

DOSSIER

LE REVERSE ENGINEERING AU SERVICE DU BÂTIMENT

ISSN 1293-1950

SOLUTIONS P. 20

L'IMPRESSION 3D AU PIED
des sprinters

REPÈRES P. 40

PLM DANS LE CLOUD :
la révolution silencieuse

PRODUITS P. 44

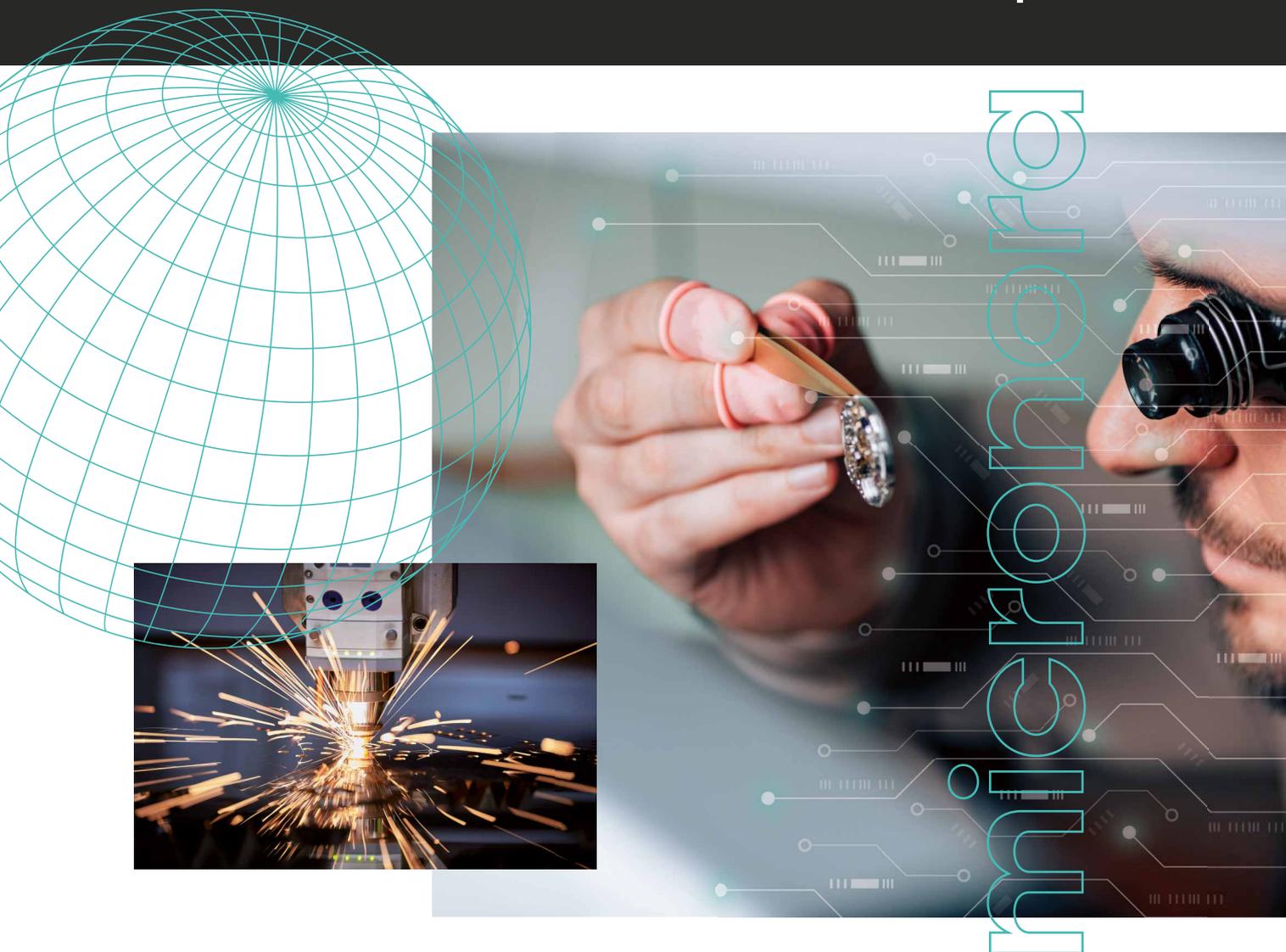
AUTOFORM ASSEMBLY :
simuler l'assemblage des caisses
en blanc

B E S A N Ç O N / F R A N C E

27 → 30 septembre 2022

micronora

salon international des microtechniques



Précision  miniaturisation 
intégration de fonctions complexes 

www.micronora.com



ÉDITO



LA DIGITALISATION N'EST PLUS UNE OPTION

L'équipe Cimax, qui édite entre autres CAD Magazine et Jautomatise, était présente sur le salon Global Industrie à Lyon il y a quelques jours. Nous y étions principalement pour notre webTV Manufacturing.fr. Si vous ne connaissez pas ce support, n'hésitez pas à visiter notre site web du même nom et à vous inscrire à la newsletter. Vous y trouverez de multiples reportages, interviews, tables rondes, présentations de produits sous la forme de vidéos abordant la digitalisation du secteur manufacturier.

Quatre jours sur place bien remplis, et la satisfaction pour nous, comme pour les exposants et visiteurs, de reprendre une vie quasi normale, si ce n'est le pass sanitaire et ce masque devenu incontournable. Et quatre mots clés omniprésents sur les différents stands : la continuité numérique, les plateformes de traitements de données de production, l'intelligence artificielle, enfin l'automatisation/robotique. S'il s'agissait il y a peu davantage de buzz word pour certains d'entre eux, ces technologies sont désormais des solutions pleinement matures, et en cours de standardisation. L'évangélisation a porté ses fruits. Une majorité d'industriels sont aujourd'hui convaincus que leur salut passe par

la digitalisation de l'ensemble de leur chaîne de valeur. Cela exige des moyens, des efforts, une remise en question des habitudes de travail mais, à de rares exceptions près, cela s'avère payant. En outre, bien employés ces outils peuvent répondre aux enjeux climatiques qui ne peuvent plus être ignorés.

Si la digitalisation s'impose dans ce secteur manufacturier, notre dossier complet sur le reverse engineering de ce numéro montre que le secteur du bâtiment s'y met lui aussi. L'acquisition par scanner 3D de l'existant devient courant. A l'heure de l'amélioration de la performance énergétique des bâtiments, il devient crucial de capter l'existant pour fonder les opérations de rénovations sur des données exactes. L'intelligence artificielle facilite leur traitement, afin d'aider à reconstruire des maquettes numériques 3D, qui seront au cœur des approches BIM de ces nouveaux chantiers. Le secteur de l'AEC est en retard vis-à-vis du manufacturier, mais des progrès sont notables et les marches à franchir sont hautes pour une filière particulièrement éclatée. Gageons que ce pays qui contient sans doute l'un des patrimoines architecturaux les plus riches du monde, saura mettre les bouchés doubles dans les années à venir.



Christian GLADIEUX

Rédacteur en chef

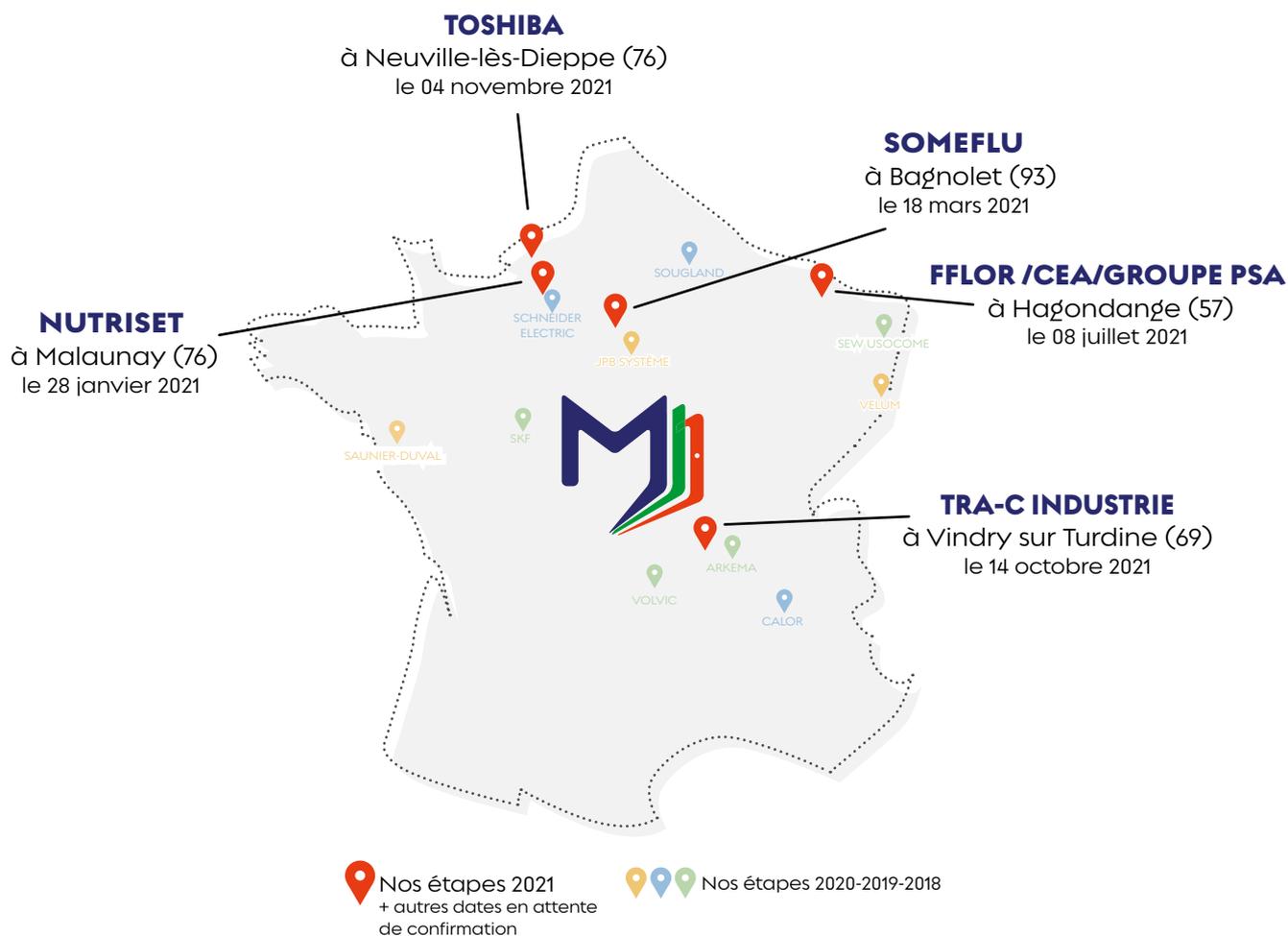
Pour plus d'informations,
rendez-vous sur :
WWW.MANUFACTURING.FR



M ANUFACTURING TOUR

Le Tour de France de l'Industrie

EDITION
2021



Retours d'expériences, visites d'usines, conférences...

Inscrivez-vous gratuitement sur www.manufacturing.fr

NOS PARTENAIRES



Pour plus d'informations



SOMMAIRE

04 EN BREF

04 Nouveaux produits, partenariats, acquisitions, réussites commerciales : la vie des entreprises et de notre secteur d'activité en quelques lignes.

14 INNOV'ACTION

14 L'innovation sous toutes ses formes pour doper votre créativité.

18 SOLUTIONS

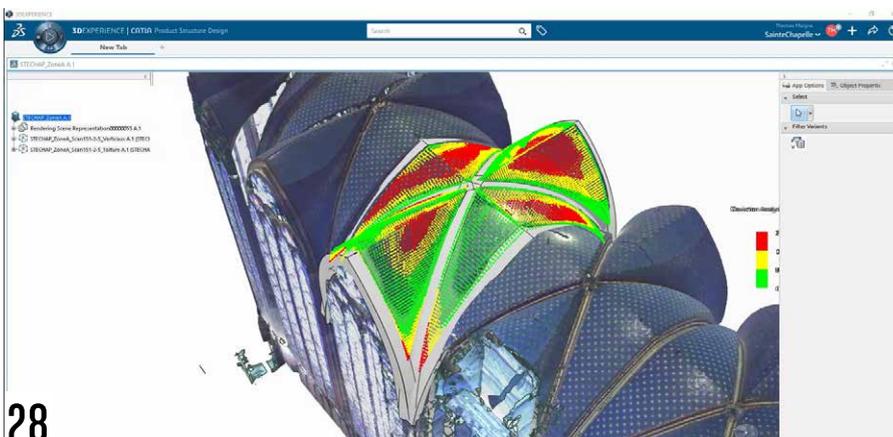
18 Bouygues Construction et Dassault Systèmes développent une plateforme BIM

20 L'impression 3D au pied des sprinters

22 La sidérurgie à l'heure numérique

23 ÉVÈNEMENTS

23 Développer le calcul haute performance à l'échelle Européenne



28

24 DOSSIER

24 Le reverse engineering préserve le patrimoine

Depuis les premiers pas effectués voici plus de 25 ans, le reverse engineering fait maintenant partie de la panoplie des outils couramment utilisés par les spécialistes en charge du patrimoine.

