

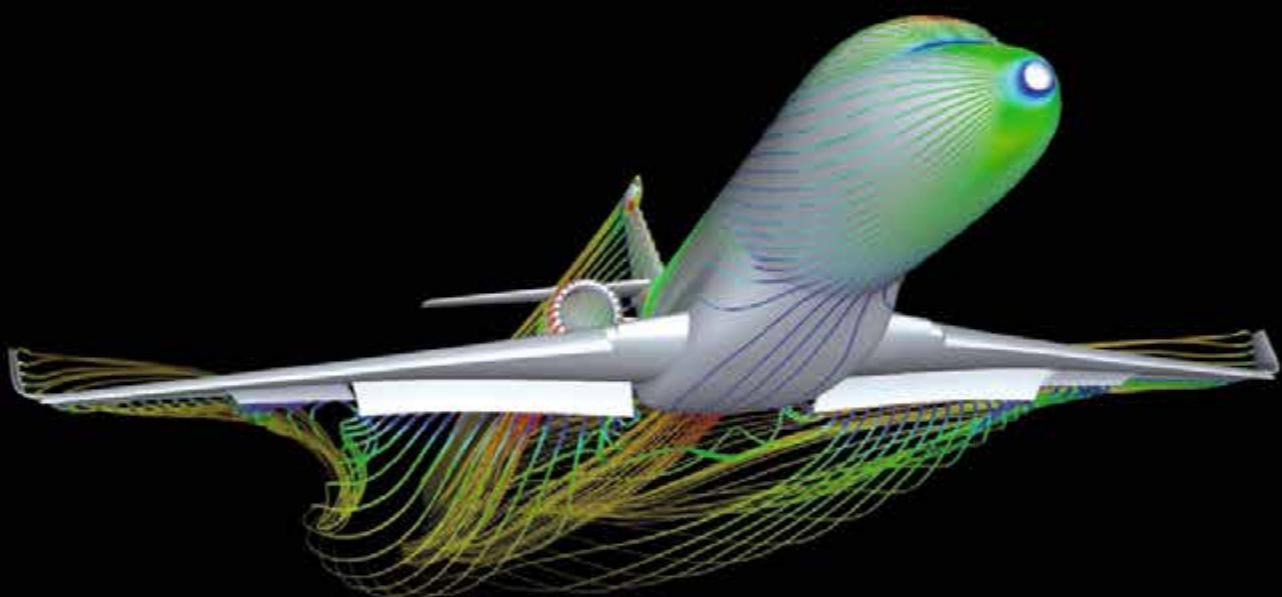
www.usinenouvelle.com

L'USINE NOUVELLE



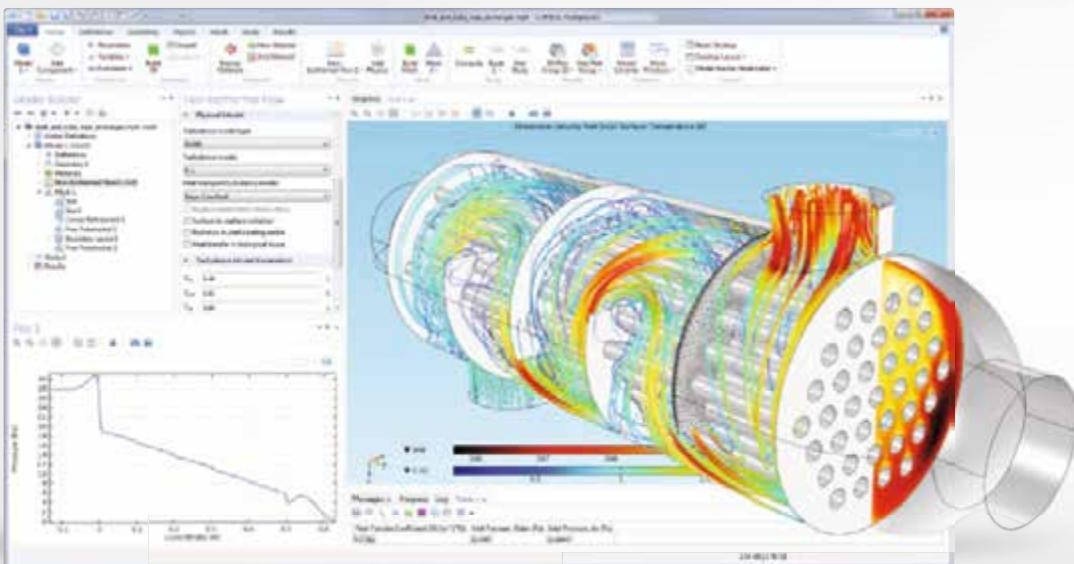
www.industrie-techno.com

SUPPLÉMENT AU NUMÉRO 3372 DU 10 AVRIL 2014. NE PEUT ÊTRE VENDU SÉPARÉMENT



LES CHAMPIONS DE LA
SIMULATION

ECHANGEUR DE CHALEUR: Modèle d'échangeur tube calandre permettant l'échange de chaleur entre eau (tube) et air (calandre).



TESTEZ ET OPTIMISEZ VOS DESIGNS AVEC

COMSOL MULTIPHYSICS®

Nos outils de simulation multiphysique intègrent tous les effets physiques du monde réel. De ce fait, ils reproduisent avec précision le comportement de vos designs. Pour en savoir plus sur COMSOL Multiphysics, rendez-vous sur www.comsol.fr/introvideo

Product Suite

COMSOL Multiphysics

ELECTRICAL

- AC/DC Module
- RF Module
- Wave Optics Module
- MEMS Module
- Plasma Module
- Semiconductor Module

MECHANICAL

- Heat Transfer Module
- Structural Mechanics Module
- Nonlinear Structural Materials Module
- Geomechanics Module
- Fatigue Module
- Multibody Dynamics Module
- Acoustics Module

FLUID

- CFD Module
- Mixer Module
- Microfluidics Module
- Subsurface Flow Module
- Pipe Flow Module
- Molecular Flow Module

CHEMICAL

- Chemical Reaction Engineering Module
- Batteries & Fuel Cells Module
- Electrodeposition Module
- Corrosion Module
- Electrochemistry Module

MULTIPURPOSE

- Optimization Module
- Material Library
- Particle Tracing Module

INTERFACING

- LiveLink™ for MATLAB®
- LiveLink™ for Excel®
- CAD Import Module
- ECAD Import Module
- LiveLink™ for SolidWorks®
- LiveLink™ for SpaceClaim®
- LiveLink™ for Inventor®
- LiveLink™ for AutoCAD®
- LiveLink™ for Creo™ Parametric
- LiveLink™ for Pro/ENGINEER®
- LiveLink™ for Solid Edge®
- File Import for CATIA® V5



sommaire

ENTRETIEN

- Philippe Vannier, PDG de Bull ▶ P.4

DOSSIER

- Les champions de la simulation ▶ P.6

TRIBUNE DE MARQUE

Intel : le laboratoire Exascale Computing Research en route vers l'exascale

P.13

PORTFOLIO

- Ces étonnantes images de la nature en équation ▶ P.22

PRODUCTION

- Passer les process au vert ▶ P.26

RECHERCHE

- Des projets XXL ▶ P.28

SUCCESS-STORY

- Optis, l'hyper réaliste ▶ P.34

BUREAU D'ÉTUDES

- Comment tirer profit du calcul intensif ▶ P.36

OUTILS

- Une physique, un logiciel ▶ P.38

MÉTIERS

- Une longue chaîne de compétences ▶ P.41

Président-directeur général : Christophe Czajka

Directeur général délégué : Julien Elmaleh

Directeur de la rédaction : Thibaut De Jaegher

Directrice adjointe de la rédaction : Anne Debray

Coordinatrice éditoriale : Aurélie Barbaux

Chef d'édition : Guillaume Dessaix

Direction artistique : Eudes Bulard

Ont participé à ce numéro : Dorothee Coelho (secrétariat de rédaction) ; Patrick Garcia (maquette) ; Jean-François Prevéraud (rédacteur) et la rédaction de « L'Usine Nouvelle »

Supplément de « L'Usine Nouvelle » n° 3372

du 10 avril 2014 (commission paritaire n° 0712T81903)

Ne peut être vendu séparément.

Une publication du groupe Gisi, Antony Parc II - 10 place du Général-de-Gaulle - BP 20156 - 92186 Antony Cedex.

Directeur de publication : Christophe Czajka

Impression : Roto France Impression 77185 Lognes

Photo de couverture : Dassault Aviation

EN ATTENDANT BIG DATA...

H

ypermédiatisé, le big data est de toutes les conférences, de tous les programmes de recherche ou industriels. En France, c'est même la seule technologie qui fasse à la fois l'objet d'un des 34 plans de la Nouvelle France industrielle d'Arnaud Montebourg, et d'une des sept ambitions de la commission Innovation 2030 d'Anne Lauvergeon pour faire émerger des champions nationaux. Sûrement à raison. Selon les chercheurs du CNRS, le big data a bien des applications industrielles. Il passe par la définition de modèles prédictifs mathématiques issus de données réelles, plus fiables que la simulation. Plus fiables, vraiment ? À voir. Car pour l'instant, le big data est surtout utilisé par les spécialistes du marketing, qui cherchent à donner du sens à l'avalanche de données que l'on ne collectait pas auparavant. Des données numériques produites à profusion par les internautes et, demain, par des milliards d'objets connectés. D'où l'idée d'en prévoir le comportement.

De la simulation donc ? Pas tout à fait. Le big data ne tient pas compte de la physique, mais des données de capteurs, pour extraire des comportements. Ils remplacent des modèles préconçus par ce que l'on observe directement. « On réinvente la physique », s'enthousiasment les chercheurs. Enfin, presque. « Si le big data permet de prédire ce qui va se passer, il n'explique pas pourquoi », reconnaissent néanmoins les spécialistes. Plein de promesses pour identifier les conditions optimales de fonctionnement d'un système complexe (avion en vol, process industriels, circulation de véhicules...), le big data ne devrait donc pas remplacer la simulation. En tout cas, pas chez nos dix champions qui ont fait de cette technologie l'une des compétences clés de leur succès industriel. Ni dans les laboratoires de recherche les plus performants du monde qui s'attaquent à des programmes de recherche XXL toujours plus ambitieux et gourmands en ressources de calcul. Enfin, pas tout de suite... ■



AURÉLIE
BARBAUX

« Si le big data permet de prédire ce qui va se passer, il n'explique pas pourquoi. »



Entretien

« LA COURSE À LA PUISSANCE DE CALCUL EST DEVANT NOUS »

Seul constructeur européen de supercalculateurs, Bull constitue un maillon essentiel de la filière de la simulation en France. **Philippe Vannier**, son PDG, promet la montée de la puissance de calcul pour répondre aux besoins de l'industrie.

PROPOS RECUEILLIS PAR THIBAUT DE JAEGHER ET RIDHA LOUKIL

La France compte des champions dans la simulation.

Y a-t-il un talent national particulier dans ce domaine ?

Peu de pays dans le monde concentrent les talents nécessaires à la maîtrise de l'intégralité de la filière de la simulation. Ceci passe d'abord par la construction de machines de calcul. Ensuite par les logiciels de modélisation, puis par les utilisateurs. Seuls quatre pays disposent de l'ensemble de ces compétences : les États-Unis, le Japon, la Chine et la France. Avec sa capacité à développer des composants et à les intégrer dans des systèmes de calcul, Bull joue un rôle essentiel dans cet écosystème. Pour être pertinent dans ce domaine, il est important d'avoir une proximité forte entre constructeurs de machines, éditeurs de logiciels et utilisateurs. C'est cette proximité-là qui fait que vous pouvez progresser. Créer un supercalculateur seul n'a pas de sens. Vous le concevez par rapport à un usage ou à un logiciel de simulation.

Doit-on cette position à la qualité de l'école française des maths ?

Je pense que la France est un pays qui a toujours innové dans la technologie. Et l'innovation sans modélisation devient quasiment impossible. Nos capacités d'innovation ont créé un besoin en modélisation, et maintenant les moyens de calcul-simulation créent de l'innovation. La boucle se referme en quelque sorte. Et comme dans notre pays il y a une forte proximité entre concepteurs d'outils de simulation et utilisateurs, on a un cercle vertueux d'innovation.

Les usages suivent-ils la montée de la puissance de calcul ?

La puissance brutale de calcul n'a pas d'utilité, si ce n'est de dire que vous avez la machine la plus puissante au monde. La machine doit être calibrée pour répondre aux besoins de l'utilisateur à l'instant T. Actuellement, les besoins des utilisateurs augmentent très vite. Nous poursuivons la demande en fournissant des machines de plus en plus puissantes. Dans cette course, nous allons deux fois plus vite que la loi de Moore. Quand on regarde l'évolution de la puissance des supercalculateurs depuis 1993, on constate une multiplication par un facteur 8 tous les trois ans, contre un facteur 4 pour la loi de Moore dans les processeurs. Les besoins de puissance de calcul sont donc là. Il ne faut pas aller plus vite, car vous ne trouverez pas d'utilisateurs, mais il faut quand même tenir le rythme.

Justement, quels sont les besoins exprimés par les utilisateurs ?

Les besoins diffèrent selon quatre grands domaines d'utilisation : l'industrie, les sciences de la Terre, la médecine, et le traitement d'image. Le pétrole est l'un des plus gros consommateurs de simulation. À 10 petaflops, on découvre des réservoirs qu'on soupçonne tout juste à 1 petaflops, mais qu'on ne sent pas du tout à 50 téraflops. Or 10 petaflops, c'est la machine la plus puissante en 2013, 1 petaflops celle du CEA en 2010 et 50 téraflops la machine du CEA en 2005. Un ou deux forages pétroliers suffisent à financer une machine.

Cette évolution rapide pousse-t-elle les industriels à reporter leur équipement, comme pour les PC dans le grand public ?

Il y a une différence fondamentale entre les usages personnels

et professionnels. Avoir un PC deux fois plus puissant ne vous servirait à rien. Vous n'allez pas taper, lire vos e-mails ou écouter la musique deux fois plus vite. D'ailleurs, est-ce que vous connaissez la puissance du processeur dans votre iPad? Ce n'est pas le sujet. Car la vraie limitation c'est vous. Dans les supercalculateurs, si vous donnez à un industriel une machine deux fois plus puissante, il l'utilisera. La limitation aujourd'hui réside plutôt dans la capacité de faire dans une enveloppe donnée de prix. Que ce soit dans l'aéronautique, le pétrole ou les prévisions météo, si l'on peut acheter une machine deux fois plus puissante pour le même coût, on le fera et on utilisera toute sa capacité.

Les logiciels de simulation suivent-ils cette course à la puissance ?

Vous mettez le doigt sur un sujet important. Il faut que toute la chaîne avance à la même vitesse. Si vous avez uniquement la machine qui va deux fois plus vite, cela ne servirait à rien. Il faut que la chaîne logicielle suive. Selon une étude de 2011, plus de la moitié des utilisateurs interrogés disent ne pas utiliser plus de 120 coeurs de processeurs en parallèle. La limitation vient de leurs algorithmes de modélisation. C'est là que l'on voit un gap entre les capacités des machines et celles des logiciels.



**«Créer un supercalculateur seul n'a pas de sens.
Vous le concevez par rapport à un usage ou
à un logiciel de simulation.»**

3x efficience industrielle
SOGETI HIGH TECH

-1.2% masse au décollage
FUJI HEAVY INDUSTRIES

+2% performance produit
SNECMA

Convertir une conception acceptable en produit de référence

www.Optimus2014.com

info@Optimus2014.com

Design for real
Optimus®

Optimus apporte les outils nécessaires à l'automatisation des processus de simulation, en intégrant tout logiciel de CAO & IAO. Par une démarche rationnelle, à partir de plans d'expériences et de modèles de substitutions, Optimus fournit des indicateurs pour l'ingénierie des connaissances produit et accélère le processus décisionnel. Enfin, l'emploi de méthodes d'optimisation robustes assure l'identification des meilleures conceptions dans les plus brefs délais.



« Dans la course à la puissance de calcul, nous allons deux fois plus vite que la loi de Moore, pour les microprocesseurs. »

→ **Qu'est-ce qui freine la plus cette évolution ?**

Côté machines, c'est principalement la consommation d'énergie. Si on avait quelqu'un d'assez riche pour nous acheter une machine 1 000 fois plus puissante que celles que nous livrons aujourd'hui, on saurait la faire. Sauf que l'on ne saurait pas l'alimenter. Un petaflops en 2010 consomme à peu près 5 MW. Si vous voulez faire une machine de 1 exaflops, ce qui est l'objectif en 2020 au niveau mondial, vous ne pouvez pas faire 1 000 fois 5 MW, car cela fait 5 GW, la puissance de trois centrales nucléaires. Impossible. L'enjeu est de faire un facteur 1 000 dans la puissance tout en faisant un facteur 5 dans la consommation d'énergie. C'est un objectif très compliqué à atteindre. Deuxième sujet: le nombre de coeurs de processeurs à gérer en parallèle. Sur une machine en 2010, on est dans la classe des 100 000 coeurs en parallèle. Sur celle en 2020, on sera dans la classe des

100 millions de coeurs en parallèle. Et là, on a un véritable enjeu de logiciel de modélisation.

De quelle puissance de calcul les industriels s'équipent-ils aujourd'hui ?

La taille moyenne des machines que nous vendons aujourd'hui aux industriels fait typiquement une cinquantaine de téraflops et coûte quelques millions d'euros. C'est la machine du CEA en 2005, qui était à l'époque la plus puissante en Europe. Les plus gros industriels du CAC 40 tels qu'Airbus ou Total ont des machines de classe petaflopique et visent la classe de l'exaflops. Mais une frange importante de sociétés achète des machines de la génération juste avant. Entre-temps, le prix de ces machines a été divisé par un facteur 10 à 15. Car quand on fait deux fois plus vite que la loi de Moore, le prix reste le même.

Vous avez un projet de calcul dans le cloud. Est-ce un moyen de démocratiser le calcul intensif ?

Nous avons une solution de calcul dans le cloud qui s'appelle Extreme factory. Elle est utilisée par des PME pour tous leurs besoins de simulation et par des grands groupes pour le délestage des pointes de charge lors, par exemple, du développement de nouveaux produits. Cette plate-forme se veut



Implantez-vous au cœur de la 1^{ère} technopole européenne de la simulation et du calcul (HPC)

Située en Essonne à 30 mn de Paris, au sein du Campus Teratec, la CCI Essonne accueille les entreprises sur plus de 1 500 m² dans des espaces modernes et équipés. La pépinière propose une offre de services de proximité, un éventail de compétences apporté par une équipe de conseillers.



Rejoignez le CEA, Bull, ESI Groupe, Silkan, INTEL et donnez un espace à votre talent !

Pépinière Teratec - 2 rue de la Piquetterie - 91680 Bruyères-le-Châtel
pepinieres@essonnes.cci.fr - 0 970 650 200



« Je suis persuadé que le made in France, ou du moins le conçu en France, est important. »

un modèle d'expérimentation avant de passer à un modèle industriel avec la création d'une société ad hoc, NumInnov, grâce à la participation de l'État dans le cadre des investissements d'avenir. C'est un projet important auquel nous croyons beaucoup. Il faut juste le lancer au moment où la phase de maturité est atteinte. Pas avant, car les machines de calcul deviennent très vite obsolètes. Le marché est mûr dans le traitement de données massives, mais pas encore dans la simulation.

Vous ne voyez rien qui puisse freiner ce développement ?

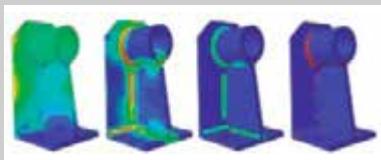
Non. Nous sommes devant un potentiel de développement infini. Sur les prochaines décennies, les besoins vont croître de façon linéaire. Je ne vois pas d'arrêt. De la mise à disposition des machines et des logiciels viendront des nouveaux usages. J'en suis certain.

Le plan de filière sur le calcul intensif vise à développer le made in France. Est-ce possible ?

Je suis persuadé que le made in France, ou du moins le conçu en France, est important. Prenez l'exemple de notre serveur haut de gamme Bullion. C'est le serveur le plus puissant au monde. Jusqu'à aujourd'hui, il n'y a pas de produit concurrent capable de fournir plus de la moitié de sa puissance. Quelle est la clé de cette performance ? C'est un composant particulier que nous avons développé et qui fait toute la différence. Grâce à ce composant, qui sert de chef d'orchestre, on arrive à combiner jusqu'à 16 sockets et 128 coeurs de processeurs. Ces serveurs lancés en 2012 sont essentiels aux applications de big data, de grosses bases de données et de business intelligence. Vous mettez une couche logicielle dessus et vous obtenez une machine capable de traiter un volume énorme de données. En 2013, ses ventes ont explosé de 70%. ■

BUILDER™ Safety Software Suite

Developed for non-specialist of numerical simulation, this software environment comes with a library of dedicated wizard, enabling an engineer to be immediately efficient.



DISPLACEMENT | STRESS | PLASTIC STRAIN | WELDING FAILURE

Powered by SILKAN GOUPE with



SILKAN launches BUILDER™, the 1st user-friendly environment fully dedicated to the validation and the safety of innovative product design, under process and operating conditions.

