuses heures de travail et des centaines de milliers d'euros. Un autre atout du virtuel. **S J. B.**

Accélérez et améliorez le développement de vos produits.



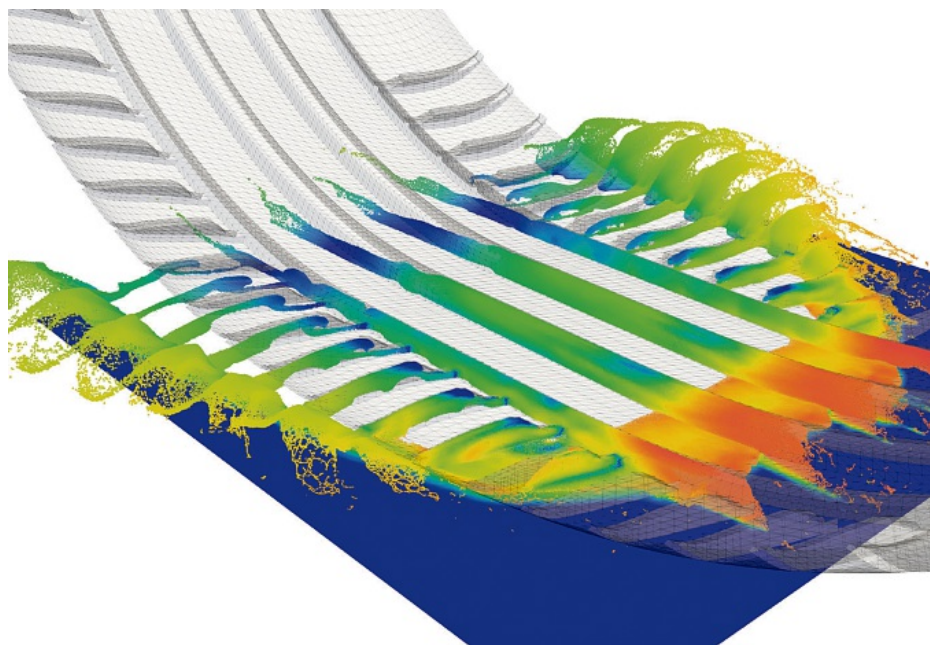
Un exemple d'application de simulation dans la bibliothèque d'applications COMSOL Server™. Les utilisateurs de l'application peuvent déterminer quel est le design optimal de leur dissipateur thermique sans connaissance du modèle mathématique sous-jacent.

Les ingénieurs et les chercheurs de l'industrie accélèrent le développement de produits en créant des applications de simulation numérique et en les déployant au sein de leurs organisations. COMSOL Multiphysics® vous permet de créer des applications spécialisées et COMSOL Server™ et COMSOL Compiler™ vous aident à les distribuer aux bons collaborateurs et au bon moment dans votre cycle de développement de produits.

Le logiciel COMSOL Multiphysics® est utilisé pour la conception et la simulation des composants et des procédés dans tous les domaines de l'ingénierie, de la fabrication et de la recherche. Découvrez comment vous pouvez l'appliquer au développement de produits.

comsol.blog/product-development

Automobile COMMENT MICHELIN SIMULE L'AQUAPLANING



On pourrait penser de prime abord qu'il n'y a rien de plus basique que le pneumatique dans le monde automobile. Celui-ci est pourtant régulièrement le théâtre d'innovations qui reposent en grande partie sur la simulation numérique. Michelin, pionnier français du secteur, investit lourdement en R&D dans ce domaine. «Pour créer les meilleurs produits possible dans un environnement très concurrentiel, il nous faut pouvoir intégrer les dernières innovations sur les matériaux, la sculpture et l'architecture du pneu, explique Yohan Le Chenadec, le responsable performance adhérence au Centre de technologie de Michelin. Et le seul moyen de le faire de façon efficace, en testant et améliorant sans cesse le pneu lors de sa conception, c'est la simulation numérique.»

Le fabricant travaille notamment avec la start-up nantaise Nextflow Software, spécialiste de la simulation appliquée à la mécanique des fluides. Fondée en 2015, elle est issue du laboratoire de recherche de l'École centrale de Nantes. Michelin utilise l'un

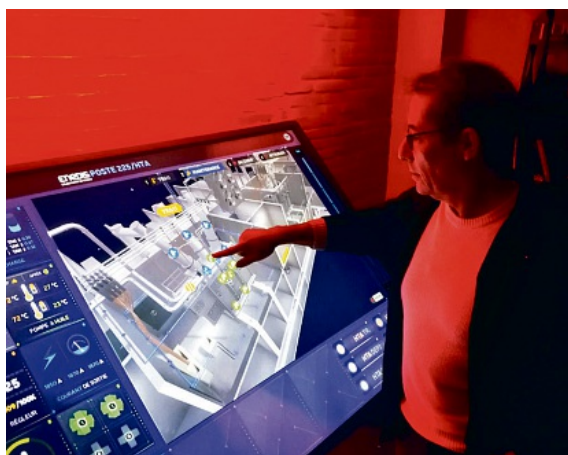
de ses logiciels appelé SPH-flow. Il s'appuie sur la méthode des «smoothed particle hydrodynamics», qui représente les écoulements de fluide sous la forme de particules.

«Cela nous permet de nous dispenser d'une étape compliquée et lourde que requièrent les autres méthodes: le maillage fluide-structure, détaille Vincent Perrier, le directeur de Nextflow Software. Il faut habituellement préciser l'environnement 3D dans lequel on évolue, notamment le volume de fluide. Or une méthode maillée ne peut pas répondre à la simulation d'un environnement complexe comme un pneu qui se déforme, qui est en mouvement, ou qui est dans un volume d'eau donné.» Concrètement, en couplant le modèle de pneu solide de Michelin

et le modèle de mécanique des fluides de Nextflow, qui s'occupe de l'interaction de l'eau sur la route, il est possible d'effectuer une simulation en seulement une heure, contre une semaine avec un maillage. Et il devient surtout possible de simuler des scénarios beaucoup plus complexes.

GAIN DE TEMPS

«La technologie de Nextflow nous permet de dépasser les limites auxquelles nous étions confrontées auparavant sur la simulation de l'hydroplanage, précise Yohan Le Chenadec. Nous pouvons par exemple simuler la rugosité des cailloux de la route, ce qui était impossible jusqu'alors.» Autre avantage du logiciel: offrir une représentation plus



VIRTUAL IT

Pour sa première participation au CES de Las Vegas, la pépite toulousaine Virtual IT a présenté une solution qui associe maquette numérique et géolocalisation de précision pour accompagner les opérateurs sur le terrain.

CES 2020 VIRTUAL IT, POUR INTERVENIR SUR LE TERRAIN

Le principe est de coupler deux outils complémentaires, s'appuyant sur une maquette numérique 3D connectée. Le premier (e-monitoring) est dédié au monitoring à distance des postes sources. Le second (e-balisage) permet d'établir un balisage précis des zones à risque sur le site d'intervention. Concrètement, l'opérateur, coiffé d'un casque équipé d'un capteur, est géolocalisé avec une grande précision (quelques mètres) via un système de triangulation et des ondes radio. Depuis sa tablette, il suit ses déplacements sur la maquette numérique et les zones à risques. L'objectif est de renforcer la

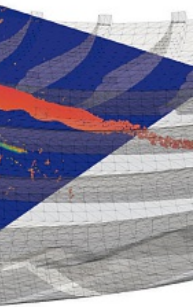
sécurité des interventions sur le terrain. La solution, testée par Enedis sur deux postes sources de l'agglomération toulousaine, devrait être déployée sur toute la France. Virtual IT, qui emploie une vingtaine de salariés, dont une équipe de sept personnes hébergée au sein du 3D Space Lab d'Airbus Defence and Space à Toulouse, souhaite développer ses solutions pour planifier des interventions sur le terrain (maintenance et formation). Elle cible tous les secteurs à risque de l'industrie: énergie, chimie, transports, secours... **S M. A.**

fine du pneumatique, qui prend en compte toute la complexité de ses rainures. Cette meilleure fidélité donne une simulation plus exacte.

C'est notamment grâce à ces méthodes que Michelin arrive à produire des pneus à la longévité hors pair. « Pour l'hydroplanage, le volume de vide possible pour stocker et évacuer l'eau diminue avec l'usure, rappelle Yohan Le Chenadec. Or nous souhaitons qu'il reste performant. On imagine donc des creux cachés, des sillons qui s'ouvrent au fur et à mesure pour que le pneu garde une capacité d'évacuation de l'eau. C'est l'une de nos innovations déjà sur le marché. »

Évidemment, Michelin continue de réaliser des prototypes physiques pour valider l'exactitude des simulations et pouvoir passer à la production. Mais le recours au numérique permet de tester davantage, mieux et plus en amont, afin de ne réaliser des prototypes que dans les phases finales de la conception. « Il faut savoir que nous avons plus de 400 outils de simulation pour concevoir les pneumatiques, avance Yohan Le Chenadec. L'objectif est de limiter le côté essai-erreur, de faire bon du premier coup. » À la clé, des économies et surtout des gains de temps qui accélèrent la commercialisation des produits. Cette tendance gagne les constructeurs automobiles eux-mêmes. « Nos premières propositions de solutions pneumatiques pour véhicule sont faites de manière complètement virtuelle. On envoie des maquettes numériques aux constructeurs au lieu d'envoyer des prototypes physiques », confie Yohan Le Chenadec. **S JULIEN BERGOUNHOX**

MICHELIN/NEXTFLOW SOFTWARE - CNRS/LH



CES 2020 NUMIX, UN MOTEUR POUR FORMER

« Inondation sur un barrage hydroélectrique, alerte majeure au sein d'une centrale nucléaire, incendie ou explosion dans une usine chimique, courts-circuits sur les réseaux électriques... Nos solutions permettent, grâce à la réalité virtuelle, de confronter les personnels à des situations de crise difficiles à reproduire dans le monde réel », explique Jeff Sebrechts, le cofondateur de Numix avec Amélie Raffenaud. Cette société de 12 salariés, sise à Gaillac (Tarn), a déjà séduit plusieurs grands comptes de l'énergie avec ses serious games sur mesure. Au CES, elle a présenté son nouveau moteur de simulation, Industry Simulator VR, conçu pour offrir une solution complète, générique et flexible. « Nous voulons évoluer vers des solutions standard dotées d'outils de suivi et d'analyse des parcours de formation et des moyens nécessaires, pour que chaque client puisse se constituer sa bibliothèque d'objets et de scénarios », souligne Jeff Sebrechts. Il est développé avec l'Institut de recherche en informatique de Toulouse (Irit) et avec le Serious game research lab (SGRL) de l'université albigeoise Champollion. **S M. A.**

////////////////////
www.usinenouvelle.com

L'USINE NOUVELLE

Pratique, Concret, Utile

Votre abonnement à l'offre Premium comprend :



L'HEBDOMADAIRE ET SA VERSION DIGITALE

Disponible la veille de sa parution. Incluant les numéros spéciaux : Innovation, Aéronautique, Agroalimentaire, Ingénieurs



+ de
16 000
sites industriels
en France



LE WEB ABONNÉS

Plus de 100 articles exclusifs par semaine

- Le baromètre unique des investissements industriels
- Les newsletters thématiques
- Les archives les plus complètes de l'industrie en France

LA BASE INDUSTRIE EXPLORER

La base de données de l'industrie et de ses décideurs (en mode consultatif et hors contacts nominatifs)



SON SUPPLÉMENT TECHNOLOGIQUE, Industrie & Technologies

Je m'abonne en 3 clics
sur www.usinenouvelle.com

**PAYEZ EN LIGNE PAR CB ET ACCÉDEZ IMMÉDIATEMENT
À TOUS NOS CONTENUS SUR USINENOUVELLE.COM**

L'USINE NOUVELLE

BULLETIN D'ABONNEMENT À RENVoyer ACCOMPAGNÉ DE VOTRE RÈGLEMENT À :
L'Usine Nouvelle - Service Abonnements - Antony Parc II - 10, place du Général de Gaulle
BP 20156 - 92186 Antony Cedex - Fax : +33(1) 77 92 98 15 - Email : abo@infopro-digital.com

Formule Premium 12 mois L'Usine Nouvelle
+ Industrie & Technologies pour 449€^{TTC*} (UNCITD1)

L'USINE NOUVELLE - L'hebdomadaire et sa version digitale + L'accès illimité à l'ensemble des contenus et services du site + La base de données Industrie Explorer (*mode consultation, hors contacts nominatifs*). **En supplément le mensuel dédié à l'innovation, INDUSTRIE & TECHNOLOGIES.**

Formule 12 mois L'Usine Nouvelle pour 369€^{TTC*} (US1D03)

JE RÈGLE PAR :

Chèque bancaire à l'ordre
de L'Usine Nouvelle

À réception de facture

Mme M. Nom : _____

Prénom : _____

Société : _____

Adresse : _____

Code postal : _____ Ville : _____

Tél. : _____

USI2005

Email : _____ @ _____

NOMINATIF ET EN MAJUSCULES - INDISPENSABLE POUR OUVRIR VOS ACCÈS WEB

*TVA : 2.10% - Offre France métropolitaine réservée aux nouveaux abonnés, valable jusqu'au 31/08/2020 avec Industrie Explorer (en mode consultation et hors contacts nominatifs) et hors Indices & Cotations - Votre abonnement comprend durant cette période la réception de 48 n° dont 4 n° doubles de L'Usine Nouvelle. Conformément aux lois Informatique et Libertés du 06/01/1978 et LCEM du 22/06/2004, vous pouvez accéder aux informations, les rectifier et vous opposer à leur transmission éventuelle en écrivant au Service Abonnements. GISEI - SAS au capital de 38 628 352 € - RCS Paris 442 233 417 - N° TVA FR 29442233417 - Toute commande implique l'acceptation des CGV consultables à : http://www.infopro-digital.com/pdf/CGV_abo_Groupe.pdf. Pour consulter les règles RGPD du groupe : <https://www.infopro-digital.com/rgpd-gdpr/>

JUMEAUX NUMÉRIQUES

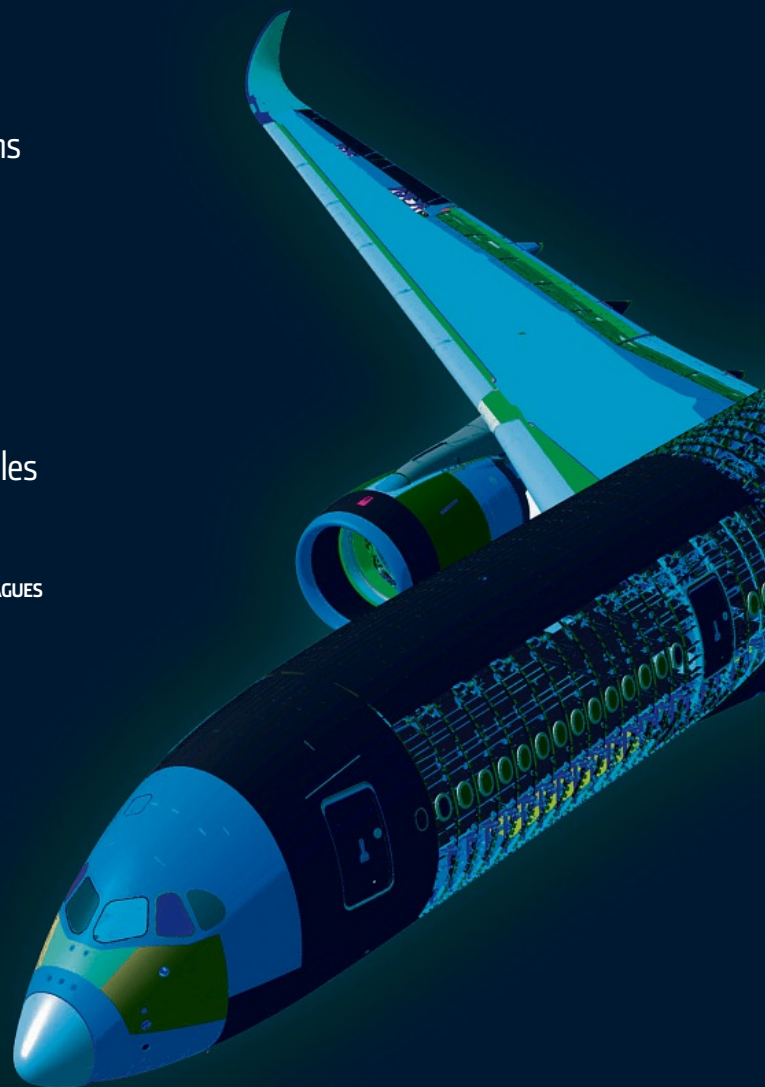
UN PIED DANS LE RÉEL,

CONCEPT Le jumeau numérique est le double virtuel d'un objet ou d'un process conçu pour suivre en temps réel ses transformations, de sa conception à sa destruction.