28 Reverse Engineering, quels sont les vrais besoins ?

30 AG&P, l'entreprise qui a scanné « la forêt de notre-dame »

32 Plus de construction sans Reverse Engineering

36 Le reverse engineering au service du bâtiment : l'extension des bénéfices du numérique

38 REPÈRES

38 L'automatisation pourrait créer plus d'emploi qu'elle n'en détruit

40 PLM dans le Cloud : la révolution silencieuse



24

42 PRODUITS

42 VXelements : faciliter la rétro-ingénierie

44 AutoForm Assembly : Simuler l'assemblage des caisses en blanc

46 Simheat prédit les transformations métallurgiques

47 ABONNEMENT

48 COUP DE COEUR

48 Plus de raison d'avoir peur des piqures

AU PROCHAIN NUMÉRO :

✓ Dossier : Cloud computing et bureau d'études

Crédit couverture : AG&P

VIE DES SOCIÉTÉS

CYBERSÉCURITÉ : UN SYSTÈME D'ALERTE POUR LES ENTREPRISES

Le Medef, la CGPME et l'U2P ont mis en place un système « *alerte cyber* », pour prévenir les patrons de TPE et PME lorsqu'un risque de sécurité du réseau informatique important se présente. L'alerte cyber sera diffusée par courrier électronique via les réseaux des trois organisations patronales. Le déclenchement de l'alerte se fera à l'initiative de l'agence publique de la sécurité informatique française (Anssi) et de Cybermalveillance.gouv, la plateforme d'aide cyber aux particuliers et aux TPE. Ces alertes seront « *essentiellement* » des appels à faire des mises à jour de logiciels, pour remédier à telle ou telle vulnérabilité récemment découverte. Selon les estimations, les alertes pourraient toucher potentiellement plusieurs centaines de milliers à un million d'entreprises.



BOTICÁRIO CHOISIT DASSAULT SYSTÈMES POUR NUMÉRISER SA PRODUCTION

Le groupe Boticário est sans doute le plus grand réseau mondial de magasins de produits de beauté en franchise avec environ 4000 points de ventes. Il vient de sélectionner Dassault Systèmes pour digitaliser la production de 300 millions de produits par an. Un client de plus dans le secteur des cosmétiques qu'adresse désormais l'éditeur français.



Le groupe Boticário utilisera l'Industry Solution Experience « *Perfect Production* » basée sur la plateforme 3DEXperience pour améliorer la gestion de sa fabrication et accélérer la production dans ses deux usines situées au Brésil. « *La première étape de notre stratégie de croissance consiste à intégrer les processus de fabrication et à améliorer nos activités grâce à un suivi et à une traçabilité en temps réel. Nous avons vu le succès de Dassault Systèmes avec d'autres sociétés de notre secteur, et sommes conscients de la valeur ajoutée que la plateforme 3DEXperience peut apporter à notre entreprise à mesure que mûrit notre stratégie* », déclare Leandro Balena, directeur industriel du groupe Boticário.

FRANCE RELANCE : 101 NOUVEAUX PROJETS D'INVESTISSEMENTS PRODUCTIFS

Bruno Le Maire, ministre de l'Economie, des Finances et de la Relance, et Agnès Pannier-Runacher, ministre déléguée chargée de l'Industrie, annoncent 101 nouveaux projets lauréats bénéficiaires des fonds de soutien à la modernisation et à la diversification des filières automobile et aéronautique. Ces nouveaux projets lauréats totalisent 200 millions d'euros d'investissements productifs ; ils seront soutenus à hauteur de 72 millions d'euros par l'Etat.

Depuis le lancement de France Relance en septembre 2020, 689 projets lauréats ont déjà été soutenus au titre des fonds de modernisation dédiés aux filières Automobile et Aéronautique. Ils représentent désormais un investissement industriel de près de 1,5 milliard d'euros à l'échelle nationale et bénéficieront d'un soutien de la part de l'Etat de près de 581 millions d'euros.

A date, près de 60 % des projets lauréats soutenus par ces fonds sont portés par des PME et près d'un quart par des entreprises de taille intermédiaire (ETI). Ces données illustrent la bonne appropriation des mesures mises en place par l'ensemble des acteurs de ces filières et en particulier des sous-traitants.

ATOS RACHÈTE TROIS ENTREPRISES DU SECTEUR DIGITAL

Atos annonce aujourd'hui l'acquisition de trois entreprises : Ideal GRP, Visual BI et Nimbix. Le premier est un intégrateur finlandais de systèmes PLM, et partenaire des solutions Platinum Siemens Digital Industries Software. Ideal GRP propose des services de conseil, d'intégration et de maintenance, ainsi que des logiciels aux entreprises du secteur industriel.



Le second est une société américaine en forte croissance spécialisée dans l'analyse des données et la Business Intelligence (BI) dans le cloud. Visual BI est un partenaire Snowflake Elite, Microsoft Gold Partner for Data & Analytics et SAP. Enfin Nimbix propose des solutions HPC, cloud ou sur site, pour les besoins de l'ingénierie dans les domaines de la simulation et de l'intelligence artificielle. Bref, de quoi faire grossir Atos dans trois domaines en forte croissance.

LA PANDÉMIE A FAVORISÉ L'USAGE DU NUMÉRIQUE

On pouvait s'en douter, mais le baromètre du numérique 2021 publié par l'Arcep le prouve, la crise sanitaire a très largement favorisé l'usage du numérique par les Français. L'utilisation des smartphones, ordinateurs et tablettes est devenue quotidienne pour le télétravail, l'école en ligne, les loisirs ou les achats sur les plateformes. Quelques chiffres : 84 % des personnes âgées de douze ans et plus possèdent un smartphone et 73 % des répondants l'utilisent quotidiennement. L'usage des tablettes a considérablement augmenté puisque 58 % des personnes en utilise une (+17 points) ainsi que l'usage des ordinateurs avec 88 % des sondés qui en utilisent (+12 points) et une large majorité ont un usage quotidien de l'ordinateur (66 % soit 19 points de plus).

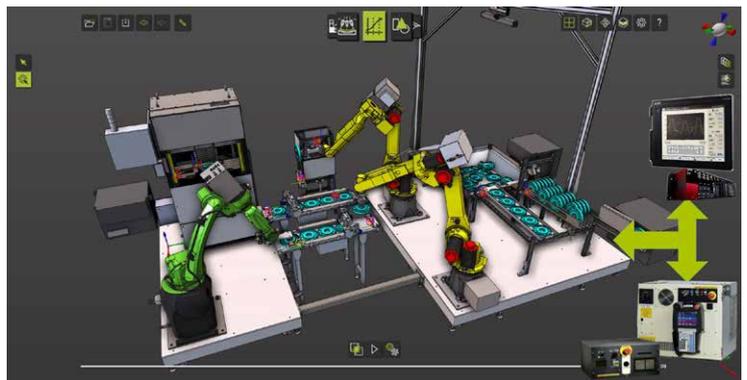
Autre indication de cette étude, un adulte sur trois a télétravaillé pendant les périodes de confinement. Rajoutons que 58 % des sondés pensent que les nouvelles technologies numériques permettent de mieux concilier vie professionnelle et familiale contre 23 % qui annoncent qu'elles empiètent trop sur la vie privée.

YUTACA ELECTRONICS INDUSTRY FAIT CONFIANCE À FASTSUITE E2

Yutaca Electronics Industry est l'un des principaux intégrateurs de systèmes robotiques du Japon. Son cœur de métier est l'intégration de lignes de production automatisées pour le moulage de métaux et la fabrication de transmissions dans l'industrie automobile. Pour la mise en service virtuelle de ces solutions, l'entreprise s'est tournée vers Cenit et son logiciel FastSuite E2. « Pour un système d'automatisation typique qui comprend diverses machines, équipements, capteurs et robots, nous devons effectuer des essais avant la mise en service finale chez le client », explique Masaki Naruse, directeur général de Yutaca. « Nous considérons la mise en service virtuelle comme une opportunité évidente d'améliorer la qualité, l'efficacité et la rentabilité de l'exécution des projets », ajoute-t-il.

Début 2022, l'entreprise japonaise a utilisé la phase de mise en service virtuelle de FastSuite E2 en production réelle : « tout d'abord, le design conceptuel a été optimisé via une simulation précoce du concept proposé. Ensuite, la conception, l'intégration initiale, le débogage et les réajustements ont été testés virtuellement afin de réduire l'intégration et les réajustements en atelier. Cela a permis d'augmenter la productivité de ce projet de 50 % », conclut Daisuke Matsuo, superviseur de la division Intégrateurs de Systèmes chez Yutaca.

Dans les années à venir, le constructeur prévoit de renforcer et d'étendre ses partenariats avec les principaux équipementiers et éditeurs de logiciels du monde entier afin d'améliorer la précision des robots et d'accroître l'utilisation des systèmes de contrôle pour la planification des mouvements, l'évitement des interférences et les systèmes de mesures grâce à de nouveaux capteurs. Là encore, la plate-forme de simulation 3D de Cenit entrera en jeu.



LOGICIELS 3DEXPERIENCE : UNE OFFRE SPÉCIALE ÉTUDIANT

Dassault Systèmes annonce la disponibilité de trois offres sur la plateforme 3DEXperience conçues pour aider les étudiants à préparer leur entrée dans la vie professionnelle. Dans une économie mondiale où les emplois sont en pleine mutation et où de nouvelles compétences professionnelles émergent, les étudiants peuvent expérimenter les technologies numériques utilisées par l'industrie, développer des compétences recherchées sur le marché et obtenir des certifications reconnues par l'industrie qui valorisent leur expertise technique.

Un simple clic suffit pour permettre aux étudiants d'acheter une licence d'un an, à un prix abordable (60 et 72 €), pour l'une des trois solutions 3DEXperience Edu suivantes :

- **3DEXperience SolidWorks pour étudiants** : conception 3D intuitive pour innover et créer des formes organiques.
- **3DEXperience Catia pour étudiants** : puissantes applications pour créer et gérer la conception et l'ingénierie de projets mécaniques sophistiqués.
- **3DEXperience Engineer pour étudiants** : suite d'applications intégrées qui englobe l'écosystème de conception, simulation et fabrication sur une seule plateforme.

Chacune de ces trois offres propose un ensemble de parcours d'apprentissage dédiés à la certification, notamment celles de SolidWorks et Catia Associate. Les étudiants ont également accès à des webinaires en direct où ils peuvent interagir en temps réel avec une communauté en ligne de pairs et d'experts de Dassault Systèmes du monde entier. 3DEXperience Edu propose également un espace dédié aux opportunités d'emploi dans tous les secteurs industriels. Ces offres mises à la disposition des étudiants qualifiés requièrent des compétences dans les applications de Dassault Systèmes.

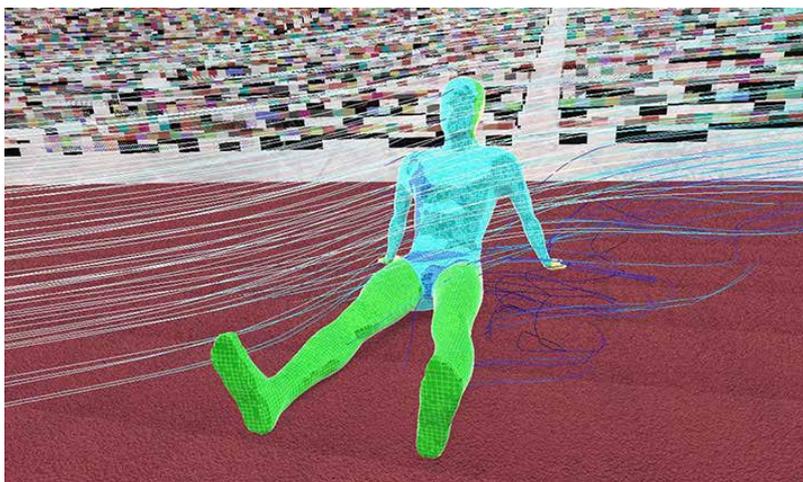
TENDANCES TECHNO

LA SIMULATION AU SECOURS DES SPORTIFS

Les jeux olympiques sont terminés, mais ils ont été l'occasion de prouver encore une fois l'intérêt de la simulation numérique. Des ingénieurs de la division Manufacturing Intelligence du Groupe Hexagon, ont montré que de petites variations sur le taux d'humidité de l'air peuvent avoir un profond effet sur le corps des athlètes.