- ▶ Improves quickly and efficiently SME's products
- ▶ Accelerates product & process design
- ▶ Integrates rapid prototyping tools that convert virtual to real world within 3D printing

Simultaneous Product/Process Engineering

- ▶ Design & Optimize Products taking into account Manufacturing Process
- ▶ Develop, Optimize & Control Manufacturing Process

Leading-Edge Technical Solutions

- ▶ Real-Time Simulation of multi-physics Systems
- ▶ Direct Link with Rapid Prototyping technologies

The 1st Software Suite dedicated to full Process-Product Design, Validation & Prototyping

Simulation Infrastructure

Analysis Tools: Data-Mining, V&V, DOE, ANOVA, Optimization, UQ

Manufacturing Processes Simulation

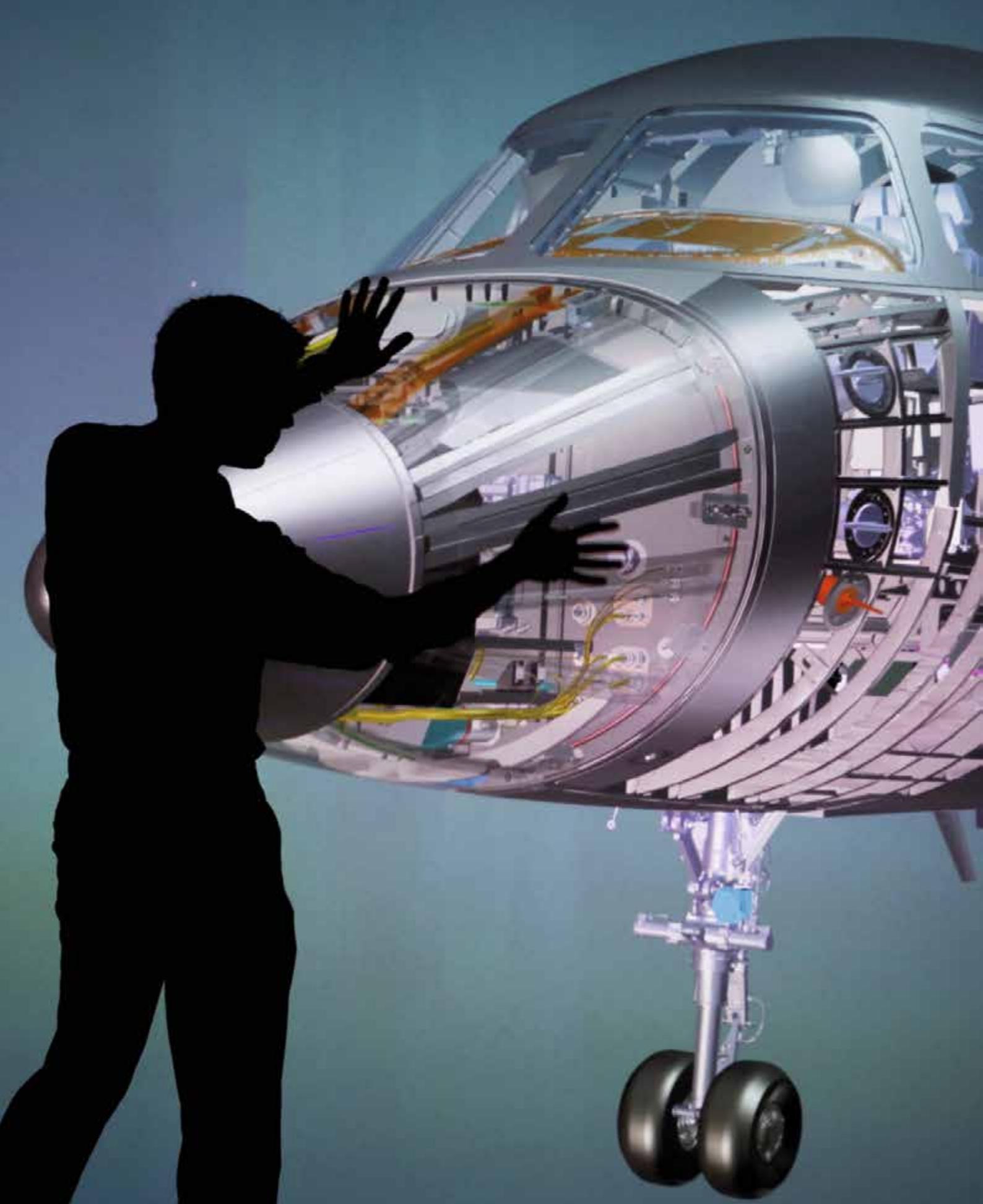


Operational Behavior Simulation

Multi-Physics system Simulation

Prototyping (3D printing, ...)







Dossier

LES CHAMPIONS DE LA SIMULATION

Loin d'être à la traîne dans la course à l'innovation, la France a quelques atouts dans sa manche. Démonstration avec dix de ses grands industriels.

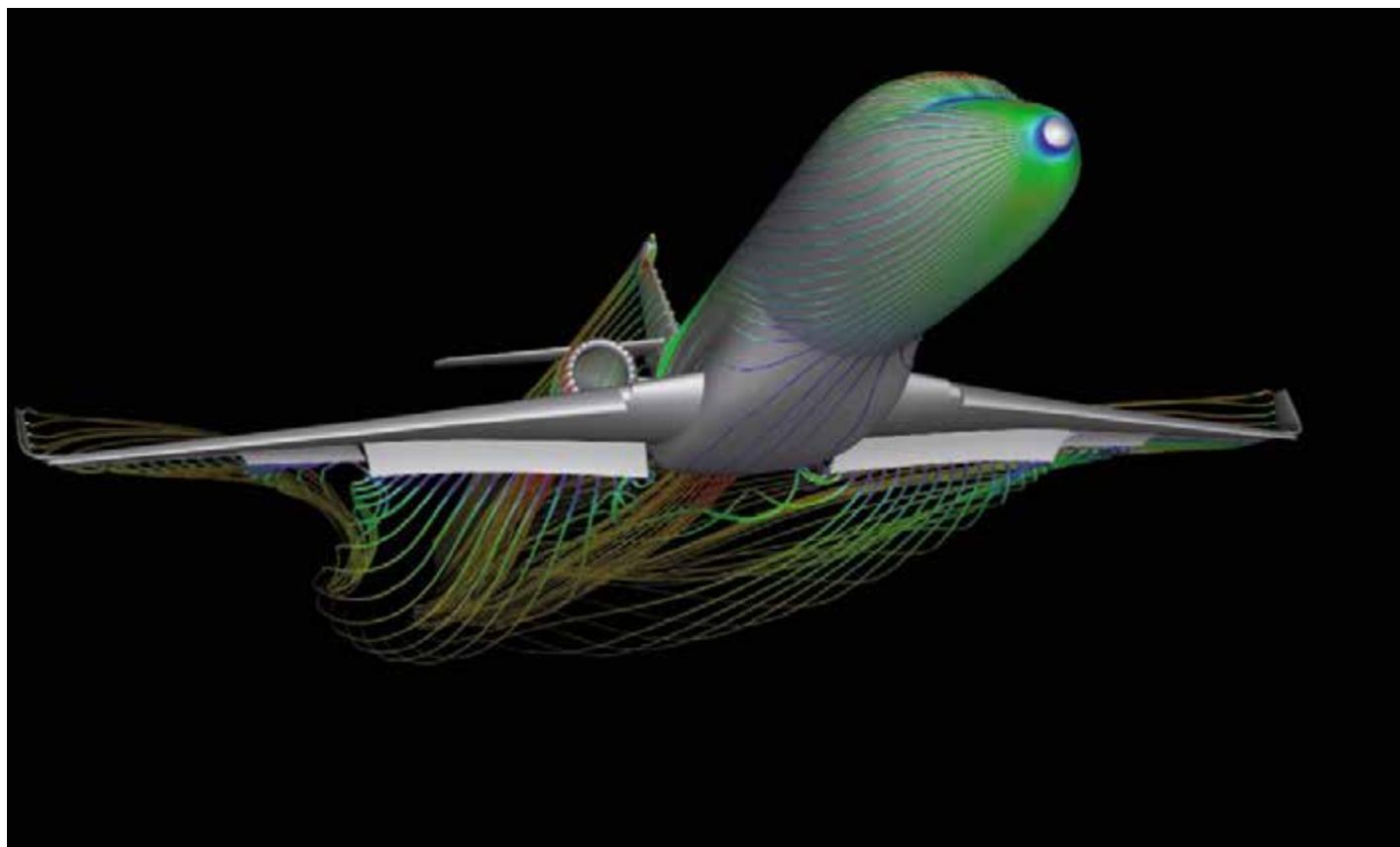
PAR AURÉLIE BARBAUX

C'est dans le centre de réalité virtuelle de Dassault, à Saint-Cloud, qu'a été conçu et entièrement simulé le Falcon 5X.

Et si la simulation numérique était la botte secrète des grands industriels français ? Ceux qui innovent, ceux qui réussissent à l'international, ceux qui sont leaders sur leur marché. Spécialité française, grâce notamment à la performance de la recherche publique et de l'école de mathématiques en France, la modélisation des phénomènes physiques est au cœur des processus de R&D de ces champions. Et ce, dans tous les domaines. Même les plus inattendus. Car la simulation numérique dépasse de plus en plus souvent ses domaines de prédilection, comme la métrologie, la mécanique, les matériaux ou les écoulements de fluides, cruciaux en aéronautique par exemple. Elle est partout, de la chimie à la biologie en passant par les réseaux - de télécommunications ou de ressources -, la circulation d'énergie ou de personnes, jusqu'à l'interaction en temps réel, via la réalité augmentée, avec des modèles d'opération - militaires ou navals. Ce n'est pas le fruit du hasard si L'Oréal, le numéro un mondial de la cosmétique,

Il est devenu un expert international de la simulation de la peau et du cheveu, et si Dassault Aviation est sûrement le premier constructeur aéronautique capable de faire voler dans des conditions réelles... un avion virtuel! Ou si Alcatel-Lucent reste parmi les leaders mondiaux des réseaux de communication très haut débit, et RTE celui des réseaux d'énergie intelligents. Ce n'est pas un hasard non plus si Air liquide est en mesure d'aider ses clients à optimiser leurs ressources, et si Veolia Environnement réussit à exporter son savoir-faire dans la gestion des réseaux d'eau pour

construire la ville intelligente de demain, à Singapour ou à Mexico. Grâce à leur maîtrise de la réalité virtuelle et augmentée, DCNS construit les navires du futur et la Direction générale de l'armement conçoit des systèmes d'arme et d'opération toujours plus sûrs. Sans parler de Total ou de Météo France, qui continuent d'investir dans de puissants centres de calcul pour faire tourner des modèles toujours plus audacieux, mais également toujours plus gourmands en ressources. Des exemples à suivre de près et à (re)découvrir. ■



Fini les maquettes ! La conception des avions est 100 % numérique. Les essais en vol aussi, comme ici avec le décollage virtuel d'un Falcon 5X.

Aéronautique **DASSAULT AVIATION, PILOTE VIRTUEL**

Le constructeur aéronautique a été pionnier dans le passage à la simulation numérique. Ses équipes ne cessent d'en développer les applications.

Vous êtes dans le cockpit, les commandes de l'avion à portée de main. En tournant la tête de gauche à droite, la piste de décollage se dessine derrière le pare-brise. Une opération de maintenance de dernière minute avant le vol? Il suffit de tendre les bras, de s'emparer de la pièce défectueuse et... de ne pas se cogner contre le mur. Dans le centre de réalité virtuelle immersif de Dassault Aviation, au siège du groupe à Saint-Cloud (Hauts-de-Seine), il n'est pas rare que les utilisateurs de ce simulateur perdent leurs repères. Munis de lunettes 3D et de capteurs de mouvement harnachés un peu partout sur le corps, positionnés face à trois écrans géants, ingénieurs et

techniciens vérifient dans une salle confortable l'architecture globale d'un avion grandeur nature et l'emplacement de chaque pièce de l'appareil. La scène rappelle le ballet gestuel effectué par Tom Cruise dans « Minority Report ». Et, à l'instar du héros, Dassault Aviation a une vision très précise de ce qui n'existe pas encore...

Un modèle prédictif fiable

Au cœur de ce dispositif: la maquette numérique. Elle permet de s'affranchir des prototypes physiques et de réaliser des gains de temps substantiels, de la phase de conception à celle de la production. Utilisée depuis 1990 pour le Rafale, puis pour le Falcon 2000, le 7X, le Neuron et, aujourd'hui, pour le nouvel avion d'affaires Falcon 5X, elle a transformé le groupe en utilisateur chevronné de la simulation numérique. « Cette maquette est la définition mathématique virtuelle exacte de l'appareil, explique enthousiaste Jérôme Camps, responsable technique au sein du bureau d'études de Dassault Aviation. Elle est la base de données unique qui contient toutes les informations nécessaires pour la production d'un avion. » Chez Dassault Aviation, le papier n'est plus à l'ordre du jour depuis belle lurette. C'est le bizutage des petits nouveaux: leur demander de récupérer les plans de tel ou tel avion. Ce savoir-faire, les 12 000 salariés de Dassault Aviation le

doivent à la collaboration étroite entretenue avec une autre filiale du groupe Dassault Systèmes.

Créé en 1981, cet éditeur de logiciels a développé Catia, un programme de conception assistée par ordinateur au fondement de la maquette numérique, qui a conquis des pans entiers de l'industrie mondiale, du ferroviaire à l'automobile en passant par les biens de consommation. Depuis sa première utilisation, Dassault Aviation ne cesse d'améliorer cette maquette et d'en étendre les fonctionnalités. Essais virtuels d'aérodynamisme via des équations mathématiques de l'écoulement de l'air, tests numériques du comportement structurel de l'avion issus des calculs sur la propagation des forces et des contraintes... « Les vols d'essais permettent de confirmer les calculs, résume Jérôme Camps. La maquette est devenue un modèle prédictif fiable. » Un niveau de réalisme inouï alors qu'un avion de combat ou un jet d'affaires comprennent environ 100 000 pièces, 25 kilomètres de câbles et pas moins de 300 000 fixations !

Un logiciel d'analyse de cycle de vie complète la maquette depuis le début des années 2000, ouvrant la voie à l'usine numérique et à l'anticipation, avant assemblage, des process de production. « Cela divise par deux le temps d'assemblage du Falcon 7X », assure Jérôme Camps. Autre avantage: le premier avion sorti de chaîne atteint d'emblée le niveau ↗

AIDER LES PME À SE DÉVELOPPER AVEC LA SIMULATION NUMÉRIQUE ET LE CALCUL INTENSIF...

C'est la mission de l'Initiative HPC-PME portée par Bpifrance, GENCI et Inria, en partenariat avec cinq pôles de compétitivité (Aerospace Valley, Axelera, Cap Digital, Minalogic and Systematic) et avec le soutien du CNRS, de l'IFPEN et de l'Onera, et d'Intel, en tant que partenaire technologique.

www.initiative-hpc-pme.org

contact@initiative-hpc-pme.org



UNE OFFRE DE SERVICES ADAPTÉE AUX BESOINS DE CHAQUE PME



- » AVANCE TECHNOLOGIQUE
- » INNOVATION
- » NOUVEAUX MARCHÉS
- » CRÉATION D'EMPLOI

de qualité qui correspondait auparavant au 50^e appareil de série construit ! La mise en place d'un plateau virtuel a bouleversé l'organisation du bureau d'études : il permet aux partenaires industriels, pour chaque programme d'avion, de partager les données de la maquette depuis leurs bureaux. « C'est l'industrie du XXI^e siècle », assure Jérôme Camps qui y voit un avantage concurrentiel crucial pour Dassault Aviation face aux autres avionneurs. Prochaine étape ? « Nous nous orientons vers la simulation virtuelle globale de l'avion », répond-il sibyllin. Et les premiers résultats sont

prometteurs. » Il s'agirait de faire voler virtuellement l'avion, en prenant en compte les interactions de ces équipements dans des conditions réelles de vol. Mais là, impossible d'en savoir davantage. Si le groupe accorde autant d'importance à la simulation, c'est que la concurrence mondiale est, elle, bien réelle... ■ OLIVIER JAMES

LE PROJET À SUIVRE La simulation globale de l'avion qu'il s'agira de faire voler virtuellement en prenant en compte les interactions de ces équipements, et ce dans des conditions réelles de vol.



Pour optimiser ses réseaux d'eau, Veolia utilise le logiciel open source Epanet.

Développement durable **VEOLIA ENVIRONNEMENT PRÉPARE LA SMART CITY**

Le groupe français utilise la simulation depuis près de deux décennies pour l'eau et l'assainissement. Aujourd'hui, il s'attaque à la ville intelligente.

Singapour, Mexico et Lyon, premières villes intelligentes ? Peut-être. En tout cas, depuis 2013, elles sont les premières à disposer de ForCity (4CT), le démonstrateur de modélisation urbaine de Veolia Environnement. Il s'agit d'une plate-forme ouverte et évolutive qui interconnecte les modèles des différentes composantes de l'écosystème urbain, c'est-à-dire la mobilité, les services à l'énergie, l'utilisation des sols, l'eau, les déchets, les bâtiments, les impacts environnementaux et les pénuries de ressources. De quoi permettre aux décideurs de comparer plusieurs options de planification urbaine en 3D.

À Nice, la gestion énergétique gagne également en intel-



La simulation est depuis longtemps au cœur du processus d'innovation, ici depuis la salle de contrôle.

lelligence grâce au projet Réflexe (pour « réponse de flexibilité électrique »), lancé en 2011 pour une durée de trois ans et demi. Piloté par Dalkia, filiale de Veolia Environnement, avec un budget de 9 millions d'euros, il modélise sur une vingtaine de sites tertiaires et industriels la production et la consommation électrique. Ce projet doit évaluer les solutions de pilotage des systèmes afin d'expérimenter la gestion en temps réel de sites producteurs et consommateurs d'électricité. « L'idée est aussi de récupérer l'énergie pour en faire bénéficier des installations publiques comme une piscine municipale », précise-t-on chez Veolia Environnement.

Le vrai temps réel pour demain

Si le groupe est à la pointe sur ces programmes prospectifs, c'est parce que la simulation est depuis longtemps au cœur de ses processus d'innovation. « L'eau et l'assainissement ont rejoint depuis une vingtaine d'années l'ère de la modélisation. Aujourd'hui, on ne signe quasiment plus un contrat sans intégrer de la simulation », explique Vincent Perez, le responsable du pôle réseaux et systèmes chez Veolia Eau. Un savoir-faire reconnu à l'international. Veolia exploite, entre autres, les réseaux chinois de Shenzhen pour l'assainissement et de Dong pour l'eau potable, soit plus de 1 millier de kilomètres. « À Prague, nous avons participé à la gestion de crise et au système d'alerte en cas d'inondation. Nous prévenons les autorités en cas de besoin. »

Pour les réseaux d'eau potable, Veolia travaille avec Synergie et surtout Epanet, un logiciel open source de plus en plus utilisé. Pour l'assainissement, la suite InfoWorks prend le relais. « Sur la plupart des contrats, nous avons déjà une base SIG (système d'information géographique). Des passerelles facilitent la récupération d'informations pour la modélisation du descriptif du réseau », ajoute Vincent Perez.

Au départ, la simulation était un outil pour mieux définir les besoins du réseau, les raccordements des nouvelles zones de collecte en eau potable. Aujourd'hui interconnectée avec ➔

TRIBUNE DE MARQUE

Intel : le laboratoire Exascale Computing Research en route vers l'exascale



Coprocresseur Intel® Xeon Phi™

et de contribuer à faire avancer l'innovation dans le domaine.

Dans le cadre du laboratoire ECR et avec le soutien de Genci, nous collaborons avec Hydrocean, une PME spécialisée en simulation numérique. Cette entreprise, chargée d'améliorer les performances du futur trimaran de François Gabart, le gagnant du Vendée Globe 2013, souhaite optimiser le code qu'elle a mis en place pour la modélisation dynamique de l'interaction entre les vagues et le vent, appelé SPH-Flow. En travaillant avec les ingénieurs Intel du laboratoire et avec les outils open source de notre partenaire universitaire, la PME pourra faire évoluer son code en vue du passage à des systèmes HPC de plus grande taille.

Le laboratoire Exascale computing research (ECR), créé en 2010 avec l'UVSQ, le CEA et Genci, fait partie des réseaux de recherche orientés vers l'exascale. L'un des grands défis des prochaines années pour préparer le passage à des systèmes présentant des millions de coeurs de calcul reste l'optimisation de l'interaction entre les couches applicative et les couches machine. Ce qui exige, d'une part, de développer des outils sophistiqués pour analyser ses effets au niveau du cœur de calcul et du réseau de communication ; d'autre part de travailler sur des applications HPC pour lever les verrous de passage à l'échelle. Le laboratoire héberge ainsi des étudiants master pour les former aux méthodologies logicielles ou pour œuvrer sur un algorithme de calcul spécifique.

Pour Intel, il est important d'intégrer les avancées de la recherche menée sur du logiciel applicatif à l'ensemble des architectures, de la brique de base (comme la famille de processeur Intel Xeon) aux systèmes HPC les plus puissants constitués de plusieurs centaines, voire milliers de nœuds. C'est une manière pour nous de préparer de manière collaborative les usages et les installations des codes de demain

TRIBUNE DE MARQUE MET EN RELATION L'AUDIENCE DE L'USINE NOUVELLE AVEC SES PARTENAIRES.

→ d'autres outils, elle permet de piloter, de diminuer les coûts, de positionner une fuite, de moins saturer les réseaux, d'optimiser les ressources. Il est également possible d'acheter ou de vendre de l'eau à une commune voisine connectée. Pour l'assainissement, c'est un peu plus compliqué. Il faut capter les éléments pluvieux, éviter les débordements, interfacer le réseau et l'environnement, examiner les courants marins avant que la pollution puisse avoir un impact. «En vingt ans, la puissance de calcul a progressé. Elle est

devenue beaucoup plus rapide. Elle permet de trouver le bon rapport entre les coûts et l'environnement.» L'avenir? «C'est d'avoir davantage de liens avec les SIG et de plus en plus d'informations en temps réel. Mais le vrai temps réel, nous n'y sommes pas encore.» ■ OLIVIER COGNASSE

LE PROJET À SUIVRE À Lyon, le démonstrateur ForCity se trouve dans le quartier Gerland. Ce projet est mené par EDF, Veolia Environnement, CMN Partners et la start-up The Cosmo Company.



À droite, une vraie mèche de cheveux. À gauche et au centre sa simulation, créée à partir du premier modèle de chevelure dynamique et paramétrable.

Biotechnologie **L'ORÉAL SUBLIME PEAU ET CHEVEUX**

Le numéro un mondial de la beauté accélère sa recherche en nouvelles molécules et veut percer les mystères des tissus humains.

Quel est le point commun entre un filtre solaire appliqué sur la peau, capable d'absorber les ultraviolets, et les peintures déposées sur le revêtement d'un avion pour piéger des ondes électromagnétiques? Les mêmes équations sont utilisées pour appréhender leur complexité et anticiper leur efficacité. Vingt ans après la biologie, le calcul intensif et la modélisation 3D font aujourd'hui figure de révolution chez L'Oréal. Pour concevoir les innovations de demain, plus question de se laisser guider par les recherches en chimie et physico-chimie. «C'est un changement complet de paradigme, s'enthousiasme Bernard Querleux, senior

research associate, responsable du projet calcul intensif au sein de L'Oréal recherche et innovation. Désormais, c'est un calcul qui oriente la synthèse d'un nouvel actif ou la réalisation d'une formule physico-chimique. En multipliant les simulations, nous explorons le jamais vu!»

Équipement high-tech externalisé

Depuis plusieurs années, le numéro un mondial de la beauté fait la part belle au numérique au sein de sa recherche avancée. Pas rentables l'achat d'un supercalculateur ou la constitution d'une équipe d'as du calcul intensif en interne? L'Oréal signe un partenariat avec le CEA pour bénéficier de l'équipement high-tech et de l'expertise de son centre de calcul recherche et technologie. «En reproduisant sur ordinateur le comportement de la peau et des cheveux, nous pouvons améliorer notre connaissance de ces tissus biologiques complexes et peu étudiés au niveau mondial», explique Bernard Querleux. Le français a pris les devants sur ses principaux concurrents, l'américain Procter & Gamble et l'anglo-néerlandais Unilever, également adeptes de la simulation.