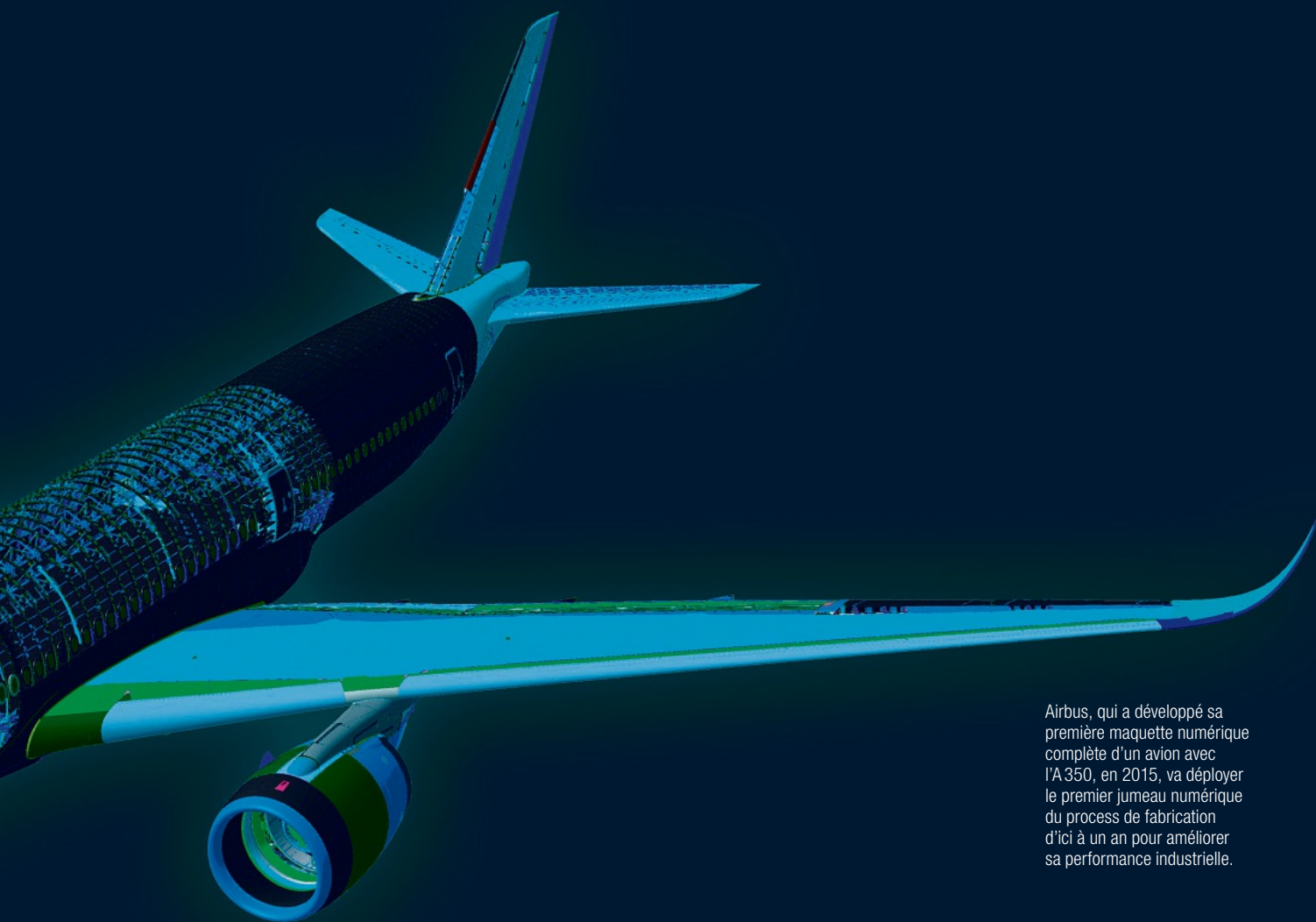
USAGES De multiples déclinaisons du concept sont mises en œuvre par les industriels de tous secteurs pour améliorer leurs opérations.

TECHNOS Le couplage de la simulation avec les données terrain et le besoin de traitements en temps réel s'appuient sur de nouvelles technologies.

////////////////// DOSSIER COORDONNÉ PAR MANUEL MORAGUES



L'AUTRE **DANS LE VIRTUEL**



Airbus, qui a développé sa première maquette numérique complète d'un avion avec l'A350, en 2015, va déployer le premier jumeau numérique du process de fabrication d'ici à un an pour améliorer sa performance industrielle.

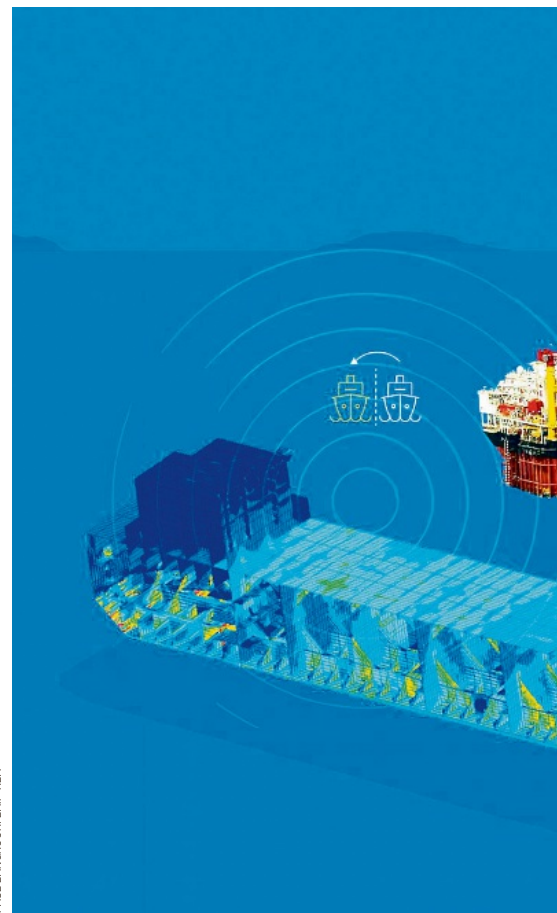
STRATÉGIE

LE JUMEAU NUMÉRIQUE DONNE VIE À L'INDUSTRIE 4.0

Couplant simulation et données, le jumeau numérique colle au plus près du système réel qu'il modélise. L'industrie l'utilise pour surveiller, maintenir et optimiser ses machines et ses produits.

//////////////////// FLORIANE LECLERC

PAUL LANGROCK/LAF-REA



La start-up française Akselos a développé un logiciel dédié à la maintenance prédictive d'infrastructures techniques, comme les plates-formes pétrolières.

Classé parmi les dix grandes tendances technologiques stratégiques selon Gartner, le jumeau numérique s'installe progressivement dans le paysage industriel mondial. Si, aujourd'hui, peu d'entreprises exploitent encore cette technologie en production, les deux tiers de celles ayant une stratégie dans l'internet des objets (IoT) devraient la mettre en place d'ici à 2022, selon le cabinet de conseil. Formulé pour la première fois en 2002 par le chercheur Michael Grieves (université du Michigan), le concept de jumeau numérique ne cesse d'évoluer au fil du temps et des objectifs des entreprises. Sous une forme assez générique, Gartner le définit comme le modèle numérique d'un process ou d'un objet réel, rendu dynamique par les données issues de ce même process ou objet. Il ne s'agit donc pas d'une simple copie virtuelle d'une pièce ou d'un process génériques, « mais d'un véritable jumeau individuel conçu pour suivre en temps réel les trans-

formations de l'objet ou du process spécifique auquel il est attaché, de sa conception jusqu'à sa destruction », insiste Éric Martin, directeur de l'École nationale supérieure d'ingénieurs de Bretagne Sud (Ensibs), à Lorient, où une chaire Jumeau numérique vient d'être créée.

Accélérer la prise de décision

Quelles que soient ses spécificités, le jumeau numérique s'appuie sur un ensemble de modèles physiques utilisés pour réaliser des simulations. Soit résoudre numériquement des équations issues de la physique afin de prédire la façon dont le système réel se comporte. La spécificité du jumeau numérique réside dans le fait que ces modèles vont être alimentés en continu par des données collectées via des capteurs disposés sur le système réel, ou issues de la dernière inspection en date. Ainsi, contrairement à la simulation classique, les modèles du jumeau numérique peuvent tourner sans cesse afin de pouvoir fournir à chaque instant des informations sur l'état actuel de fonctionnement du système réel auquel il est relié. Mais aussi des prédictions en temps réel sur ce qui, au regard de son fonctionnement actuel, va



Éric Martin, directeur de l'Ensibs

« Le jumeau numérique est conçu pour suivre en temps réel les transformations d'un objet ou d'un process, de sa conception jusqu'à sa destruction. »



LE TEMPS RÉEL, UNE MESURE VARIABLE

« La notion de temps réel peut recouvrir différentes échelles. On devrait parler de quasi-temps réel. Pour une éolienne, les pannes ne surviennent pas en quelques secondes, mais plutôt pendant plusieurs jours. Les données chargées d'alimenter le jumeau numérique peuvent donc être relevées une fois par jour en moyenne. Au contraire, certains processus comme les turbines à gaz des avions exigent qu'on surveille leur fonctionnement chaque seconde », souligne Sébastien Kawka, le responsable

d'applications chez le fournisseur de logiciels Comsol. Aussi, les modèles mis en jeu vont-ils se révéler très différents. Dans le premier cas, on peut se permettre de simuler des modèles complexes qui pourront prendre des heures à tourner. Dans le second cas, il faudra des modèles numériques simplifiés de façon à pouvoir interagir rapidement avec le système physique. »

se produire dans les secondes, les minutes, les heures, ou les semaines à venir [lire l'encadré ci-contre].

De quoi permettre une surveillance accrue ou d'anticiper d'éventuelles pannes. « Pour une éolienne, en fonction de la vitesse de rotation du moteur ou de la pression exercée par le vent, on pourra prévoir à chaque instant l'usure des matériaux de chaque pale en faisant tourner des modèles de fatigue de ces pales alimentés par les dernières données collectées. Aux premiers signes d'usure, l'information est remontée à l'opérateur qui arrête l'éolienne afin d'effectuer des travaux de maintenance préventive, explique Sébastien Kawka, responsable d'applications chez le fournisseur de logiciels Comsol. « Quand l'ensemble d'un parc est répliqué et son évolution simulée, on peut prédire à quel moment et comment précisément vous avez intérêt à procéder à chaque réparation pour minimiser l'impact sur votre production et maximiser son efficacité. Il s'agit, par simulation, de visualiser ce qu'il se passe si je modifie tel ou tel paramètre et, par comparaison entre les différents scénarios, d'obtenir les meilleurs leviers d'optimisation et le meilleur plan d'action », détaille Michel Morvan, le président de la start-up lyonnaise Cosmo Tech, qui a déployé sa solution de jumeaux numériques chez Renault.

Pour fournir des prédictions compatibles avec des prises de décision rapides, de l'ordre d'une fraction de seconde pour des voitures autonomes ou de la journée pour une éolienne, il a fallu augmenter la rapidité des simulations. Certains éditeurs ont donc retravaillé le code de leurs logiciels de simulation. « L'efficacité du calcul dépend en grande partie

des algorithmes. En douze ans de recherches, nous sommes parvenus à revisiter ces derniers pour accélérer la simulation. Nos algorithmes sont capables d'exécuter des milliers de simulations en moins d'une heure, nous permettant de sortir en vingt-quatre heures des rapports qui prenaient auparavant entre quatre à six mois. Nous restons cependant sur des physiques relativement simples », explique Thomas Leurent, le CEO de la start-up vaudoise Akselos, qui développe un logiciel dédié à la maintenance d'infrastructures techniques. « D'autres ont préféré simplifier leurs modèles en réduisant les nombreux paramètres à quelques paramètres effectifs afin qu'ils puissent tourner plus vite », indique Sébastien Kawka.