Les simulations indiquent que même dans des conditions météorologiques moyennes, 27 °C en juillet et un taux d'humidité de 70 %, les coureurs qui participent à la course des 10 km pourraient avoir une température corporelle supérieure à 39 °C. Une température qui dépasse 38 °C est considérée comme un état fébrile, et des recherches montrent que les êtres humains doivent maintenir leur température corporelle entre 35 et 39 °C pour que les réactions biochimiques du corps soient optimales. Lorsque la température ressentie est supérieure à 32,2°C, les athlètes peuvent subir des coups de chaleur, des crampes ou un état d'épuisement dû à la chaleur.

L'humidité joue aussi un rôle important en relation avec la performance et la santé des athlètes. Au mois de juillet, le taux d'humidité moyen à Tokyo est de 70 %, mais s'il atteint 90 %, les athlètes exsuderont en moyenne 810 ml, comparé aux 630 ml pendant les 30 minutes que dure approximativement la course. Alors que la transpiration favorise le refroidissement du corps en évaporant la chaleur par la peau, la forte humidité contenue dans l'air pendant les jours humides, réduit considérablement l'effet de refroidissement de l'évaporation, si bien que l'inconfort des athlètes est exacerbé dans ces conditions. En même temps, la déshydratation accélère l'augmentation de la température corporelle globale, en renforçant à son tour son impact.



FORMEZ-VOUS À LA FABRICATION ADDITIVE DEPUIS CHEZ VOUS

La fabrication additive progresse dans de multiples domaines industriels ou non. Mais les salariés sont encore peu formés à ces technologies en pleine évolution. C'est pourquoi le fabricant EOS de machines d'impression 3D métal et polymère proposent des sessions virtuelles pour se former partout et à tout moment. L'entreprise allemande a fondé l'Additive Minds Academy qui intègre des modules de formation individuels et des parcours d'apprentissage complets qui préparent aux différents métiers de la fabrication additive (opérateur, spécialiste applications, responsable de production, etc.).

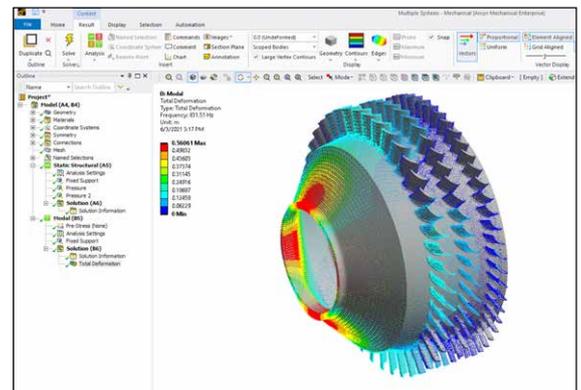
Les parcours d'apprentissage sont conçus pour que la qualification requise s'acquière en quatre à six semaines. Les apprenants ont accès à des cours en ligne, des sessions d'auto-formation et des ateliers pratiques basés sur des



études de cas. Ils sont suivis tout au long de leur cursus, reçoivent des retours individualisés sur leur travail et peuvent échanger avec les autres apprenants. À l'issue du programme de formation, un examen permet de valider les acquis et d'obtenir la certification de l'Additive Minds Academy.

ANSYS 2021 PASSE EN RELEASE 2

C'est la rentrée pour Ansys qui lance la mise à jour R2 de son portfolio de modélisation et de simulation Ansys 2021. Cette version répond aux problématiques d'automatisation de l'industrie, ainsi qu'aux besoins de collaboration des équipes. Comme pour chaque nouvelle version de logiciel, l'éditeur annonce une optimisation de la puissance de calcul disponible via les différents modules de l'offre. En outre, Ansys 2021 R2 accroît la visibilité des données et leur réutilisation via des tableaux de bord et des bibliothèques dédiées pour les matériaux, les jumeaux numériques, les composants électroniques et la conformité aux standards et aux réglementations en vigueur. Ainsi, les ingénieurs peuvent travailler plus efficacement dans un écosystème qui relie la conception, la simulation, l'intégration des systèmes et la fabrication.



SAP ET SIEMENS S'ACCORDENT SUR UNE INTÉGRATION PLM/ERP

En juillet 2020, SAP et Siemens ont annoncé qu'ils nouaient un partenariat stratégique afin de mettre en place une continuité numérique entre l'ingénierie, la production et les autres métiers de l'entreprise. "En joignant ainsi nos forces, nous permettons à nos clients de combiner plus vite les meilleures fonctionnalités de nos plateformes leaders PLM et ERP. Notre objectif est d'aider nos clients à abattre les murs qui silotent l'information afin que les équipes qui conçoivent les produits, celles qui les fabriquent et les responsables du service après-vente puissent accéder aux informations dont ils ont besoin pour créer et gérer rapidement des offres de produits et de services axées sur le client." explique Tony Hemmelgarn, président-directeur général de Siemens Digital Industries Software.

L'intégration entre les logiciels S/4HANA de SAP et Teamcenter de Siemens repose sur des bonnes pratiques qui s'appliquent aux différents systèmes et services, et le résultat est une



nouvelle solution intégrée qui réunit l'ingénierie, la fabrication et les autres services de l'entreprise. Trois phases sont prévues d'ici à la fin de 2022, des phases supplémentaires étant prévues ensuite pour ajouter de nouveaux scénarios d'usage de la continuité numérique. La première consiste à établir sur un modèle de données partagé, un cadre de scénarios métier de base qui supportera les processus métier de bout en bout. La seconde phase vise à accélérer la mise sur le marché en offrant une intégration optimisée entre l'ingénierie produits, la chaîne d'approvisionnement étendue et les opérations industrielles. Enfin, la phase 3 se concentrera sur la traçabilité bidirectionnelle et la collaboration en boucle fermée entre l'industrialisation et le suivi de production, couvrant des scénarios d'utilisation tels que les processus de modifications, les analyses d'impacts et l'exécution des processus inter-systèmes PLM/ERP.

VUFORIA INSTRUCT : LE ZÉRO PAPIER EN USINE GRÂCE À LA RÉALITÉ AUGMENTÉE

Le zéro papier dans les usines est une démarche de longue haleine qui progresse notamment grâce aux outils de réalité virtuelle. PTC par exemple lance une nouvelle offre Vuforia Instruct pour créer des fiches de travail en 3D basées sur les données CAO. Le logiciel est disponible en mode SaaS, sur la plateforme Atlas de PTC, et complète la solution de réalité augmentée Vuforia.

Vuforia Instruct permet aux entreprises de se libérer des formulaires papier en fournissant des orientations et des références visuelles contextuelles aux opérateurs qui ont aussi la possibilité de commenter leur contrôle d'inspection



en temps réel et ainsi d'enregistrer et de sauvegarder des informations essentielles. Les instructions créées peuvent être visualiser sur une tablette, un smartphone, un casque de RA ou tout dispositif d'affichage adapté à l'atelier.

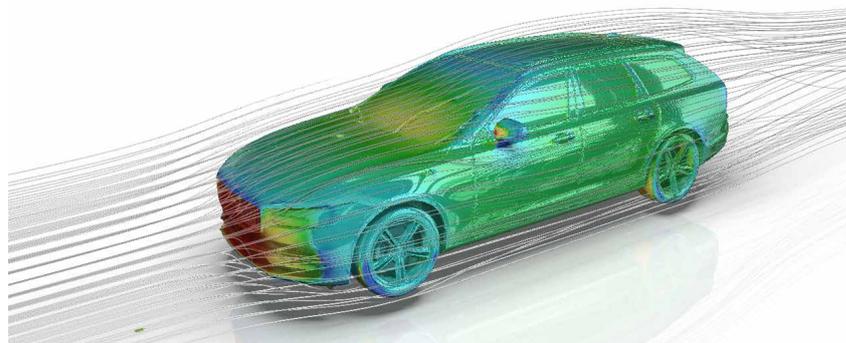
RÉUNIONS DE TRAVAIL EN RÉALITÉ VIRTUELLE

Avec la crise du Covid, les réunions virtuelles sont devenues monnaie courante. Pour renforcer leur efficacité, Facebook vient de lancer une version beta de sa solution Horizon Workrooms utilisant les casques de réalité virtuelle Oculus. Jusqu'à 16 personnes en réalité virtuelle et 50 en vidéos seulement peuvent se connecter à un espace de travail virtuel dans lequel ils sont représentés par un avatar. Comme dans tout outil de travail collaboratif, cette salle de réunion permet de chatter, d'ouvrir et couper son micro, d'accueillir de nouveaux participants, de partager des documents, son écran, etc. Le logiciel est gratuit, pour l'instant, et utilisable par tout possesseur d'un Oculus Quest 2. Spécificité de la réalité virtuelle, on peut aussi choisir de changer de siège ou de configuration de table. L'audio d'Horizon Workrooms étant spatialisé, il sera plus facile de discuter avec quelqu'un si l'on est proche de lui, comme dans la vie réelle... Alors, un nouvel outil collaboratif de plus, ou réelle avancée pour le travail à distance avec l'intégration de la réalité virtuelle ? L'avenir nous le dira..



HEXAGON ADOPTE LE SUPERORDINATEUR FUGAKU

Les experts de Hexagon ont travaillé en étroite collaboration avec Fujitsu Limited pour montrer l'intérêt d'un super ordinateur pour les calculs complexes de mécanique des fluides, notamment sur des cas d'usage jugés trop longs à modéliser sur des architectures classiques. Les ingénieurs ont ainsi utilisé Fugaku, le superordinateur de Riken considéré comme le plus rapide au monde aujourd'hui, pour exécuter le code CFD Cradle. Une voiture familiale type a été simulée dans son intégralité. Ce modèle comprenait 70 millions d'éléments utilisant 960 cœurs et a été simulé jusqu'à l'état stable à l'aide de l'équation RANS sur 1 000 cycles.



Dans le secteur aéronautique, l'équipe a effectué avec succès une simulation de test de fluide compressible transonique autour d'un avion. Une analyse essentielle à la conception d'avions sûrs et efficaces, car elle aide les ingénieurs à comprendre ce qui se passe lorsque l'air circule autour d'une surface de contrôle des ailes. La simulation comprenait environ 230 millions d'éléments comptés, le test a mobilisé 4 000 nœuds (192 000 cœurs informatiques) et 48 000 processeurs. Un problème lui aussi totalement impossible à résoudre dans un laps de temps acceptable sur les architectures classiques même haut de gamme.

UN VÉHICULE RÉALISÉ À 100 % EN RÉALITÉ VIRTUELLE

L'éditeur ESI Group annonce que ses solutions digitales ont permis un développement 100 % numérique et virtuel de la Nivus de Volkswagen do Brazil - une première mondiale. Le processus, qui a été initié avant la pandémie, a pu se poursuivre et s'achever malgré les mesures sanitaires mises en place. Grâce au prototypage virtuel et au développement numérique, le calendrier a été raccourci à 10 mois et les coûts de production des prototypes drastiquement réduits de 65 % : un tournant majeur dans l'industrie.

Habituellement, le développement d'un nouveau véhicule requiert du temps et un certain nombre de prototypes physiques, tant pendant la phase de conception que pendant la préparation du montage. Dans le cas de la Nivus, toute la conception du véhicule a été faite de manière 100 % virtuelle. La solution fournie par ESI Group, basée sur son logiciel IC.IDO, a été l'un des outils employés pour faire les revues de conception et prendre les décisions relevant de l'ingénierie dans différents départements (développement de produit, opérations, qualité, etc.). Cela a permis à Volkswagen de prendre les bonnes décisions au bon moment sur la conception de la voiture.

Bien avant que la Nivus existe physiquement, le véhicule était déjà disponible numériquement. Sachant que la construction d'un prototype physique prend 19 semaines et qu'une seule variante du véhicule est possible. Pour ce véhicule, neuf variantes virtuelles ont été produites, en un temps bien plus court, ce qui a permis d'anticiper des procédures d'assemblage plus efficaces, en réduisant le nombre de processus dans les simulations et en évitant les erreurs, puisque toutes les pièces ont été préalablement testées avec des outils numériques.