Le comportement de la chevelure, un ensemble de 120 000 à 150 000 cheveux, était jusqu'alors jugé trop complexe pour être modélisé. À partir d'un ensemble de paramètres pertinents, L'Oréal et le CNRS mettent alors au point un modèle statique qui décrit le comportement mécanique d'un cheveu. Puis, le groupe et un laboratoire de l'Inria, spécialisé dans la représentation de scènes complexes comme les champs de blé, planchent sur l'écriture d'équations qui régissent les mouvements du cheveu. En 2006 naît ainsi le premier modèle de chevelure dynamique et paramétrable. «Cela a ouvert un formidable champ d'expérimentation pour nos équipes de recherche dans le développement de nouveaux produits, car nous comprenions comment, en jouant sur un paramètre, l'apparence d'une chevelure pouvait être modifiée», ajoute Bernard Querleux. Une innovation utilisée par le géant de la beauté dans ses gammes de shampooing, pour les rendre plus lissants ou plus coiffants. Mais il faudra patienter quelques années avant de pouvoir s'appliquer le premier produit cosmétique entièrement conçu sur ordinateur. ■ GAËLLE FLEITOUR

LE PROJET À SUIVRE La modélisation va permettre d'affiner l'évaluation de la performance finale des produits et de prédire le rendu de la couleur d'un fond de teint sur la peau.



Le Centre national d'exploitation du système de RTE garantit l'équilibre entre production et consommation.

Réseaux électriques **L'ANTICIPATION POUR CREDO CHEZ RTE**

De la milliseconde à la décennie, des marchés aux transitoires électromagnétiques... L'opérateur réseaux ne peut plus se passer de ses simulateurs.

Chez RTE, la simulation est partout. « Presque toutes les activités de l'entreprise y font appel », résume Didier Zone, le directeur du Centre national d'expertise réseau de RTE. Le gestionnaire du réseau de transport d'électricité français opère, entretient et développe quelque 100 000 kilomètres de lignes à haute et très haute tension ponctuées d'environ 2 600 postes de transformation. Il est au cœur du système électrique dans un monde de l'énergie en pleine mutation. Son métier repose sur l'anticipation. La simulation est son atout.

Au quotidien, la simulation permet à RTE de garantir le bon fonctionnement d'une machine industrielle complexe qui repose sur le synchronisme d'une multitude de machines tournantes, qui produisent ou consomment l'électricité. En cas d'incident, le risque est de déclencher une réaction en chaîne qui conduise à un effondrement de grande ampleur: le black-out. Pour l'éviter, des calculateurs d'aide à la conduite du réseau tournent en continu dans les huit centres de RTE. Ils simulent des incidents (ligne coupée, panne de générateur...) et vérifient que le réseau restera stable face à ces incidents. Si ce n'est pas le cas, des outils de simulation plus sophistiqués aident les opérateurs à trouver des parades, comme répartir différemment les flux d'électricité ou demander à une centrale d'augmenter sa production.

C'est ainsi qu'est mise en œuvre la règle du N-1, base de la sûreté du réseau: celui-ci doit continuer à fonctionner après la perte d'un équipement.

Suite logicielle maison

Ces outils d'aide à la conduite font tourner leurs algorithmes sur des modèles physiques d'électrotechnique des réseaux. Ils ont été développés en interne, par EDF puis par RTE. « Nous avons environ 90 experts du système électrique et des matériels, à Versailles et à la Défense, qui font évoluer nos simulateurs », précise Didier Zone. L'ensemble forme une suite logicielle, Convergence, que RTE utilise pour développer le réseau. Simuler l'impact d'une centrale électrique, l'apport d'une ligne haute tension ou d'un poste de transformation... L'installation du réseau passe par l'anticipation, d'autant que la construction des ouvrages, avec les phases de concertation et d'autorisations, prend de sept à dix ans.

RTE dispose également de logiciels plus pointus pour étudier la dynamique des réseaux (surtensions, pertes de synchronisme...). Les «transitoires» électromagnétiques sont simulés à la milliseconde près par le puissant algorithme d'Eurostag. Issu d'EDF, ce programme est codéveloppé par RTE et Tractebel (GDF-Suez). Pour descendre sous la milliseconde et simuler les transitoires ultrarapides qui peuvent affecter les composants d'électronique de puissance, RTE fait appel à EMTP-RV, mis au point avec Hydro-Québec et Powersys.

La simulation ne s'arrête pas à l'électrotechnique: les prévisions météo sont intégrées dans des modèles qui calculent la consommation d'électricité et les productions solaire et éolienne. Les simulations des marchés prévoient comment les échanges d'électricité vont influer sur les flux sur les réseaux... Chez RTE, tout est une question d'anticipation. Donc de simulation. ■ MANUEL MORAGUES

LE PROJET À SUIVRE RTE prépare un serious game, sorte de « Sim City » du réseau électrique, qui servira à la formation en interne. Il devrait ensuite être diffusé auprès du grand public.



La table tactile numérique, une carte d'état-major version high-tech.

Défense

LA GUERRE COMME SI VOUS Y ÉTIEZ

La Direction générale de l'armement mise sur ses experts en simulation pour accélérer la conception de futurs systèmes d'arme.

Imaginez-vous commandant d'un navire de guerre en train de superviser l'opération de débarquement d'un commando. Dans la salle de commandement, la bonne vieille carte d'état-major a laissé place à une grande table tactile numérique qui présente dynamiquement la situation tactique, la position des cibles et celle des moyens dont vous disposez pour atteindre votre objectif. Dans le scénario envisagé, vous voyez la progression de vos troupes embarquées sur leur Zodiac fonçant vers le littoral pour neutraliser une unité logistique ennemie. D'un geste de la main, en tapotant sur la bonne icône, l'officier affiche dans une petite fenêtre le flux vidéo de la caméra fixée à l'avant

DGA/LAURENT PASCAL

de l'embarcation rapide. En sélectionnant l'icône du drone rattaché à cette zone, ce sont les images capturées du ciel qui se mettent à défiler. Bref, tous les flux vidéo pris depuis différents endroits du champ de bataille sont intégrés à la table tactique et visibles instantanément. Pour chaque flux, des métadonnées viennent préciser la source des images, l'élément pointé... Si nécessaire, ces informations peuvent être envoyées par liaison satellitaire au commandement central pour valider une décision.

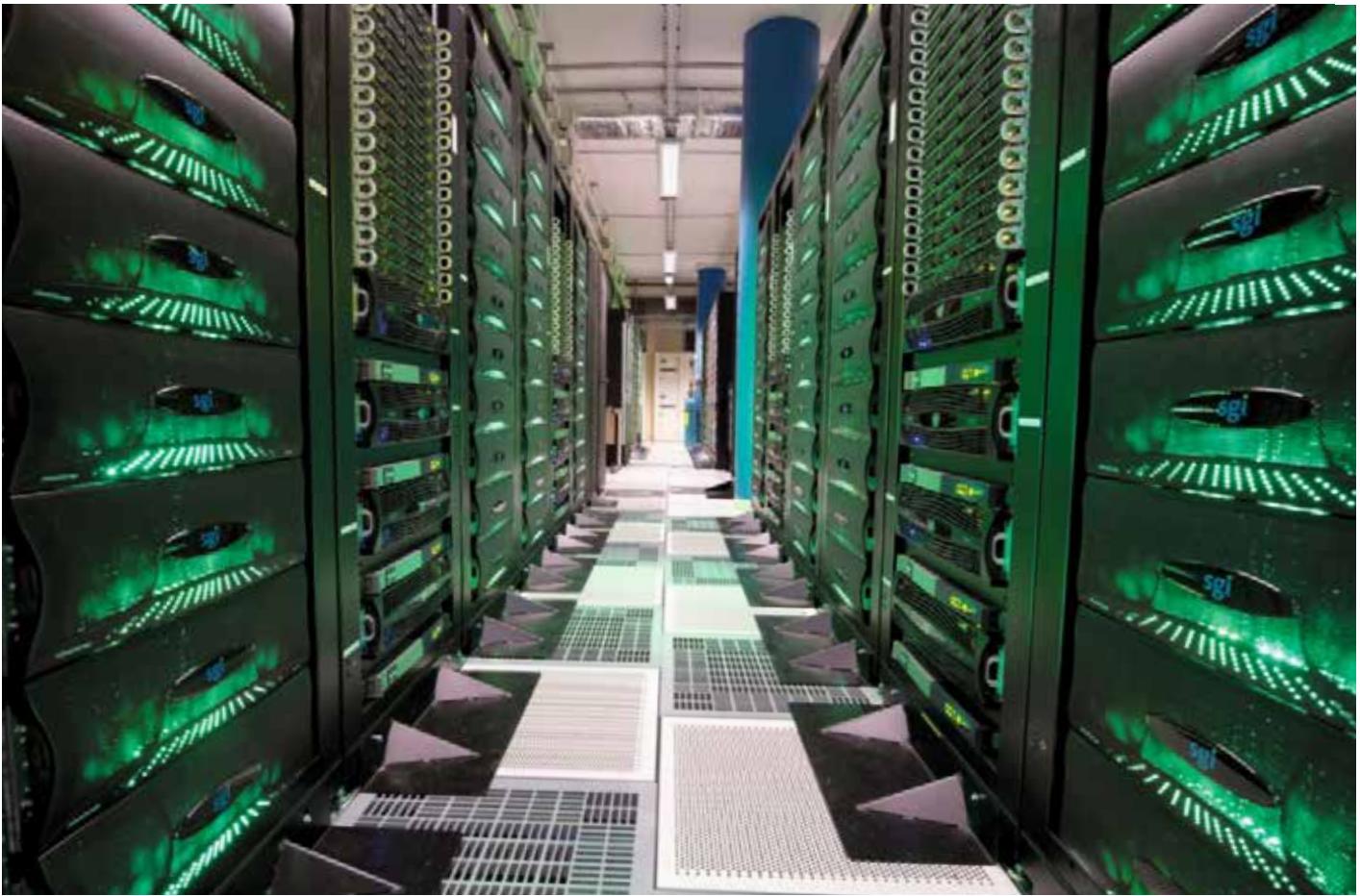
La centralisation des flux pour objectif

Depuis quelques mois, tout cela n'est plus du domaine de la science-fiction. Un tel prototype a été développé par une poignée d'experts logiciel du laboratoire technico-opérationnel (LTO) de la Direction générale de l'armement (DGA), installé à Arcueil et sur le site du Mourillon à Toulon. «Après l'opération Harmattan en Libye, les forces navales opérationnelles ont exprimé le besoin de mieux exploiter toutes les informations vidéo qui étaient à leur disposition. Ils nous ont demandé un outil capable de centraliser l'ensemble des flux vidéo pour les aider à prendre plus rapidement les bonnes décisions», explique Éric Bujon, le responsable simulation à la DGA. Les marins l'ont testé en mer l'été dernier et leur retour d'expérience sera précieux pour disposer, à terme, d'une version industrialisable.

Le laboratoire a également été mobilisé pour valider d'autres concepts d'armes, notamment le tir de missiles à partir d'un véhicule blindé sans vue directe de la cible. Les développeurs se sont appuyés sur un «serious game», qui plonge l'observateur, le décideur et le tireur dans un monde virtuel où ils peuvent tester différents scénarios de tirs. Ces simulations ont permis de définir la meilleure répartition des rôles entre les opérationnels. Au-delà des traditionnels simulateurs et systèmes d'entraînement comme celui du Rafale, la DGA exploite donc la simulation comme un outil d'ingénierie technique. «Pour la définition d'un nouveau système d'arme, le dialogue entre les opérationnels, les ingénieurs et les industriels s'avère essentiel. Il permet de traduire un besoin opérationnel en un cahier des charges qui servira de base au contrat avec l'industriel. Un contrat réaliste aussi bien sur le plan des performances que sur les coûts de développement du futur équipement», précise le responsable simulation.

Utilisatrice intensive des technologies de simulation depuis plus de vingt ans, la DGA peut aujourd'hui compter sur 230 experts dans ce domaine, soit trois fois plus qu'il y a dix ans. Elle y consacre un budget de plusieurs dizaines de millions d'euros par an. «Malgré la baisse des ressources, la simulation reste une priorité. Nous avons mis en place un programme de rationalisation de nos activités en 2013. Dans notre mode de fonctionnement, nous devons nous rapprocher de celui d'une société d'ingénierie avec une meilleure mutualisation des ressources et des outils», conclut Éric Bujon. ■ HASSAN MEDDAH

LE PROJET À SUIVRE Réunis au sein de l'association Adis, la DGA et ses fournisseurs veulent développer une boîte à outils commune sur les technologies de simulation.



Quinze fois plus puissant que son prédecesseur, le calculateur Pangea a coûté 60 millions d'euros à Total.

Énergie **TOTAL CARBURE AUX ALGORITHMES**

De l'exploration au raffinage en passant par l'exploitation d'un réservoir, le groupe pétrolier modélise son industrie grâce à un supercalculateur.

Dans un groupe de la dimension de Total, la réussite et la précision des simulations numériques engagent des centaines de milliers, voire des millions d'euros. Pas étonnant que l'entreprise en ait fait une compétence clé dans toutes ses activités. En premier lieu, il s'agit de transformer les données de propagation d'une onde sismique dans le sous-sol en une image des couches géologiques afin de découvrir des réservoirs d'hydrocarbures. Les volumes d'informations à traiter atteignent des sommets avec 170 téraoctets pour les plus grandes campagnes.

Puis, Total transcrit la dynamique des fluides multi-échelles. Cela consiste à représenter l'évolution d'un réservoir d'hydrocarbures lors de son exploitation. Exercice difficile, car il s'agit de simuler la migration de l'eau, de l'huile et du gaz dans un milieu complexe et de leurs interactions avec la roche. Mais exercice indispensable, car de lui dépend la réalisation de forages supplémentaires ou l'injection d'eau

pour optimiser une exploitation. À une autre échelle, et sur le même principe, Total reproduit les réactions chimiques, les échanges de chaleur, les polymérisations au sein des grands procédés de raffinage. « C'est ce qu'il y a de plus compliqué en mécanique des fluides multiphysiques », explique Jean-François Minster, directeur scientifique de Total.

Une maîtrise globale des études

Enfin, le groupe plonge vers des dimensions bien plus modestes avec la modélisation de structures devenue indispensable à la chimie de spécialités, activité assumée par des filiales comme Hutchinson. Dans le cadre de réalisation de joints d'étanchéité pour l'automobile, par exemple, il est nécessaire de reproduire l'ensemble du véhicule et ses vibrations sur la route pour mimer le vieillissement du produit. La simulation de structures permet également d'évaluer le coulage de matières composites dans des moules. La modélisation pousse jusqu'au niveau moléculaire. L'objectif étant de déchiffrer des comportements macroscopiques à partir d'échelles infiniment petites, utile pour l'étude des colles notamment.

Environ un tiers de ces recherches est réalisé en interne grâce à des moyens humains et techniques dédiés. Le reste est sous-traité par des sociétés spécialisées ou par des universités, selon la complexité et la sensibilité des sujets (risques industriels, impacts environnementaux...). Si Total a choisi d'internaliser une part de ces études, c'est dans le but de rester maître de sa connaissance. « La simulation est tellement stratégique que nous devons comprendre les ↗

calculs associés. Nous ne pouvons pas nous contenter d'une analyse de prestataire», explique Jean-François Minster.

Pour y parvenir, le groupe possède plusieurs supercalculateurs. Mais surtout, depuis mars 2013, les informatiens hardwares, les ingénieurs systèmes, les opérateurs, les mathématiciens et les géophysiciens bénéficient de la puissance de Pangea, le neuvième plus puissant supercalculateur au monde au moment de son installation. Installé dans le centre scientifique et technique Jean-Fréger, à Pau (Pyrénées-Atlantiques), il affiche 2,3 petaflops de puissance de calcul et 7 petaoctets de capacité de stockage. Cet investissement de 60 millions d'euros a été remboursé en moins d'un an, tant il réduit la complexité et améliore la

précision des simulations. Un élément clé dans l'industrie pétrolière où seuls 15 à 30 % des forages sont un succès. L'amélioration du taux de réussite de quelques points suffit à économiser des millions de dollars. En outre, le gain de temps est considérable. L'analyse des relevés sismiques du projet Kaombo, en Angola, a demandé neuf jours de calcul à Pangea. Avec l'ancien supercalculateur, il aurait fallu quatre mois et demi... ■ **LUDOVIC DUPIN**

LE PROJET À SUIVRE La simulation multi-échelle et multiphasée de polymérisation, lancée en partenariat avec l'Académie des sciences de Chine, à Pékin. Rendu difficile par des phases de densité très voisines, ce projet est une première mondiale.

Climat

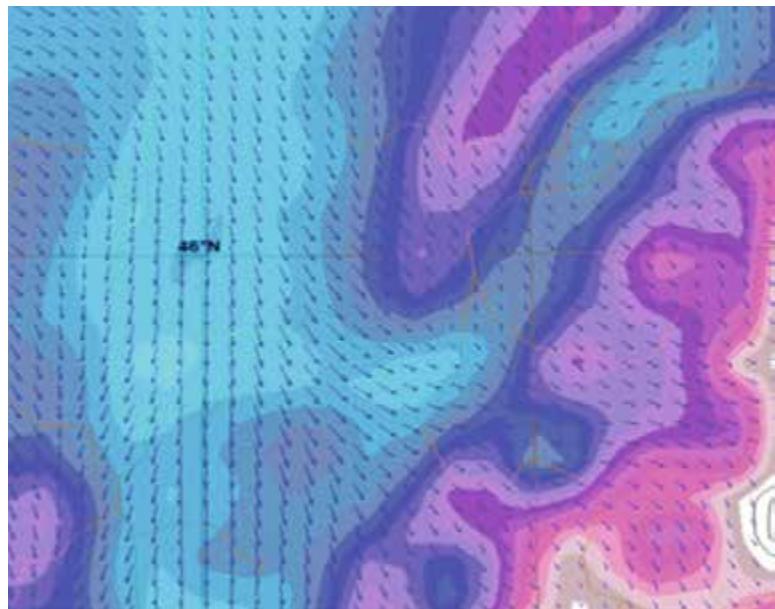
MÉTÉO FRANCE AFFÛTE SES PRÉVISIONS

Le service météorologique national augmente sa puissance de calcul. Son but? Affiner ses modèles prédictifs des phénomènes atmosphériques.

Sur le site toulousain de Météo France, deux nouveaux supercalculateurs ont été installés en 2013. Deux machines Bull qui affichent plus de 500 téraflops de puissance crête chacune. Soit une puissance totale vingt fois supérieure à celle des deux ordinateurs Nec qu'elles remplacent. L'une est consacrée à la prévision quotidienne, l'autre à des travaux de recherche. Et ce n'est qu'une étape, car les deux calculateurs seront remis à niveau en 2015-2016. Une opération qui devrait quintupler la puissance crête. Globalement, sur les logiciels qu'il utilise, Météo France s'attend à un gain de performance multiplié par trente environ. Le premier des supercalculateurs Bull est passé en production en janvier. L'ensemble des nouveaux équipements de calcul sera opérationnel en mai. Le tout sans augmenter la consommation d'énergie, grâce à un système de refroidissement plus efficace.

L'évolution du climat en question

Cette montée en puissance n'a rien de surprenant, car la prévision météorologique est depuis toujours une grande consommatrice de moyens de calculs. Mais la migration entamée en 2013 répond à un programme précis d'amélioration des prévisions. Et engage Météo France dans une vaste entreprise de révision de ses codes de calcul. «L'un de nos objectifs est d'améliorer la précision des prévisions en réduisant la maille des modèles de l'atmosphère», indique Alain Beuraud, le chef de projet calcul intensif à Météo France. Ainsi, le modèle le plus fin, Arome, qui donne des informations locales en métropole, fonctionne



En réduisant le maillage de ses modèles, Météo France veut obtenir des prévisions plus fines. Ici, une carte des températures et du vent.

aujourd'hui avec une maille de 2,5 kilomètres. Elle sera réduite à 1,3 kilomètre. Arome permet notamment de prévoir des événements potentiellement dangereux, comme les orages. Et son usage va s'étendre aux Dom-Tom. Arpège, autre modèle de simulation de Météo France, à l'échelle du globe cette fois, utilise une maille de 15 kilomètres qui passera à 7,5 kilomètres. Affiner le maillage des modèles n'est pas le seul but de la montée en puissance des moyens de calcul. L'idée est également de faire tourner un plus grand nombre de simulations. Par exemple, faire varier les conditions initiales sur un même modèle afin de vérifier ou confirmer un risque de tempête ou d'événement dangereux. Ou encore actualiser toutes les heures les prévisions pour répondre aux demandes spécifiques des aéroports.

Enfin, il ne faut pas oublier que l'un des deux calculateurs est dédié à la recherche, et que Météo France est fortement ↗



Renforcer votre capacité d'innovation avec le calcul haute performance d'HP

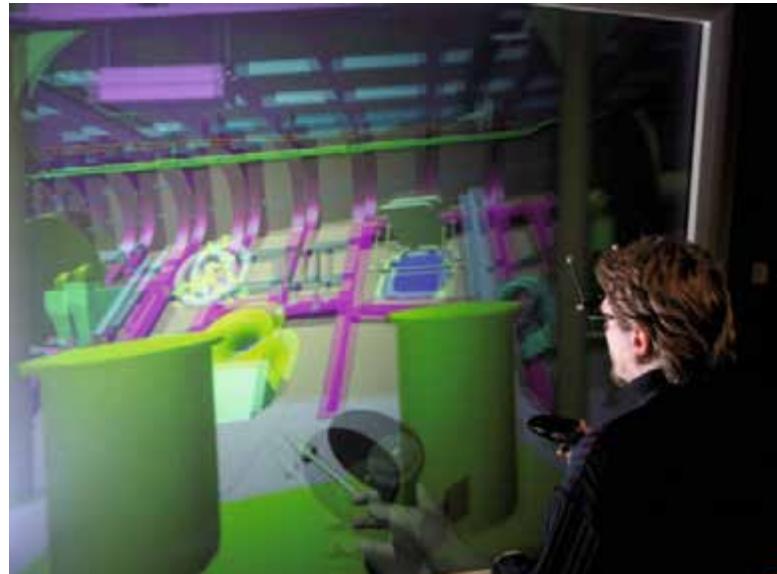


HP présente son dernier né :
Périgrine, 1,2 Petaflops de pure innovation *
à l'attention des chercheurs et ingénieurs les plus exigeants

impliqué dans l'étude de l'évolution du climat, avec l'un des deux modèles de simulation français (une version d'Arpège) reconnus par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec). L'ordinateur dédié à la recherche servira à préparer le prochain rapport de cette institution sur le réchauffement climatique. Mais tout ceci n'est pas sans poser de sérieux défis informatiques. Chacun des deux supercalculateurs Bull comporte 1 000 noeuds de calcul et 24 coeurs de processeurs Intel. Rien de commun avec la génération précédente de calculateurs Nec et leurs dix noeuds de calcul vectoriel... Une parallélisation massive des codes de calcul s'avère donc nécessaire. « Pour que la maille du modèle Arome soit effectivement réduite à 1,3 kilomètre, il faudra le faire tourner sur des milliers

de coeurs de processeurs », souligne Alain Beuraud. Autre point clé : les entrées-sorties des données avec un ensemble de processeurs qui travaille simultanément... « Ce peut être un point bloquant : inutile de rajouter des processeurs si on ne l'a pas résolu », prévient le responsable du calcul chez Météo France. De quoi occuper un bon moment les équipes de recherche et de production, associées à la résolution de ces problèmes. Tout en préparant déjà le nouveau saut de puissance - et de parallélisme - annoncé pour 2016. ■ THIERRY LUCAS

LE PROJET À SUIVRE L'adaptation des programmes de prévision météorologique aux architectures parallèles des nouvelles générations de super-ordinateurs.