Anticiper tous les scénarios grâce à l'IA

D'autres encore utilisent des abaques numériques. Soit un tableau regroupant une large palette de calculs numériques pré-effectués afin d'opérer rapidement. Au regard des paramètres d'entrée actuels, ce système permet de trouver au sein du tableau des cas de calculs similaires déjà effectués dans le passé et d'interpoler directement un résultat. Enfin, certains intègrent des outils d'intelligence artificielle (IA) à leurs solutions. Dans ce cas, les modèles auront préalablement fait l'objet d'un grand nombre de simulations permettant d'anticiper tous les scénarios de comportements possibles en cas d'incident (panne, collision, fatigue...). Et c'est sur ces données simulées auxquelles s'ajoutent les données observées dans le passé que des outils d'IA (deep learning, réseaux de neurones...) s'entraîneront pour



D.R.

formuler des prédictions rapides selon les conditions d'exploitation des équipements et détecter la moindre anomalie», précise Elie Hachem, professeur à Mines ParisTech et responsable du projet Minds, qui a l'ambition de «créer une plate-forme numérique de R&D couplant le monde de la simulation numérique et l'IA, afin d'offrir des réponses précises et complètes aux industriels». Très diverses, les solutions de jumeaux numériques proposées sont multi-modèles et multi-échelles. Il peut s'agir de simuler le fonctionnement d'un seul élément, d'un sous-

système ou d'un système complet. «On peut aller très loin et réaliser les jumeaux numériques d'entreprise. Le jumeau comprendra alors des composants très hétérogènes: les machines, mais aussi le processus de production, les ressources humaines et même les contraintes financières...», explique Michel Morvan (Cosmo Tech). À Singapour, la solution 3DExperience de Dassault Systèmes doit permettre, en incluant les données de construction et de gestion des bâtiments, ainsi que des réseaux de transport et d'énergie de la ville, de superviser la cité. Longtemps réservée au

RÉALITÉ VIRTUELLE ET AUGMENTÉE, LES INTERFACES DU FUTUR

Au travers du jumeau numérique, nombre d'informations sur l'état de vie d'un système sont diffusées aux différents utilisateurs. Aujourd'hui, la visualisation des résultats des simulations s'effectue le plus souvent sur un tableau de bord, en 3D. Il est ainsi déjà possible de montrer à un opérateur ce qu'il se passe à l'intérieur de l'objet qu'il maintient. «Mais des solutions liées à la réalité virtuelle ou à la réalité augmentée apparaissent pour démocratiser et rendre

plus intelligibles des informations complexes issues du jumeau numérique, explique Olivier Sappin, le directeur général de la marque Catia (Dassault Systèmes). Muni d'un casque de réalité virtuelle, je peux obtenir la représentation complète de l'habitacle d'un véhicule et visualiser les flux d'air qui y circulent. Cela peut aider à mieux appréhender et construire le système de climatisation d'une voiture afin de la rendre plus confortable.» «Pour une

interaction plus directe entre l'homme et le jumeau, les futures interfaces devront nous permettre d'utiliser tous nos sens. Que ce soit la vue, le toucher ou même l'odorat. Mais cela impliquera des questions d'ordre psychologique, cognitif et ergonomique», souligne de son côté Francisco Chinesta, enseignant-chercheur CNRS, spécialiste en simulation avancée.



La solution Twin Builder d'Ansys séduit de plus en plus d'acteurs de l'énergie, de l'industrie lourde, de l'aéronautique... Ici appliquée à un parc éolien, elle permet de suivre en permanence l'état des pales afin de planifier les réparations nécessaires.

domaine de l'aérospatial, la technologie séduit aujourd'hui un nombre croissant d'industriels issus de secteurs divers et soucieux de suivre des systèmes complexes, aux enjeux importants. « Nous avons lancé notre plate-forme Twin Builder en mai 2018 et nous comptons aujourd'hui 500 clients dans le monde, souligne Éric Bantegnie, le président d'Ansys. La demande est venue de l'industrie lourde et des secteurs de l'énergie. Une deuxième vague arrive désormais, issue des secteurs de l'aéronautique ou de la défense. Avec le jumeau numérique, nous nous assurons par exemple du bon fonctionnement des trains d'atterrissage des drones, afin d'éviter qu'ils ne cassent. » Le secteur des véhicules électriques fait également figure de relais de croissance. Ansys a ainsi conclu, fin 2019, un partenariat avec Volkswagen afin de valider l'ensemble des composants des engins de la marque (batteries, logiciel de contrôle...).

Traiter les données au plus près de leur source

« Pour autant, déployer des jumeaux numériques en très grande quantité exige des capacités d'hébergement de ces applications et de pouvoir gérer et administrer correctement de grands volumes de données », note le dirigeant. Comptant déjà quelques dizaines de milliers de jumeaux numériques en fonctionnement, Ansys vient de s'allier à Microsoft, dont la solution Microsoft Azure digital twins permet de créer des modèles complets d'environnements physiques compatibles avec les solutions d'edge computing, qui permettent de traiter les données au plus près de leur source. « Aujourd'hui, nos jumeaux numériques tournent de manière externe dans des centres de calcul, mais on pourrait imaginer qu'ils soient embarqués dans les systèmes afin que ceux-ci s'auto-surveillent. En cas de décisions critiques à prendre, on éviterait ainsi le temps de latence nécessaire pour envoyer et ramener les données jusqu'aux centres de calcul. Et, en conservant ces données en un même endroit, on en améliorerait la sécurité », affirme Éric Bantegnie. Le partenariat doit également améliorer l'interopérabilité, afin de permettre à chaque jumeau numérique d'une machine ou d'un système de communiquer avec ses homologues. Il s'agit de lancer le développement d'un langage commun de définition des jumeaux. Ainsi, les différents industriels qui produisent les multiples



« Derrière ce terme, une réalité très diverse »

PATRICE HAURET
R&D manager chez Michelin

Comment définiriez-vous le jumeau numérique ?

Dans une acception assez large, il s'agit du double virtuel d'un système réel qui permet d'en prédire le fonctionnement, de l'optimiser et de proposer des services de haut niveau autour de ce système. Le concept a été imaginé par la Nasa pour mieux comprendre l'état des systèmes distants et pouvoir les piloter. Mais ce terme recouvre aujourd'hui une réalité très diverse.

Comment ce concept est-il décliné chez Michelin ?

Le jumeau numérique est utilisé chez Michelin pour fournir des services connectés qui vont renseigner l'automobiliste ou le véhicule sur le niveau de performance des pneumatiques, leur usure ou les conditions d'adhérence par exemple. On a alors un modèle du pneumatique enrichi en permanence par une captation de données sur ses conditions d'usage. Une deuxième application, très

répandue en ce moment, concerne l'industrie 4.0. L'outil de production est modélisé. La maquette est alimentée par de la donnée qui permet de décrire l'état dans lequel se trouve la ligne de production. Les opérateurs peuvent alors juger de la pertinence des réglages de la machine et être avertis des besoins de maintenance à venir.

Qu'apporte-t-il à la conception ?

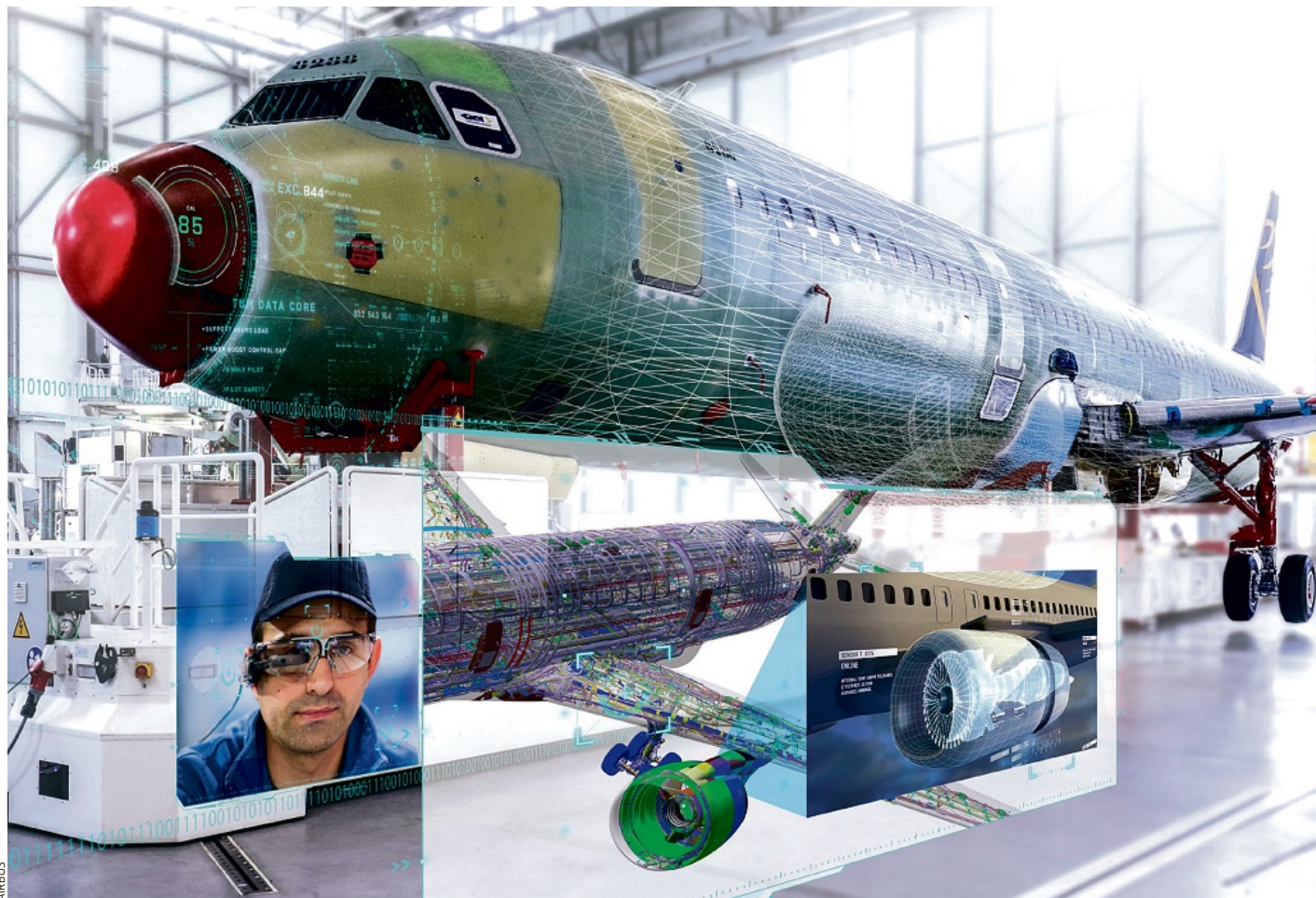
La troisième application du jumeau numérique réside dans la co-conception virtuelle de pneus de nouvelle génération avec des constructeurs automobiles. Les jumeaux numériques du véhicule et du pneu peuvent être combinés pour prédire les performances de l'ensemble. Cela permet de gagner en flexibilité et en efficacité de développement en étant très prédictif avec un minimum de tests. Nous visons un gain de 50 % de temps de cycle en divisant par deux le nombre de prototypes de véhicules et de pneumatiques construits.

////////////////////////////////////

équipements d'une installation (voiture, usine...) pourront exprimer ces modèles de données en un langage accessible à tous, facilitant la tâche des intégrateurs.

Enfin, le dernier défi consisterait à pouvoir expliquer les prédictions produites par l'IA. « Si les modèles physiques sur lesquels repose la simulation classique sont déjà certifiés, nous avons aujourd'hui de nouveaux protagonistes : les données collectées et l'IA, souligne Francisco Chinesta, enseignant-chercheur CNRS, spécialiste en simulation avancée. Il faudra donc pouvoir comprendre comment une machine est capable d'apprendre afin d'expliquer les décisions prises par l'IA et pouvoir certifier ce qu'elle fait. »

////////////////////////////////////



AIRBUS

Le site d'Airbus à Hambourg sert de laboratoire au jumeau numérique.

AÉRONAUTIQUE LES AVIONNEURS PASSENT À L'ACTION

À l'instar des motoristes, le concept de jumeau numérique a le vent en poupe chez les avionneurs, tant pour le développement des appareils que pour leur exploitation.

OLIVIER JAMES

Les digital twins sont en train de prendre de plus en plus de place. Pour preuve, ils sont désormais considérés comme l'un des principaux leviers pour améliorer la disponibilité des avions militaires en France, un enjeu stratégique. Le concept de jumeau numérique est en effet au cœur du contrat de maintenance Ravel, pour Rafale verticalisé, signé en mai 2019 entre Dassault Aviation et la Direction de la maintenance aéronautique du ministère des Armées, pour une durée de dix ans. Et qui entre dans sa phase d'application. L'avionneur met en œuvre le jumeau numérique pour l'ensemble des équipements - hors moteurs et sièges éjectables qui font l'objet de contrats distincts - des 152 Rafale de l'armée de l'air et de la Marine nationale afin d'améliorer leur maintien en condition opérationnelle (MCO).

« Avec Ravel, Dassault Aviation s'engage à long terme, sur un périmètre élargi et sur une performance de disponibilité de flotte, de façon forfaitaire, et donne ainsi de la visibilité à l'État et à nos partenaires industriels », résume Jean Sass, le directeur général de l'avionneur chargé de la transformation numérique. Et de détailler: il s'agit de récupérer les données de

maintenance des flottes, de les introduire dans le jumeau numérique de chaque appareil via la plate-forme 3DEXperience de Dassault Systèmes, puis d'en faire l'analyse. À la clé, une réduction du temps d'intervention et une maintenance prédictive... « Cette plate-forme est en outre destinée à établir un standard industriel de traitement pour le futur avion de combat européen au cœur du Scaf », assure Jean Sass.

Pour tirer parti de cette promesse, les avionneurs peuvent prendre exemple sur les motoristes. À l'image de General Electric, Rolls-Royce et Safran qui tirent jusqu'à la moitié de leurs revenus de services pour les moteurs d'avions fondés en partie sur le concept de jumeau numérique. Il faut dire que ces derniers assurent la production et la maintenance de la partie la plus critique et sollicitée d'un avion. Ils cherchent encore à se diversifier : en partenariat avec Infosys, General Electric a récemment pu déterminer qu'en plaçant 34 capteurs au niveau du train d'atterrissage, alimentant un jumeau numérique, il était possible en prenant également en compte les données d'exploitation de réduire fortement les délais de maintenance.

Répondre à la hausse des cadences

« Historiquement, le premier jumeau numérique d'avion dans le secteur aéronautique commercial date du Boeing 777, mis en service en 1995. Il s'agissait alors de la maquette de représentation physique », rappelle David Ziegler, le vice-président aéronautique et défense chez Dassault Systèmes. Un outil qui a permis, et permet toujours, de faire travailler conjointement, dans le monde virtuel, le bureau d'études du donneur d'ordres avec les sous-traitants. Aujourd'hui, les avionneurs veulent aller plus loin. D'une part en créant de véritables jumeaux numériques propres à chaque appareil qui seront actualisés par l'intégration des données d'exploitation. D'autre part en construisant des jumeaux numériques des process de production. De quoi englober tout le cycle de vie des appareils. Et répondre ainsi aux enjeux liés à la hausse de cadences de production, à l'amélioration de la qualité et donc de la sécurité des aéronefs, à la personnalisation croissante des appareils et à l'optimisation de la gestion des flottes par les compagnies aériennes.

En 2018, le patron de Boeing, Dennis Muilenburg l'assurait : grâce à l'utilisation du jumeau numérique, Boeing a pu améliorer de 40% la qualité des pièces et des systèmes nécessaires pour l'assemblage des avions. Et le dirigeant d'annoncer que ce concept serait l'un des facteurs clés d'efficacité



« Nous allons mettre en œuvre le premier jumeau numérique industriel d'ici à un an pour améliorer notre performance industrielle. »

Alain Tropis, responsable du programme DDMS Airbus

LES ÉLECTRONICIENS SUR LE BANC DE TOUCHE

Électronique et jumeau numérique ne font pas bon ménage.

« Aujourd'hui, la mise en place de jumeaux numériques modélisant le vieillissement des équipements électroniques n'est pas envisageable, et ce, pour des raisons de faisabilité technique mais aussi d'intérêt économique », assure Olivier Saint-Esprit, associé du cabinet IAC Partners.

La raison ? L'usure des composants électroniques reste très complexe à modéliser numériquement, contrairement à celle des pièces mécaniques. Des limites rencontrées notamment dans le secteur aéronautique par Thales.