« Nous avons conçu 100 % de la Nivus avec des processus numériques en utilisant la technologie d'ESI sans avoir besoin d'assembler un seul prototype physique. De plus, avec la réduction drastique du temps de développement, cette solution nous permet d'intégrer toutes nos différentes équipes, issues de divers départements - conception, ingénierie, marketing, production, etc. - dans le même processus de décision. Cela permet une conception plus efficace mais aussi plus collaborative » explique Francisvaldo Gomes Aires, Prototyping Development Manager chez Volkswagen do Brazil.

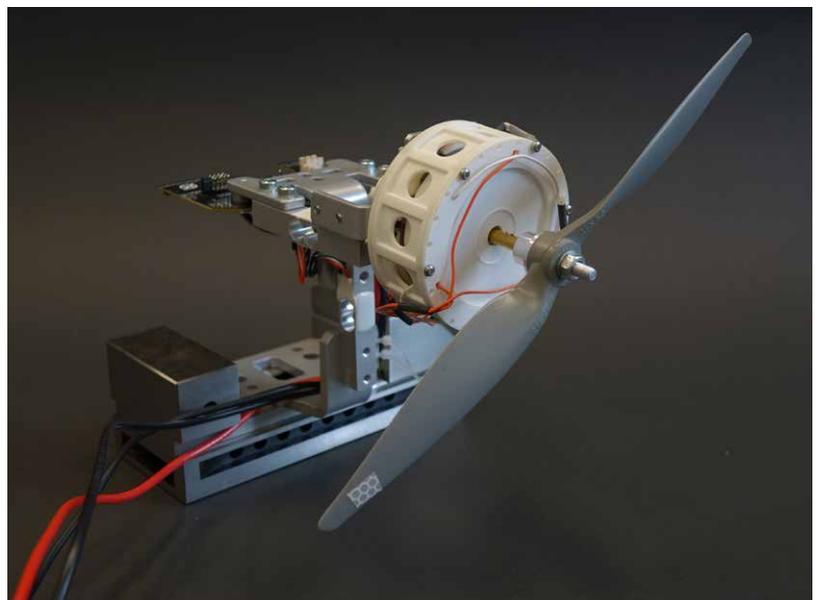


○.....○

UN MOTEUR ÉLECTRIQUE DE DRONE ENTIÈREMENT IMPRIMÉ EN 3D

Pour concevoir un moteur de drone électrique révolutionnaire, une équipe du CNRS s'est tournée vers le bureau d'études et spécialiste de l'impression 3D pour l'industrie, Initial. Ce dernier a réussi à produire ce moteur presque entièrement imprimé, et donc facilement répliquable.

Les technologies d'EOS ont permis de réaliser des pièces de grande qualité, très précises, résistantes, et en différents matériaux en fonction des contraintes d'utilisation. Même le bobinage est totalement imprimé en fusion métal aluminium. Des géométries encore plus complexes de moteurs réalisés avec ces technologies innovantes sont en approche. Au-delà des drones, les applications industrielles s'annoncent multiples. Rappelons qu'Initial est une entité du groupe Prodways, basée à côté d'Annecy, qu'elle emploie une centaine de collaborateurs et possède un des parcs les plus conséquents d'Europe avec plus de 60 machines de fabrication additive !



SE FORMER AUX ENVIRONNEMENTS SOUTERRAINS GRÂCE À LA RÉALITÉ VIRTUELLE

Le Virtual PoCES est un outil didactique dédié au secteur des travaux souterrains et permettant d'immerger, sans risque, les professionnels dans des situations dangereuses et complexes. L'objectif est de recréer les conditions de gestion des risques et étudier la prise de décisions pour évaluer leurs conséquences grâce à l'utilisation de la réalité virtuelle. Cette technologie donne la possibilité aux apprenants de bénéficier d'une approche globale à 360° mêlant théorie, pratique et immersion.

Le PoCES, Pôle de Compétences en Environnement Souterrain, regroupe un centre de formation continue unique en Europe en lien avec l'Andra, un pôle d'expertise en environnement souterrain, un centre d'échanges et de création de synergies ainsi qu'un centre de veille de l'évolution des métiers liés aux travaux souterrains.

Le GIP Objectif Meuse, partenaire historique, Mines Nancy et l'ENSG, écoles d'ingénieurs de l'Université de Lorraine et l'Andra lancent en parallèle des formations classiques, une offre de formation nouvelle génération intégrant la réalité virtuelle avec le Virtual PoCES.

Les objectifs du Virtual PoCES sont multiples : diagnostiquer le niveau de connaissances de l'apprenant ; repérer et analyser les difficultés d'apprentissage ; délivrer une appréciation sur le niveau d'acquisition des connaissances (carnet de compétences). Globalement, ces activités en immersion visent à renforcer les connaissances de base et à favoriser le développement des compétences des personnels évoluant en environnement souterrain.



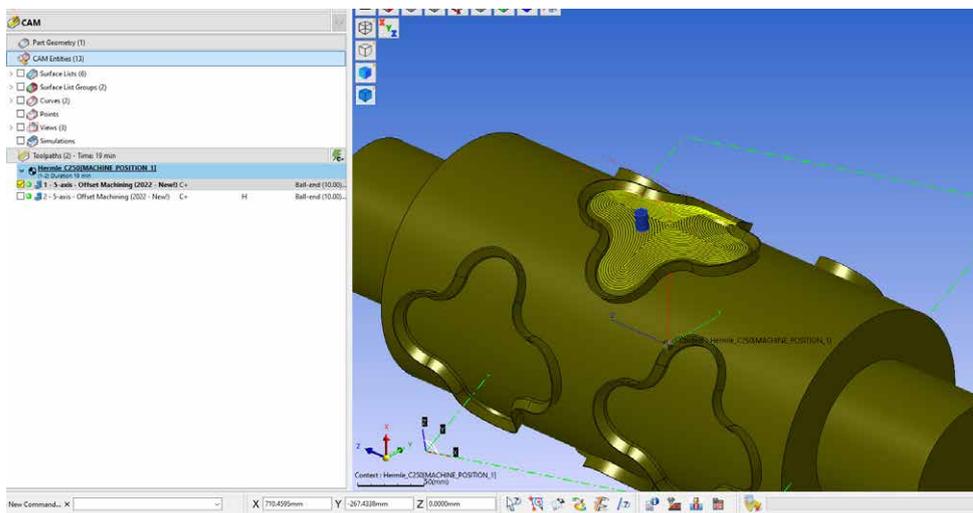
CFAO OUTILLAGE : WORKNC ARRIVE EN V2022

La division Manufacturing Intelligence d'Hexagon lance la version 2022 de son logiciel de CFAO WorkNC adapté aux métiers du moule et de l'outillage. L'outil dispose d'un accès direct à l'application CAO méthode Designer Companion pour faciliter la préparation des fichiers à

l'usage, quelle que soit leur origine. Côté FAO, de nouvelles stratégies d'usage font leur apparition ou sont optimisées. Utilisée avec l'option trajectoire d'outil en spirale, la stratégie de finition parallèle 3 axes prend en charge toute forme d'outil (boule, torique, tonneau, etc.). En moyenne, le parcours de finition parallèle option usinage par niveau est calculé quatre fois plus vite que l'ancienne finition par niveau. Autre exemple, la reprise en contournage avec la fonction Advanced

Toolform permet une détection du restant matière plus rapide et plus précise en permettant à toute forme d'outil d'être sélectionnée. Cette stratégie de reprise offre aux utilisateurs la possibilité d'usiner automatiquement le restant matière après une première opération d'ébauche à l'aide d'outils de fraisage de plus en plus petits pour les opérations d'ébauche et de finition suivantes. Cela assure une détection plus précise de la matière restante même si des processus précédents ont utilisé des outils tonneaux et des paramètres de lissage de rayon dans des inclinaisons différentes. Le calcul de la trajectoire d'outil est maintenant 3 fois plus rapide en se basant sur la mise à jour du brut 3D.

Enfin, WorkNC 2022 intègre aussi la toute dernière technologie de profilage de courbes pour l'usinage de géométries filaires en offrant des outils de compensation de rayon efficaces. La stratégie de profilage de courbes permet la gestion des paramètres de compensation de rayon d'outil pouvant être utilisés pour ajuster directement l'usure de l'outil sur la commande de la machine-outil.



ÉVÉNEMENTS

FORMNEXT : TOUT COMPRENDRE DE L'IMPRESSION 3D GRÂCE AU PLUS GRAND SALON DU MONDE

Formnext est le plus grand salon international dans le domaine de la fabrication additive. Il a lieu chaque année à Francfort et rassemble des milliers d'acteurs de la filière, depuis les constructeurs de machines jusqu'au fournisseurs de matière en passant par les éditeurs de logiciels. A cause de la crise sanitaire mondiale, l'édition 2020 a eu lieu en ligne exclusivement. Cette année, l'évènement se déroulera normalement du 16 au 19 novembre à Francfort, au Messe Frankfurt. En plus des nouveautés exposées, de nombreuses conférences sont organisées afin d'échanger et mieux comprendre où en sont les technologies de fabrication additive.

TRANSVALOR INTERNATIONAL SIMULATION DAYS EN OCTOBRE

Transvalor, éditeur de logiciels de simulation pour les procédés de fabrication, organise ses journées utilisateurs du 12 au 15 Octobre 2021. Cet évènement de référence dans le milieu de la simulation des procédés industriels, accueillera plus de 250 industriels et académiques du monde entier. Forgeage à chaud et à froid, traitements thermiques, fonderie, soudage... les participants découvriront les dernières innovations, services et technologies pour la fabrication de pièces innovantes et moins coûteuses.



L'ÉDITION NORDISTE DU SEPEM À DOUAI

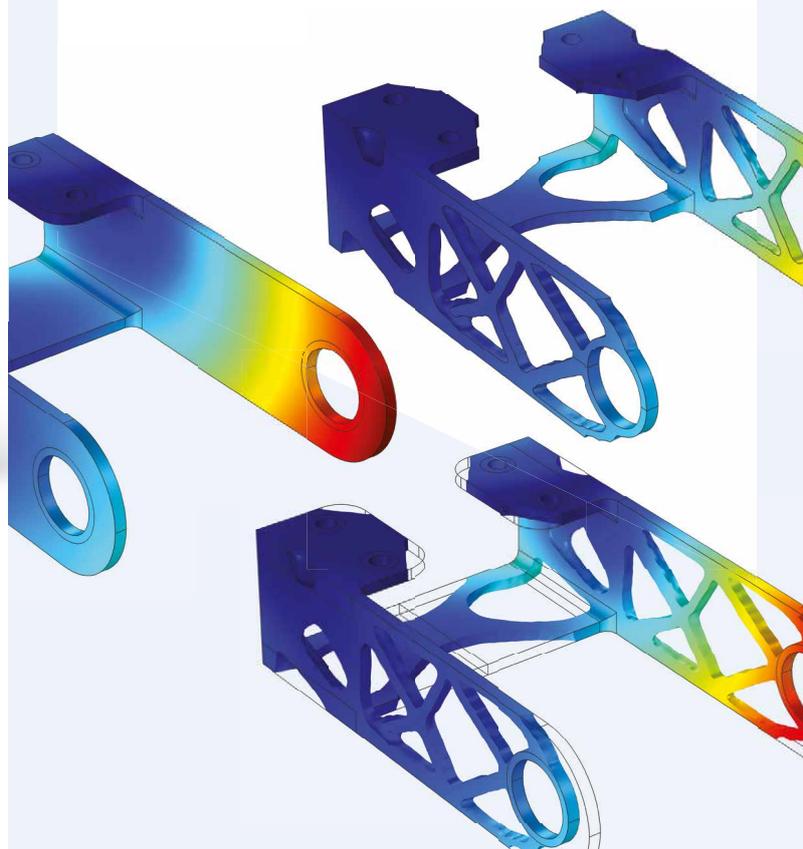
Du 12 au 14 octobre, au Parc des expositions de Douai, aura lieu le salon SEPEM Industries. Le panel des savoir-faire présentés est très large, et repose sur un constat simple : un site de production rencontre des besoins récurrents qui sont propres au fonctionnement d'une usine, qu'il s'agisse d'une pompe, d'un process, d'une unité de manutention, du traitement de fluides ou de déchets industriels ou encore de la recherche d'un sous-traitant. Le salon des solutions pratiques proches de chez vous en quelque sorte.