PASCAL GUITTET

Immersion totale dans cette salle de réalité virtuelle où sont traqués les bugs de conception des navires armés.

Construction navale **DCNS, LE BÂTISSEUR 3D**

Adepte de la réalité virtuelle, DCNS pousse le concept dans son programme des frégates Fremm et teste la réalité augmentée en production.

Sur l'écran courbe de la salle de réalité virtuelle, le visiteur - chaussé de lunettes 3D - plonge au cœur de la frégate Fremm Aquitaine, premier exemplaire livré par DCNS à la Marine nationale fin 2012. Plage arrière, poste central d'opérations, passerelle de commandement... « Tous les espaces sont passés au crible avec le client, jusqu'à

l'emplacement des prises électriques », explique Yann Bouju, le responsable à Lorient des activités de réalité virtuelle et augmentée. Un département qui compte une dizaine de salariés pour l'ensemble du groupe.

« Depuis 1997, DCNS conçoit et fabrique ses navires avec des maquettes numériques et de la visualisation 3D. Les tests ont commencé avec le porte-avions nucléaire Charles-de-Gaulle, précise Yann Bouju. Les Fremm et les Barracuda sont les programmes où nous avons poussé la logique le plus avant. » Les maquettes numériques sont directement intégrées à Etrave, un système PLM (pour « product life management ») mis au point en interne pour les besoins spécifiques de l'entreprise : un navire de guerre ou un sous-marin sont complexes à fabriquer avec un nombre de composants qui dépasse le million. En amont de la construction, la maquette numérique permet de vérifier la faisabilité et sert aux études préliminaires avec le client. « Nous travaillons en amont sur la définition et l'ergonomie des postes de travail, précise Yann Bouju. La morphologie d'un marin malaisien n'a rien à voir avec celle d'un marin français. Nous devons adapter les postes. » Lors des études détaillées, la réalité virtuelle permet de « dérisquer » bien des bugs. Par exemple, impossible sur la frégate Aquitaine de vérifier de visu, depuis la passerelle de commande, le flanc arrière du navire où ont lieu des opérations importantes comme la mise à l'eau de Zodiac pour intervention. « Nous avons alors ajouté un aileron sur le côté de la passerelle », explique Yann Bouju.

Une excellente rentabilité

À côté de la première salle de réalité virtuelle, une seconde salle, dite de « tracking », est dédiée à des réunions de travail plus appliquée : une fois équipé de lunettes surmontées de drôles de petites antennes et armé d'une sorte de joystick, on peut manipuler la maquette numérique dans tous les sens. Cherbourg et Toulon sont équipés de salles identiques. « Nous avons aussi un "cave" depuis un an et demi à Cherbourg, avec trois écrans permettant une plus grande immersion », explique Yann Bouju. Cette salle est à proximité du montage des sous-marins nucléaires Barracuda. « Les équipes de montage vont y vérifier le matin la faisabilité des opérations

Ferrari Takes a Victory Lap With ANSYS



Victories by Ferrari. Simulation by ANSYS.



Realize Your Product Promise®

Winners demand the best. Ferrari would know. It has one of the best racing records the world over.

Using ANSYS simulation technology, Ferrari is realizing its product promise by optimizing critical aspects of its race cars, like brake cooling systems and full-body aerodynamics, to better handle the twists and turns of the racing world.

Sounds like Ferrari is in the driver's seat.



Visit ANSYS.COM/Ferrari to learn how simulation software can help you realize your product promise.

de la journée», poursuit-il. L'investissement est important, mais DCNS ne communique aucun chiffre. Tout juste saura-t-on que sa rentabilité est excellente, notamment grâce aux économies sur les reprises en chantier.

DCNS teste également des dispositifs de réalité augmentée sur la sixième Fremm en construction. Sur un quai, un tronçon de navire. Dans la future buanderie, Brendan Le Gallo, analyste métiers, transporte une valise baptisée Rapace. À l'intérieur, un rétroprojecteur couplé à une caméra, tous deux reliés à un ordinateur portable. Celui-ci charge la maquette numérique et projette dans la pièce le plan de la buanderie afin de regarder si les pièces soudées sur les cloisons sont au bon endroit. La plupart le sont. L'une

d'entre elles est décalée de quelques centimètres. «Lors de l'inspection du chantier, le responsable de la production décidera s'il faut la déplacer ou si on peut la laisser en l'état. Si c'est le cas, l'idéal serait de pouvoir modifier ensuite la maquette virtuelle», explique l'analyste métiers. Ce sera peut-être l'une des prochaines étapes. Après celle de convaincre les chefs d'équipe que l'outil fait gagner du temps. «C'est le même mouvement que nous avons opéré quand nous sommes passés de la table à dessin à la CAO», se souvient Yann Bouju. Une petite révolution. ■ PATRICK DÉNIEL

LE PROJET À SUIVRE L'intégration en production d'outils de réalité augmentée à des fins de vérification de chantier.

Chimie

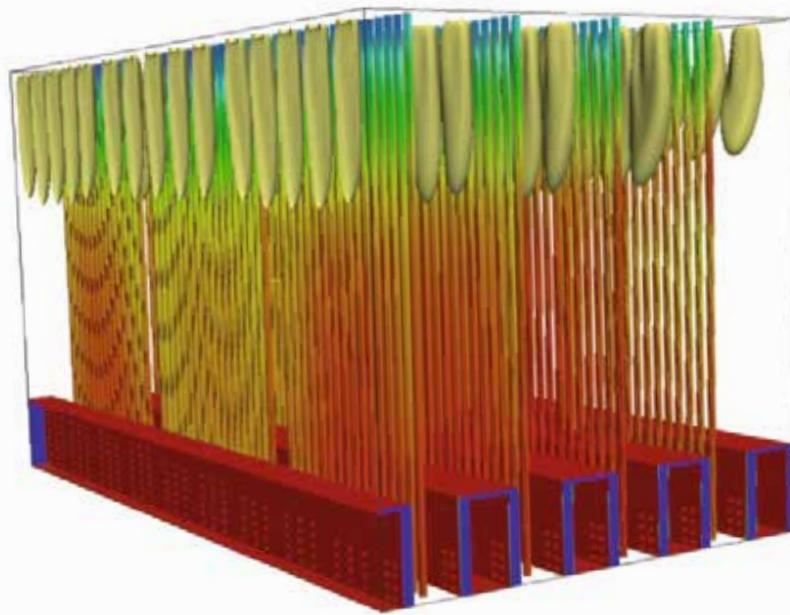
AIR LIQUIDE OPTIMISE LES RESSOURCES

Le groupe français met de la simulation dans tous ses projets. Et améliore ainsi les performances de ses installations comme celles de ses clients.

Impossible de rester le numéro un mondial des gaz industriels et médicaux sans faire la part belle à l'innovation. Chez Air liquide (15,3 millions d'euros de chiffre d'affaires en 2012), la recherche a historiquement fait appel à la simulation numérique. Il y a vingt-cinq ans, le groupe comptait déjà des spécialistes du calcul ou des logiciels capables de modéliser les flammes des fours de ses clients verriers. Aujourd'hui, «la simulation numérique et la modélisation font partie des neuf compétences clés que nous avons identifiées en R&D», constate Régis Réau, le directeur scientifique senior du groupe. Associées à d'autres compétences comme le génie des procédés, elles sont devenues un outil quasi indispensable dans le développement de nos projets».

Une production moins énergivore

Spécialistes de la dynamique des fluides ou de la modélisation moléculaire, pas moins de quarante chercheurs, en Europe et aux États-Unis, simulent à temps plein. Sans compter une vingtaine de collaborations avec de grands centres d'excellence à travers le monde, comme la chaire sur l'oxycombustion, créée en 2012, avec Centrale Paris et le CNRS. Si la simulation est aussi stratégique pour Air liquide, c'est qu'elle optimise toutes ses activités (santé, industriel marchand, grande industrie et électronique) et toutes les étapes de sa supply chain: de la production du gaz, en passant par le transport, jusqu'au stockage et à la livraison des clients. Indispensable face à la globalisation de l'industrie et aux contraintes en ressources, identifiées en



décembre par le PDG du groupe, Benoît Potier, comme l'une des grandes tendances du marché de demain.

La simulation est précieuse pour rendre la production de gaz moins énergivore. Grâce à la mécanique des fluides numériques, les chercheurs ont modélisé les phases de séparation des gaz de l'air pour mieux contrôler les transferts de matières et turbulences causés par le passage de liquide en vapeur. Couplée à un processus d'automatisation, la modélisation a réduit de 4% les dépenses d'énergie des usines concernées. La même démarche a été appliquée chez ses clients. «Nous apportons de la valeur à nos clients, insiste Régis Réau, en développant des solutions personnalisées à la pointe de la technologie.» Chez les verriers, auxquels le groupe fournit de l'oxygène et des brûleurs pour le fonctionnement des fours, la simulation permet d'étudier la distribution des flux thermiques afin d'optimiser leur design. Dans la santé, secteur en forte croissance pour Air liquide, la simulation booste l'innovation. Il y a quelques années, ses chercheurs se sont penchés sur la manière dont les sprays pénètrent la structure bronchique, afin de favoriser la respira-

La simulation des fours de reformage permet de diminuer les dépenses énergétiques.

INNOVER

AVEC LE PROTOTYPAGE VIRTUEL



CRÉER LE PRODUIT DU FUTUR VIRTUELLEMENT :

- ➔ Fabriquer, tester et appréhender votre prototype virtuel.
- ➔ Obtenir le bon produit du premier coup.
- ➔ Réduire l'impact sur l'environnement.

tion de patients souffrant de problèmes respiratoires. « Nous avons reconstruit numériquement cette structure à partir de données réelles, et essayé de comprendre la trajectoire des particules de gaz pour simuler leur transport dans les voies aériennes, raconte Régis Réau. Nous avons découvert que l'utilisation d'un mélange d'oxygène et d'hélium, plus léger et visqueux que l'air, permettait de respirer plus facilement. » Un saut technologique confirmé par des tests in vitro et in

silico. Prochain défi ? Le big data. Après s'être doté d'un nouveau calculateur sur son centre de recherche francilien des Loges-en-Josas, il entend se rapprocher de voisins comme le CEA... ■ **GAËLLE FLEITOUR**

LE PROJET À SUIVRE Au cœur du consortium Paris-Saclay efficacité énergétique, Air liquide et ses partenaires imaginent les transferts de flux énergétiques entre l'usine du futur et son écosystème.



Étude de la propagation des ondes du réseau optique dans un quartier. En rouge, les zones où le trafic est le plus rapide.

Réseaux **LA MODÉLISATION AU CŒUR D'ALCATEL-LUCENT**

Chez l'équipementier, les chercheurs simulent aussi bien les réseaux que la propagation des ondes. Et c'est dans les Bell labs qu'ils conçoivent les logiciels.

Pour Alcatel-Lucent, la simulation numérique est une seconde nature. Le groupe la décline sur tous les tons au sein de ses Bell labs. « Près de 80 % de nos travaux passent par la modélisation, » affirme Jean-Luc Beylat, le président d'Alcatel-Lucent Bell Labs France. Alors, Alcatel-Lucent champion de la simulation ? Sans aucun doute. L'équipementier télécoms la voit comme un moyen d'innover, de réduire les coûts et les cycles d'innovation. Pour commencer, il sait modéliser l'ensemble des couches d'un réseau de télécommunication (routage IP, transmission optique...) et chacun de ses éléments. Indispensable pour étudier le comportement des réseaux, optimiser leur configuration, tester les technologies... Ce sont les équipes de recherche des Bell labs, par essence multidisciplinaires, qui

ALCATEL-LUCENT

développent leurs propres outils de modélisation répondant à leurs besoins spécifiques. Ces labos travaillent autour de trois grands axes : la contrainte de la croissance du trafic et l'optimisation de l'information ; l'analyse de l'utilisation des équipements et du cloud ; enfin, les composants, l'informatique quantique... C'est à ce type de travaux que les outils conçus en interne servent en priorité. Mais pas seulement. Ils facilitent le travail des équipes de conception des produits, ou sont vendus à certains clients qui souhaitent pouvoir reconfigurer leur réseau.

Un support de l'innovation

Pour modéliser le trafic, Alcatel-Lucent injecte dans ses calculs l'imposante quantité de données qui provient de l'utilisation de ses équipements. Cela permet de mieux cerner les réactions des usagers lors de communications lourdes, comme le visionnage d'une vidéo en streaming. Ou d'étudier le comportement de petits capteurs de pression qui n'envoient qu'une information toutes les heures, par exemple. Avec la croissance permanente du flux de données et la multiplication des usages, connaître le trafic est devenu un enjeu essentiel des télécoms.

La simulation, en tant que support de l'innovation et des développements, donne parfois un avantage concurrentiel à Alcatel-Lucent. Dans le domaine de l'optique, il s'enorgueilleit de sa capacité à modéliser la propagation des ondes. « Nous ne sommes pas les seuls à travailler sur ce sujet, confie Jean-Luc Beylat, mais c'est grâce à cette compétence que nous avons été les premiers à proposer du 100 Gbit/s cohérent [ndlر: réseau optique très haut débit]. » Le français s'aventure également du côté de la simulation thermique. « Les équipements de réseau suivent la loi de Moore, rappelle Jean-Luc Beylat. Plus ils deviennent puissants, plus ils comprennent de transistors et plus ils émettent de chaleur. » Or la consommation d'énergie est une préoccupation majeure de tout acteur économique. Et les opérateurs télécoms, clients privilégiés d'Alcatel-Lucent, n'échappent pas à la règle...

Enfin, à l'instar de nombreux industriels, l'équipementier applique la simulation au prototypage et au test. Idéale, par exemple, pour expérimenter ses câbles optiques sous-marins destinés à de très longues distances avant de les déployer entre deux continents. ■ **EMMANUELLE DELSOL**

LE PROJET À SUIVRE Alcatel-Lucent continue de travailler sur la propagation des ondes dans les réseaux optiques pour le très haut débit fixe et mobile.



L'INNOVATION COMMENCE PAR UNE RENCONTRE

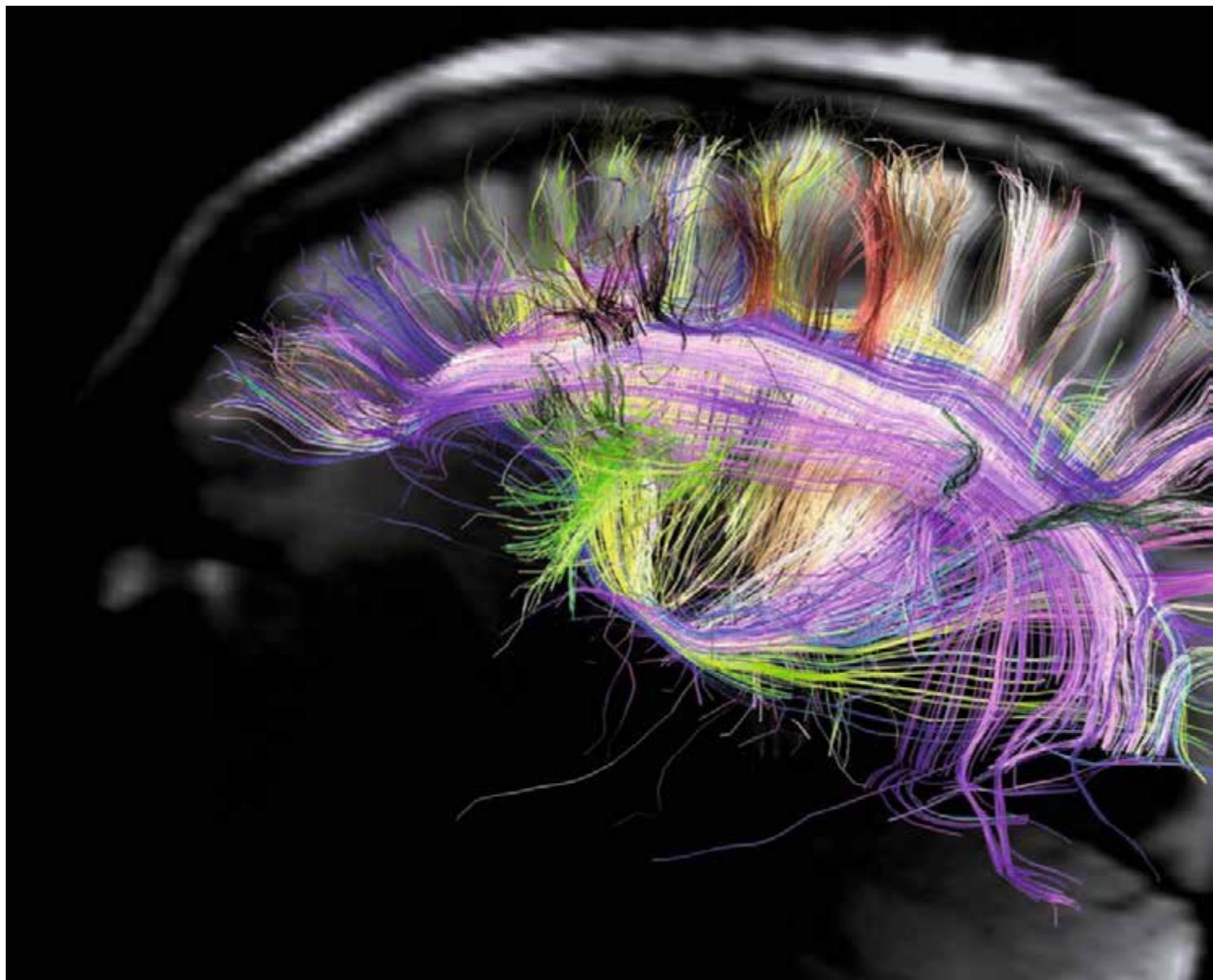


Le laboratoire d'idées de Sogeti High Tech.

Culture de l'innovation : l'innovation est une valeur essentielle au cœur de la stratégie de Sogeti High Tech. Soutenue par une politique de propriété intellectuelle, elle permet de répondre aux exigences de performance et de compétitivité des plus grands groupes industriels.

Projets R&D et incubation : sécurisation de plateformes, modélisation de systèmes multi-agents coopératifs, simulation et réalité virtuelle : les ingénieurs de Sogeti High Tech imaginent et développent des solutions adaptées aux évolutions du marché.

Open-innovation : avec les industriels, les laboratoires, les pôles de compétitivité, les écoles... High Tech Labs suscite et catalyse les réflexions, régulièrement partagées lors des rencontres Connect'ID de Sogeti High Tech.



Portfolio

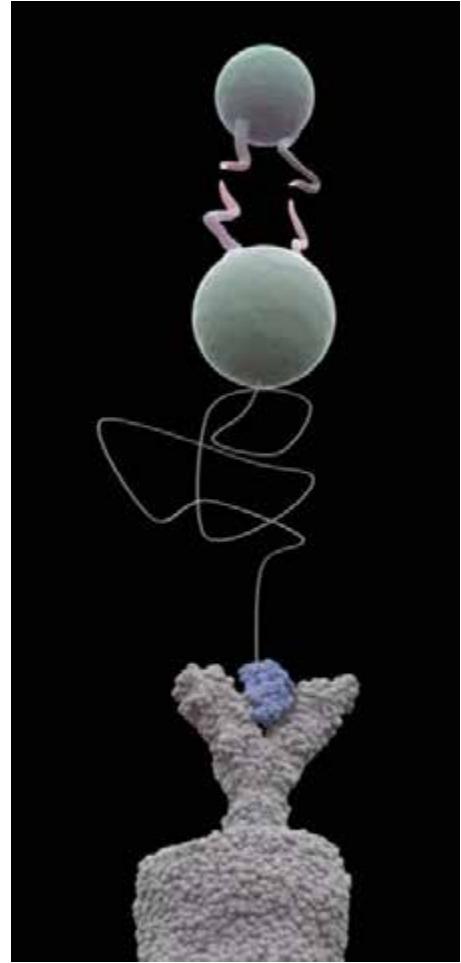
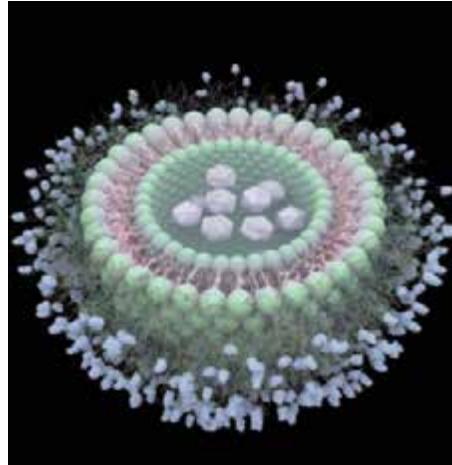
CES ÉTONNANTES IMAGES DE LA NATURE EN ÉQUATION

Trompe-l'œil, les images de la simulation ? Pour le néophyte, parfois. Pour l'expert, ces visualisations numériques de phénomènes physiques ou biologiques valent souvent plus de mille mots.