Dans le détail, une pièce mécanique métallique décrit une courbe d'usure linéaire jusqu'à un certain seuil, puis l'usure s'accélère jusqu'à la rupture complète. Pour les composants électroniques, l'usure est quasi nulle, d'où des défaillances rarissimes. « Décrire le vieillissement d'un composant électronique reste hors de portée, résume Olivier Saint-Esprit. Il y a des essais pour définir des règles mathématiques de l'usure sur les différents types de composants, mais cela reste très compliqué. »

industrielle pour l'avionneur durant la décennie 2020. « Il va se généraliser dans tout le secteur, afin que chaque avion, dans sa configuration de production, puisse avoir un jumeau numérique exact, augure David Ziegler. Cela permettra de mieux comprendre le niveau de performance propre à chaque appareil et d'en tirer les meilleures conditions d'exploitation. Et les fabricants d'avions pourront proposer les meilleurs services associés à leur production. »

Se nourrir des données d'exploitation des appareils

Chez Airbus, qui a développé sa première maquette numérique complète d'un avion avec l'A350, mis en service en 2015, l'heure est également à l'extension du jumeau numérique à l'appareil productif. « Nous allons mettre en œuvre le premier jumeau numérique du process de fabrication d'ici à un an pour améliorer notre performance industrielle, notamment en anticipant les solutions en cas de perturbation grâce à des simulations, détaille Alain Tropis, le responsable du programme DDMS Airbus, qui vise à assurer la continuité digitale dans l'ensemble des activités du groupe. Le jumeau numérique est mis en œuvre sur le site de Hambourg (Allemagne), pour le pré-assemblage du fuselage de l'A 321 : le groupe peut ainsi tester virtuellement les interactions entre les outillages et les éléments à assembler, la bonne exécution des tâches par les robots... « Il s'agit bien de jumeau numérique et pas simplement de simulation, car nous pouvons intégrer les données observées au modèle », précise Alain Tropis.

Airbus compte ensuite déployer ce système au sein de tous ses sites industriels. L'étape d'après ? Connecter les jumeaux numériques des process et des produits. « Si ces modèles partagent un langage commun de modélisation et de struc-

L'USINE NOUVELLE

Pratique, Concret, Utile

Votre abonnement à l'offre Premium comprend :



L'HEBDOMADAIRE ET SA VERSION DIGITALE

Disponible la veille de sa parution.
Incluant les numéros spéciaux : Innovation, Aéronautique, Agroalimentaire, Ingénieurs



LE WEB ABONNÉS

Plus de 100 articles exclusifs par semaine

- Le baromètre unique des investissements industriels
- Les newsletters thématiques
- Les archives les plus complètes de l'industrie en France



+ de
16 000
sites industriels
en France

LA BASE INDUSTRIE EXPLORER

La base de données de l'industrie et de ses décideurs (en mode consultatif et hors contacts nominatifs)



SON SUPPLÉMENT TECHNOLOGIQUE, Industrie & Technologies

Je m'abonne en 3 clics
sur www.usinenouvelle.com

PAYEZ EN LIGNE PAR CB ET ACCÉDEZ IMMÉDIATEMENT À TOUS NOS CONTENUS SUR USINENOUVELLE.COM

L'USINENOUVELLE

BULLETIN D'ABONNEMENT À RENVoyer ACCOMPAGNÉ DE VOTRE RÉGLEMENT À :
L'Usine Nouvelle - Service Abonnements - Antony Parc II - 10, place du Général de Gaulle
BP 20156 - 92186 Antony Cedex - Fax : +33(1) 77 92 98 15 - Email : abo@infopro-digital.com

- Formule Premium 12 mois L'Usine Nouvelle**
+ Industrie & Technologies pour **449€^{TTC*}** (UNCI03)

L'USINE NOUVELLE - L'hebdomadaire et sa version digitale + L'accès illimité à l'ensemble des contenus et services du site + La base de données Industrie Explorer (mode consultation, hors contacts nominatifs). **En supplément le mensuel dédié à l'innovation, INDUSTRIE & TECHNOLOGIES.**

- Formule 12 mois L'Usine Nouvelle pour 369€^{TTC*}** (USI003)

JE RÉGLE PAR :

- Chèque bancaire à l'ordre
de L'Usine Nouvelle

- À réception de facture

- Mme M. Nom : _____

Prénom : _____

Société : _____

Adresse : _____

Code postal : _____ Ville : _____

Tél. : _____

USI2005

Email : _____ @ _____

NOMINATIF ET EN MAJUSCULES - INDISPENSABLE POUR OUVRIR VOS ACCÈS WEB

*TVA : 2,10% - Offre France métropolitaine réservée aux nouveaux abonnés, valable jusqu'au 31/08/2020 avec Industrie Explorer (en mode consultation et hors contacts nominatifs) et hors Indices & Cotations - Votre abonnement comprend durant cette période la réception de 48 n° dont 4 n° doubles de L'Usine Nouvelle. Conformément aux lois Informatique et Libertés du 06/01/1978 et LCEN du 22/06/2004, vous pouvez accéder aux informations, les rectifier et vous opposer à leur transmission éventuelle en écrivant au Service Abonnements, GISI - SAS au capital de 38 628 352 € - RCS Paris 442 233 417 - N° TVA FR 2944223417 - Toute commande implique l'acceptation des CGV consultables à : http://www.infopro-digital.com/pdf/CGV_abo_Groupe.pdf. Pour consulter les règles RGPD du groupe : <https://www.infopro-digital.com/rgpd-gdpr/>

SIMULATION

turation, nous pourrions les faire interagir en mode itératif et faire en sorte que chaque modification dans l'un entraîne une modification dans l'autre», décrypte le responsable du programme DDMS Airbus. Évaluation de l'impact d'une modification du produit physique sur le système industriel, amélioration de la maintenance... Si le jumeau numérique du produit est mature chez Airbus et si celui lié au process est en cours de déploiement, l'intégration globale reste à faire. «C'est notre objectif pour nos prochains programmes», lâche Alain Tropis.

Le graal que compte atteindre Airbus : nourrir les jumeaux numériques des process et du produit avec les données d'exploitation des appareils. À l'heure actuelle, la plate-forme 3DExperience de Dassault Systèmes - plébiscitée par Airbus comme par tous les grands acteurs du secteur, tels que Boeing, Safran, Lockheed Martin... - vise à assurer une continuité digitale entre le design et l'industrialisation des produits. Mais l'avionneur, qui a par ailleurs fait appel à l'américain Palantir pour développer la plate-forme de données d'exploitation en vol Skywise, vise à une intégration globale des différents environnements numériques. Ce sera la «pierre angulaire» de notre transformation digitale, clame Alain Tropis.

Décliner le concept toujours plus en aval

Cette ambition de déployer ce concept à tous les échelons se retrouve chez Dassault Aviation, qui s'appuie de longue date sur son cousin Dassault Systèmes. Alors que la maquette numérique a été étendue aux process dans le civil dès le début des années 2000, le Falcon 7X ayant été le premier appareil à en bénéficier, l'avionneur lorgne désormais vers les services. «Aujourd'hui, le jumeau numérique intervient au niveau de phases situées plus en aval, pour assurer le suivi d'un avion une fois livré au client», commente Jean Sass. Et de préciser qu'outre les Rafale, la volonté est de faire de même dans le civil : la plate-forme 3DExperience peut traiter les données des flottes de Falcon et constituer ce que le groupe appelle les «carnets de santé individuels» des appareils en service. «La démarche classique consiste à accumuler des données via le big data et à les analyser pour proposer des services d'optimisation de gestion de flotte, glisse Jean Sass. Chez Dassault Aviation, nous avons la même démarche, à ceci près que nous confrontons ces données d'exploitation à celles de la représentation de l'avion, son jumeau numérique.»

Jusqu'où le concept pourrait-il être appliqué ? «On s'achemine désormais vers un jumeau numérique complet de l'entreprise, prédit David Ziegler. Il s'agirait par exemple d'inclure, dans les modèles des données, le positionnement d'un nouveau programme par rapport à des conditions de marché ou même des données sociétales. On peut simuler aujourd'hui l'impact d'une nouvelle usine dans un système de production. On pourra demain vérifier la pertinence de programmes de recherche en fonction de leur impact en termes de développement durable.» Les jumeaux numériques ne semblent plus avoir aucune limite.





« Nous observons la capacité du système véhicule-environnement à bien réagir »

NICOLAS FOUQUET,
responsable de laboratoire R&T
véhicule autonome chez Safran

Quelles sont les plus récentes applications du jumeau numérique chez Safran ?

Le concept de jumeau numérique est déployé depuis de nombreuses années chez Safran, dans le domaine militaire et civil, et il est désormais au cœur de nos développements en matière de véhicules terrestres autonomes. Au niveau de notre centre de recherche à Saclay, nous avons modélisé l'environnement du site dans un rayon de 8 km, avec une précision de l'ordre de 5 cm. Tout ce que peut rencontrer le véhicule autonome durant son déplacement

a été modélisé : routes, trottoirs, marquage au sol, végétation... Puis nous avons inséré le jumeau numérique du véhicule dans cet environnement.

Dans quel but ?

Nous n'observons pas le vieillissement du système, mais sa capacité à bien réagir à une grande diversité de scénarios, comme la densité du trafic, la typologie de conduite, les différents types d'obstacles... Le simulateur est régulièrement enrichi de données réelles issues d'essais. Nous sommes parvenus à démontrer la fiabilité du système dans un cadre défini. L'objectif maintenant est de faire évoluer ce jumeau numérique dans un environnement non maîtrisé. À terme, les résultats de simulation

pourraient être des moyens acceptables de mise en conformité lors du processus de certification.

Vos travaux alimentent-ils les recherches en matière d'aéronefs autonomes ?

Les technologies que nous développons sont en grande partie utilisables dans l'aérien. Nous avons réutilisé des capteurs, des concepts et des algorithmes pour des applications liés aux VTOL et au roulage au sol des avions commerciaux. Il est plus facile de mener des expérimentations réelles sur véhicule terrestre que sur véhicule aérien.



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



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



01 77 92 96 94



info.ie@infopro-digital.com

L'USINENOUVELLE

CHIRURGIE

LES ORGANES SE METTENT AU VIRTUEL

Les jumeaux numériques s'attaquent aux organes du corps humain, cœur en tête, pour personnaliser des prothèses, affiner les traitements et préparer les interventions chirurgicales.

//////////////////// GAUTIER VIROL

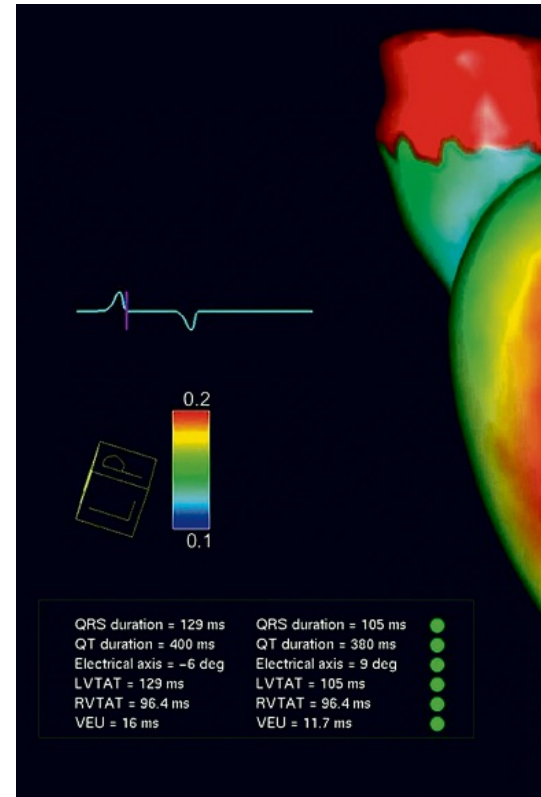
Le jumeau numérique ne s'applique pas qu'aux machines ou aux lignes de production. Il s'attaque à la plus complexe des machineries : le corps humain. « Dans la santé, le jumeau numérique consiste à simuler, organe par organe, un traitement thérapeutique ou une intervention chirurgicale », indique Agnès Malgouyres, la responsable de l'intelligence artificielle (IA) chez Siemens Healthineers.

Cette branche de Siemens spécialisée dans le matériel médical est parvenue à simuler un cœur afin de préparer une opération de resynchronisation. « Cette opération chirurgicale consiste à poser des électrodes sur le cœur d'un patient arythmique pour le remettre en rythme, explique Agnès Malgouyres. Le chirurgien le fait un petit peu à tâtons : il cherche la meilleure réponse en posant les électrodes à différents endroits. » C'est pour dépasser ce côté artisanal que le jumeau numérique entre en jeu. En recréant le cœur du patient, il est possible de déterminer la position idéale des électrodes avant l'intervention. « L'étude clinique que nous avons menée au CHU de Bordeaux nous a permis de voir que le cœur simulé réagissait de la même manière que le cœur du patient », se félicite la responsable.



Guillaume Kerboul, consultant chez Dassault Systèmes

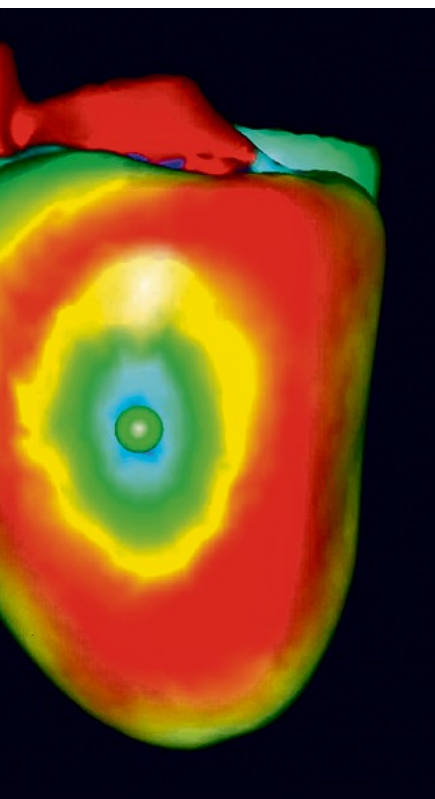
« Lorsque l'on fabrique une machine, le mode d'emploi nous explique son fonctionnement. Chez l'humain, nous ne le connaissons pas exactement. »



Réalisé par Siemens Healthineers, ce jumeau numérique du cœur d'un patient permet de simuler la façon dont il réagira lors d'une intervention chirurgicale.

En parallèle, Siemens Healthineers mène des recherches sur la simulation du foie afin de maximiser les réponses d'un traitement contre le cancer. L'objectif, au-delà de l'anticipation d'une opération, consiste à personnaliser les traitements. « Siemens cherche à introduire le principe d'intervention non intrusive, précise Agnès Malgouyres. L'idée étant d'avoir un maximum d'informations avant même de réaliser une intervention. »

Une volonté que partage PrediSurge. Cette start-up stéphanoise, créée en 2017, recrée l'aorte des patients atteints d'anévrisme. L'objectif : concevoir une prothèse, un stent, parfaitement adaptés à la pathologie du malade et en préparer la pose. « Les prothèses sont très complexes, car parfois les anévrismes touchent une zone carrefour de l'aorte, d'où partent des artères vers le foie, la rate, les intestins ou les reins », détaille Jean-Noël Albertini, chirurgien et président de la jeune pousse. Jusqu'alors, la conception d'une telle prothèse prenait un mois. Un délai réduit à deux jours grâce à la simulation.