ÉTUDE DE CAS

Quel est le meilleur design pour un support de fixation ?

Cela dépend des objectifs de conception. Les méthodes d'optimisation topologique permettent de trouver la meilleure version possible d'une structure pour un usage spécifique. Un support peut être optimisé pour un seul type de chargement, tandis qu'un autre est optimisé pour huit. La fonctionnalité Density Model simplifie le processus d'optimisation topologique pour les ingénieurs en calcul de structure.

EN SAVOIR PLUS comsol.blog/density-topology



 COMSOL

Le logiciel COMSOL Multiphysics® est utilisé pour la conception et la simulation des dispositifs et des procédés dans tous les domaines de l'ingénierie, de la fabrication et de la recherche.

Canon

PUBLI-RÉDACTIONNEL

PRODUCTIVITÉ ET EFFICACITÉ EXCEPTIONNELLES

AVEC L'IMAGEPROGRAF TZ-30000



GAMME TZ-30000 : LA TECHNOLOGIE JET D'ENCRE AU SERVICE DE LA PRODUCTIVITÉ POUR L'IMPRESSION DE VOLUMES DE PLANS OU AFFICHES



Le groupe Canon est constamment à l'écoute de ses clients et partenaires et recueille depuis des années les besoins des personnes utilisant une imprimante grand format au quotidien. Canon a réfléchi à la manière dont nous pourrions concevoir une imprimante qui répondrait à leurs nouveaux besoins.

Résultats

Canon lance la nouvelle imagePROGRAF TZ-30000, qui allie la simplicité d'utilisation de votre ancien traceur LED aux performances d'une imprimante numérique grand format.

Assez compacts pour s'intégrer dans n'importe quel espace de travail, les nouveaux modèles sont encore plus faciles à installer tout en vous donnant la possibilité d'être opérationnel en moins d'une demi-heure. Avec une vitesse d'impression de quatre plans A1 par minute, vous travaillez avec l'imagePROGRAF la plus rapide de la gamme, avec une construction robuste conçue pour gérer des volumes de production élevés, entre 300 et 500 m² par mois, ce qui en fait une solution idéale pour les ateliers de reprographie et les entreprises avec une impression centralisée.

Grâce à l'accès direct de toutes les opérations par l'avant, le fonctionnement de cette imprimante est un véritable jeu d'enfant, même pour un utilisateur non-expérimenté.

L'imagePROGRAF TZ-30000 vous permet également de gagner du temps en sortant du mode veille en seulement 32 secondes, et vous aurez votre première impression A1 entre les mains dans les 20 secondes qui suivent l'activation du bouton d'impression.

De plus, vous n'aurez plus à vous démener pour remplacer le papier et les encres. Les bobines de papier et les réservoirs d'encre pouvant être remplacés à chaud, vous pouvez même recharger les consommables de l'imprimante en cours d'impression.

Conçue pour accueillir deux bobines, l'imprimante peut passer sans souci du rouleau inférieur au rouleau supérieur, ce qui signifie que vous pouvez continuer à imprimer sans interruption.

Une fois vos impressions terminées, il est facile de les retirer du bac de réception supérieur de l'imprimante et si vous imprimez un lot plus important, vous pouvez compter sur le bac de réception inférieur, qui peut contenir jusqu'à 100 A0, ou des formats mixtes.

Que vous produisiez des plans, des cartes ou des affiches, cette imprimante vous assure une qualité époustouflante, des lignes noires fines et un texte net. Elle utilise la technologie d'encre LUCIA TD de Canon, qui permet d'obtenir des impressions d'une qualité exceptionnelle.

La sécurité des informations est aussi une question primordiale, c'est pourquoi l'imagePROGRAF TZ-30000 est conçue pour une totale tranquillité d'esprit. Les impressions sortent face cachée, ce qui assure la confidentialité des informations, et toutes les données du fichier sont effacées du disque dur une fois le travail d'impression terminé.



EFFICACITÉ ET PRODUCTIVITÉ EXCEPTIONNELLES

Découvrez la nouvelle imprimante Grand Format Canon imagePROGRAF TZ-30000

Idéale pour les entreprises qui enchaînent les travaux d'impression dans des délais serrés. Avec ses hautes capacités et sa grande productivité, cette imprimante robuste affiche des caractéristiques extrêmement intéressantes pour les clients des secteurs de l'AIC et de la fabrication, les fournisseurs de services d'impression professionnels et les ateliers de reprographie.



**imagePROGRAF
TZ-30000**



En savoir plus

Canon

See the bigger picture*

*Élargissez vos horizons

UNE MOISSON DE PROJETS SÉRIEUX OU FARFELUS. L'INNOVATION SOUS TOUTES SES FORMES POUR DOPER VOTRE CRÉATIVITÉ.



TRANSPORTS

TGV : LA CHINE GAGNE LA COURSE

Il y a quelques jours, les médias officiels de Pékin ont dévoilé un train à grande vitesse capable d'atteindre les 600 km/h. Fondé sur la conception allemande de lévitation magnétique (Maglev), mais fabriqué par les Chinois, ce serait le train le plus rapide du monde. A cette vitesse, le trajet Pékin - Shanghai se ferait en 2H30 contre 05h30 en train à grande vitesse classique et 3H en avion !



La chine et d'autres pays comme l'Allemagne et le Japon notamment utilisent déjà la technologie Maglev, mais seulement pour des trajets de courtes distances. D'une part les infrastructures sont très onéreuses, d'autre part elles sont incompatibles avec les équipements ferroviaires traditionnelles. Pour l'instant, il s'agit donc plus de démonstrateurs que d'une éventuelle évolution du transport par rail...



AVIATION

QUARTERHORSE, UN POTENTIEL SUCCESSEUR DU CONCORDE ?

Notre confrère l'Usine Nouvelle révèle que l'US Air Force va financer à hauteur de 60 millions de dollars la startup américaine Hermeus pour développer Quarterhorse, « *son avion hypersonique capable de relier Paris à New York en un peu plus d'une heure. Celui-ci pourrait être utilisé à des fins commerciales et militaires.* »



Si le Concorde a pris sa retraite il y a bientôt 20 ans, plusieurs projets d'avions ultra rapides sont dans les cartons depuis quelques années. Boom Supersonic, par exemple, avec un avion de ligne dépassant les 2000 km/h, mais aussi Lockheed Martin, avec le X-59, un modèle qui pourrait atteindre 1 500 km/h. SpaceX a également annoncé un projet encre plus fou utilisant un vaisseau-fusée pour relier Paris à Sydney en 50 mn.

Le Quarterhorse serait doté d'une autonomie de 7 400 km et d'une vitesse atteignant Mach 5 (plus de 6000 k/h). De quoi mettre New-York à une heure seulement de Paris, contre 8 aujourd'hui ! Innovante, la propulsion serait confiée à un « *moteur TBCC (Turbine-Based Combined Cycle) et disposerait également d'un turboréacteur commercial J85, conçu par General Electric. Pour parvenir à supporter les vitesses ultra-élevées, le bureau d'études prévoit une construction en titane et une aile delta simplifiée* » dixit l'UN.

Si techniquement sur le papier tout semble possible, sur le plan commercial les choses se compliquent. D'ailleurs, pour un avion de transport, Hermeus n'envisage pas de modèle opérationnel avant la fin de la décennie. En revanche, l'entreprise semble convaincue de l'intérêt de son projet pour des applications militaires, voire pour un avion présidentiel, remplaçant les appareils Air Force One...



FABRICATION ADDITIVE

UNE SOLUTION HYBRIDE POUR FABRIQUER LES GRANDES PIÈCES

Les outillages nécessaires à la fabrication de pièces composites ou métalliques sont souvent élaborés à partir de planches usinables constituées de charges métalliques et/ou minérales et d'un liant généralement polymère. Ces matériaux sont ensuite usinés

afin d'obtenir la forme fonctionnelle désirée. Mais l'hybridation des procédés de Fabrication Additive et d'imprégnation devrait permettre de réaliser des outillages similaires de manière plus rapide, plus flexible, plus économique et même plus écologique. C'est justement l'objectif du projet Faramir, initié en 2018 avec Axiome et Loiretech, qui vient de se clore récemment.

Faramir propose un nouveau procédé combinant la fabrication additive minérale avec une étape d'imprégnation pour la fabrication de pièces complexes dotées des caractéristiques équivalentes à celles réalisées en planche usinable. Le projet a permis d'identifier l'ensemble charge-liant-résine, de mettre au point le procédé hybridé, enfin de prouver l'intérêt du concept à l'échelle d'un demi-outillage. Ces résultats vont permettre à Loiretech d'envisager l'industrialisation de la fabrication de formes de pré-formage, moulage et de découpe à partir des principes développés dans Faramir. De même pour Axiome qui peut maintenant, grâce à cette nouvelle technologie, proposer à ses clients des fonctionnalités supplémentaires sur les outillages. Une suite à ce projet est déjà en réflexion afin d'étendre les résultats sur d'autres types d'outillages et d'autres types d'équipements.



MATÉRIAUX

LE COMPOSITE : UN MATÉRIAU DURABLE...

Volta Trucks s'associe à CPC Group pour développer et fournir les panneaux de carrosserie extérieurs en composite les plus durables au monde pour le Volta Zero. Celui-ci est le premier véhicule utilitaire tout électrique de 16 tonnes spécialement conçu pour la logistique de centre-ville. La durabilité, qui est au cœur de la marque Volta Trucks, va de la suppression des émissions de gaz d'échappement, jusqu'à la chaîne d'approvisionnement du véhicule, en passant

par le choix des matériaux. Lors de son lancement en septembre 2020, le Volta Zero était le premier véhicule utilitaire à recourir au lin issu de sources durables et à des panneaux composites en résine biodégradable. Léger et entièrement naturel, ce matériau en fibre haute performance est presque neutre en CO2 tout au long de son cycle de vie. S'il affiche la même rigidité et le même poids que la fibre de carbone, sa production nécessite 75 % de CO2 en moins.

Volta Trucks travaillera avec CPC Group pour développer et industrialiser ces nouveaux matériaux composites, à la fois durables et recyclables, dans des volumes importants. Planifiée pour la fin 2022, la production à grande échelle des véhicules, selon les spécifications des clients, utilisera des matériaux composites de pointe pour toute la carrosserie et les garnitures du véhicule. Tandis que la production débutera avec la première version du composite, plusieurs évolutions de celui-ci sont déjà à l'étude.





IOT/OBJET CONNECTÉ

DES SOUS POUR SURVEILLER LES ABEILLES

BeeGuard est une entreprise française qui développe depuis 2015 des équipements d'aide à la décision pour les apiculteurs, les agriculteurs, et les pouvoirs publics. La jeune entreprise commercialise notamment une solution éponyme pour surveiller à distance l'activité des abeilles grâce à des capteurs internes aux ruches (GPS, température, hygrométrie) et externes (balances connectées, stations météo), et une application de gestion de rucher. L'intelligence artificielle permet d'analyser les données collectées pour générer des indicateurs de biosurveillance (qualité de l'environnement local et de la biodiversité) de la vie des abeilles.



L'entreprise vient d'ouvrir une collecte sur la plateforme d'investissement dans le digital Épargne Occitanie, gérée par WISEED et la Région. 250 000 € sont recherchés dans le cadre

d'une première levée de fonds s'élevant à un million d'euros au total. L'objectif est d'accéder à de nouveaux marchés, mais aussi poursuivre ses projets de R&D en cours portant sur l'analyse des comportements des pollinisateurs, afin de développer de nouveaux capteurs et services innovants au cours des 2 prochaines années.



AUTO-MOTO

LA RÉTROCONCEPTION AU SECOURS DES MOTOS ANCIENNES

Les collectionneurs de véhicules anciens sont souvent confrontés à la difficulté de trouver des pièces pour restaurer leurs précieux objets. Lorsque ces pièces ne sont plus disponibles, la seule solution est de les fabriquer à nouveau.



Dans ces conditions, le scan 3D peut être indispensable pour modéliser la géométrie de la pièce. C'est ce que l'entreprise de Carl van de Rijzen, aux Pays-Bas, a fait pour restaurer la tête d'allumeur cassé d'une Harley Davidson de 1919 en édition limitée. Parce que la pièce était petite et foisonnait de détails, c'est le scanner Space Spider d'Artec qui a été choisi. Malgré la couleur noire de la pièce, le scan n'a posé aucune difficulté. Et même si elle était incomplète, le logiciel Artec Studio a permis de la réparer facilement - grâce à l'outil symétrie, qui reproduit des pièces telles qu'elles sont, mais en miroir. Les données traitées ont ensuite été imprimées en 3D, après quoi la pièce a été présentée au propriétaire fier et absolument ravi de sa Harley, prête à prendre la route.