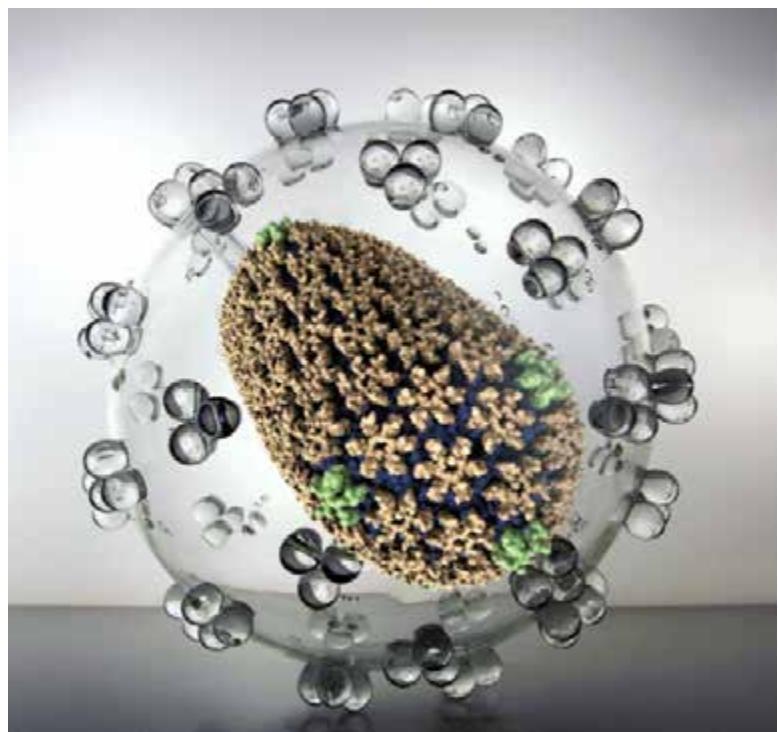
PAR AURÉLIE BARBAUX



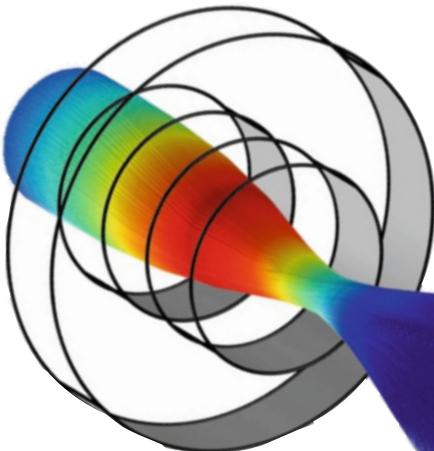
Finalement, le câblage nerveux du cerveau serait très ordonné.
(Université de l'Illinois)



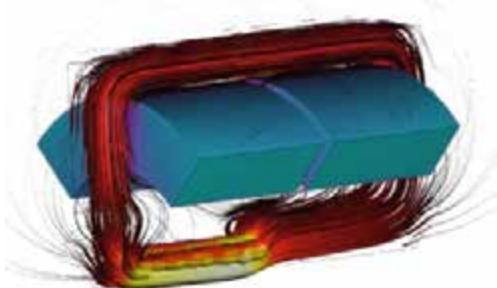
Ceci n'est pas le détail d'un jardin mais des vues d'un liposome, dit « pégylé » et « décoré ». (CNRS)



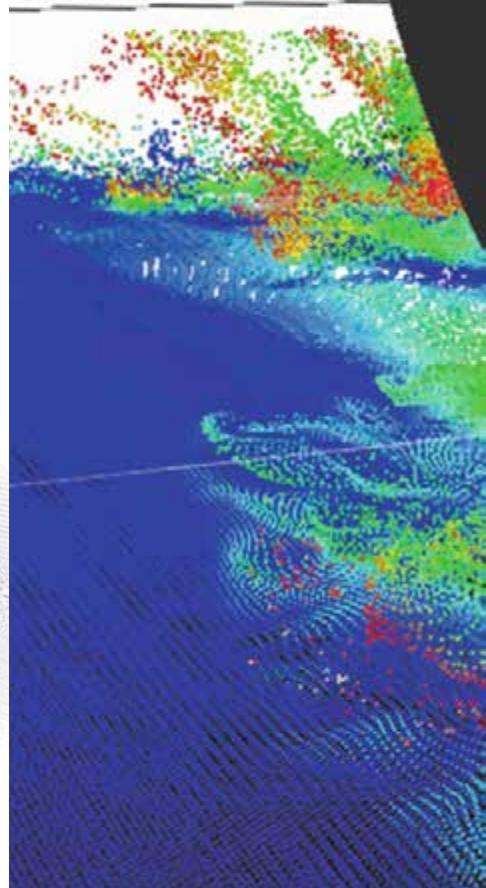
Pas si fragile cette enveloppe transparente !
Il s'agit d'une capsid, coque très défensive qui entoure le VIH. (Medical school of Harvard)



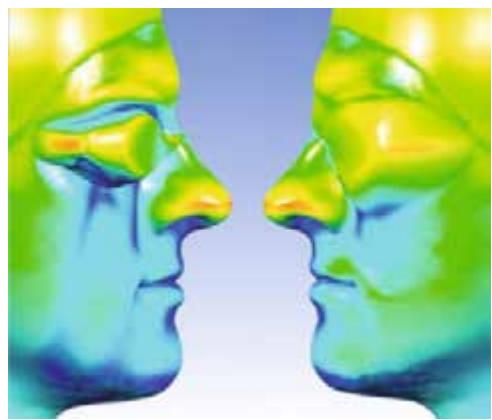
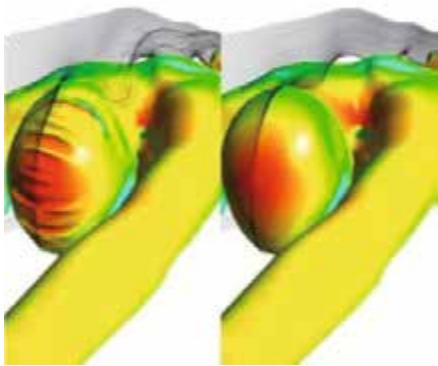
Ceci n'est pas un plumeau,
mais les trajectoires d'électrons
dans un champ magnétique
variable dans l'espace,
ou lentille magnétique. (Comsol)



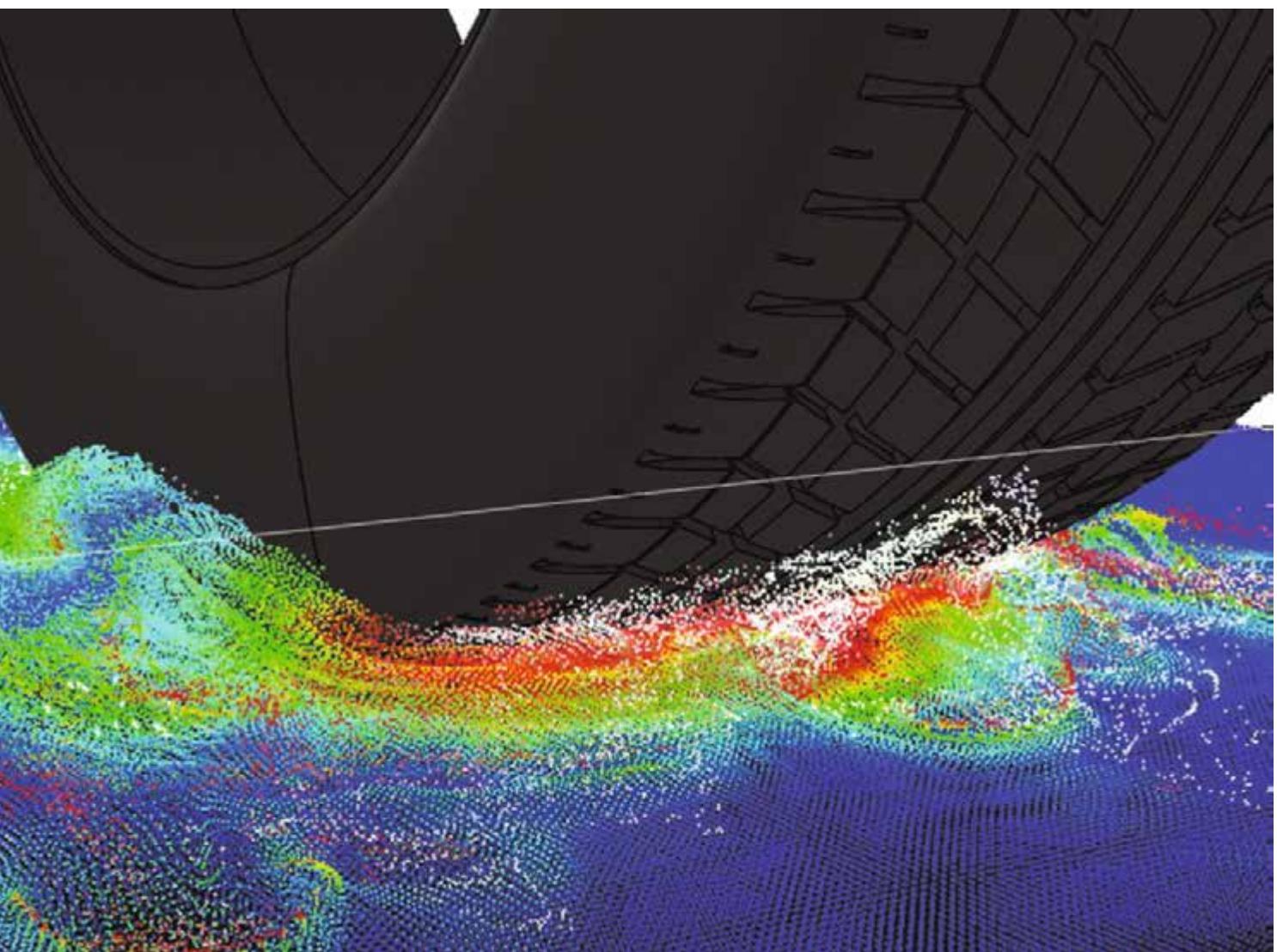
Voilà comment se distribuent
dans un moteur électrique
la température, produite par
le courant alternatif dans la
bobine de stator, et les courants
induits dans l'élément d'ancrage
et le rotor. (Comsol)



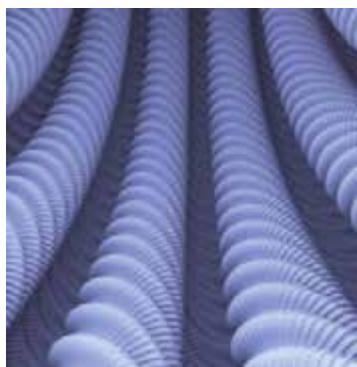
Ceci est bien...
une étude
d'aquaplanage
de pneu sur route
mouillée. (MSC
Software)



Qu'importe la silhouette, c'est l'analyse comparée des champs de vitesses d'écoulements à proximité de la surface
des lunettes et des bonnets ancienne et nouvelle générations qui compte. (Speedo/Ansys)



MSC SOFTWARE ; COMSOL, ANSYS ; V. BORRELLI, S. JABRANE, F. LAZARUS, B. THIBERT, D. ROHMER/CNRS



Ces vagues d'ondulations, appelées « corrugations », correspondent aux vues internes et externes du prolongement isométrique d'un tore carré plat en 3D dans l'espace ambiant. On les appelle aussi « fractales lisses ». (CNRS)

Production

PASSER LES PROCESS AU VERT

La plupart des industriels cherchent désormais à limiter l'impact environnemental de leurs process de fabrication. Un superbe terrain de jeu pour la simulation numérique.

PAR JEAN-FRANÇOIS PREVÉRAUD

Contraints par des réglementations ou des questions de coûts, les industriels tentent de limiter l'impact environnemental de leurs process de fabrication. Pour utiliser le minimum de matières premières, limiter les rebuts, réduire les consommations d'énergie et de fluides ou limiter l'usure des outils, en tenant compte de paramètres tels que la climatisation, l'éclairage des locaux ou la dispersion des odeurs et des poussières, ils se tournent de plus en plus vers la simulation.

En commençant au cœur de l'atelier. Là, les outils de Manufacturing executive system (MES) permettent de collecter les véritables données de production et d'alimenter les modèles numériques servant de base à la simulation. Cela aide à comprendre les process et à expliquer les défauts ponctuels. Le fabricant italien Tenaris a ainsi réduit de 15 °C la température de coulée de ses corps de vannes pétrolières, entraînant une baisse de 15 % de sa consommation en énergie de chauffage et en eau.

Les logiciels d'usine numériques servent également à réduire la consommation. «L'utilisation de la maquette numérique d'une ligne de production permet de connaître rapidement tous les paramètres du process et de procéder à une simulation permettant une optimisation globale plutôt qu'une juxtaposition ponctuelle d'optimisations», estime Hugues Drion, le responsable de la division manufacturing d'Autodesk France. Un grand constructeur automobile allemand utilise ainsi un logiciel de simulation de lignes robotisées pour optimiser la consommation de ses lignes

DES GAINS POSSIBLES SUR...

- L'énergie
- l'éclairage
- le chauffage et la ventilation
- les fluides (eau, air, gaz...)
- les matières premières
- les taux de rebut des pièces finales
- les odeurs et les poussières
- la maintenance
- le démantèlement

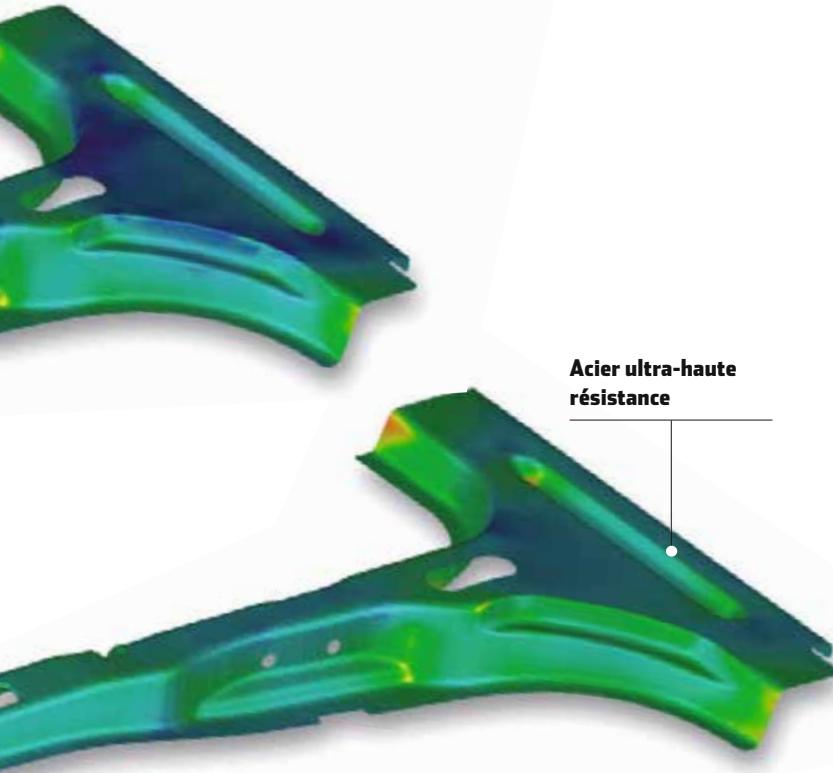


de ferrage. «En ajustant la vitesse des robots pour qu'ils finissent tous leur tâche en même temps, nous avons pu réduire la vitesse de rotation de la plupart des moteurs et faire ainsi chuter la consommation globale de la ligne de 50 %», explique Hadrien Szigeti, analyste stratégique chez Delmia.

Une démarche économique viable

Dans des domaines comme l'emboutissage, la forge ou la fonderie, la simulation met au point et améliore les process de fabrication en même temps que les pièces à réaliser. «Pour garantir leurs objectifs de réduction d'émissions de CO₂, tous les constructeurs automobiles allègent leurs véhicules. Mais pour garantir la sécurité, ils utilisent des aciers plus performants à haute limite d'élasticité (HLE), voire à très haute limite d'élasticité (THLE)», constate Vincent Chaillou, le directeur opérationnel d'ESI Group. Et ils profitent de leurs hautes caractéristiques pour créer des pièces «hardies». Il faut alors procéder à de l'emboutissage à chaud, ce qui change la nature cristalline du matériau. «On sort des zones de travail habituelles et la simulation prédictive est la seule voie économiquement viable pour comprendre le comportement de la matière, afin de développer ces nouveaux process de production», avance encore Vincent Chaillou. Notons que l'Europe est en pointe sur ces sujets grâce à des constructeurs comme Peugeot ou Volkswagen.

Dans la fonderie, où le taux de rebut sur les pièces les



ALLÉGER SANS FRAGILISER

Pour réduire les émissions de CO₂, les constructeurs automobiles allègent leurs véhicules. La simulation les aide, comme ici pour valider le changement de matériau et d'épaisseur d'un pied milieu de caisse, ainsi que le process d'emboutissage associé. Un matériau plus résistant pourra être moins épais sans pour autant fragiliser la pièce.

plus complexes (culasses, carters de moteur d'hélicoptère...) peut atteindre 15 %, la simulation permettrait de ramener rapidement ce taux à moins de 5 %. Une démarche économique et verte. Le recyclage des rebuts entraînant aussi un surcoût énergétique.

La simulation d'usinage par enlèvement de matière est également essentielle pour réduire les temps de cycles et garantir la sécurité de l'usinage. « Mais de plus en plus de clients s'intéressent à la réduction de l'énergie nécessaire. C'est d'ailleurs la problématique du projet Angel, que nous portons au sein du pôle Systematic avec l'aide d'industriels comme Airbus, Messier-Bugatti-Dowty et Snecma », constate Gilles Battier, le PDG de Spring Technologies.

Les outils de simulation sont aussi au cœur de métiers comme l'emballage. « L'un de nos clients a utilisé la simulation pour remplacer le PET de ses bouteilles par un matériau biodégradable à base d'amidon de maïs. Il a ainsi pu dimensionner la bouteille, mais aussi mettre au point le process de soufflage/extrusion garantissant un bon équilibre entre quantité de matières, qualité du produit, durée de vie des moules, réduction des rebuts et diminution de l'énergie nécessaire », explique Antoine Langlois, le directeur technique de MSC Software France.

Mais pour tirer le meilleur parti de la maquette numérique, c'est tout l'environnement qu'il faut simuler. Il est même préférable de procéder à l'optimisation du process en tenant

Vers des bâtiments plus économies

Dans le domaine du bâtiment, l'accent est pour le moment mis sur l'augmentation des performances énergétiques des ouvrages construits. « Cela influe fortement sur nos outils et méthodologies de travail. L'utilisation de la maquette numérique 3D permet d'être cohérent et de ne rien oublier, tout en étant capable de faire travailler tous les intervenants en parallèle et non plus séquentiellement, explique

l'architecte Thierry Rampillon du cabinet Cr&On. Cela nous permet de chiffrer dès le début le projet en garantissant un niveau de performances et de nous y tenir. Il est clair que cela nous permettra aussi, dans un futur relativement proche, de simuler et d'optimiser le coût environnemental de la construction. Nous maîtrisons déjà mieux les quantités de matériaux à mettre en œuvre, ce qui limite les déchets. » ■

compte du bâtiment où il est installé, car le rayonnement solaire peut produire des effets indésirables sur celui-ci. « C'est ce qu'a fait Aston Martin grâce aux outils de simulation d'Autodesk, afin de garantir une température identique sur deux panneaux d'aluminium lors de leur soudure, alors qu'ils proviennent de machines différentes », explique Hugues Drion. Une utilisation de la simulation globale pratiquée par Magna Steyr dans l'usine où il assemble des Mini. Son objectif: réduire ses coûts de 1 % par an, ce qui représente 40 millions d'euros. « Les outils de simulation d'emboutissage servent à définir le process idéal pour obtenir la meilleure pièce possible en minimisant les coûts. Mais n'oublions pas que la matière représente un peu plus de 80 % du prix de la pièce, c'est pourquoi les industriels travaillent sur l'optimisation des flans et la réduction des rebuts, avant de songer à réduire le coût énergétique », constate quant à lui Vincent Ferragu, le directeur d'AutoForm Engineering France.

Optimisation énergétique

Certes, pour le moment, les outils de simulation du marché n'intègrent pas directement de fonction d'optimisation énergétique. « Mais Comsol Multiphysics comporte un module d'optimisation générique, véritable boîte à outils que nos clients peuvent utiliser pour faire de l'optimisation énergétique. L'un d'entre eux s'en est notamment servi pour augmenter le débit d'un ventilateur sans changer la vitesse de rotation de son moteur, en jouant sur la géométrie des pales. Il suffit de maximiser une fonction objectif », explique Jean-Marc Petit, le responsable de Comsol France. Une approche générique que confirme Jean-Pierre Roux, le directeur des ventes d'Altair France: « Nos solutions peuvent être employées à des fins d'optimisation énergétique des process de production, pour peu que les industriels disposent des bases de données adéquates. » Elles restent malheureusement encore trop souvent à construire. ■

Recherche

DES PROJETS XXL

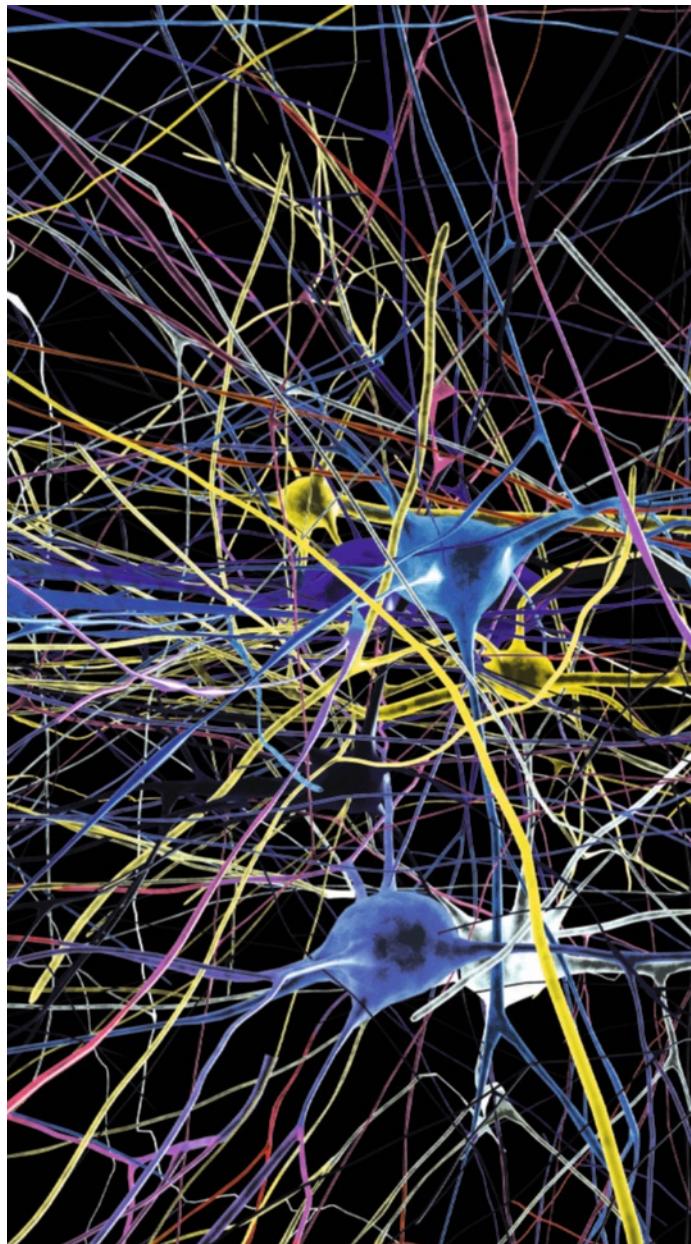
La simulation prend une part grandissante dans les grands programmes scientifiques. Qu'il s'agisse d'élucider des questions théoriques ou de répondre à des problèmes de santé publique.