SIEMENS HEALTHINEERS



INRIA

« Il faut améliorer les modèles du vivant à toutes les échelles »

NICOLAS AYACHE

Directeur de recherche sur le patient numérique à l'Inria

Comment est créé le jumeau numérique de l'organe d'un patient ?

Il faut développer des algorithmes capables de reproduire l'anatomie et la physiologie de l'organe avec les spécificités du patient. Pour cela, il faut s'appuyer sur des modèles structurels (la forme de l'organe et des tissus) et fonctionnels (son fonctionnement). Ceux-ci s'appuient sur la modélisation géométrique, statistique et biophysique du vivant, permettant de construire un organe numérique moyen, à personnaliser.

Sur quoi repose cette personnalisation ?

Des algorithmes de personnalisation utilisent toutes les données disponibles sur un patient spécifique (ses images médicales, ses données cliniques et biologiques) pour ajuster les paramètres de l'organe moyen et créer un organe numérique personnalisé. C'est le jumeau numérique de l'organe sur lequel on peut quantifier la gravité d'une pathologie (aide au diagnostic), prédire une évolution (aide au pronostic) et planifier une intervention (aide à la thérapie). Ces trois aides constituent les piliers de la médecine numérique.

Quels sont les axes majeurs de recherche ?

Il nous faut continuer à améliorer les modèles du vivant à toutes les échelles, du moléculaire à l'organe entier, voire du corps, et développer des algorithmes de personnalisation plus puissants. L'accès à des données massives sur les patients doit permettre de guider de nouveaux algorithmes de personnalisation plus efficaces et plus robustes dans le futur. En s'appuyant notamment sur des méthodes modernes d'IA, apprentissage automatique en tête.



Il a fallu plus de trois ans à PrediSurge pour créer une aorte numérique. « Pour construire un jumeau numérique, il faut obtenir la géométrie de l'organe à partir d'imagerie médicale, souligne le chirurgien cardiaque. Mais ce modèle géométrique ne suffit pas : il faut lui adjoindre les caractéristiques mécaniques, qui sont très précises et particulières. » Une difficulté à laquelle Siemens Healthineers a dû aussi faire face. « L'apprentissage du modèle électro-physiologique du cœur, qui sert de base aux jumeaux numériques des différents patients, est un problème assez complexe, rappelle Guillaume Chabin, chercheur en IA. Nous l'avons résolu grâce à un supercalculateur de 20 petaflops et à l'IA. »

Des besoins en données et calculs considérables

La création de ce modèle est la principale différence entre le jumeau numérique d'une machine et celui d'un organe. « Lorsque l'on fabrique une machine, le mode d'emploi nous explique son fonctionnement. Chez l'humain, nous ne le connaissons pas exactement et il faut prendre en compte l'impact de l'environnement et les différences selon les patients », commente Guillaume Kerboul, consultant chez Dassault Systèmes. C'est en partie pour cela que le spin-off de Dassault Aviation a acheté Medidata, fin 2019. « Notre approche scientifique est de traiter un maximum de patients pour observer leurs différences et leurs similarités », pointe

le consultant. La start-up, qui représente le plus gros investissement de l'histoire de Dassault Systèmes, est justement spécialisée dans le traitement de données médicales. Pour autant, l'éditeur de logiciel n'a pas attendu cet achat pour se lancer dans la simulation d'organes. Sa simulation d'un cœur humain a permis à un chirurgien de préparer l'opération d'une jeune fille atteinte de malformation cardiaque. Il a également lancé des projets de recherche visant à améliorer les traitements du cancer du côlon, et tente de modéliser les zones du cerveau responsables de l'épilepsie chez un patient ne réagissant pas aux traitements médicamenteux. « L'objectif est de préparer l'opération et d'en prédire les impacts », résume Claire Biot, la vice-présidente de l'industrie des sciences de la vie chez Dassault Systèmes.

Au-delà de la simulation d'organes, le but du jumeau numérique médical relève presque de la science-fiction : recréer le corps humain dans sa totalité. Une ambition, que nourrissent Siemens Healthineers et Dassault Systèmes. La difficulté réside dans la compréhension du corps humain, mais pas seulement. La quantité de données et la puissance de calcul nécessaires pour créer un patient virtuel sont considérables. Et font de cet objectif un rêve encore inatteignable.



DÉFENSE

NAVAL GROUP ACCÉLÈRE LA CONCEPTION DES NAVIRES

En exploitant le jumeau numérique, l'industriel peut examiner un grand nombre d'hypothèses lors de la phase de conception de ses navires et sélectionner les meilleures solutions plus rapidement.

//////////////////// HASSAN MEDDAH

Le Suffren doit effectuer ses premiers essais en mer cette année. Il inaugure la série des nouveaux sous-marins nucléaires d'attaque (SNA) du programme Barracuda de la Marine française. L'un des atouts qui en fait un redoutable prédateur des mers : sa chaufferie nucléaire qui lui garantit une permanence et une discrétion sous les eaux inégalées par rapport à la génération de sous-marins précédente. Cet ensemble a été validé à partir d'un jumeau numérique développé par les équipes de Naval Group et de TechnicAtome, son partenaire. « Nous avons développé le jumeau numérique de toute la chaîne fonctionnelle de propulsion du navire en modélisant l'ensemble de ses constituants. Ces modèles ont pu être regroupés pour fonctionner simultanément de façon à simuler globalement le fonctionnement de la chaîne propulsive du Barracuda », se félicite Yves Dubreuil-Chambardel, le responsable de la coordination des programmes de R&D liés à la transformation numérique et superviseur du programme Twin Ship pour Naval Group. Pour le fournisseur de la Marine nationale, ce développement majeur confirme le



Yves Dubreuil-Chambardel, responsable de la coordination des programmes de R&D liés à la transformation numérique

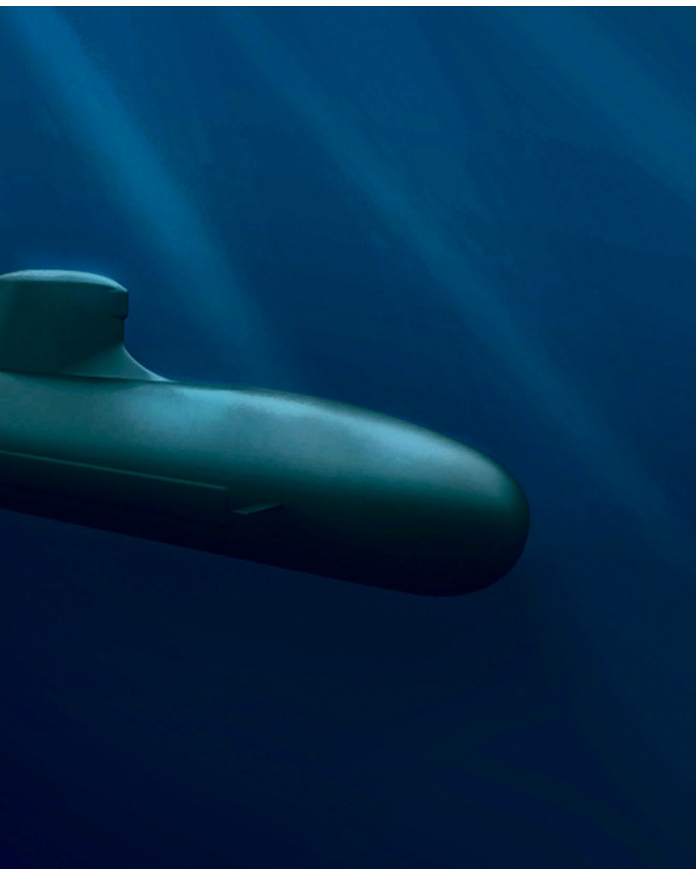
« Nous avons développé le jumeau numérique de toute la chaîne fonctionnelle de propulsion du navire en modélisant l'ensemble de ses constituants. »

Le premier sous-marin nucléaire d'attaque du programme Barracuda a été conçu en partie à l'aide d'un jumeau numérique. Cela a permis de réduire le temps des essais sur banc.

potentiel de ce nouvel outil de simulation, qui a permis d'accélérer considérablement l'étape de la conception. « Le jumeau numérique permet d'optimiser des choix de conception, de passer en revue un grand nombre d'hypothèses d'architecture. Ce qui serait très difficile de faire à la main si on n'avait pas cet outil qui prédit les performances associées à chaque configuration testée. » La durée des essais sur banc a ainsi été réduite de dix-huit à trois mois.

Avec un tel gain, Naval Group va-t-il développer le jumeau numérique d'un navire dans son ensemble ? « Ce n'est pas impossible techniquement, mais simuler le fonctionnement global d'un navire représenterait un coût qui pourrait être élevé. Notre démarche se veut plutôt pragmatique. Nous nous fixons des objectifs partiels, à court terme, et qui ont chacun leur intérêt, avec un retour sur investissement à la clé », explique le responsable du programme Twin Ship. Autrement dit, en matière de conception, l'industriel va se concentrer d'abord sur les équipements les plus critiques. La bibliothèque de modèles de simulation élémentaires s'enrichira au fil du temps, jusqu'à éventuellement, dans un futur lointain, compléter le « puzzle » numérique. En attendant, Naval Group a d'autres débouchés pour le jumeau numérique : développer de nouveaux services au





BENOIT TESSIER/REUTERS

Le Suffren a quitté le hall de construction du chantier Naval Group de Cherbourg en juillet 2019.

D.R.

profit de ses clients, les marines. Le Graal, c'est la maintenance prédictive, qui doit permettre de prévenir l'équipage du dysfonctionnement à venir d'un appareil. Le jumeau numérique s'impose comme un outil plus adapté que l'approche big data, qui connaît des limites dans le domaine de la construction navale. Les navires sont en effet produits en trop petites séries pour bénéficier de jeux de données significatifs et ils sont limités en termes de puissance informatique embarquée. Le jumeau numérique permet de s'affranchir de cette double contrainte. «On compare en temps réel les paramètres issus de l'équipement et les paramètres prédits par son jumeau numérique. En cas de divergence, c'est que l'équipement est en train de dysfonctionner», explique Yves Dubreuil-Chambardel. Naval Group teste ses premiers services de maintenance prédictive sur des équipements à bord des frégates de nouvelle génération du porte-avions Charles-de-Gaulle. Un système d'alerte avertit l'équipage en cas de dégradation des performances de certains équipements, susceptible d'aboutir à une panne.

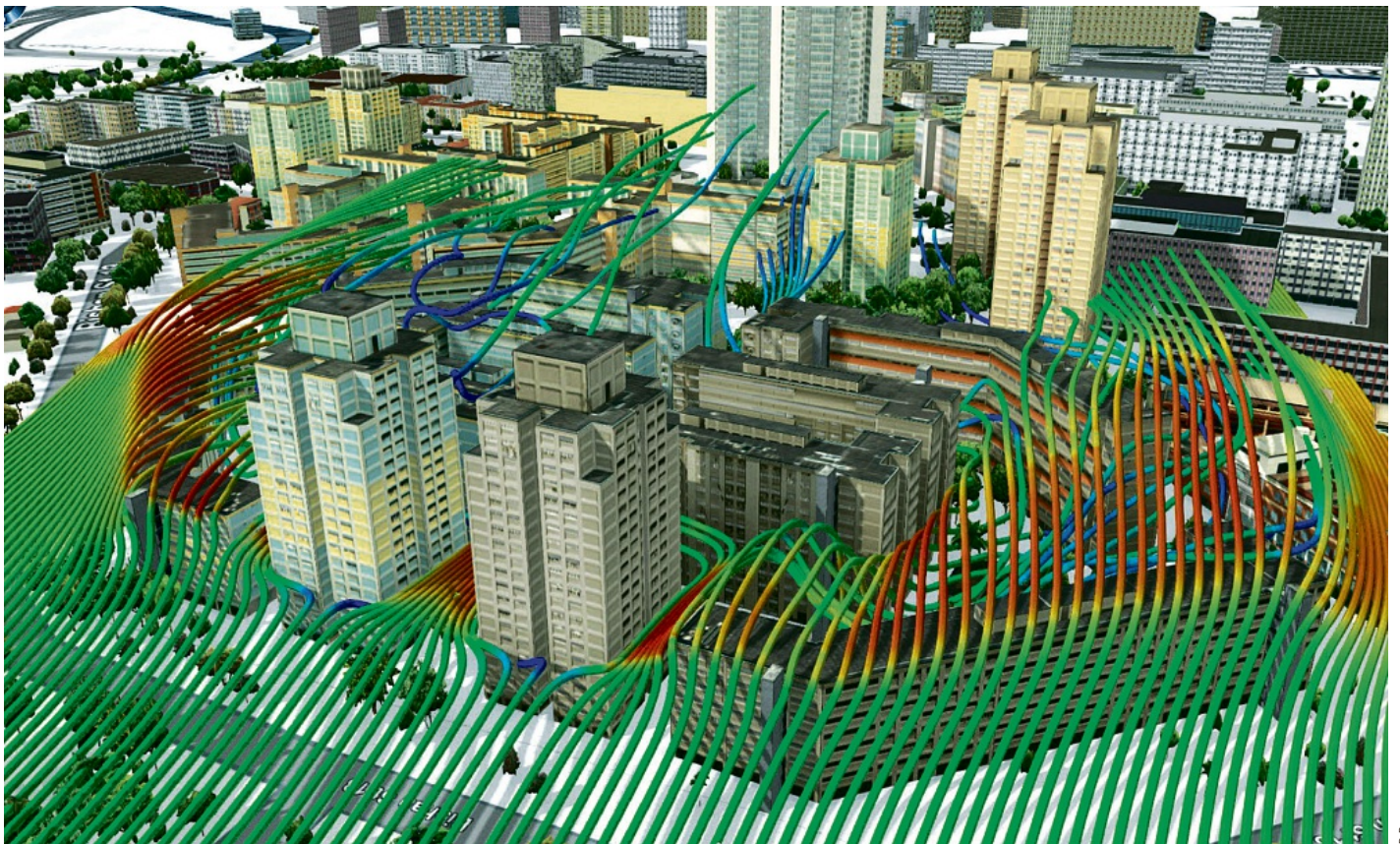
Une synchronisation des données très rigoureuse

La maîtrise de cet outil reste des plus exigeantes. Malgré une vingtaine d'années d'expérience des outils numériques (maquette numérique 3D, CAO 3D, simulateur d'entraînement des équipages, réalité virtuelle...), Naval Group avance progressivement. «Nous distinguons la maquette numérique 3D, représentation géométrique du navire et de ses constituants, du jumeau numérique, qui est une représentation du fonctionnement du navire et de ses équipements. Les deux sont complémentaires», insiste l'expert. Le jumeau

numérique demande également une grande discipline. Les codes de calculs doivent être chaînés correctement afin de limiter la propagation des incertitudes. La synchronisation des données doit être réalisée très rigoureusement. D'autant plus qu'un navire pourra avoir plusieurs jumeaux numériques, l'un embarqué sur le navire directement exploité par l'équipage, l'autre hébergé dans un datacenter pour concevoir ou faire évoluer les équipements. Ces différentes instanciations doivent être mises à jour à travers une gestion des configurations pour qu'à tout moment ces jumeaux numériques représentent au mieux le navire tel qu'il est.