SPORT

UN STADE EN BOIS POUR UN CLUB DE FOOT ÉCOLO

Dale Vince, activiste écolo millionnaire, a racheté le Forest Green Rivers et en a fait le club de foot anglais le plus écolo de la planète. Outre la bouse de vache pour enrichir le terrain à la place des engrais chimique, et les panneaux solaires alimentant 10 % de l'électricité consommée, il a décidé de construire un nouveau stade de 5000 places presque 100 % bois !



Doc. Zaha Hadid Architects

Celui-ci devrait voir le jour en 2025 à Nailsworth (Angleterre). C'est Zaha Hadid Architects qui sera en charge de sa conception. Le bois remplacera partout où cela est possible le béton et l'acier : structure, porte-à-faux du toit, revêtements, dalles de sol et supports de sièges. Labellisé en 2017 comme le club de foot « *le plus vert au monde* » par la FIFA, il a l'année suivante été certifié neutre en carbone par l'ONU. Rajoutons pour finir, que les joueurs ont renoncé à la viande rouge, que l'offre alimentaire proposée dans le stade est végétalienne, et que les maillots de foot sont élaborés dans un tissu réalisé à partir de marc de café et de bouteilles d'eau recyclées...



PÉDALER POUR RECHARGER LA BATTERIE DE SON VÉLO ÉLECTRIQUE

Le vélo n'a jamais autant été à la mode. Il faut dire que tout est fait pour culpabiliser l'automobiliste, responsable de tous les maux de notre planète... Présenté lors du salon Pro Days, Porte de Versailles, à Paris en juillet dernier, le Rayvolt est un vélo électrique original. Pliable pour faciliter son transport, il peut être utilisé pour des déplacements extérieurs, mais aussi en intérieur grâce à une application le transformant en entraîneur sportif.

Intelligente, l'application RegenFit permet à son utilisateur de convertir l'assistance pédalage en un « *smart trainer* » ; ainsi en utilisant le champ électromagnétique du moteur et les



capteurs hall, la cadence tenue permet de recharger la batterie tout en pratiquant une activité physique. On peut également sélectionner son niveau d'effort, en somme plus on crée d'effort plus l'on va charger vite la batterie et plus l'activité physique sera intense. Une inversion du concept de vélo électrique particulièrement sympa.

Autres particularités de ce smart bike, sa fonction rétropédalage électronique brevetée. Plus besoin d'utiliser les freins, en pédalant en arrière le freinage est plus efficace et le mouvement devient intuitif très rapidement. Ses roues de 20 et 16 pouces ainsi que sa batterie amovible dans la tige de selle en font le vélo idéal pour un usage urbain et préserve son utilisateur du vol ou des dégradations. Notons enfin, que le déblocage du vélo s'effectue par l'application et à travers une reconnaissance faciale...



UN BATEAU DE LOISIR VOLANT

On n'a pas encore inventé les tapis volants mais les bateaux volants existent. En plus, celui-ci est 100 % électrique. Le C7 est un bateau d'un peu moins de 8 m de long sorti des usines du constructeur suédois Candela. Sa particularité est de recevoir deux foils sous la coque qui lui permettent à partir d'une certaine vitesse de s'élever au-dessus de l'eau. Les frottements sont ainsi réduits de 80 % et l'autonomie de l'engin atteint 50 miles marins à la vitesse de 22 nœuds. Tous les 1/100^{ème} de seconde, un ordinateur ajuste la position des foils aux conditions de navigation et optimise ainsi l'assiette du bateau. Ce dispositif de foils n'est pas révolutionnaire, il a déjà été utilisé sur des bateaux à voile de sport ou de compétition, voire sur de rares navires de transport dans certains cas. Mais c'est la première fois qu'ils sont employés pour un bateau de loisir de ce type.

Le constructeur s'est également appliqué à réduire le poids de l'embarcation avec un pont et une coque en fibre de carbone pour un poids total de 1 350 kg. Conséquence, la consommation est réduite au minimum : 0,8 kWh par mille marin, l'équivalent d'à peine 0,2 litre de diesel, à une vitesse de croisière de 20 nœuds, soit un coût d'usage « 95 % moins importants qu'un équivalent fonctionnant au carburant ». Pour 200 000 euros le bateau est à vous. Il vous permet d'emmener 6 personnes.



≡ ZOOM ≡

BOUYGUES CONSTRUCTION ET DASSAULT SYSTÈMES DÉVELOPPENT UNE PLATEFORME BIM

Bouygues Construction s'est associé à Dassault Systèmes pour développer d'ici trois ans une plateforme de conception et de suivi de projets qui sera utilisée pour tous les futurs chantiers du constructeur français. Elle sera accessible dans le cloud et reposera sur l'architecture 3DEXperience de l'éditeur, de nouveaux processus précâblés et l'intégration d'outils propres à Bouygues Construction.

Le secteur de la construction a un problème : celui de la productivité. En trente ans, les progrès ont été infiniment plus faibles que ceux réalisés par l'industrie manufacturière notamment. Or, il faut construire de plus en plus de bâtiments pour suivre la croissance effrénée de la population mondiale, estimée aujourd'hui à plus de 7,8 milliards d'êtres humains !

UN SECTEUR ENTIER À DIGITALISER

Ce manque de productivité est dû à la diversité des métiers mis en œuvre, à leur culture globalement conservatrice, aux marges faibles ne permettant pas de folies en termes d'investissements, et bien



3DEXPERIENCE DE DASSAULT SYSTÈMES SERA UTILISÉ COMME RÉFÉRENTIEL POUR LA FUTURE PLATEFORME BIM DÉVELOPPÉ AVEC BOUYGUES CONSTRUCTION. CRÉDIT : DASSAULT SYSTÈMES / BOUYGUES CONSTRUCTION

entendu au fait que chaque construction ou presque est un nouveau projet. On rajoutera que s'il existe sur le marché des logiciels performants capables de gérer les différents aspects d'un projet de construction, il n'y a pas véritablement une offre mature intégrant les différentes phases au sein d'un seul et même corpus numérique. D'ailleurs, beaucoup d'acteurs du domaine plaident pour un format de données Open BIM comme les IFC pour favoriser cette interopérabilité entre logiciels. En outre, ces outils sont plus centrés sur le produit, le bâtiment ou l'ouvrage d'art lui-même, sa modélisation et son ingénierie, que sur l'optimisation des process qui permettent de le concevoir puis de le construire.

DÉVELOPPER UNE NOUVELLE PLATEFORME BIM

Bref, tout le monde ou presque rêve d'industrialiser le secteur. Bouygues Construction entend passer du rêve à la réalité à travers son partenariat signé avec Dassault Systèmes et la mise en œuvre généralisée du BIM. Son objectif ? Créer une plateforme de management numérique de projet (PMNP) utilisant à la fois les briques déjà disponibles au sein de l'offre 3DEXperience de Dassault, les « *Industry Solutions Experience* » et intégrant les outils maison de Bouygues. L'ensemble sera hébergé dans le cloud, opéré par la filiale de Dassault Outscale, et accessible par l'écosystème de Bouygues Construction

à l'occasion de chaque projet. Les deux entreprises se donnent trois ans pour élaborer un environnement de travail adapté à tous les métiers de la construction, depuis l'architecte jusqu'au chef de chantier en passant par l'électricien et le responsable de la maintenance du bâtiment.

EN S'APPUYANT SUR LES METHODES INDUSTRIELLES

« Nous avons choisi Dassault Systèmes pour son expertise des domaines manufacturiers, qui ont industrialisé leurs processus de développement. Cela en partie en exploitant les outils numériques centrés process d'un acteur comme Dassault Systèmes. En outre sa proximité géographique ne peut que favoriser notre collaboration. Et puis beaucoup de nos fournisseurs sont déjà utilisateurs de ses logiciels et donc familiarisés avec cet environnement » explique Frédéric Gal, Directeur du projet de modernisation des métiers chez Bouygues Construction. D'ailleurs, pour renforcer cette synergie avec le monde de l'industrie, Bouygues Construction s'est entouré de Mews Partners pour le déploiement de sa future plateforme. Cet intégrateur et société de conseil est très présente dans les secteurs de l'automobile, de l'aérospatiale, et de la grande distribution. « Nous ne souhaitons pas développer un outil spécifique à notre problématique, mais standardiser en son sein de nombreuses tâches facilitant la collaboration inter-métiers. Pour favoriser son accessibilité, elle fournira à chaque métier l'environnement numérique qui correspond précisément à ses besoins. L'architecte, l'ingénieur calcul, le dessinateur projeteur ou l'acheteur bénéficiera d'une interface et des workflows dédiés. »

MUTUALISER LES DONNÉES ET LES PROCESSUS MÉTIER

La plateforme centralisera toutes les données d'un projet, fournira donc des processus « précâblés » pour les métiers adressés et sera utilisée comme outil de pilotage unique. Frédéric Gal : « outre un accroissement de la productivité et de la qualité des travaux, cette plateforme nous permettra d'avoir une traçabilité permanente des déchets générés et de calculer notre impact environnemental. Le maître d'ouvrage bénéficiera de tableaux de bord lui permettant de suivre les travaux. Même le client final pourra l'utiliser pour

FABRIQUER EN USINE AVANT D'ALLER SUR LE CHANTIER

Si la digitalisation des métiers de la construction reste un axe majeur pour moderniser le secteur, d'autres pistes restent à creuser. Notamment celle de la construction en usine d'éléments de bâtiment. Un rapport récent de l'association de promotion de l'innovation dans le secteur immobilier Real Estech indique que plus de 80 % des travaux de construction pourraient être réalisés en dehors du chantier. Cette démarche se distingue de la préfabrication dans le sens où elle ajoute une dimension industrielle des processus. En outre, elle s'inscrit pleinement dans la logique de performance recherchée dans la réglementation RE2020.

Les bénéfices d'une construction hors site sont nombreux : optimisation de la qualité, réduction des coûts et des délais, grâce notamment à la parallélisation des tâches traditionnellement réalisées de manière séquentielle, mais aussi réduction des déchets et des nuisances en phase chantier. On rajoutera que c'est aussi l'opportunité de développer une innovation made in France en s'appuyant sur les compétences de l'ingénierie française des secteurs très industrialisés comme l'automobile. Le rapport note également que la construction en usine favorise des processus plus écologiques, puisque l'on peut rationaliser les ressources nécessaires, et sans cesse s'améliorer.

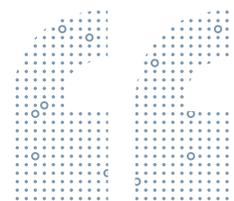
Real Estech indique que trois types de transformation conditionnent l'industrialisation du secteur de l'AEC : conception et suivi numériques, sites de production centralisés et automatisés, enfin méthode de gestion de la production et assemblage au plus juste. Le BIM est donc la colonne vertébrale indispensable à cette évolution.

simuler un aménagement différent de son habitat ou des bureaux. »

Notons également que cette plateforme se veut ouverte. Ce sera le format IFC qui permettra à ceux qui le souhaitent de conserver leurs propres logiciels et de rester interopérables avec elle. A terme, Bouygues Construction espère que 15 000 utilisateurs,

sur tous les continents pourront se connecter à cette solution. La plateforme sera ensuite intégrée à l'offre Dassault Systèmes et accessible à tous pour favoriser une montée en compétence générale du secteur de l'AEC.

Si tous les projets classiques seront à l'avenir portés sur cette plateforme en cours de développement, Bouygues Construction reste prudent pour ses projets « sensibles » qui resteront eux sur une architecture on-premise pour éviter tous risques de piratage informatiques... ▬



OUTRE UN ACCROISSEMENT DE LA PRODUCTIVITÉ ET DE LA QUALITÉ DES TRAVAUX, CETTE PLATEFORME NOUS PERMETTRA D'AVOIR UNE TRAÇABILITÉ PERMANENTE DES DÉCHETS GÉNÉRÉS ET DE CALCULER NOTRE IMPACT ENVIRONNEMENTAL.