PAR THIERRY LUCAS

On se demande parfois s'il est indispensable de faire tourner des ordinateurs surpuissants pour savoir s'il pleuvra demain. Mais quand il s'agit de prévoir le réchauffement climatique, la hausse des températures et ses effets à l'échelle mondiale pour le prochain siècle, alors plus personne, ou presque, n'en conteste l'utilité. L'ampleur et l'enjeu de la tâche justifient que l'on mobilise pour cela les supercalculateurs les plus puissants de la planète et des centaines de chercheurs. Mais la météo et le climat ne sont plus les seuls domaines emblématiques du calcul scientifique massif. De nombreuses disciplines sont consommatrices de supercalcul, souvent parce que la simulation permet la pratique d'expérimentations virtuelles difficiles ou impossibles à réaliser autrement. C'est le cas du projet européen Humain brain, qui compte sur la simulation pour optimiser le traitement des maladies neurologiques. La préparation du futur réacteur de fusion nucléaire Iter exige des physiciens une pratique intensive de la physique virtuelle en attendant le prototype. Enfin, les astrophysiciens qui veulent comprendre la structure de l'univers à l'aide de la simulation ne travaillent pas directement pour notre confort futur. En revanche, leurs travaux contribuent à définir les supercalculateurs de demain. ■

COMPRENDRE L'ACTIVITÉ CÉREBRALE

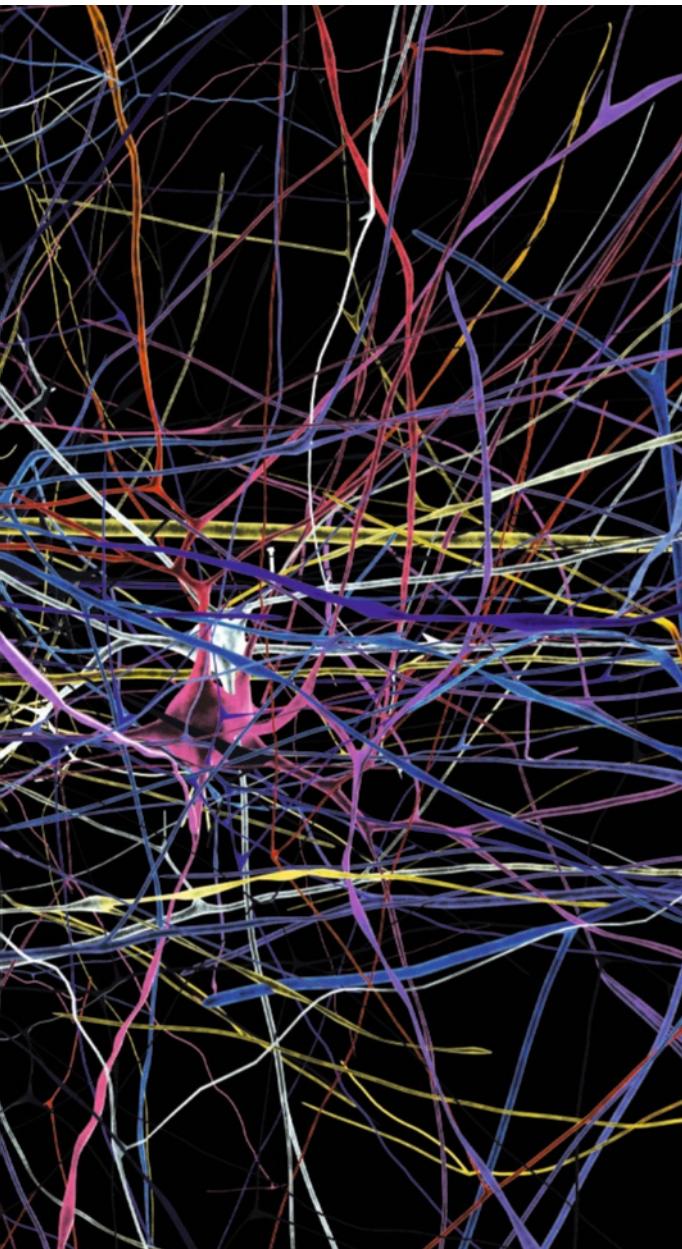
C'est le projet de simulation le plus ambitieux jamais lancé. Celui de reproduire, sur ordinateur, la complexité d'un cerveau humain. Il fait partie d'Humain brain project (HBP), doté de 1 milliard d'euros sur dix ans, et codirigé par l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) et l'université de Heidelberg (Allemagne). Objectif: élucider le fonctionnement de notre cerveau. Avec des retombées attendues en neurosciences, en médecine et en informatique. Les expériences «in silico» [ndlr: «dans la silice»], soit au moyen de modèles informatiques] permettront aux neurochercheurs d'approfondir leurs connaissances des fonctions cérébrales.



Les médecins pourront, eux, utiliser des simulations du cerveau pour reconstituer des maladies, rechercher leur origine et définir le bon traitement. Quant à l'informatique, qui joue un rôle clé dans ces études, elle devrait profiter de nouvelles architectures d'ordinateurs qui rendraient alors réalisables des tâches aujourd'hui impossibles.

Pour tous ces bénéfices, le consortium HBP (80 partenaires) a lancé plusieurs sous-projets en parallèle. Le premier consiste à construire pas à pas, en intégrant en continu les données issues de la recherche en biologie, une plate-forme logicielle qui simule la structure et le comportement d'un cerveau, en recourant aux supercalculateurs. Le but est d'identifier les architectures neuronales responsables de fonctions spécifiques et de faire le lien entre ces mécanismes et certaines maladies neurologiques ou psychiatriques. Le HBP ne part pas de zéro. Il marche sur les pas du projet Blue brain, mené par l'EPFL, qui a effectué en 2012 une simulation portant sur un million de neurones et un milliard de synapses. Soit l'équivalent du cerveau... d'une abeille.

Le nouveau programme se fixe pour premier objectif le

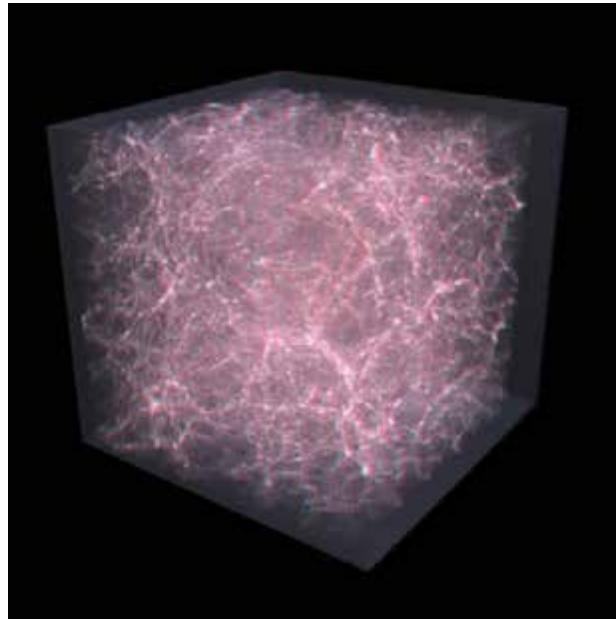


86 milliards !
C'est le
nombre
de neurones
qu'il faudra
modéliser pour
reproduire
le cerveau
humain.

cerveau d'un rat, soit 21 millions de neurones ! Quant au cerveau humain, ce sont 86 milliards de neurones qu'il faudra modéliser... Dans un premier temps, Le HBP devrait utiliser les supercalculateurs disponibles en Europe, avant de bâtrir ses propres moyens de calcul au centre de recherche de Jülich (Allemagne) : 50 petaflops pour 2017-2018, puis une machine exaflops (soit 1 000 petaflops) prévue pour 2021-2022. Dernière ambition du projet, la conception et la construction de deux ordinateurs dits « neuromorphiques ». Des machines dont le fonctionnement ne ressemblera en rien à celui des calculateurs traditionnels, qui sont composés de processeurs et de mémoires, car elles tenteront de reproduire physiquement les réseaux de neurones du cerveau humain. ■

DES LABOS À LA POINTE

Institute for advanced simulation, Jülich (Allemagne)
School of computer science, université de Manchester (Royaume-Uni)
Kirchhoff-Institut für physik, université de Heidelberg (Allemagne)



Un cube de 93 milliards d'années-lumière de côté pour voir le big bang.

DÉCHIFFRER LA STRUCTURE DE L'UNIVERS

Difficile d'aller plus loin. Le Dark energy universe simulation-Full universe run (Deus-FUR), projet piloté par le laboratoire univers et théories (Luth), de l'Observatoire de Paris, a simulé tout l'univers observable, du big bang à nos jours. Et les chiffres laissent rêveur. Les simulations réalisées mettaient en jeu 550 milliards de particules, chacune dotée d'une masse équivalente à celle de notre Galaxie, dans un cube de 93 milliards d'années-lumière de côté. Ce programme tente de répondre à une question fondamentale de la cosmologie : pourquoi l'expansion de l'univers est-elle en accélération ? Selon cette théorie, 95 % de l'univers est constitué de composants invisibles, la matière et l'énergie noires. Et c'est cette mystérieuse énergie noire qui serait responsable de l'expansion accélérée. Comprendre ce qu'elle est permettrait d'appréhender la structure de l'univers (la répartition des galaxies), et inversement.

Trois simulations ont été réalisées, selon trois modèles différents, sur le supercalculateur Curie du CEA. Au total, 1,5 petaoctet de données a été engendré, qu'il s'agit maintenant d'interpréter. Les chercheurs veulent savoir quel est le meilleur modèle pour la compréhension de l'énergie noire, et quelles seraient les conséquences d'une telle découverte sur la théorie cosmologique. D'autres laboratoires avaient auparavant effectué ce type de simulation, à plus petite échelle, notamment au Korea institute for advanced study et à l'institut Max Planck d'astrophysique (Allemagne). Aux États-Unis, six laboratoires, pilotés par l'Argonne national laboratory, ont lancé, en mars 2013, un programme de trois ans qui traque l'énergie noire à l'aide de simulations sur les plus puissants ordinateurs disponibles.

➊ Toutes les équipes s'efforcent d'optimiser les codes de calcul pour les adapter aux ordinateurs qui vont les exécuter. «Dans des projets comme ceux-là, ce n'est pas seulement un problème de puissance de calcul : il faut simultanément se préoccuper de la gestion de la mémoire et des données, des entrées-sorties...», explique Jean-Michel Alimi, directeur de recherche au CNRS, et responsable de Deus. Mais il devient très difficile de faire évoluer un code quand on veut changer la modélisation physique, ou quand il faut adapter le programme aux nouvelles architectures des supercalculateurs. Aujourd'hui, les chercheurs doivent concevoir des codes en prenant garde à bien séparer la modélisation des aspects proprement informatiques. Par ailleurs, les résultats

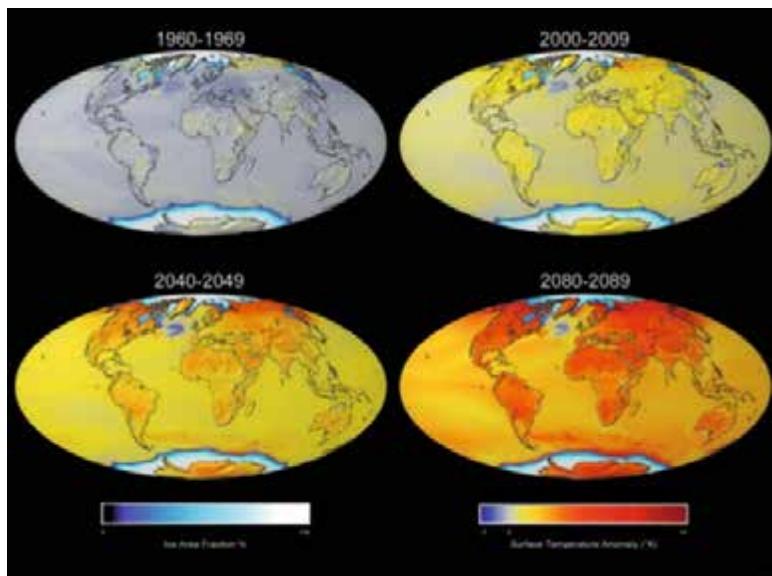
de ces simulations doivent également servir aux projets d'observation spatiale, eux aussi en quête de l'énergie noire. Qu'ils soient menés à partir de télescopes terrestres, comme la Dark energy survey, programme international lancé en septembre 2013 au Chili, ou à partir de satellites, comme le projet Euclid de l'Agence spatiale européenne, dont le lancement est prévu en 2020 par une fusée Soyouz. ■

DES LABOS À LA POINTE

Laboratoire univers et théories (Luth), Observatoire de Paris (France)

Argonne national laboratory, département de l'Énergie (États-Unis)

Max Planck Institut für astrophysik (Allemagne)



Le CMIP5 permet de tester et de comparer les logiciels de prévision climatique.

PRÉVOIR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

En septembre 2013, le premier volet du cinquième rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec) a confirmé les prévisions sur le réchauffement climatique jusqu'à la fin du siècle. Selon les scénarios envisagés, la hausse de température pourrait atteindre 5 °C, tandis que le niveau des océans monterait de 25 cm à presque 1 mètre (pour la vision pessimiste). L'impact significatif des activités humaines sur cette évolution a été confirmé. Ces conclusions s'appuient sur les mesures et observations réalisées dans le monde. Et sur des simulations numériques à l'échelle de la planète. Le défi est mondial, et une vingtaine de groupes de recherche tentent de le relever. Les chercheurs mettent au point des modèles physiques des différents éléments agissant sur le climat : l'atmosphère, les

continents, les océans, la banquise... et, bien sûr, l'humain qui engendre des gaz à effet de serre et des aérosols. Ces modèles sont ensuite assemblés, couplés, et assistés par des supercalculateurs pour produire des données sur l'évolution des températures, des précipitations... Si le développement des différents modèles se fait en ordre dispersé (il en existe une quarantaine), les experts mondiaux se sont en revanche mis d'accord sur la façon de les tester. Ainsi, le programme Coupled model intercomparison project (CMIP5) a permis de comparer les résultats obtenus par tous ces modèles sur les mêmes «exercices» de simulation.

Deux systèmes climatiques sont développés en parallèle dans l'Hexagone, l'un par Météo France, l'autre par l'Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL). L'objectif général des tests comparatifs est d'améliorer la fiabilité des résultats de simulation et, à terme, de faire converger les différents modèles. C'est ce qui se passe aujourd'hui pour les phénomènes d'écoulements, régis par les lois de la mécanique des fluides. Les difficultés – et les divergences – sont bien plus vives quand il s'agit de modéliser d'autres éléments (transfert radiatif, chimie...) ou pour ce qui se produit à plus petite échelle, en dessous du maillage choisi pour les calculs, qui découpe l'atmosphère en unités de quelques dizaines de kilomètres de côté. «Les tests menés dans le cadre du CMIP permettent d'écartier certains modèles jugés non pertinents pour tel ou tel phénomène, mais pas de définir le meilleur», précise Jean-Louis Dufresne, responsable du centre de modélisation du climat de l'IPSL. Toutes les équipes s'efforcent de réduire l'incertitude qui pèse sur le résultat des simulations, même si la nature chaotique du climat empêche de l'éliminer complètement. Par ailleurs, les programmes de simulation eux-mêmes doivent être actualisés pour exploiter les nouvelles architectures d'ordinateurs massivement parallèles. ■

DES LABOS À LA POINTE

Institut Pierre-Simon Laplace (France)

Max Planck Institut für Meteorologie (Allemagne)

Hadley Centre for Climate Prediction and Research (Royaume-Uni)

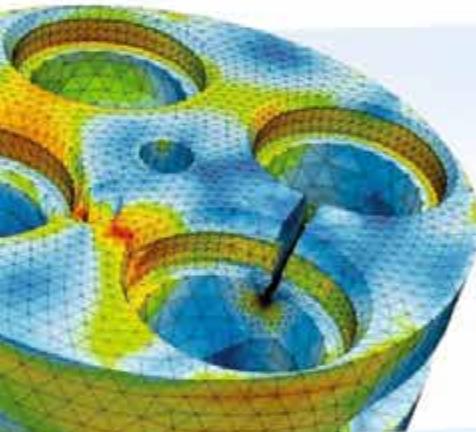
National Center for Atmospheric Research (États-Unis)

Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, Princeton (États-Unis)



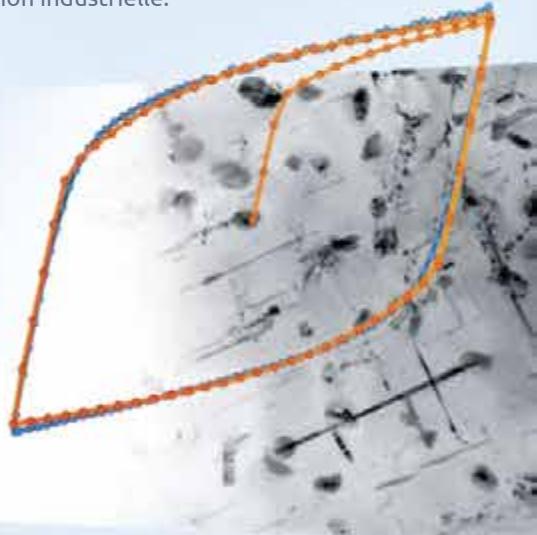
LES MODÈLES MATERIAUX NON LINÉAIRES DANS LA CONCEPTION AUTOMOBILE AVEC Z-SET SOFTWARE

Mieux connaître les efforts et les déformations au sein des pièces critiques est une nécessité pour les équipementiers et les constructeurs. Les géants de l'industrie automobile **Montupet** et **Renault** ont fait le choix du code **Z-set** pour leurs applications avancées, lorsque le matériau s'endommage, vieillit ou se fissure.



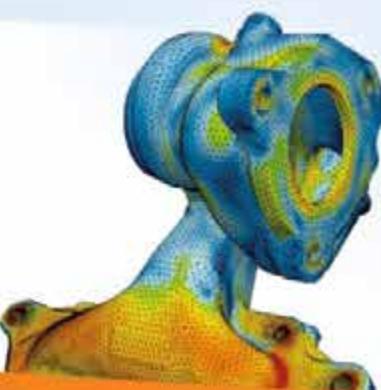
Les cycles thermiques appliqués aux culasses des moteurs automobiles génèrent un champ de déformation plastique qui peut conduire à l'amorçage de fissures.

Renault et **Montupet** ont coopéré avec **Z-set** software pour créer des outils de modélisation robustes, permettant de prévoir leur apparition, le chemin de propagation et l'arrêt éventuel, en présence du chargement thermomécanique cyclique. Ils sont utilisés au stade de la conception industrielle.



Les **alliages d'aluminium** constituant les culasses subissent en fonctionnement des températures proches de leurs conditions de traitement thermique initial.

Les évolutions de la microstructure qui en résultent se manifestent par des diminutions très sensibles de la résistance mécanique (jusqu'à 50% de variation). Ce processus est pris en compte dans des modèles thermo-métallurgiques, qui impactent le comportement mécanique non linéaire.

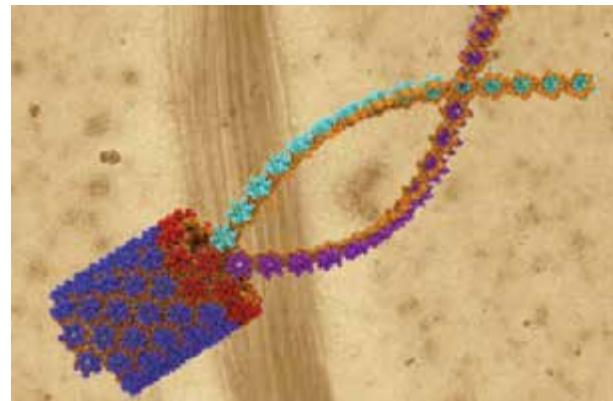


Le process de "**downsizing**" conduit à des élévations de température de fonctionnement des moteurs.

Les systèmes d'échappement deviennent donc des pièces sensibles pour lesquelles il faut maintenant réaliser des prévisions prenant en compte les déformations plastiques. La durée de vie est estimée à l'aide de modèles spécialisés qui prennent en compte de façon simultanée l'effet des cycles et des temps de maintien.

➊ ÉLUCIDER UNE COMPOSANTE DU VIRUS HIV

Une avancée dans la recherche contre le sida ! La structure de la capsidé, la coque qui protège le matériel génétique du virus et s'ouvre pour le libérer dans une cellule, a pu être entièrement reproduite par des chercheurs de l'université de l'Illinois à Urbana-Champaign (UIUC). Un assemblage de 1 300 protéines, représentant 64 millions d'atomes. C'est l'une des plus grandes simulations réalisées au niveau des atomes. De cette capsidé, on ne connaissait que des parties, observées expérimentalement par tomographie, résonance magnétique nucléaire... Élucider sa structure complète doit servir à mieux comprendre les mécanismes d'action du virus et à élaborer de nouvelles techniques pour le combattre. Pour cela, les chercheurs ont dû attendre la génération de supercalculateurs dont la puissance dépasse le petaflops, tel l'ordinateur Blue waters du National center for supercomputing applications (NCSA), l'un des plus puissants au monde. L'équipe américaine a conçu une simulation qui s'appuie sur les données expérimentales des composants de la capsidé pour construire le modèle complet. En effet, les études précédentes avaient révélé que les protéines s'organisaient sous forme d'hexagones et de pentagones. Mais il restait à déterminer la structure optimale pour la construction d'une coque fermée. Aujourd'hui, notamment pour reproduire des phénomènes dynamiques tels que la formation ou le comportement de la capsidé, les chercheurs vont avoir besoin d'une plus grande puissance de calcul. Jusqu'ici, ils n'ont simulé que des périodes de quelques microsecondes, alors que les processus biologiques concernés se déroulent sur plusieurs secondes, voire des minutes... ■



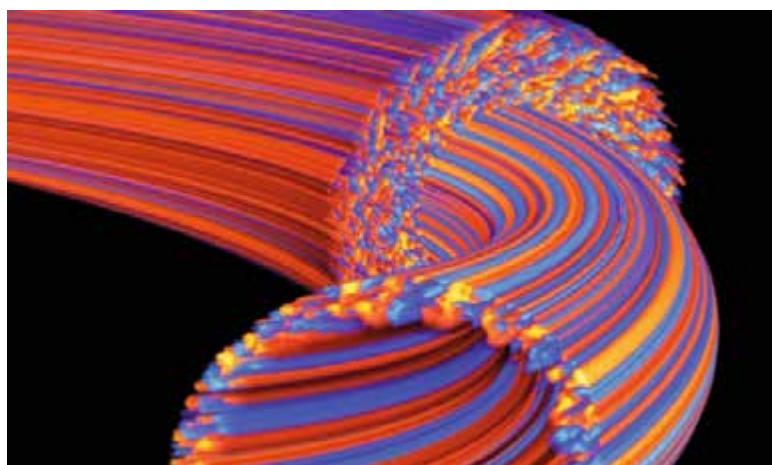
La structure chimique de la capsidé du HIV a été déterminée à l'aide de l'ordinateur Blue waters.

nisaient sous forme d'hexagones et de pentagones. Mais il restait à déterminer la structure optimale pour la construction d'une coque fermée. Aujourd'hui, notamment pour reproduire des phénomènes dynamiques tels que la formation ou le comportement de la capsidé, les chercheurs vont avoir besoin d'une plus grande puissance de calcul. Jusqu'ici, ils n'ont simulé que des périodes de quelques microsecondes, alors que les processus biologiques concernés se déroulent sur plusieurs secondes, voire des minutes... ■

DES LABOS À LA POINTE

Département de physique, université UIUC, (États-Unis)

Département de biologie structurale, université de Pittsburgh, avec le National center for supercomputing applications (États-Unis)



Simuler les turbulences du plasma est possible avec le calculateur Curie.