Mais l'exigence la plus forte porte sur le temps réel. Dans le futur, les équipages envisagent d'exploiter le jumeau numérique en situation d'engagement militaire, comme une attaque par une torpille. Des outils d'aide à la décision feront appel au jumeau numérique du navire pour savoir quelle est la meilleure décision à prendre. «Cela nécessitera d'obtenir des réponses dans des délais très courts. Il faut un très gros travail d'optimisation des codes de simulation pour qu'ils puissent tourner et en temps réel sur une informatique embarquée», souligne l'industriel. Ce nouvel outil de simulation concerne également les relations avec les partenaires industriels et commerciaux. Naval Group attend désormais de ses fournisseurs le jumeau numérique des équipements livrés. Avec ses clients, il engage des discussions serrées pour savoir qui sera est le propriétaire des données générées. Le jumeau numérique ne fait que démarrer.





Virtual Singapore permet, par exemple, de simuler la circulation du vent.

URBANISME

LA SMART CITY SE TESTE À GRANDE ÉCHELLE

Optimiser la couverture réseau des villes, simuler les aménagements, anticiper les conséquences d'une inondation... L'exploration des usages des jumeaux numériques ne fait que commencer.

JULIEN BERGOUNHOX

Difficile d'imaginer un système plus complexe qu'une grande ville. Bâtiments, routes, espaces publics, réseaux d'énergie et d'eau, transports en commun... Autant d'éléments interconnectés qui rendent les décisions d'aménagement compliquées, les conséquences d'une action ne pouvant être totalement anticipées. Pour pallier ce problème, plusieurs villes à travers le monde ont entrepris de se doter d'une réplique virtuelle. Ces jumeaux numériques XXL reproduisent fidèlement la ville en 3D, de l'élévation des immeubles jusqu'aux arrêts de bus et aux arbres qui bordent les rues. Ils sont abreuvés de données provenant de ses infrastructures - consommation énergétique des bâtiments, trafic routier, émissions de CO₂... - qui mesurent l'activité en temps réel à l'aide de capteurs. Le double virtuel permet de simuler nombre d'événements pour mieux s'y préparer: urgences

médicales, manifestations, pics de pollution, incendies, inondations... Il permet aussi aux urbanistes d'expérimenter avant d'intégrer des changements, comme la rénovation d'un quartier, la fermeture d'une route, la création d'un rond-point ou la mise en place d'une ligne de tramway.

Singapour, laboratoire d'expérimentations

La cité-État de Singapour mène l'un des projets les plus impressionnants en la matière. Baptisé Virtual Singapore et lancé en 2014, la création de ce jumeau numérique a nécessité un budget de 73 millions de dollars. Il a notamment été utilisé par les opérateurs télécoms pour optimiser la couverture de leurs réseaux sans fil, par les propriétaires d'immeubles pour identifier les meilleurs emplacements de panneaux solaires et par les urbanistes pour améliorer la conception des parcs et des voies de circulation.

Simuler ces développements sur le jumeau numérique avant de les mettre en œuvre permet d'analyser les coûts et la faisabilité ainsi que de minimiser les imprévus. Cela facilite aussi la coordination de projets impliquant différentes entités, comme l'installation de rampes pour personnes à mobilité réduite parallèlement à la rénovation des espaces verts. Le gouvernement envisage par ailleurs d'utiliser ce double virtuel pour tester le comportement des véhicules autonomes dans le trafic dense de la ville.

L'Ile-de-France modélisée en 3D pour plus de services

En France, la métropole de Rennes fait figure de pionnière. Elle s'est lancée dès 2017 dans un projet de jumeau numérique couvrant toute son agglomération. Elle a fait appel, comme Singapour, à la solution 3DExperiency de Dassault Systèmes. Là aussi, la motivation première est le partage de données - démographiques, topographiques, économiques - entre les différents acteurs de la ville afin de rendre les politiques publiques plus efficaces. Il est par exemple possible de simuler l'impact économique de l'aménagement d'un quartier en fonction du pourcentage de surfaces dédiées aux activités tertiaires, aux commerces et aux logements.

Cela implique évidemment la collaboration des entreprises privées, comme la SNCF. Cette dernière a entrepris en 2019 la création d'un jumeau numérique pour la gare de Rennes à l'occasion de sa rénovation. Il sera le premier d'une longue série, car la SNCF prévoit de numériser 3 000 gares en France. Quel intérêt pour une gare ? Pouvoir tester différentes dispositions de commerces, salles d'attente et autres afin de déterminer la faisabilité et l'impact sur les clients de potentiels aménagements. Ce double virtuel est également augmenté d'informations en temps réel provenant des équipements électriques afin d'optimiser la gestion du lieu. Escaliers mécaniques, ascenseurs, climatisation, éclairage, portes automatiques y sont visualisables et peuvent être contrôlés de façon centralisée.

L'Ile-de-France n'est pas en reste. La région s'est rapprochée en octobre 2019 de Siradel, une société rennaise rachetée par Engie et spécialisée dans la création de jumeaux numériques de villes. Elle a entrepris de modéliser l'ensemble du territoire francilien en 3D, en agrégeant et qualifiant les ensembles de données existantes, puis en les complétant avec ses propres données. Au total, plus de 10 000 jeux de données ont été réunis en un référentiel sur une durée de six mois, et 2,5 millions de bâtiments ont été modélisés en 3D. Des véhicules équipés de caméras et de capteurs (humidité, pollution...) circulent dans les rues pour compléter ce tableau en donnant la vision la plus exhaustive possible de la ville. À partir de cette modélisation, un premier service baptisé Mon potentiel solaire sera proposé aux habitants cette année. Il permettra de simuler l'ensoleillement d'un toit, mètre carré par mètre carré et sur une période d'un an, afin de déterminer son réel potentiel énergétique (et économique) avant d'installer des panneaux solaires. Autre service disponible dès 2020, Smart Works recensera tous les lieux où il est possible de travailler en Ile-de-France (espaces de coworking, médiathèques, universités...), que ce soit pour quinze minutes, quatre heures ou plusieurs jours.

LES PROJETS DE VILLES NUMÉRIQUES VONT SE MULTIPLIER



Le nombre de jumeaux numériques de villes va fortement progresser au cours des cinq prochaines années, d'après une étude publiée par ABI Research en septembre 2019. D'une poignée de projets l'an passé, on passerait à plus de 500 intégrations opérationnelles en 2025. Pour le cabinet, il ne s'agira pas dans la plupart des cas d'un seul grand modèle, mais de jumeaux numériques spécifiques de sous-éléments (réseau électrique, voiries, bâtiments connectés...) qui seront interconnectés. L'étude

indique également que d'importants investissements devront être réalisés pour tirer pleinement parti de ces simulations. Simplement rajouter quelques capteurs sur les infrastructures existantes ne suffira pas. Les trois acteurs en pointe sur la question sont Dassault Systèmes, dont la solution 3DExperiency est déployée à Rennes [photo], Microsoft et Siemens, suivis par Bentley Systems, CityZenith et IES.

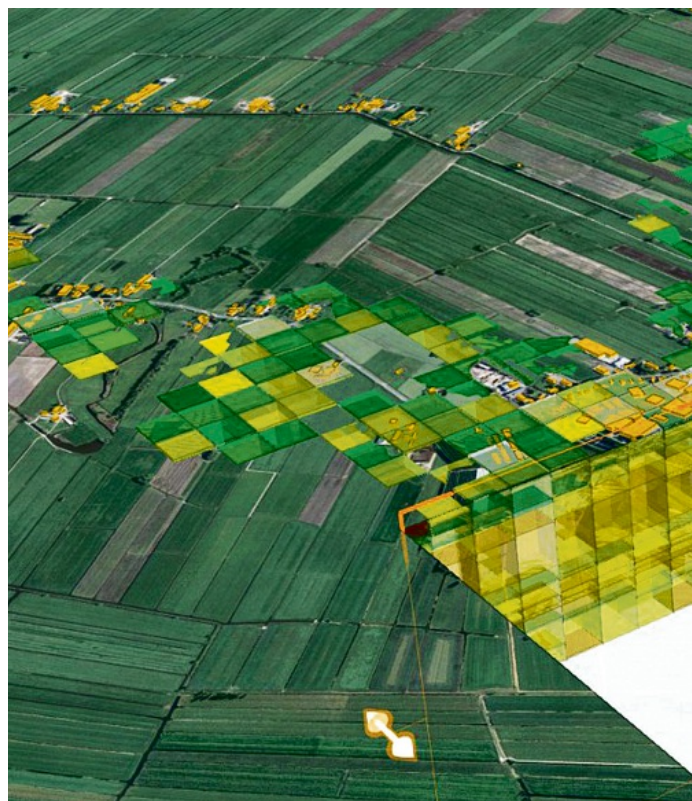
Le développement de jumeaux numériques accompagne la mise en place de smart cities à travers le monde. Le processus est lent, mais inexorable. Il varie aussi en fonction des régions du monde et des besoins des métropoles. Aux États-Unis, ces efforts sont centrés sur la mobilité. La ville de Philadelphie a par exemple utilisé une modélisation 3D pour simuler son système de transport public (arrêts de bus et de tramway) de manière à optimiser la desserte des zones d'habitation tout en limitant les coûts de prolongement de la ligne de tramway. En juin 2019, treize villes américaines ont fondé l'Open mobility foundation, la fondation pour une mobilité ouverte. Ces municipalités s'intéressent, entre autres, à la mise en place d'infrastructures connectées pour optimiser la gestion du trafic et à l'établissement de standards communs. Car la prochaine étape, c'est de connecter les jumeaux numériques de plusieurs villes. En Asie du Sud-Est, l'Association of southeast asian nations a lancé l'an passé un projet pilote pour créer un réseau de jumeaux numériques, qui inclut évidemment Singapour, mais aussi Jakarta (Indonésie) et Cebu (Philippines).

SOUS-SOLS

LES JUMEAUX DE L'INVISIBLE

Sous terre, la réplique du réel, qu'il soit géologique ou porteur d'infrastructures, est complexe. Déclinons dans le pétrole et la planification suburbaine.

MYRTILLE DELAMARCHE



Aux Pays-Bas, toute entreprise qui creuse ou explore le sous-sol doit intégrer ses données dans le BRO, le registre national du sous-sol.

Les industries extractives sont habituées à manier les données massives de la sismique et de la production. Elles les intègrent depuis longtemps dans des modèles 3D pour nourrir des simulations à grand renfort de puissance informatique. Si les industriels créent ainsi des modèles en 3D des champs pétrolifères, «je ne les appellerai pas jumeaux, on n'arrive jamais à être totalement prédictif», admet Dominique Janodet, directeur R&D exploration et production du groupe Total, qui a récemment inauguré son supercalculateur Pangea III. Le service Landmark d'Halliburton propose bien un jumeau numérique du puits,

LES MINES SE DUPLIQUENT AUSSI

Malgré la lente mue numérique du secteur minier, quelques pionniers développent des jumeaux numériques en modélisant les mines, de surface ou souterraines, en équipant les engins de capteurs et en y liant les données de production. C'est ce que propose l'équipementier suisse ABB, spécialiste de l'automatisation. Le groupe français Eramet mise sur les jumeaux numériques, de ses mines à ses fours métallurgiques. Avec les drones Delair, il numérise ses mines au Gabon en Nouvelle-Calédonie.

L'acquisition topographique par drone sera couplée au suivi des volumes produits, à la demande et au chargement du minerai sur les trains et les bateaux pour réduire les coûts. Les analyses par l'intelligence artificielle des données des drones doivent permettre la mise à jour continue des surfaces, des volumes et des pentes, améliorant aussi la sécurité des topographes.

tant sur la phase de construction qu'en cours d'exploitation, afin de maximiser son retour sur investissement. Mais dans son entièreté, un gisement n'est pas une simple poche contenant un fluide homogène. Plutôt une immense éponge extrêmement difficile à modéliser. Certains essaient. L'américain Chevron vise à équiper tous ses gisements en capteurs d'ici à 2024. Total envoie même des capteurs biodégradables dans le sous-sol. BP affirme avoir créé, avec l'aide de WorleyParsons, un jumeau numérique du champ pétrolifère de Clair Ridge en mer du Nord.

Alors que les compagnies pétrolières sont plus contraintes financièrement depuis la chute des cours du pétrole fin 2014, le jumeau numérique de leurs installations s'impose en levier majeur de réduction des coûts. «TechnipFMC a fourni à ses clients plus de 700 systèmes de production sous-marins monitorés en permanence. Ce sont des jumeaux numériques en activité», affirme Julie Cranga, la vice-présidente subsea digital du groupe. En septembre 2019, TechnipFMC a conclu un partenariat avec DNV GL pour développer la première méthodologie du secteur pétrole et gaz pour qualifier l'intégrité de la technologie du jumeau numérique. Actuellement testée chez un client, elle sera dévoilée au second semestre 2020. Parmi les leviers de sa transformation digitale, Total développe le programme Quantum, qui vise à installer un jumeau numérique sur chacun de ses actifs stratégiques, comme sur sa plate-forme Culzean, démarrée en juin 2019



D.R.

en mer du Nord. « Malgré le nombre de projets, les compagnies échouent à capturer la valeur des jumeaux numériques pour trois raisons, estime cependant le Boston Consulting Group (BCG). Elles privilégient les cas d'usages en fonction de la technologie disponible plutôt que de la valeur ajoutée, elles ignorent les besoins des opérateurs et sous-estiment à quel point les modes de travail doivent changer. »

Du réel aux scénarios prospectifs

Le BCG relève tout de même quelques succès. « Une compagnie pétrolière internationale voulait réduire les arrêts des compresseurs de gaz. Une équipe multidisciplinaire a collecté les données de 1 500 capteurs et a mesuré la bonne santé de douze systèmes clés affectant leur performance. En déployant la solution sur ses opérations offshore et onshore, le jumeau numérique a permis de réduire de plus de 40% les défaillances. » Selon le BCG, les projets de jumeau numérique doivent être choisis pour leur capacité à réduire les coûts d'investissement, à accélérer le démarrage de la production, à augmenter le rendement, à réduire les coûts d'exploitation et à améliorer la sécurité. Ce qui exige de nourrir le jumeau en données à haute fréquence. « Par exemple, optimiser le contrôle des valves exige souvent de faire passer la fréquence des données sous la seconde. » Une réplique numérique 3D complète de l'installation dans son environnement, mise à jour en temps réel avec les données collectées sur le site physique permet, outre l'observation de la situation réelle, de simuler des scénarios prospectifs. Ce qui sera aussi précieux pour développer le stockage de carbone dans les gisements d'hydrocarbures. « Le jour où on injectera du CO₂ dans les puits, il faudra être capable de

L'USINE NOUVELLE

Pratique, Concret, Utile

Votre abonnement à l'offre Premium comprend :