FREDERIC GAL

Directeur du projet de modernisation des métiers chez Bouygues Construction



REPORTAGE

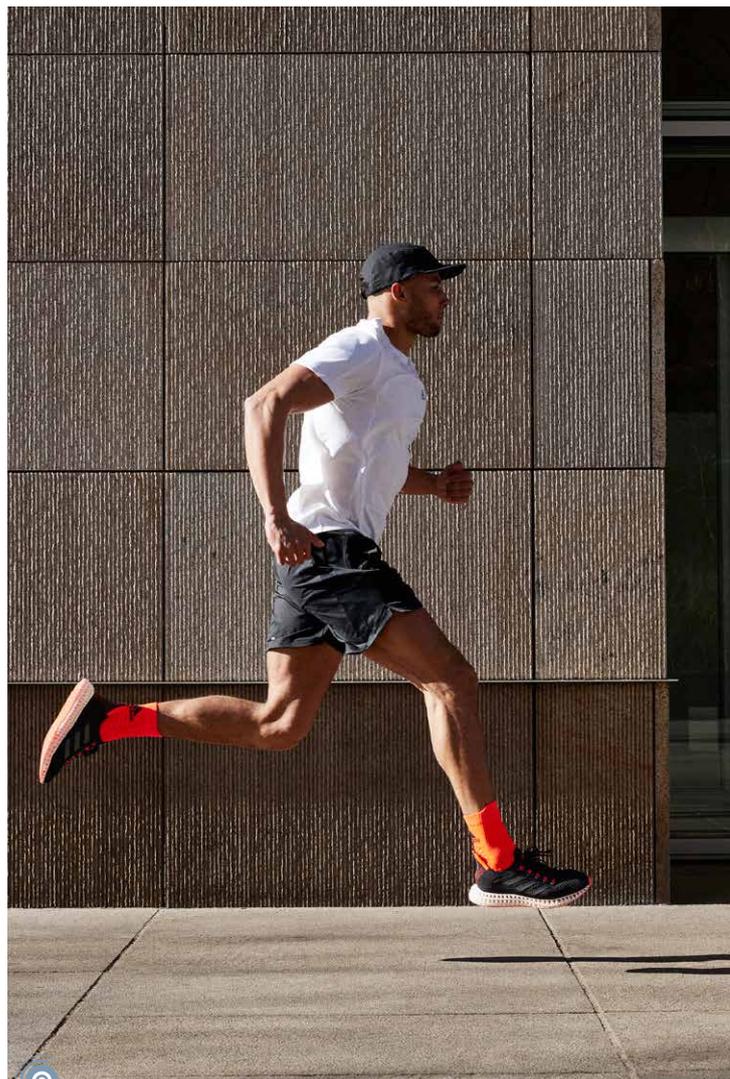
L'IMPRESSIION 3D AU PIED DES SPRINTERS

Je me suis mis au running lors du premier confinement l'année dernière. Depuis, malgré des baskets acquises fort chères dans LE magasin spécialisé, j'avance pas beaucoup plus vite et j'en bave toujours autant. Trop vieux ? Trop mou ? Non. J'ai pas les bonnes chaussures. En plus il existe une force de freinage ! J'étais même pas au courant...

Le marché des baskets est énorme, mais extrêmement concurrentiel. Chaque fabricant tente de se démarquer à coup de pub, de marketing subtil, de design original, mais aussi d'innovations techniques. C'est notamment le cas d'Adidas qui lance le modèle 4DFWD. Une chaussure de course haut de gamme (200 € la paire) utilisant une technologie d'impression 3D nouvelle pour fabriquer des semelles intercalaires en treillis anisotrope. Ce n'est pas la première fois qu'un équipementier de sport adopte la technologie de fabrication additive en matière de baskets, mais ici, le procédé permet de produire en masse et d'obtenir des performances étonnantes.

ANISOTROPE VS ISOTROPE

Si Adidas a conçu ses nouvelles baskets avec des treillis 3D anisotropes, notons que la technologie DLS de Carbon est un des rares procédés à permettre l'inverse, c'est-à-dire produire des structures isotropes. Dans le premier cas, les propriétés mécaniques des pièces fabriquées varient en fonction du plan dans lequel elles sont mesurées. En règle générale, les pièces mécaniques imprimées en 3D sont anisotropes par nature en raison de leur mode de construction, une couche après l'autre. Les matériaux et pièces isotropes ont les mêmes propriétés mécaniques, quel que soit le plan dans lequel ces propriétés sont évaluées et la direction dans laquelle les charges s'exercent, ce qui est absolument critique dans les applications à charges complexes multidirectionnelles.



ADIDAS A UTILISÉ UNE NOUVELLE TECHNOLOGIE D'IMPRESSIION 3D, À LA FOIS PRÉCISE ET CAPABLE DE PRODUIRE EN MASSE, POUR CRÉER DE NOUVELLES CHAUSSURES DE RUNNING DIMINUANT LA "FORCE DE FREINAGE" DE 15 %.

UTILISER LES DONNÉES BIOMÉCANIQUES POUR LA CONCEPTION

Adidas s'est appuyé sur la société Carbon, spécialiste américain dans le domaine de la fabrication additive. Quatre ans ont été nécessaires pour modéliser les effets de la course et concevoir cette basket d'un nouveau genre. Le fabricant a analysé les données d'athlètes collectées pendant 17 ans pour optimiser son concept. Celui-ci repose sur une semelle imprimée en 3D et constituée d'un treillis de milliers de géométries semblables à des nœuds papillon. Il existe sur le marché de nombreux logiciels capables de générer des structures en treillis 3D. On peut citer par exemple des outils spécifiques comme Autodesk Within, Ntopology, STL Lattice Generator, bien entendu les principaux outils de modélisation 3D que cela soit Catia, SolidWorks, Siemens NX ou PTC Creo et même des logiciels développés par les fabricants de machines comme 3DExpert de 3D Systems, ou celui fourni par Carbon : Design Engine.



LA GÉOMÉTRIE EN TREILLIS DE LA SEMELLE INTERMÉDIAIRE DES ADIDAS 4DFWD PERMET DE TRANSFORMER UNE PARTIE DE LA FORCE D'IMPACT DU COUREUR EN UNE FORCE D'AVANCEMENT.

UNE STRUCTURE CAPABLE DE REDIRIGER PERPENDICULAIREMENT UNE FORCE

Bref, cette semelle maillée en 3D est capable de se comprimer lors de l'impact vertical du pied. Puis de transformer une partie de la force absorbée en une impulsion vers l'avant trois fois supérieure à ce que l'on obtenait jusque-là avec les précédents modèles de semelles imprimées en 3D. Adidas explique que cela permet de diminuer en moyenne de 15 % la « force de freinage » ressentie par le coureur ! Pour appuyer son discours, la marque allemande indique que des tests très sérieux ont été réalisés à l'Université de Calgary au Canada, à l'Arizona State University et par de nombreux coureurs de haut niveau du monde entier. Enfin, la tige de la basket est de son côté réalisée en Primeknit, un polyester recyclé. Sa forme et son positionnement par rapport à la semelle intermédiaire ont aussi été optimisée à partir des données récupérées sur les coureurs. Elle soutient le coureur à chaque mouvement vers l'avant avec un ajustement semblable à une chaussette, tout en permettant au pied de respirer librement. La semelle extérieure en caoutchouc est conçue pour fonctionner en harmonie avec la semelle intermédiaire Adidas 4DFWD, offrant une traction supérieure

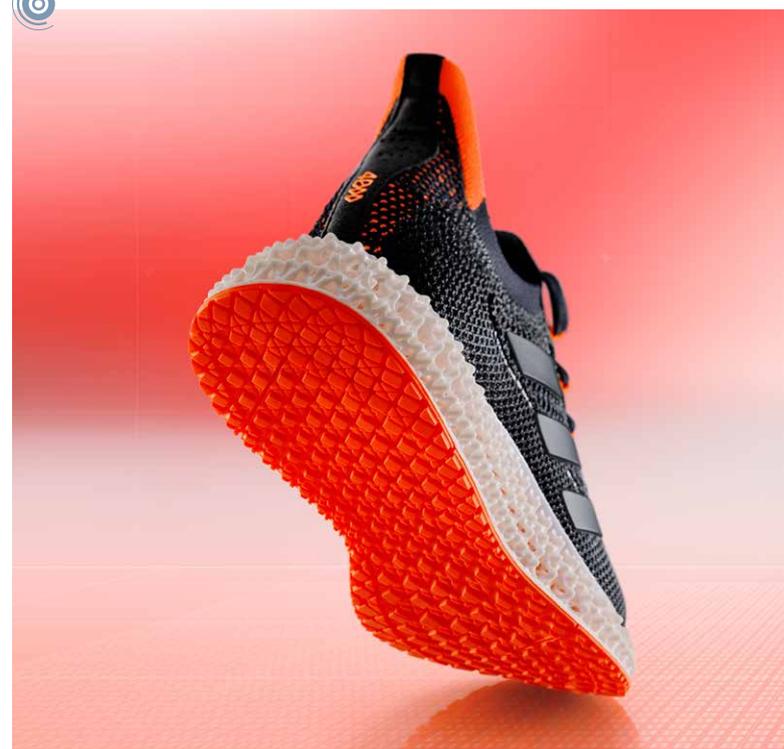
L'IMPRESSION 3D À LA RESCOURSE

Les procédés traditionnels comme l'injection plastique ne permettent pas de produire une telle géométrie. C'est la technique Digital Light Synthesis du californien Carbon qui est dans ce cas mise en œuvre. Proche de la technique DLS, ce procédé nouveau utilise une projection de lumière contrôlée, des optiques perméables à l'oxygène et des résines liquides pour produire des pièces très précises et à la finition exceptionnelle. Le matériau est un élastomère

haute performance (EPU) développé par Carbon. Il permet d'imprimer en masse, avec précision et de minimiser les opérations de post-traitement. Ceci sans matériau support. Cerise sur le gâteau il est biosourcé à près de 40 % et offre 23 % d'amorti supplémentaire, d'après Carbon.

Bon, c'est bientôt mon anniversaire, elles sont pas mal ces baskets, en plus, non ? —

C'EST PAS GRAND-CHOSE UNE BASKET DE RUNNING, MÊME SI LA TECHNOLOGIE EST LÀ...





LA NOUVELLE SALLE IMMERSIVE INSTALLÉE DANS LE DIGITAL LB D'ARCELORMITTAL SERA EMPLOYÉE POUR FORMER LES SALARIÉS AUX NOUVELLES TECHNOLOGIES ET GESTES TECHNIQUES.

La transformation digitale touche aussi le secteur de la sidérurgie. ArcelorMittal a ainsi inauguré son premier Digital Lab à Dunkerque à proximité de son plus grand site européen de production d'acier. Un labo qui fait la part belle à la réalité augmentée, au système d'affichage collaboratif et au tactile.

C'est une installation de plus de 2700 m² au cœur de Dunkerque que l'aciériste ArcelorMittal a inaugurée récemment dans le cadre de sa transformation digitale. Le site accueille un centre de coworking pour mener des projets avec ses partenaires, un centre de formation aux nouveaux métiers et aux nouvelles technologies pour ses salariés, enfin un espace de conférence ouvert sur l'extérieur. Petit rappel, ArcelorMittal est le plus important producteur d'acier dans le monde en volume...

C'est la société Immersion qui a été choisi comme fournisseur pour les installations numériques. On y trouve ainsi un grand mur d'accueil tactile de 98 pouces, un mur d'images, tactile lui aussi, de 2 mètres sur 2, une salle immersive équipée d'une table tactile Meetiiim,

LA TABLE TACTILE MEETIIIM D'IMMERSION PERMET D'ORGANISER DES RÉUNIONS DE TRAVAIL AUTOUR DE TOUT TYPE DE DOCUMENT NUMÉRIQUE.



LA RÉALITÉ MIXTE POUR LE CONTRÔLE QUALITÉ

ArcelorMittal avait déjà fait appel à Immersion en 2019 pour évaluer l'intérêt de la réalité mixte. Un POC (proof of concept) avait été mise en œuvre autour d'un de la technologie Hololens de Microsoft pour identifier les cas d'usage les plus intéressants. Ce fut finalement le contrôle qualité des bobines d'acier avant expédition chez le client qui fut retenu comme application à forte valeur ajoutée. L'opérateur d'emballage, équipé du casque Hololens est assisté dans sa tâche de contrôle par une surimpression d'informations à ce qu'il voit. A l'inverse, les informations qu'il récolte comme la mesure des bobines, le scan de QR codes... sont automatiquement stockées dans une base de données. Et, grâce à l'intégration de la fonction Remote Assist de Microsoft dans l'application sur mesure développée par Immersion, il peut à tout moment faire appel à un expert, où qu'il soit. Ce qui évite bien des déplacements et accélère d'autant la productivité.

d'un écran collaboratif tactile de 85 pouces et d'un mur de vidéo projection de 6 x 2 m. Enfin, une salle de réalité virtuelle accueille un écran tactile collaboratif mobile de 85 pouces, ainsi qu'un mur de vidéo projection 3D relief de 6 x 2 m. L'ensemble utilise Shariing, le logiciel de présentation et de travail collaboratif développé par l'entreprise bordelaise et qui permet de créer et de gérer des réunions collaboratives avec des partenaires distants.