PRÉPARER L'ÉNERGIE DU FUTUR

Un mélange de noyaux atomiques et d'électrons, dont la température atteint 150 millions de degrés au centre et qui est parcouru de tourbillons... Plusieurs équipes dans le monde travaillent à modéliser le comportement de ce milieu hors norme, à savoir un plasma, dont l'obtention est nécessaire pour déclencher la réaction de fusion entre le deutérium et le tritium, deux isotopes de l'hydrogène. Cette réaction sera

peut-être la source d'une énergie potentiellement infinie à partir de 2040. Iter, le futur réacteur expérimental de fusion nucléaire, est déjà en construction à Cadarache (Bouches-du-Rhône). Mais les physiciens doivent apprendre à maîtriser le milieu de la réaction. Les expérimentations sur les tokamaks, machines où sont confinés les plasmas, ont permis de progresser. Car la simulation a son rôle à jouer dans le démarrage d'Iter, dont l'enceinte à plasma sera dix fois plus grande que celle du plus grand tokamak existant. En 2012, l'équipe française du CEA-Inria, qui utilise le code de calcul Gysela, a reproduit des turbulences dans le plasma. Un point clé pour l'efficacité du futur réacteur, car ces turbulences sont responsables des pertes de chaleur entre le cœur et les bords du magma. Une première, réalisée au prix de certaines simplifications, et sur un volume de plasma 25 fois inférieur à celui d'Iter ! Les calculs ont été effectués sur l'ordinateur Curie du Très grand centre de calcul du CEA, à Bruyères-le-Châtel. La recherche porte désormais sur la modélisation de la physique du plasma et sur l'utilisation optimale des architectures parallèles des superordinateurs. But : s'affranchir des simplifications et modéliser l'ensemble de l'enceinte d'Iter. Des simulations réalisées sur 450 000 coeurs de processeurs sont déjà programmées. Les machines prévues pour 2020 devraient, elles, en aligner plus de 1 million. ■

DES LABOS À LA POINTE

CEA-Inria (France)

École polytechnique fédérale de Lausanne (Suisse)

Max Planck institute für plasmaphysik (Allemagne)

1 & 2 juillet/july 2014
École Polytechnique
Palaiseau - France

Le rendez-vous international
HPC & SIMULATION
The International Meeting

Forum Teratec :: 2014

SIMULER POUR INNOVER *INNOVATION BY SIMULATION*

Inscription/Registration www.teratec.eu

Platinum Sponsors



Gold Sponsors



Silver Sponsors



Success-story

OPTIS, L'HYPER RÉALISTE

La PME française conçoit des outils de simulation optique qui tiennent compte de la physique de la lumière et de la surface des matériaux.

PAR JEAN-FRANÇOIS PREVÉRAUD



Bentley Motors utilise les logiciels d'Optis dans son centre de réalité virtuelle pour créer en temps réel une chaîne de validation du poste de conduite de ses voitures d'exception.

Dans notre société hypermédiatisée, le pouvoir de l'image est prépondérant. Une belle image peut faire basculer la décision en faveur d'un projet et en condamner un autre, pourtant tout aussi valable. « Encore faut-il que cette image corresponde à la réalité. Avec nos logiciels, nous ne cherchons pas à faire du beau mais à faire du vrai », explique Jacques Delacour, le fondateur et président d'Optis, éditeur toulonnais spécialisé dans la simulation optique. Quand nous créons des images de synthèse, nous nous engageons sur le rendu réel des matériaux choisis dans les conditions d'éclairage fixées. Dans la réalité, on verra la scène telle qu'à l'écran. C'est ce qui fait notre succès. »

Ces simulations très proches de la réalité proviennent de près de trois décennies de recherches, initiées par Jacques Delacour. Elles s'articulent autour d'un postulat simple : la lumière, c'est de l'énergie et non une simple propagation géométrique de rayons. Pour produire une simulation réaliste, il faut donc prendre en compte la physique, à la fois pour la lumière et pour les surfaces des objets qu'elle éclaire.

Jacques Delacour a commencé par développer des algorithmes dédiés à la simulation de rayonnements par des méthodes de Monte-Carlo [ndl : le calcul d'une valeur numérique à l'aide de techniques probabilistes]. Mais il s'est rapidement focalisé sur l'étude de l'énergie lumineuse

dans les systèmes optiques. En termes de rayonnement et de spectre, et en intégrant le comportement des surfaces qui renvoient cette énergie. Pour cela, il s'est appuyé sur la fonction de distribution de la réflectance bidirectionnelle (BRDF), qui décrit l'apparence d'un matériau par son interaction avec la lumière en chacun des points de sa surface. Une notion d'énergie que les autres éditeurs de simulation n'utilisent pas afin de simplifier les calculs.

Cette interaction de la lumière avec la matière a poussé les ingénieurs d'Optis à s'intéresser à la modélisation géométrique des objets, donc à la CAO, puis à la création d'images de synthèse pour valider les résultats de simulation. C'est ainsi que le logiciel Speos a été lancé sur le marché en 1994.

Prédiction par tranches d'âge

L'étude de l'énergie de la lumière a également permis de développer un modèle de la vision humaine. Optis a repris les abaques d'Yves Le Grand qui prédisent, en fonction de la quantité d'énergie dans un spectre, ce que l'œil humain va voir et selon quel degré de sensibilité, et y a ajouté une couche de perception visuelle qui donne la luminance spectrale de l'image. « L'œil est sensible à cette grandeur. En fonction du spectre du pixel dans l'image et de son niveau d'énergie, ainsi que de l'âge du spectateur, vous avez des éblouis-

Maîtriser l'énergie lumineuse d'Iter



Le programme Iter [lire page 32] intègre la simulation optique physique développée par Optis. Le plasma, qui circule au cœur de l'enceinte de confinement magnétique en forme d'anneau, est un mélange de deux isotopes de l'hydrogène (deutérium et tritium), chauffé à des températures

supérieures à 150 millions de degrés. Ce plasma émet une lumière très intense, comparable à celle du soleil. Elle est réfléchie par la paroi interne pour éviter toute absorption qui engendrerait la fusion de l'enveloppe. Afin de contrôler cette réaction, des caméras optiques mesurent deux

informations : la lumière émise par le plasma lui-même, à savoir le signal, et le reflet du plasma dans les parois, appelé « le bruit ». La simulation permet de scinder aisément ces deux informations et de mieux comprendre quel sera le comportement du plasma. ■

sements qui modifient la perception d'un objet, explique Jacques Delacour. Dans l'automobile, par exemple, cela sert à prédire, par tranches d'âge, la visibilité et la lisibilité de l'information lumineuse en fonction de sa typographie, de sa couleur et de son niveau d'éclairement ou à déterminer la gêne créée par un reflet.»

Des technologies qui, depuis 2005, sont au cœur de programmes de R&D de l'entreprise en partenariat avec plusieurs pôles de compétitivité. Ainsi, Marvest, mené avec Mer Paca, est un simulateur de conduite multisectoriel hyperréaliste qui évalue les réactions de l'utilisateur face à un éblouissement ou à des conditions météorologiques changeantes. Le second, Virtu'Art, soutenu par le pôle Pégase, EADS et Eurocopter, traite – à partir de la maquette numérique – un rendu visuel ultraréaliste en temps réel dans un système immersif de réalité virtuelle. Ces projets ont fait sortir la simulation en temps réel hyperréaliste du laboratoire et ont conduit Optis à développer une plate-forme industrielle fondée sur la technologie d'animation de la start-up SimplySim, acquise en 2011.

Cette orientation a boosté le développement de l'entreprise, passée de 40 à 120 personnes en cinq ans, essentiellement des ingénieurs de R&D. L'industrie automobile représente aujourd'hui plus de la moitié de ses ventes. Tous les acteurs du secteur utilisent les logiciels d'Optis pour définir les phares, les feux et les tableaux de bord de leurs véhicules. Tandis que les constructeurs de voitures haut de gamme s'en servent pour valider la qualité perçue, notamment au niveau des jeux d'ouvrants sur la carrosserie, qui varie suivant le coloris de peinture retenu.

Du réaliste au réel

Dans ce domaine, Optis a fait l'acquisition fin 2013 de l'éditeur britannique Icona Solutions et de son logiciel Aesthetica. Celui-ci est spécialisé dans la visualisation 3D de l'impact des tolérances de fabrication sur la qualité perçue des assemblages du produit final. Il est utilisé par les plus grands constructeurs automobiles (Nissan, GM Opel, Fiat, Chrysler, Porsche ou Bentley) pour vérifier, par exemple, les jeux d'ouvrants de leurs véhicules, facteur déterminant dans la décision d'achat d'une automobile. Grâce à son intégration dans l'offre d'Optis, la maîtrise du comportement physique de la lumière et des matériaux aboutit non pas à des images réalisistes, mais à des images réelles de modèles 3D bougeant en temps réel dans des environnements complexes.

Le secteur de l'électronique est aussi très demandeur. Ces logiciels permettent une meilleure gestion de l'énergie des rétroéclairages des écrans plats, ou facilitent le passage aux LED. Du côté de l'industrie, l'US Air Force l'utilise pour valider les lunettes anti-éblouissement de ses pilotes par des lasers parasites. Le CEA, quant à lui, les exploite pour définir ce que verra le système de contrôle optique du phénomène de fusion au cœur d'Iter. «Ces applications vont sortir des bureaux d'études pour aller vers les utilisateurs finaux. Grâce à des configurateurs, elles permettront de valider visuellement avec les clients les choix qu'ils auront faits parmi les multiples options qui leur sont proposées. Qu'il s'agisse d'aéronefs, de voitures ou de salles de commandes», prédit Jacques Delacour. ■■■

Le patron qui met en lumière vos projets



JACQUES DELACOUR,
fondateur, président
et CEO d'Optis

Entrepreneur dans l'âme, cet ingénieur a développé des logiciels de calcul photométrique, puis les a intégrés aux outils de la CAO. Ils sont aujourd'hui partout où il faut évaluer la perception et le confort visuel d'une interface homme – machine.

Lumineux, rayonnant. Deux qualificatifs qui décrivent parfaitement Jacques Delacour lorsqu'il parle de sa passion, la simulation optique physique. Pourtant, c'est par le hasard des concours que ce fils d'ingénieur, qui voulait faire Supélec, a intégré l'Ecole supérieure d'optique de Paris, en 1985. Surpris par la pauvreté des logiciels d'optique existants, il conçoit dans sa chambre d'étudiant – entre la construction de synthétiseurs, de harpes laser et autres tables de mixage – des algorithmes plus performants pour le suivi de la propagation des rayons lumineux dans les lentilles. Un travail poursuivi dans le cadre d'une junior-entreprise qui étudie pour le compte de Crouzet, un fabricant d'automatismes, le flux lumineux reçu par un capteur à fibre optique avec plusieurs émetteurs et un seul récepteur. Jacques Delacour s'intéresse alors à la photométrie d'énergie qui quantifie l'énergie lumineuse émise par une source, analyse son transport à travers un système optique et évalue le flux collecté par un capteur. Entrepreneur dans l'âme, il crée

Optis dès sa sortie de l'école, en 1989, pour commercialiser le fruit de ses premiers travaux sur l'énergie lumineuse dans les systèmes optiques. La lumière interagissant avec les objets, l'ingénieur franchit rapidement le pas entre le transport de photons et l'image de synthèse qu'il conçoit comme devant être la représentation exacte du reflet de la lumière sur un objet en 3D. Et cela en tenant compte à la fois des caractéristiques physiques de la lumière (rayonnement, spectre...) et des surfaces qu'elle impacte (réflectance...). Des travaux qui ont abouti au logiciel de simulation lumineuse Speos, en 1994, et à son intégration aux principaux outils de CAO du marché. Passionné par la recherche, Jacques Delacour reste au cœur de la technologie d'Optis. Son charisme, sa simplicité, son ouverture d'esprit et les valeurs humaines qu'il véhicule lui valent le respect de ses équipes. D'autant plus que ce passionné d'automobiles anciennes et pilote d'avion à ses heures sait déléguer et faire confiance à ses collaborateurs. ■■■

Bureau d'études

COMMENT TIRER PROFIT DU CALCUL INTENSIF

La simulation numérique peut être un outil de compétitivité pour les PME. Le passage n'est pas simple, mais un réseau d'experts peut les y aider.

PAR THIERRY LUCAS

La simulation numérique ? Ce n'est pas pour nous ! » Pour beaucoup d'entreprises petites ou moyennes, le calcul intensif est synonyme de logiciels trop complexes et de superordinateurs hors de prix, que seuls les grands groupes ont les moyens de se payer et de maîtriser. La simulation, qui permet d'accélérer et d'améliorer la conception d'un produit, peut pourtant être un outil de compétitivité. Mais pour une PME, c'est un engagement stratégique et exigeant. L'initiative HPC-PME, pilotée par Genci, un organisme national de soutien au calcul intensif, l'institut de recherche Inria, et Bpifrance (ex-Oséo) pour le financement, veut faciliter l'accès des PME au calcul intensif, le « high performance computing » (HPC).

1 DÉFINIR SON PROJET ET IDENTIFIER SES ENJEUX

Dans un domaine souvent méconnu, les PME ont besoin d'être aidées dans l'identification de leurs besoins en simulation numérique, et en moyens financiers, techniques et humains qu'elles peuvent y engager. C'est la première

LE PROGRAMME HPC-PME

Le Genci, l'Inria et Bpifrance (ex-Oséo) ont lancé Initiative HPC-PME avec les pôles de compétitivité Aerospace Valley, Axelera, Systematic, Minalogic et Cap Digital. But : développer l'accès des PME au calcul intensif via des projets d'innovation générateurs de compétitivité, et ce durant

toute la durée de leur recherche. L'enjeu est d'amener les PME à aborder la question du calcul intensif en les aidant à évaluer la pertinence au regard de leur modèle de croissance, à mobiliser les acteurs du calcul intensif pouvant les épauler et, dans un dernier temps, à bâtir leur programme de R & D.

mission de l'initiative HPC-PME. « De l'entreprise débutante à celle qui fait déjà du calcul sur une station de travail, les profils sont très variés. Notre rôle est aussi de les aiguiller vers les bons interlocuteurs », indique Brigitte Duême, la responsable à l'Inria d'HPC-PME. La mise en relation des entreprises avec les experts et les chercheurs devrait être facilitée grâce au site web hpc-connexion.org. Même les « initiés » ont besoin de spécifier les enjeux de leur projet.

Pour la société d'ingénierie franco-belge GD Tech, qui emploie 130 personnes dont une trentaine en France, la simulation fait déjà partie des métiers de l'entreprise. Mais la PME veut bâtir une offre HPC indépendante des équipements de calcul de ses clients (majoritairement dans l'aéronautique), en recourant aux centres de calculs nationaux et régionaux, et à ses moyens propres. L'enjeu stratégique étant de diversifier ses activités hors de l'aéronautique. De son côté, HydrOcean, une PME elle-même éditrice d'un logiciel de mécanique des fluides, souhaite adapter son code de calcul à des ordinateurs parallèles à base de processeurs graphiques (GPU). « L'idée est de diviser par cinq ou dix le temps de calcul, et de convaincre ainsi de nouveaux clients, hors de notre secteur maritime d'origine », précise Erwan Jacquin, le président d'HydrOcean. Le recours au HPC peut aussi être lié à la création même de l'entreprise, comme pour Q-Hedge Technologies, qui développe un site web de conseil financier et souhaite mettre à la disposition du grand public les outils d'aide à la décision, jusqu'ici réservés aux spécialistes.

2 TROUVER LES COMPÉTENCES

La définition du projet peut déboucher sur la collaboration rémunérée d'un expert. En général, le passage au HPC se traduit par une embauche. Ainsi, Danielson Engineering, qui a démarré la simulation depuis des années pour la conception de moteurs d'automobiles, a recruté un informaticien afin, notamment, de créer des interfaces métiers facilement accessibles aux ingénieurs de la maison. La parallélisation du logiciel d'HydrOcean, qui compte pourtant 20 ingénieurs, a aussi demandé l'intégration d'un nouvel expert. Certains font également jouer le réseau d'HPC-PME. Comme Entares (groupe Nexio), éditeur d'un logiciel de simulation en électromagnétisme (antennes, signature radar...). « HPC-PME nous a ouvert des portes chez IBM et Fujitsu, pour faire des tests sur des machines, chose autrement impossible pour une PME », souligne Frédéric Amoros-Routié, le président de Nexio. Acquérir les compétences, c'est bien, les garder c'est encore mieux. « À la différence d'un grand groupe, on ne peut pas se permettre de perdre un ou deux experts ! » s'exclame Rui Da Silva, le responsable des calculs chez Danielson Engineering. Alors, que faire ? Éviter de concentrer l'expertise d'un domaine sur une seule personne... et confier de vraies responsabilités aux experts pour qu'ils aient envie de rester.

3 CHOISIR LE MATÉRIEL ET LE LOGICIEL

Faut-il acheter un calculateur « musclé » ou louer de la puissance ? De multiples solutions sont possibles, en fonction des besoins et des moyens de la PME. « Attention,



Comme pour Danielson Engineering, le passage au calcul intensif peut devenir un argument commercial pour conquérir des marchés.

le recours à des équipements extérieurs peut être un problème sur des contrats confidentiels. Et certains calculs à distance peuvent coûter cher en bande passante», signale tout de même Rui Da Silva. Mais le nerf de la guerre, c'est le logiciel, et son coût. «La tarification des grands logiciels, avec un prix de licence qui dépend du nombre de coeurs de calculs utilisés, n'est pas du tout adaptée à une PME qui a deux projets de calcul par an», regrette Brigitte Duême, de l'Inria. La solution, ce sont des logiciels accessibles en mode cloud computing, avec une tarification en fonction de l'usage. Entares fait partie des petits éditeurs de logiciels qui s'y mettent. Une offre développée avec le Centre de calcul en Midi-Pyrénées (Calmip) doit démarrer en 2014. Mais un utilisateur assidu comme GDTech doit s'accommoder des licences des grands logiciels, obligatoires pour travailler avec ses grands donneurs d'ordres. L'entreprise franco-belge utilise par ailleurs des logiciels open source, mais seulement pour de la R&D, et codéveloppe certains codes spécialisés.

4 FAIRE DU HPC UN OUTIL STRATÉGIQUE

Entrer dans la simulation numérique coûte du temps et de l'argent: inutile d'y aller pour un projet ponctuel. Pourtant, le calcul peut devenir un véritable outil stratégique. L'offre de calculs diversifiée mise en place par GDTech doit lui permettre de décrocher des contrats d'ingénierie plus globaux, par transfert de calculs jusqu'ici réalisés par ses clients. Danielson Engineering considère ses compétences en simulation comme un argument commercial. Et un outil de développement. «Une nouvelle tâche confiée par un client peut ensuite enrichir notre offre, et nous ouvrir d'autres clients. C'est le cas idéal», reconnaît Rui Da Silva. Des réussites plutôt rares dans les PME françaises. Dans sa deuxième phase, lancée en 2013, HPC-PME veut s'appuyer sur les grands donneurs d'ordres pour inciter les sous-traitants à s'intéresser au calcul intensif, notamment à travers les pôles de compétitivité et autres structures collaboratives. Il est aussi prévu de créer 12 antennes régionales à l'écoute des besoins des PME. ■

Outils

UNE PHYSIQUE, UN LOGICIEL

Être au plus près de la réalité impose le respect des lois physiques. Celles-ci étant nombreuses, il existe nombre de codes de calcul. Tour d'horizon.

PAR JEAN-FRANÇOIS PREVÉRAUD

Il est possible de tout simuler, ou presque. Depuis le prédimensionnement en avant-projet jusqu'au démantèlement en fin de vie. Aucun outil ne peut couvrir à lui seul un tel spectre. C'est ce qui explique la multitude d'outils et d'acteurs présents sur le marché, avec, comme corollaire, un phénomène de concentration en cours depuis un certain temps. Pour s'y retrouver, divisons ces outils en deux grandes familles qui traitent soit des aspects produits, soit des aspects process. Chacune d'elles peut faire l'objet d'un classement par grands types de physiques traités. De plus, certains éditeurs couplent des outils de différents domaines. On parle alors de simulation multiphysique. Dernière catégorie, les logiciels disponibles en open source qui font fureur auprès des universitaires et chercheurs.

LE COUPLAGE AVEC LA CAO

Tous les grands éditeurs de CAO proposent, avec leur offre conception, une option de calcul et simulation plus ou moins avancée. Certains modules de prédimensionnement sont directement intégrés dans les outils de conception, les outils de vérification faisant, eux, l'objet de packages séparés. Ces derniers, très orientés sur la conception produit, se nomment Simulia chez Dassault Systèmes, NX Simulation chez Siemens, Creo Simulate chez PTC, Simulation chez Autodesk ou SolidWorks. On y retrouve les outils de base pour la mécanique des structures ou celle des fluides, les transferts thermiques, les composites. Ces offres sont en perpétuelle évolution au gré des acquisitions de technologies.

Toutefois, le calcul reste une affaire de spécialistes. Sur ce marché, les acteurs généralistes chevronnés ont étendu leur offre pour être présents dans presque tous les domaines. Souvent, ils ont acquis de petits éditeurs spécialisés dont ils ont récupéré et intégré la technologie dans leurs propres suites logicielles. Parmi eux, citons Altair, Ansys, Comsol, ESI Group, MSC Software... À leurs côtés se tiennent une multitude d'éditeurs spécialisés tels AutoForm Engineering pour l'emboutissage de pièces automobiles ou Cedrat pour la simulation électromagnétique.