L'HEBDOMADAIRE ET SA VERSION DIGITALE

Disponible la veille de sa parution. Incluant les numéros spéciaux : Innovation, Aéronautique, Agroalimentaire, Ingénieurs



LE WEB ABONNÉS

Plus de 100 articles exclusifs par semaine

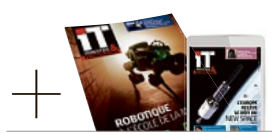
- Le baromètre unique des investissements industriels
- Les newsletters thématiques
- Les archives les plus complètes de l'industrie en France



+ de 16 000 sites industriels en France

LA BASE INDUSTRIE EXPLORER

La base de données de l'industrie et de ses décideurs (en mode consultatif et hors contacts nominatifs)



SON SUPPLÉMENT TECHNOLOGIQUE,

Industrie & Technologies

Je m'abonne en 3 clics sur www.usinenouvelle.com

PAYEZ EN LIGNE PAR CB ET ACCÉDEZ IMMÉDIATEMENT À TOUS NOS CONTENUS SUR USINENOUVELLE.COM

L'USINENOUVELLE

BULLETIN D'ABONNEMENT À RENVoyer ACCOMPAGNÉ DE VOTRE RÉGLEMENT À : L'Usine Nouvelle - Service Abonnements - Antony Parc II - 10, place du Général de Gaulle BP 20156 - 92186 Antony Cedex - Fax : +33(1) 77 92 98 15 - Email : abo@infopro-digital.com

Formule Premium 12 mois L'Usine Nouvelle + Industrie & Technologies pour 449€^{TTC*} (UNCI01D)

L'USINE NOUVELLE - L'hebdomadaire et sa version digitale + L'accès illimité à l'ensemble des contenus et services du site + La base de données Industrie Explorer (mode consultation, hors contacts nominatifs). **En supplément le mensuel dédié à l'innovation, INDUSTRIE & TECHNOLOGIES.**

Formule 12 mois L'Usine Nouvelle pour 369€^{TTC*} (US10D03)

JE RÉGLE PAR :

- Chèque bancaire à l'ordre de L'Usine Nouvelle
- À réception de facture
- Mme M. Nom : _____

Date et signature

Prénom : _____

Société : _____

Adresse : _____

Code postal : _____ Ville : _____

Tél. : _____

USI2005

Email : _____ @ _____

NOMINATIF ET EN MAJUSCULES - INDISPENSABLE POUR OUVRIR VOS ACCÈS WEB

*TVA : 2,10% - Offre France métropolitaine réservée aux nouveaux abonnés, valable jusqu'au 31/08/2020 avec Industrie Explorer (en mode consultation et hors contacts nominatifs) et hors indices & Cotations - Votre abonnement comprend durant cette période la réception de 48 n° dont 4 n° doubles de L'Usine Nouvelle. Conformément aux lois Informatique et Libertés du 06/01/1978 et LCEN du 22/06/2004, vous pouvez accéder aux informations, les rectifier et vous opposer à leur transmission éventuelle en écrivant au Service Abonnements GISI - SAS au capital de 38 628 352 € - RCS Paris 442 233 417 - N° TVA FR 29442233417 - Toute commande implique l'acceptation des CGV consultables à : http://www.infopro-digital.com/pdf/CGV_abo_Groupe.pdf. Pour consulter les règles RGPD du groupe : <https://www.infopro-digital.com/rgpd-gdpr/>

SIMULATION

modéliser ce qui se passe sur une durée bien plus longue que les vingt à trente ans d'exploitation», précisait Dominique Janodet lors d'une table ronde sur les géosciences prédictives pour les 60 ans du BRGM.

Les Pays-Bas modélisés de haut en bas

Loin du secteur extractif, les jumeaux numériques du sous-sol se déploient aussi en zone urbaine. Aux Pays-Bas, une loi de 2015 oblige l'ensemble des communes à créer et alimenter un jumeau numérique de leurs constructions (en lien avec le BIM, Building information modelling, pour la modélisation 3D et le suivi des bâtiments), mais également de leurs infrastructures souterraines. Fondations et parkings des immeubles, tunnels de métro, câbles télécoms, canalisations d'eau, de gaz... Tous les secteurs d'activité requérant des installations souterraines sont concernés. Depuis janvier 2018, toute entreprise qui creuse ou explore le sous-sol a l'obligation d'intégrer ses données dans le Basisregistratie Ondergrond (BRO), le registre national du sous-sol néerlandais. Toutes ces données sont accessibles au public via le portail d'open-data PDOK. La raison de cette législation peu commune? «Permettre à nos villes de faire face aux défis climatiques à venir. Près des deux tiers de notre pays sont situés sous le niveau de la mer et nous investissons 7 milliards

d'euros par an dans des ouvrages de défense contre l'eau», explique Martin Peersman, le gestionnaire de programme sous-sol au ministère de l'Intérieur. En outre, «la planification de notre sous-sol, suroccupé, est indispensable. Nous avons la troisième densité de population mondiale.»

Au Portugal, la société Aguas do Porto s'est appuyée sur Bentley Systems pour créer un jumeau numérique de ses eaux potable, pluviales et usées afin d'améliorer la résilience de la ville aux inondations. Outre OpenFlowsWaterOPS qui permet de gérer les services hydriques d'un territoire, Bentley propose des outils géotechniques comme Plaxis, SoilVision, Keynetix (acquis en 2019), gINT... La France, elle, a lancé un programme de référencement de ses infrastructures sensibles souterraines, à compléter d'ici à 2026. Et Paris envisage de numériser son dédale d'égouts. On est loin du jumeau numérique, mais c'est un premier pas.



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



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



01 77 92 96 94



info.ie@infopro-digital.com

L'USINENOUVELLE



AU CŒUR DES TECHNOLOGIES NUMÉRIQUES

HPCBIGDATASIMULATION

Les clés du futur

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

- assurer la maîtrise des technologies numériques par les entreprises et les 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

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

Rejoignez-nous!

LES LIGNES DE PRODUCTION SE DÉDOUBLENT

Mise en service virtuelle, qualité, maintenance prédictive... Les constructeurs allemands sont entrés en phase de déploiement des jumeaux numériques. Mais le manque de standardisation freine encore les projets d'ampleur.

GWÉNAËLLE DEBOUTTE, À BERLIN

Sur son site de Ratisbonne, BMW a doublé le système de convoyage des sièges de la Classe 1 par un jumeau numérique.

Sur le site de Volkswagen de Zwickau, le jumeau numérique des robots de pose des joints de portes a permis d'augmenter le taux de disponibilité de la ligne de 20 %, le faisant passer à plus de 90 %. Jusque-là, le poste souffrait d'une importante instabilité : la mauvaise corrélation entre la vitesse de rotation du robot et la pression appliquée sur les joints conduisait à des défauts d'étanchéité qui devaient être corrigés manuellement, d'où une perte de temps. Entre 2018 et 2019, l'équipe chargée de la numérisation de l'usine décide donc de le doubler virtuellement pour améliorer son efficacité. Tout est numérisé : la vitesse de rotation du robot, la température du joint, la pression d'application, le modèle de porte... Combinées et réactualisées en temps réel, ces informations permettent de déterminer les paramètres optimaux de fonctionnement du robot, en fonction de chaque type de porte. « Le taux de défaut est tombé à zéro et la productivité a progressé de 30 % », se félicite Frank Göller, le directeur de la production numérique.

À l'instar de Volkswagen, tous les constructeurs automobiles allemands déploient aujourd'hui des jumeaux numériques dans leurs usines. « Il existe de très nombreux domaines d'application, liste Olaf Sauer, chargé de l'automatisation à l'Institut Fraunhofer d'optronique, d'ingénierie des systèmes et d'évaluation d'images (IOSB). Cela peut aller du jumeau de la voiture, des pièces détachées, à celui de l'ordinateur de bord pour améliorer l'expérience de conduite. En production, on les retrouve en qualité prédictive, sur la presse, dans la soudure, le collage ou encore à l'atelier peinture. » Pour

le groupe BMW, ils représentent un puissant outil permettant un gain de temps grâce à la mise en service virtuelle. « Chaque introduction d'un nouveau modèle ou changement d'une installation nécessite d'arrêter la ligne, puis de la relancer progressivement, en la testant avec des préséries pour éviter les erreurs de programmation et tout risque de collision des robots, explique Markus Baumann, le responsable de la mise en service virtuelle chez BMW. Cela prend du temps et le moindre retard coûte très cher. »

Un déploiement ciblé

Le jumeau numérique permet de tester l'équipement virtuellement avant de lancer la construction ou la modification de l'infrastructure dans le monde réel. Celui-ci est configuré avec un modèle 3D de la ligne, sa cinématique, associée à toute l'infrastructure mécanique, mécatronique, électrique, informatique et logicielle. Le modèle est mis en mouvement pour anticiper les problèmes et les corriger en amont. « Ce travail qui peut prendre un à deux ans, nous fait au final économiser beaucoup de temps », estime Martin Langosch, expert en numérisation de l'équipe de mise en service virtuelle. C'est ainsi que le site de BMW de Leipzig a réussi à remplacer l'intégralité des châssis suspendus de transport des carrosseries de la halle de montage en deux semaines seulement, pendant les vacances de Noël 2019, contre plusieurs mois sans jumeau numérique.

En dépit de ce gain significatif, l'investissement nécessaire à l'installation de jumeaux numériques et la complexité de tels dispositifs restent des freins importants. « L'idée n'est

LE RENDEZ-VOUS INTERNATIONAL
CONFÉRENCES | ATELIERS | EXPOSITION

THE INTERNATIONAL MEETING
CONFERENCES | WORKSHOPS | EXHIBITION

NOUVELLES DATES
NEW DATES

Forum 2020 Teratec

Unlock the future!

SIMULATION
BIG DATA
HPC
IA

PARIS ILE-DE-FRANCE

13 & 14 OCTOBRE

OCTOBER 13 & 14

PLATINUM SPONSORS



GOLD SPONSORS



SILVER SPONSORS



PARTENAIRE
EUROPA VILLAGE





D.R.

« Il manque un format standardisé pour l'échange des données »

ARNDT LÜDER

Directeur de la chaire Systèmes et automatisation de la production à l'Institut pour la science du travail et l'automatisation des usines, à l'université Otto von Guericke de Magdebourg

Comment les constructeurs allemands investissent-ils dans les jumeaux numériques ?

L'enjeu est énorme et tous les constructeurs y consacrent d'importants moyens techniques, humains et financiers. D'une part, ils mènent des projets, chacun de leur côté, pour accumuler de l'expérience et identifier les

difficultés. D'autre part, il y a une grande demande d'échanges de compétences. Ils y ont tout intérêt, car leur cœur de métier reste de produire des voitures et non pas de maîtriser le meilleur jumeau numérique.

Sont-ils avancés ?

Toutes les entreprises se sont lancées depuis plusieurs années dans la première phase, à savoir centraliser toutes les données d'ingénierie qui décrivent un processus de manière cohérente. La deuxième phase consiste à automatiser l'accès en temps réel aux données nécessaires pour faire vivre le modèle. Je pense que dans cinq ans

maximum, nous verrons les premières lignes de production automobile utilisant de tels jumeaux numériques.

Quels sont les freins qui persistent ?

Il manque une standardisation dans l'échange de données. Il existe de nombreux groupes de travail sur le sujet. Par exemple, le concept d'« administration shell » (couche de gestion) de la plate-forme Industrie 4.0 définit comment les données doivent être décrites et structurées dans le jumeau numérique. De son côté, le format AutomationML a une approche différente et vise à mettre au point un standard, sur le modèle de l'OPC-UA, qui serait utilisé dans les protocoles de communication.

////////////////////

pas de les déployer partout, poursuit Markus Baumann. Nous analysons la pertinence : est-ce une étape critique en termes de qualité, de productivité, de goulet d'étranglement ? » Sur le site de Ratisbonne, le système de convoyage des sièges de la BMW Classe 1 a été doublé par son jumeau. « Tous les sièges passent par cette unique voie, explique Martin Langosch. L'examen du ratio bénéfices-coûts a conclu à l'intérêt de la sécuriser avec un double virtuel. » Le degré de sophistication est également variable. Si BMW alimente ses « digital twins » en données d'ingénierie, l'acquisition automatique des données de production en temps réel pour nourrir les jumeaux n'est pas systématique. « Nos modèles servant à la mise en service virtuelle ne sont pas encore en mouvement et alimentés par des informations comme le déplacement, la vitesse, la température, la pression... », concède Markus Baumann.

Simplifier les infrastructures informatiques

Chez Volkswagen non plus, on n'en est pas encore à la généralisation des jumeaux dynamiques, réactualisés en temps réel. Ceux-ci sont déployés ponctuellement, comme sur la presse, à Wolfsburg, ou à la pose du pare-brise chez Audi, à Ingolstadt. Le groupe ne dispose pas de chaînes complètes où l'ensemble des équipements, des opérateurs et des flux de matériels seraient simulés et prédits en temps réel. L'entreprise a aussi fait le choix de limiter le nombre de données. « Potentiellement, les capteurs nous fournissent une quantité énorme d'informations, mais nous ne sélectionnons que les plus pertinentes. Certains processus mesurent l'humidité de l'air, ce dont nous n'avons pas encore besoin. Dans le futur, avec l'amélioration et la simplification des interfaces infor-

matiques, nous en utiliserons davantage pour rendre nos jumeaux encore plus précis », décrit Frank Göller.

Reste cependant à relever quelques défis, à commencer par la standardisation. « Nous achetons les données auprès de nos fournisseurs pour les introduire dans nos modèles 3D, explique Martin Langosch. Mais comme celles-ci ont des qualités et des formats différents, nous devons les convertir à l'aide d'un assistant système pour qu'elles puissent communiquer avec les outils de planification virtuelle. » L'objectif est donc de développer un format universel, afin que les données aient un niveau de détails et un comportement d'exécution uniformes [lire ci-dessus]. Par ailleurs, la modification de l'infrastructure informatique existante, qui doit passer d'une structure monolithique à une structure modulaire et dynamique, s'avère complexe. Volkswagen a ainsi fait appel à Amazon Web Services pour développer son architecture cloud et utilise les solutions de Siemens pour ses applications. « Le problème est que nous ne pouvons pas arrêter notre système informatique actuel sans stopper la production, ce qui est impossible, précise Frank Göller. La complexité réside donc dans le fait que les algorithmes étant très imbriqués, nous devons les extraire avec précaution pour les couper, les réécrire et les déplacer dans la nouvelle infrastructure d'applications. » Un travail minutieux, lancé en 2018 et qui devrait durer encore trois à cinq ans.

////////////////////



**Les articles
de *L'Usine Nouvelle*
sont protégés
par le droit d'auteur**

Avant d'en faire des copies dans le cadre de votre activité professionnelle, assurez-vous qu'un contrat d'autorisation a été signé avec le CFC



www.cfcopies.com

01 44 07 47 70



ICROSSOFT

JEU VIDÉO

FLIGHT SIMULATOR REPOUSSE LES LIMITES DU RÉALISME

La dernière version du simulateur de vol récréatif de Microsoft a été développée par Asobo, une entreprise bordelaise. Grâce aux données stockées dans le cloud, elle offre un réalisme impressionnant.

JULIEN BERGOUNHOX ////////////////



Les postes de pilotage sont reproduits à la perfection, même les « glass cockpits ».

LES DATES CLÉS DE FLIGHT SIMULATOR

- **1978**
Première version du logiciel
- **1988**
Premiers graphismes 3D
- **2006**
Sortie de Flight Simulator X
- **2019**
Annonce du nouveau projet

Le projet du nouveau Flight Simulator a été annoncé en juin 2019, treize ans après la sortie du précédent épisode, Flight Simulator X. Il s'agit du treizième titre de la série. Il est développé par la société bordelaise Asobo Studio, sous la tutelle de Microsoft. « Nous en avons eu l'idée à la suite de notre collaboration avec Asobo Studio sur l'application HoloTour pour notre casque de réalité augmentée HoloLens, raconte Jörg Neumann, le directeur du projet Flight Simulator chez Microsoft. Asobo avait recréé le Machu Picchu à partir des données de Bing Maps et le résultat était très réaliste. Cette entreprise possède cet excellent moteur 3D propriétaire, et j'étais curieux de savoir si celui-ci serait capable de faire la même chose à très grande échelle. Alors, il y a quatre ans, j'ai appelé son PDG et cofondateur Sebastian Wloch pour lui demander si on pouvait essayer avec Seattle. En quelques semaines, un petit Cessna volait au-dessus de cette ville. C'est à ce moment-là que nous avons su que nous tenions quelque chose. »

Simuler la Terre entière

Cette décision correspond également à un changement de stratégie chez Microsoft, qui a choisi de renforcer sa production pour le marché du jeu vidéo. Le mot d'ordre : profiter au maximum des technologies internes pour créer une expérience impossible à réaliser ailleurs. Le projet Flight Simulator s'appuie ainsi sur l'infrastructure cloud Azure et les données cartographiques du moteur de recherche Bing pour recréer la Terre entière avec une fidélité graphique hors du commun. Cela représente plus de 2 pétaoctets (2 000 téraoctets) de photos aériennes et de données satellites. « Nous recevons de nouvelles données issues de Bing en permanence. Aujourd'hui, par exemple, nous avons obtenu des données polaires. C'est un processus continu, et l'infrastructure Azure nous permet d'intégrer les données rapidement », explique Jörg Neumann.

Pour y parvenir, le moteur 3D d'Asobo se révèle déterminant, car il est capable d'afficher ces éléments en temps réel alors qu'ils sont stockés sur le cloud, tout en y ajoutant des textures et des effets de lumière réalistes et en gérant le rendu 3D de l'avion en local. « Nous travaillons sur ce moteur depuis des années et nous l'utilisons pour tous nos jeux, déclare le PDG Sebastian Wloch. Il est capable d'afficher de très grands environnements, ce qui est très difficile à faire, en raison des problèmes de précision, de densité d'objets et de gestion de la mémoire. Nous avons même obtenu un

En 1976, Bruce Artwick, étudiant à l'université de l'Illinois, démontre, dans sa thèse de fin d'études, qu'il est possible de modéliser le vol d'un aéronef sur un microprocesseur 8 bits, le Motorola 6800. Deux ans plus tard, il publie, sur l'Apple II, Flight Simulator, un programme appelé à devenir un best-seller. En 1981, pour prouver la supériorité des nouveaux ordinateurs 16 bits, dont le fameux IBM PC, Microsoft obtient la licence du logiciel et lance, l'année suivante, la première version de Microsoft Flight Simulator. Depuis, bien des choses ont changé. Flight Simulator s'est imposé comme la série de simulateurs de vol récréatifs la plus connue et la plus complète au monde. Et le prochain épisode promet d'offrir un réalisme révolutionnaire.

La reproduction des villes est tellement précise qu'on peut les reconnaître d'un coup d'œil. Ici, à bord d'un Icon A5, vue sur Bay Bridge et le quartier Fisherman's Wharf de San Francisco.



record Guinness en 2009, pour le jeu Fuel. » Cette approche hybride inclut aussi la génération procédurale du terrain, de la végétation et des bâtiments dans les deux millions de villes que contient le simulateur. Ils sont créés automatiquement à partir des données cartographiques, en suivant un ensemble d'algorithmes complexes.

Des conditions météo plus vraies que nature

Évidemment, les structures humaines les plus importantes pour un simulateur de vol sont les aéroports. Il en existe 44 000 à travers le monde, et les équipes de Flight Simulator comptent bien tous les inclure dans le logiciel. Il en comporte déjà 37 000, créés ou édités manuellement pour correspondre au mieux à la réalité. Ils sont peuplés de voyageurs et de travailleurs (générés procéduralement), qui s'activent de façon réaliste dans les terminaux et sur les pistes. « Sur les 200 personnes qui planchent sur le projet à travers le monde, 50 sont dédiées presque intégralement à la création et la modification de l'environnement, en particulier les voies de circulation et les pistes des aéroports. Les matériaux et surfaces des pistes (tarmac, herbe haute ou plate, terre...) sont également pris en compte pour apporter au pilote les sensations les plus exactes possible lorsqu'il est aux commandes. « Nous pouvons gérer différents types de frictions, statiques ou dynamiques, et avec une surface plus ou moins inégale », détaille Sebastian Wloch.

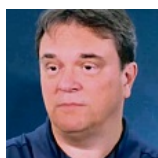
Si le sol a son importance, l'essentiel du temps dans un simulateur de vol se passe dans les airs. Là aussi, le nouveau Flight Simulator atteint un niveau de fidélité et de réalisme sans commune mesure avec ses prédécesseurs. À commencer par la simulation de l'atmosphère, du niveau de la mer jusqu'aux hautes altitudes. « Nous simulons 60 couches verticales différentes », précise Sebastian Wloch. La pression atmos-



Visualisation de la façon dont les courants aériens interagissent avec le relief du terrain.

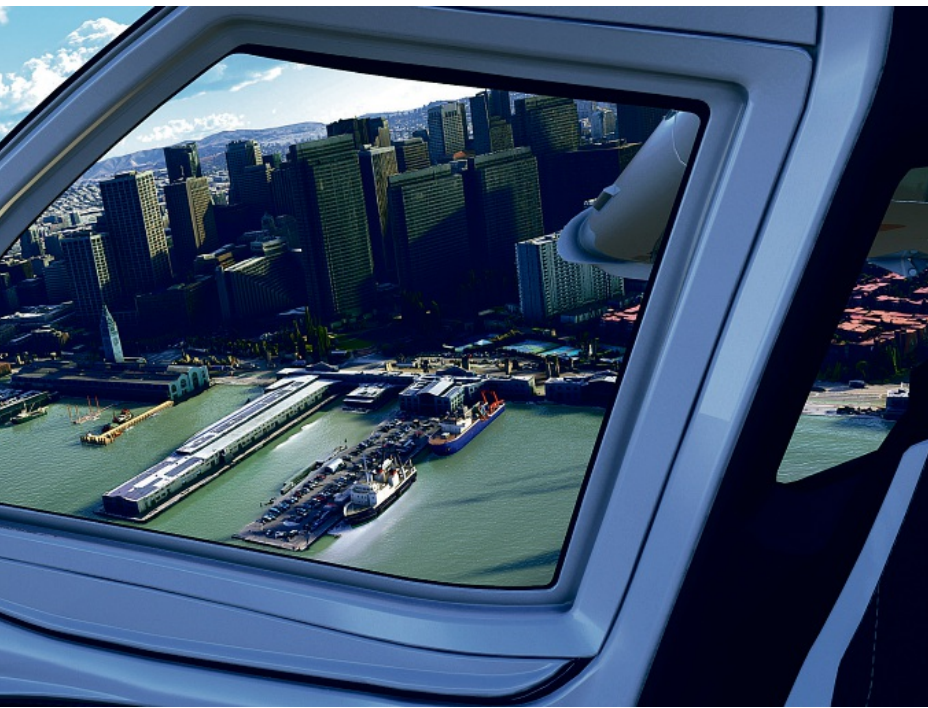
phérique, la vitesse et la direction du vent à différentes altitudes ou encore l'humidité de l'air sont autant de données prises en compte. Les jet streams sont présents, tout comme les turbulences, et sont reproduits correctement du point de vue du modèle physique du simulateur. « Si je vole dans une vallée ou le long d'une crête de montagne, les courants ascendants seront là où ils se trouveraient en réalité, car nous simulons l'interaction du vent avec le terrain », poursuit le PDG d'Asobo Studio. Le vent fait même bouger l'herbe ou les feuilles des arbres.

La simulation de l'atmosphère se fait sur la machine locale, mais les conditions météorologiques sont gérées dans le cloud. Les nuages sont volumétriques, ce qui signifie qu'ils peuvent être traversés et que leur densité varie selon les endroits. Tous les types de nuages sont représentés, et leur formation et dissolution dépendent des courants, comme dans la réalité. Ils sont visibles jusqu'à 600 kilomètres de distance. Ils peuvent être chargés de pluie, qui est elle-même volumétrique et permet de reproduire fidèlement l'impact



Jörg Neumann, directeur du projet Flight Simulator chez Microsoft

« Nous continuerons d'étoffer Flight Simulator. Nous allons affiner notre représentation de la Terre jusqu'à nous approcher d'un jumeau numérique. »



MICROSOFT

UN OUTIL DE FORMATION POUR LES PILOTES

Fin 2007, Aces Game Studio, alors chargé de la série Flight Simulator, annonçait la création de Microsoft Enterprise Simulation Platform (ESP), une plate-forme de simulation dédiée aux entreprises et reposant sur Flight Simulator X. En 2009, après la fermeture du studio, le géant américain de la défense Lockheed Martin a racheté le code source et la propriété intellectuelle de ce projet pour créer Prepar3D, un simulateur de vol pour la formation de pilotes professionnels. Régulièrement mis à jour, il est toujours exploité, même s'il reste rudimentaire par rapport à cette nouvelle version de Flight Simulator, qui utilise des technologies modernes. Microsoft pourrait-il la décliner pour la formation des pilotes ? « Notre simulateur s'adresse aux joueurs, pas à la formation, indique Jörg Neumann, le directeur du projet Flight Simulator. Cependant, nous recevons tous les jours des demandes de ce type et nous sommes à l'écoute. Nous n'ignorons pas qu'il y a une pénurie de pilotes dans le monde. Pour l'instant, notre priorité est de finir notre simulateur, mais il est possible à l'avenir que nous fassions quelque chose dans ce domaine. »

////////////////////



L'opacité des nuages varie en fonction de leur densité, comme en vrai.

des gouttes sur le pare-brise de l'avion, jusqu'à la façon dont elles glissent dessus en fonction de la direction et de la vitesse de l'appareil. Il en va de même pour le brouillard, la neige ou le givre, qui se forme en temps réel.

La combinaison de données météo et d'un modèle physique permet par ailleurs une gestion beaucoup plus exacte de la lumière, qui contribue grandement à la qualité visuelle de l'ensemble. Les nuages créent des ombres, que ce soit au sol ou les uns sur les autres, et leur opacité fluctue en fonction de leur composition. Les montagnes portent leur ombre sur le sol et sur les nuages de basse altitude. La mer et les lacs reflètent la lumière du soleil. La diffusion de la lumière prend en compte ces paramètres, ainsi que les conditions atmosphériques (température, humidité, densité, pollution de l'air...) pour offrir un résultat très réaliste. Ainsi, même des arcs-en-ciel peuvent se former. Le cycle du jour et de la nuit est également reproduit : les lumières des aéroports, des routes et des villes éclairent les nuages, tandis que la lune et les étoiles illuminent le sol. Clou du spectacle : les utili-

sateurs peuvent non seulement régler l'heure du jour ou les conditions météorologiques selon leur bon vouloir, mais aussi recevoir les données météo en temps réel depuis le cloud, pour voler comme en conditions réelles. « La résolution spatiale varie, elle peut être de 3 ou 10 kilomètres, selon l'endroit où vous vous trouvez sur le globe. C'est globalement très précis. Et nous extrapolons l'évolution de la météo, donc, même si nous récupérons des données vieilles de trente minutes, cela reste très juste », ajoute Jörg Neumann.

Un trafic aérien dense

Le modèle physique du jeu et toutes ces informations participent au réalisme du modèle de vol. Microsoft se montre si confiant qu'en septembre dernier, il a fait voler des journalistes en Cessna au-dessus de Seattle après leur avoir organisé un baptême sur Flight Simulator, avec un manche à volant Saitek Pro Flight et un palonnier Thrustmaster TPR. Le verdict était unanime : des sensations très proches de la réalité, renforcées par une parfaite reproduction du cockpit et des instruments. L'un des reproches faits aux simulateurs par le passé était leur ciel vide. Au maximum, 16 ou 24 personnes pouvaient voler en même temps sur un serveur dédié. Or des dizaines de milliers d'avions volent chaque jour. Là

SIMULATION

Le simulateur s'accommode aussi bien de tout petits aéronefs...



...que d'avions de ligne, comme ici l'A320neo.

aussi, le cloud permet un changement de paradigme. Les développeurs ont créé un système simple, que l'on active ou désactive, sans réglages, et grâce auquel on peut voir tous les autres joueurs en même temps. « Quand je vole au-dessus de Bordeaux, il y a toujours quatre ou cinq autres avions aux alentours. Nous voulions recréer cette camaraderie », commente Sebastian Wloch.

Actuellement en version alpha, Flight Simulator n'a pas de date de sortie annoncée, mais plusieurs milliers d'utilisateurs dévoués passent des heures dessus et fournissent de précieux feedbacks à l'équipe de développement. Une dizaine d'appareils sont disponibles, parmi lesquels le Cessna 172, le Robin DR400, le Daher TBM 930 ou l'Airbus A 320neo. Ils sont reproduits dans leurs moindres détails. Microsoft s'est aussi associé à Boeing, Diamond Aircraft et Icon Aircraft. « Nous allons introduire certains avions représentatifs, mais nous laissons de la place aux développeurs tiers qui se chargent des modifications pour le logiciel. Ils font partie intégrante de l'écosystème, et nous sommes en contact avec des centaines d'entre eux. Nous mettons à leur disposition un kit de développement très complet. L'objectif est d'avoir

des centaines d'aéronefs », souligne Jörg Neumann. Cette modularité et cette évolutivité représentent un aspect essentiel du projet. « Flight Simulator n'est pas un jeu typique qu'on termine de développer avant de le vendre. Nous sommes concentrés sur certaines priorités pertinentes pour un simulateur de vol, notamment en fonction des retours de nos testeurs, mais nous continuerons de l'étoffer. Nous allons affiner notre représentation de la Terre, par exemple, en ajoutant le trafic routier ou maritime, les feux de forêt ou les migrations des animaux, jusqu'à nous approcher d'un jumeau numérique. Mais cela prendra des années. »





AU CŒUR DES TECHNOLOGIES NUMÉRIQUES

Le Campus Teratec : pôle européen HPCBIGDATA SIMULATION

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

Rejoignez-nous!

BullSequana Edge

Propulser vos capacités d'inférence IA
et d'analyse en temps réel tout en assurant
la sécurité de vos données.



atos.net/BullSequanaEdge



Atos