Sans outil de simulation, Segula Technologies n'aurait jamais pu concevoir son prototype de véhicule hybride.



LES OUTILS DÉDIÉS AUX PRODUITS

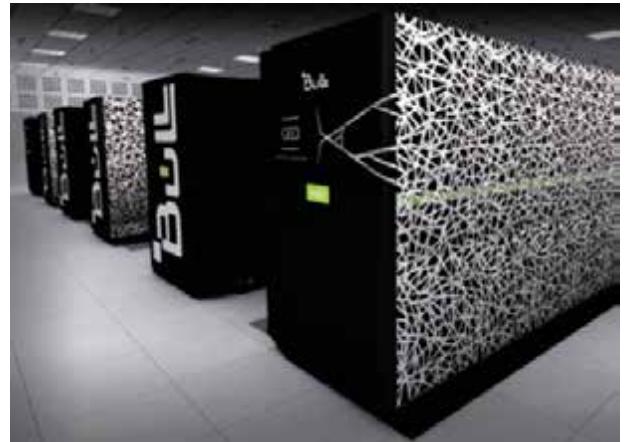
Dans la famille des outils produits, citons quelques éditeurs et leurs produits selon les physiques traitées. Les plus utilisées sont la mécanique des structures (Mechanical d'Ansys; Abaqus de Dassault Systèmes; MSC Nastran; Creo Simulate de PTC; NX Simulation de Siemens...), la mécanique des fluides (Fluent d'Ansys; Star-CD de CD-adapco...), les transferts thermiques (Icepak d'Ansys; MSC Sinda...), la dynamique (MSC Adams...), l'acoustique et les vibrations (MSC Actran; VA One d'ESI...), l'électrotechnique et l'électromagnétisme (HFSS et Maxwell d'Ansys; Flux 2D/3D de Cedrat; CEM Solutions d'ESI...).

De nombreux logiciels traitent de physiques spécifiques comme la combustion (Forté, Energico et Chemkin d'Ansys et de Reaction Design; Fire d'AVL...), l'optique et la visualisation (Speos d'Optis...), la fatigue (Castor Fatigue de Cetim; MSC Fatigue...), les systèmes de contrôle et la mécatronique (Scade et Simplorer d'Ansys; LMS Imagine.Lab; MapleSim de MapleSoft; MatLab et Simulink de MathWorks; MSC Easy5; MathCAD de PTC...), le crash (Pam-Crash d'ESI...).

Coller à la réalité nécessite parfois de coupler différents solveurs pour étudier, par exemple, les effets de la température ou des vibrations sur une structure sous charge. On exploite alors plusieurs physiques pour mettre en pratique la simulation multiphysique. Les environnements leaders de ce type de modélisation s'appellent HyperWorks d'Altair; Multiphysics d'Ansys; Comsol Multiphysics; Abaqus de Dassault Systèmes; Virtual Try-Out Space d'ESI; SimXpert de MSC.



Le super-calculateur Curie du TGCC, sur le site du CEA à Bruyères-le-Châtel, se tient au service des PME.



TERATEC DIFFUSE LE CALCUL INTENSIF

Dans le cadre du plan de reconquête industrielle Supercalculateurs, Teratec entend mettre l'accent sur les PME et les ETI en les aidant à s'approprier le calcul et la simulation haute performance.

A près les grandes entreprises, place aux PME ! « Parmi les objectifs de Supercalculateurs – l'un des 34 plans de la Nouvelle France industrielle, dont la responsabilité a été confiée à Gérard Roucaïrol, le président de Teratec -, l'accélération de la diversification des usages de la simulation, sa diffusion au sein du tissu industriel et la formation appropriée des ingénieurs sont primordiales. Nous allons donc nous retrouver au cœur de la structuration et de l'animation de la communauté des industriels utilisateurs, notamment des PME et des ETI, qui sont le tissu de l'industrie française », explique Hervé Mouren, le directeur de Teratec. Cette association anime, depuis sa création en 2003, un écosystème autour du calcul haute performance (HPC).

Depuis dix ans, Teratec travaille donc avec les grands industriels utilisateurs et les PME technologiques offrant des solutions matérielles, logicielles ou de services. Bref, les aficionados du HPC. « Le temps est venu de nous adresser également aux PME et aux ETI, les entreprises utilisatrices d'aujourd'hui ou de demain », répète Hervé Mouren. La tâche est ambitieuse, car tous les secteurs économiques sont concernés. Les transports, bien évidemment, mais aussi l'agroalimentaire, la chimie, la médecine, la cosmétique, les matériaux... Teratec entend bien initier ces PME et ETI au HPC, mais aussi les accompagner dans le contexte de leur métier. Comment ? « Nous allons nous appuyer sur les grands utilisateurs, qui ont tout intérêt à ce que leurs partenaires de filière montent en compétences dans ce domaine. Et nous nous tournerons vers les pôles de compétences et les centres techniques industriels liés aux grandes filières, qui souhaitent, eux aussi, faire progresser leurs affiliés. De plus, les multiples implantations de ses entités nous permettront de nous rendre en régions au plus près de ces entreprises. »

Cet accompagnement se fera à travers la mise en place de structures de services, pour lesquelles Teratec pourrait alors jouer le rôle de catalyseur d'amorçage, puis de place de marché. ■

LES OUTILS DÉDIÉS AUX PROCESS

La seconde famille d'outils concerne les process. Hormis la simulation d'usinage par enlèvement de matière – traitant aussi bien le fraisage que le tournage, le perçage que la rectification ou l'électroérosion, de deux à cinq axes voire plus, avec des outils comme NCSimul de Spring ou Vericut chez CGTech -, les process sont l'apanage d'éditeurs spécialisés ou de modules spécifiques dans les offres généralistes. Les domaines traités sont l'emboutissage et découpage (Stamping Adviser d'AutoForm Engineering; Pam-Stamp d'ESI...), la déformation (Pam-Tube d'ESI...), la fonderie (ProCast et QuickCast d'ESI...), la forge (Forge de Transvalor...), le soudage (Weld Quality d'ESI...), les matériaux composites (Pam-Form et Pam-RTM d'ESI; e-Xstream's Digimat de MSC...), la plasturgie (MoldFlow d'Autodesk; Simpoe-Mold...).

L'ÉLECTRONIQUE ET LE BTP

La modélisation dans l'électronique fait appel à des éditeurs d'outils de conception qui intègrent une offre de simulation analogique, numérique et mixte tels Cadence Design Systems, Mentor Graphics et Synopsys. On y dénombre également une myriade de spécialistes d'outils de niche à la durée de vie souvent éphémère. Enfin, le monde du BTP dispose de ses propres outils de simulation. Ces derniers s'occupent de problématiques spécifiques liées, par exemple, aux descentes de charges entre les étages ou aux matériaux utilisés comme le béton armé. C'est le cas du logiciel Advance Design de Graitec. ■

**A worldwide event with 50 years' history
dedicated to car body finishing, now moving to China!**

GROWTH FACING SUSTAINABILITY

- New technology trends
- State of the art in painting and coating today
- Paint finishing in the context of Asian market

50th
anniversary
of SURCAR!

WITH THE PARTICIPATION OF :

ABB ENGINEERING	KANSAI PAINT
AXALTA COATING SYSTEMS	KREMLIN REXON
BAIC	MAGNA MIRROR
BASF	MAHINDRA VEHICLE MANUFACTURES
BMW BRILLIANCE	NANJING KERUN LUBRICANTS
BOLLIG & KEMPER	NIHON PARKERIZING
CAPSTAN TECHNICAL	NIPPON PAINT AUTOMOTIVE COATINGS
CHANGAN FORD	NOF METAL COATINGS
CHEMETALL	PFINDER KG
DOESSEL CONSULTING	PPG
DONGFENG RENAULT	QOROS
DOOLIM ROBOTICS	SAIC MOTOR CORPORATION
DONGFENG PEUGEOT CITROEN AUTOMOBILE COMPANY	SAMES / EXCEL TECHNOLOGIES
DURR PAINTSHOP SYSTEM ENGINEERING	SCHOOL OF MECHANICAL ENGINEERING
DURR SYSTEMS	SCIVIC ENGINEERING CORPORATION
EASTMAN	SHANGHAI VOLKSWAGEN
EISENMANN	STATE INFORMATION CENTER
EXEL INDUSTRIAL CHINA	STURME GRUPPE
FAW CAR LTD. COMPANY	TAIKISHA
FISCHER	TOYOTA MOTOR CORPORATION
FRANHOFFER ITWM	YTO GROUP CORPORATION TECHNOLOGY PROCESS
GEICO	MATERIAL RESEARCH INSTITUTE
GENERAL MOTORS	...
HENKEL	

www.surcarcongress.com

In partnership with:



Ask for more information to : Floriane BLOT | fblot@surcarcongress.com | +33 (0) 1 77 92 99 24

Join SURCAR International Community on : 



Le centre d'innovation de l'université technologique de Compiègne, qui a coûté 13 millions d'euros, abrite une salle de réalité virtuelle.

Métiers

UNE LONGUE CHAÎNE DE COMPÉTENCES

Mathématiciens, ingénieurs et informaticiens unissent leur savoir-faire pour concevoir et utiliser les outils de la simulation numérique.

PAR CÉCILE MAILLARD

Au commencement était le nombre... «Faire de la simulation numérique, c'est mettre en équations le comportement de la matière, pour l'étudier», définit François Costes, de l'association Nafems, qui accompagne les industriels dans leur usage de la simulation. Avant qu'une entreprise n'obtienne une réponse à ses questions sur le comportement d'un système, c'est une longue chaîne de savoir-faire qui intervient. Mathématiques, physique ou informatique, ils se succèdent, s'entremêlent, multiplient les allers-retours. «La compétence la plus importante est de savoir mettre ensemble ces différentes compétences», analyse Georges-Henri Cottet, le directeur d'Amies, un labex porté par le CNRS qui vise à rapprocher maths et entreprises.

Première étape : le physicien (biogéologue...) définit ses attentes. Veut-il étudier un matériau, la Terre, le cœur ? Simuler la fatigue d'une structure ou optimiser le poids d'un objet ? Comme dans un laboratoire, c'est à l'ingénieur ou à un diplômé d'un master de physique, parfois docteur, de fournir paramètres et lois physiques.

Ses attentes sont alors traduites en équations. Une étape purement mathématique. Quand cette modélisation est complexe, elle est assurée par un mathématicien, titulaire d'un master de calcul scientifique ou d'un doctorat, ou par

❶ un ingénieur spécialisé en mathématiques. Très présent dans les laboratoires publics, le mathématicien pur se rencontre moins dans les entreprises, sauf dans quelques services de R&D de grands groupes.

Ensuite seulement intervient le spécialiste en mathématiques appliquées, qui traduit en langage numérique cette description mathématique du comportement de la matière. Certains l'appellent ingénieur en calcul scientifique ou analyste numérique. Chez un éditeur, dans une SSII ou un grand groupe, il est qualifié d'ingénieur de développement quand il continue d'améliorer un logiciel. Il a forcément des compétences informatiques, même si, dans les grosses structures, des informaticiens peuvent prendre le relais.

La mécanique, filière reine

Ces étapes peuvent être réalisées par les éditeurs de logiciels. Ils recrutent des ingénieurs en mécanique, des informaticiens pour le développement et de rares mathématiciens, experts ponctuellement appelés en renfort. Pierre Eliot est responsable technico-commercial de Simulia, la gamme logicielle dédiée à la simulation réaliste de Dassault Systèmes. «Pour la construction du logiciel lui-même, nous faisons appel à des développeurs au profil très théorique en informatique et mathématiques, et à des physiciens, souvent docteurs. Pour l'avant- et l'après-vente, en contact avec les clients, nous employons surtout des ingénieurs en mécanique. Ce sont plutôt des généralistes, diplômés de grandes écoles. Seuls ceux qui conçoivent une pièce ou valident un système pour nos clients ont des profils très techniques.» Lui-même est diplômé de Centrale Lyon, option mécanique et mathématiques numériques. Chez Altair, éditeur de la suite HyperWorks, «nous avons besoin de personnes qui ont une très bonne compréhension de la physique», explique le directeur technique Boris Royer. Quand nous recrutons un mathématicien pour le développement, il doit avoir une forte compétence en physique».

L'ingénieriste Sopra Group héberge à Toulouse son entité dédiée à l'aéronautique, qui abrite une forte activité simulation. «Avec une spécificité: la modélisation de systèmes, précise François-Marie Lesaffre, le responsable de la simulation. Nous cherchons un équilibre entre les ingénieurs



« Construire grâce à la simulation est magique ! »

BILAL BENDJEFFAL,
26 ans, ingénieur en calcul de structure chez Altair

«C'est en me spécialisant en troisième année d'école d'ingénieurs (Enivl) que j'ai appris mon métier. Chez Altair, je ne fais pas partie de l'équipe de développement du logiciel, mais je travaille sur son utilisation. Avant la vente, j'aide les clients à valider leur projet. Après, je peux leur donner des précisions s'ils butent sur un obstacle, ou faire légèrement évoluer

le logiciel si besoin. Parfois, il faut réaliser le projet pour le client. Dans mon équipe, nous travaillons sur tous les secteurs, mais avec nos spécialités propres. Je suis expert en optimisation, cherchant, par exemple, quelle forme appliquer à une pièce en fonction de tels ou tels contraintes et objectifs. Grâce aux moyens de calcul de plus en plus fous, ce métier évolue sans arrêt. Voir le produit réel construit grâce à la simulation reste magique!» ■

généralistes; les ingénieurs automaticiens, qui feront de la modélisation; et les ingénieurs aéronautiques pour leur compréhension des systèmes sous-jacents.» La simulation nécessite d'énormes capacités de calcul. Pour ses ordinateurs, elle a besoin d'ingénieurs en systèmes informatiques -ou ingénieurs d'études en calcul scientifique- et de chefs de projet en calcul haute performance. Ils administrent les supercalculateurs, choisissent leur architecture et travaillent pour des projets industriels complexes.

Faut-il des compétences particulières pour utiliser ces logiciels? «La simulation se démocratise, on pourrait croire qu'elle peut être confiée à des techniciens. Mais la machine produit toujours des résultats. Il faut des ingénieurs pour les examiner avec un regard critique», plaide Alain Rassineux, professeur à l'UTC de Compiègne et responsable de l'équipe «mécanique numérique» du laboratoire Roberval (CNRS-UTC). Selon lui, les industriels sont très friands d'ingénieurs mécaniciens ayant un solide bagage mathématique, une compétence qui leur permet de manipuler les outils de la simulation. Mais les entreprises ont de plus en plus besoin de physiciens. «Avant, certaines tâches pouvaient être confiées à des mathématiciens ou à des informaticiens. Avec la complexification des phénomènes physiques étudiés, ce n'est plus possible.»

Les chercheurs, de Centrale Nantes notamment, tentent de mettre au point des modèles aux équations simplifiées pour obtenir des réponses en temps réel. On est loin d'avoir fait le tour des comportements des matériaux. Chez Dassault Systèmes, on recrute des ingénieurs sachant coupler différentes physiques. Autant d'opportunités pour les physiciens forts en maths. Ou les mathématiciens forts en physique... ■

TROIS GRANDES VOIES DE FORMATION

● Diplôme d'ingénieurs

Les grandes écoles généralistes pour leur niveau en maths et maths appliquées, ou les écoles spécialisées en mécanique numérique ou simulation (UTC, Eisti, Insa Lyon, Estaca, Ensimag, SupMeca, Enseirb-Matmeca...)

● Master

À l'université: en mathématiques appliquées, simulation numérique, modélisation ou calcul scientifique. En école d'ingénieurs: Centrale Nantes, UTC, Centrale Paris. Formation mixte: université Paris-Saclay.

● Doctorat

La simulation est l'un des rares univers où les docteurs sont très prisés des entreprises privées. Toutes les écoles d'ingénieurs et tous les masters spécialisés en simulation proposent de poursuivre en thèse.



Pôle européen Le cœur du HPC

■ Le Campus Teratec



■ Industriels

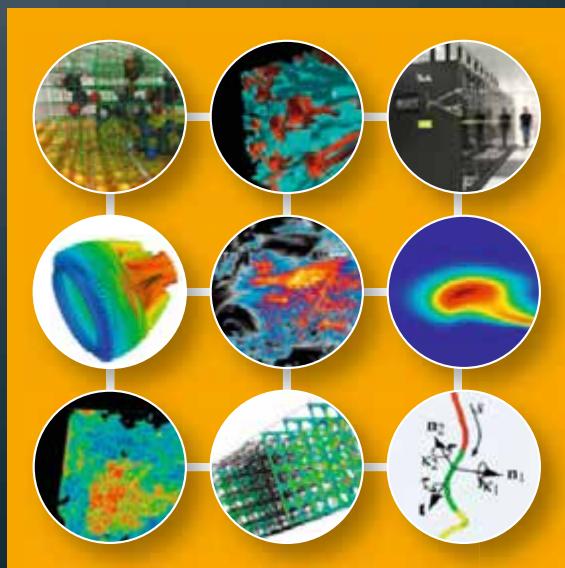
Présence sur le site des industriels du HPC - grands groupes et PME - et fourniture aux entreprises de toutes tailles de services de conception numérique et de simulation associés aux moyens de calcul les plus performants.

■ Laboratoires

Regroupement sur le site de plusieurs laboratoires de recherche industrielle couvrant toute la chaîne du HPC depuis les composants et les systèmes jusqu'aux logiciels et aux applications.

www.teratec.eu

■ Le Très Grand Centre de calcul du CEA



© CEA, EDF, Ineris, L'Oréal, Técnalia, Aero

■ CCRT

420 téraflop/s de puissance de calcul sécurisés, au service de grands industriels mutualisant avec le CEA, compétences, coûts et innovations au travers de partenariats durables.

www.hpc.cea.fr

Contacts & Informations



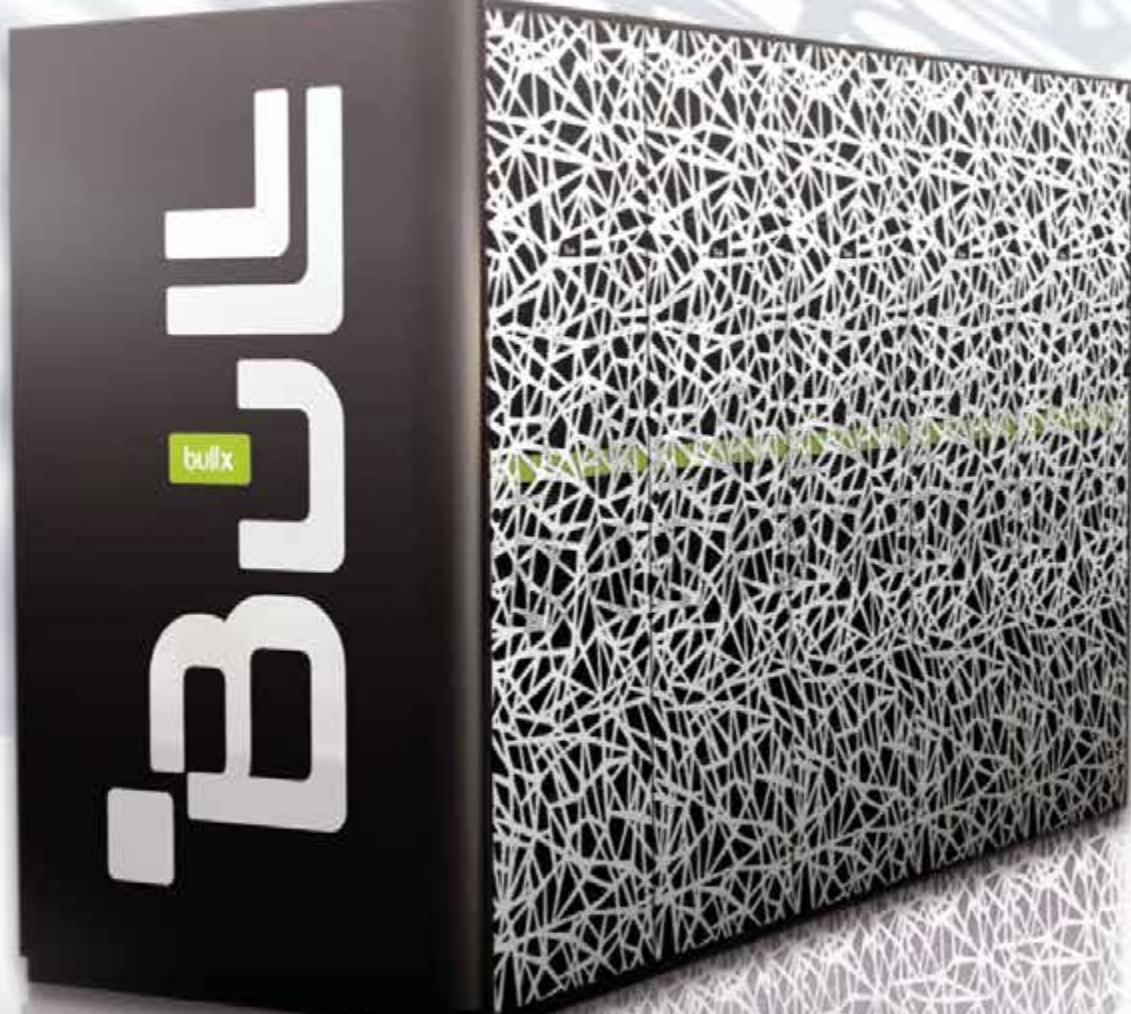
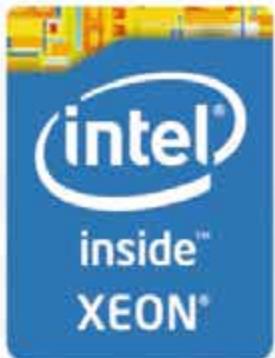
TERATEC
jean-pascal.jegu@teratec.fr
Tel. +33 (0)9 70 65 02 10
Campus Teratec
2 rue de la Piquetterie
91680 Bruyères-le-Châtel - France



Christine.menache@cea.fr
Tel. +33 (0)1 69 26 62 56
TGCC
2 rue de la Piquetterie
91680 Bruyères-le-Châtel - France

bullx

fait les beaux jours
de Météo-France



Comme à Météo-France, chaque jour des milliers de chercheurs et d'ingénieurs utilisent les supercalculateurs bullx pour accélérer leurs travaux de recherche, concevoir de nouveaux produits... ou prévoir le temps qu'il fera.

Équipés de processeurs Intel® Xeon® des familles E5 et E7, les supercalculateurs bullx sont parmi les plus puissants au monde. Ils témoignent du savoir-faire acquis par Bull dans le développement de technologies de calcul de très grande puissance.

The Bull logo is located in the bottom right corner. It consists of the word "BULL" in a large, bold, sans-serif font. A small green square with a yellow gradient is positioned above the letter "B".