Au sein du Digital Lab de Dunkerque, puis de Florange, la salle de réalité virtuelle (projection en relief) permettra aux visiteurs de s'immerger dans des environnements 3D pour se former aux nouvelles technologies et à de nouvelles tâches professionnelles. Le logiciel Shariing facilitera également l'appropriation de nouvelles méthodes de travail, et l'usage d'outils numériques qui font désormais partie du quotidien de millions de salariés. —

COMTE-RENDU

DEVELOPPER LE CALCUL HAUTE PERFORMANCE À L'ÉCHELLE EUROPÉENNE

Doc. Davinci - Supercomputer Leonardo

La 16^{ème} édition du Forum Teratec s'est déroulée sur un mode virtuel à la fin du mois de juin. Les mot clés de cet événement consacré au calcul numérique ? Le calcul quantique, la 5G, le big data, le cloud souverain, la cybersécurité, et enfin l'Europe, l'échelle indépassable au développement d'une filière capable de tenir tête à la Chine ou aux USA.

Agnès Pannier-Runacher, ministre déléguée chargée de l'Industrie, indiquait dans son discours d'inauguration de cette première journée Teratec que les enjeux autour du calcul quantique étaient essentiels pour la France. « *Nous devons nous situer dans le premier cercle des pays maîtrisant les technologies de la 5G, du Big Data, du cloud, de la cybersécurité et du calcul quantique. Le quantique est la promesse d'une rupture technologique majeure en raccourcissant les temps de calcul d'un facteur d'1 milliard d'ici 5 à 10 ans* ». L'investissement devra bien sûr être fait dans le matériel comme prévu par le Plan Quantique Français (1,8 milliard d'euros sur cinq ans) et les projets européens, mais aussi sur la façon d'insérer les accélérateurs et les ordinateurs quantiques dans les centres de calcul, et leur exploitation.

L'EUROPE DU NUMÉRIQUE

Et la stratégie française pour se situer dans le peloton de tête est de travailler à l'échelle européenne. La France seule ne peut rien, paraît-il... Ainsi ce projet de cloud souverain Gaia X porté par la France et l'Allemagne serait la voix à suivre. Son objectif ? Fournir des services cloud aux entreprises européennes, services répondant à des critères élevés de sécurité et de souveraineté en conformité avec les lois européennes en vigueur. Mais les retards s'accumulent, et certains s'interrogent sur le sens d'un cloud dit « *souverain* » dont le principe même de fonctionnement permet de labelliser des offres américaines ou chinoises ! Du « *en même temps* » peut être...

Autres défis pour le calcul haute performance (HPC), sa démocratisation et la mise en commun des savoirs et compétences

toujours au niveau européen. Plusieurs entreprises sont d'ailleurs venues témoigner lors de ce forum de leur usage du calcul intensif. Essilor, par exemple, développe un jumeau numérique des porteurs de lunettes. A partir de 250 critères posturaux et d'un calcul d'optimisation sous contraintes, le verrier promet de fabriquer des verres progressifs totalement personnalisés. Il annonce même pour 2022 des lunettes intelligentes dont la puissance de correction et la teinte s'adaptent en temps réel ! Autre exemple, cette fois-ci à l'échelle d'une PME de 15 personnes, Iconem réalise des scans 3D pour reconstituer les maquettes de sites historiques en cours de destruction ou inaccessibles. Ce sont des villes entières comme Mossoul ou Alep, que l'on peut ainsi parcourir avec une précision chirurgicale et une immersion totale. Cela pour les besoins de la recherche académique, évaluer la possibilité d'une restauration, ou tout simplement comme s'il s'agissait d'un musée virtuel.

Deux exemples qui témoignent d'une démocratisation, certes lente mais inexorable, des solutions de HPC. Les industriels de tous secteurs voient en effet dans les supercalculateurs une possible réponse aux problèmes complexes rencontrés par leurs clients et aux nouveaux produits qui restent à créer pour y répondre. Mais l'augmentation de la demande va s'accompagner d'un accroissement de la consommation d'énergie et du coût des ordinateurs. Comme le rappelle Daniel Verwaerde, Président de Teratec : « *à l'horizon de quelques dizaines d'années, le monde des supercalculateurs doit pouvoir proposer des solutions qui avoisineront la neutralité carbone.* » Ce sera sans doute le prochain défi, après celui du calcul quantique... —

AGNÈS PANNIER-RUNACHER, MINISTRE DÉLÉGUÉE CHARGÉE DE L'INDUSTRIE : « LE QUANTIQUE EST LA PROMESSE D'UNE RUPTURE TECHNOLOGIQUE MAJEURE EN RACCOURCISSANT LES TEMPS DE CALCUL D'UN FACTEUR D'1 MILLIARD D'ICI 5 À 10 ANS. »



INTRODUCTION

LE REVERSE ENGINEERING PRÉSERVE LE PATRIMOINE



Depuis les premiers pas effectués voici plus de 25 ans, le reverse engineering fait maintenant partie de la panoplie des outils couramment utilisés par les spécialistes en charge du patrimoine. Qu'il s'agisse d'évaluer l'état structurel ou les pathologies dont souffre un bâtiment, comme pour la restauration de Notre-Dame de Paris, d'évaluer s'il est possible de remettre debout les ruines de Palmyre, ou de permettre aux archéologues de visiter à leur guise la Grotte de Lascaux, le reverse engineering est au cœur de tous les chantiers.

1 5 avril 2019, 20h00, la France stupéfaite assiste en direct sur les écrans de télévision à l'incendie de la charpente de la cathédrale Notre-Dame de Paris et à la chute de sa flèche. L'incendie, qui durera une bonne partie de la nuit, consumera les 4 à 5 000m³ de chêne qui composaient la charpente de l'édifice. Au petit matin, il ne reste rien de la « Forêt » qui abritait Notre-Dame depuis 8 siècles !

Heureusement un relevé en 3D de cette charpente avait été réalisé quelques mois auparavant par Art Graphique &

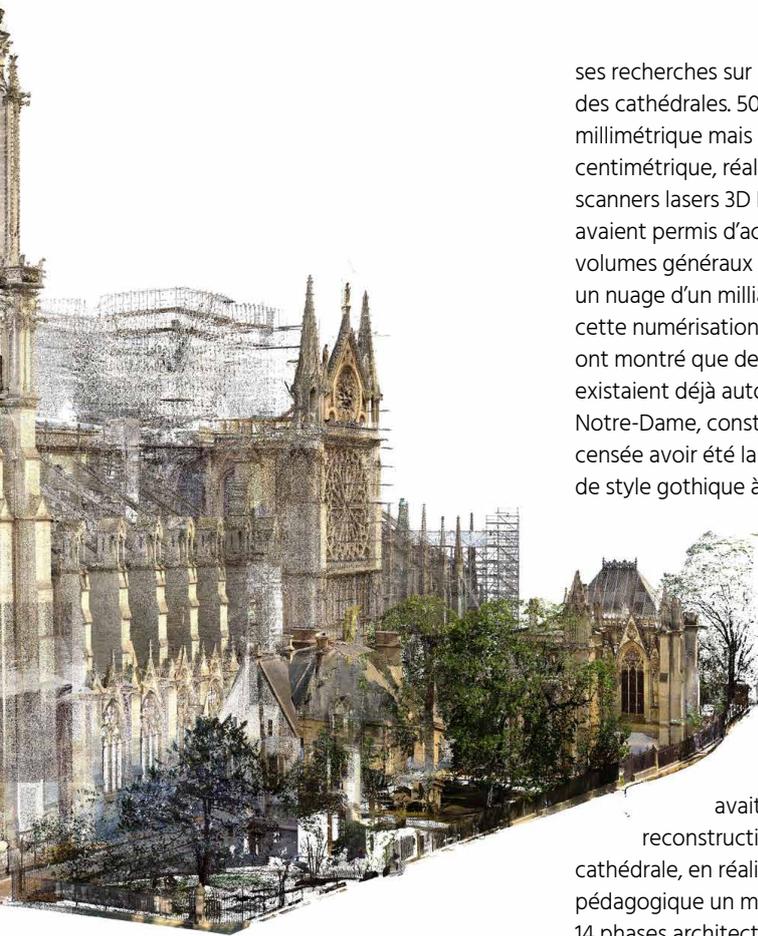
Patrimoine (AG&P) à l'aide de scanners lasers. Ce relevé comportant plus de 150 scans de précision millimétrique représentait près de 5 milliards de points. Sa densité exceptionnelle, 1 à 2 points par mm², permettait une retranscription inégalée des détails de la charpente et de la toiture avec sa flèche. Ce jumeau numérique a largement été utilisé par les médias pour montrer le joyau disparu, que seules quelques personnes chargées de sa conservation connaissaient. Le grand public découvrait ainsi pour la première fois le « *reverse engineering* ».

AIDER À LA RECONSTRUCTION DU PATRIMOINE

Cet événement a mis en lumière ce que les technologies numériques pouvaient apporter à la conservation et à la restauration du patrimoine historique.

« *Mais cet apport n'est pas nouveau, cela fait déjà plus de 25 ans que nous avons créé AG&P pour réaliser des relevés architecturaux et archéologiques numériques, afin d'assurer la sauvegarde et la valorisation du patrimoine. Certes, nous étions alors précurseurs mais peu à peu, au fil des évolutions technologiques, cette approche s'est démocratisée pour devenir aujourd'hui quasiment incontournable sur tous les grands chantiers de restauration* », explique Gaël Hamon, co-fondateur et dirigeant de AG&P.

Ainsi pour la restauration de Notre-Dame de Paris les architectes du patrimoine peuvent s'appuyer sur les différentes campagnes de numérisation effectuées depuis 2010. En effet, en décembre de cette année, une numérisation complète de la cathédrale avait été effectuée par l'historien d'art américain Andrew Tallon dans la cadre de



ses recherches sur les systèmes constructifs des cathédrales. 50 scans, d'une précision millimétrique mais d'une densité centimétrique, réalisés par AG&P à l'aide de scanners lasers 3D Leica Geosystems avaient permis d'acquérir l'ensemble des volumes généraux de la cathédrale grâce à un nuage d'un milliard de points. Grâce à cette numérisation, les historiens de l'art ont montré que des arcs-boutants existaient déjà autour du chœur de Notre-Dame, construit bien avant la nef, censée avoir été la première construction de style gothique à en avoir bénéficiés.

D'autres campagnes de numérisation ont été menées, au point de disposer avant l'incendie d'un modèle numérique de Notre-Dame contenant environ 50 milliards de points. Cela avait permis d'effectuer une reconstruction historique de la cathédrale, en réalisant dans un but pédagogique un modèle 3D présentant 14 phases architecturales, de 1163 à nos jours.



LA RÉNOVATION DE NOTRE-DAME EST L'ILLUSTRATION PARFAITE DE CE QUE LE REVERSE ENGINEERING APORTE À LA SAUVEGARDE DU PATRIMOINE. LES SCANS 3D RÉALISÉS PAR AG&P ONT PERMIS DE CONSTRUIRE AVEC REVIT UNE MAQUETTE NUMÉRIQUE COMPLÈTE ET EXACTE DE LA CATHÉDRALE QUI EST AU CŒUR DE L'APPROCHE BIM MISE EN PLACE POUR SA RECONSTRUCTION. DOC : AG&P

LA COMPLÉMENTARITÉ DES TECHNOLOGIES

Aujourd'hui, ce modèle numérique complet et exact sert de base de travail aux architectes, entreprises de multiples corps de métier et artisans d'art chargés de la reconstruction et de la restauration

à l'identique. D'autant plus que de nouvelles campagnes de scan 3D ont été effectuées depuis l'incendie pour évaluer précisément les dégâts et leur évolution dans le temps en comparant les différents modèles 3D. Ainsi AG&P a fait dès le 20 avril 2019, soit 5 jours après l'incendie, un relevé 3D précis de l'édifice à l'aide de scanners Focus S de Faro. Plus de 300 positions de scans couleurs ont ainsi été réalisées, représentant 30 à 40 milliards de points. Les parties inaccessibles avaient quant à elles été acquises en photogrammétrie par drone.

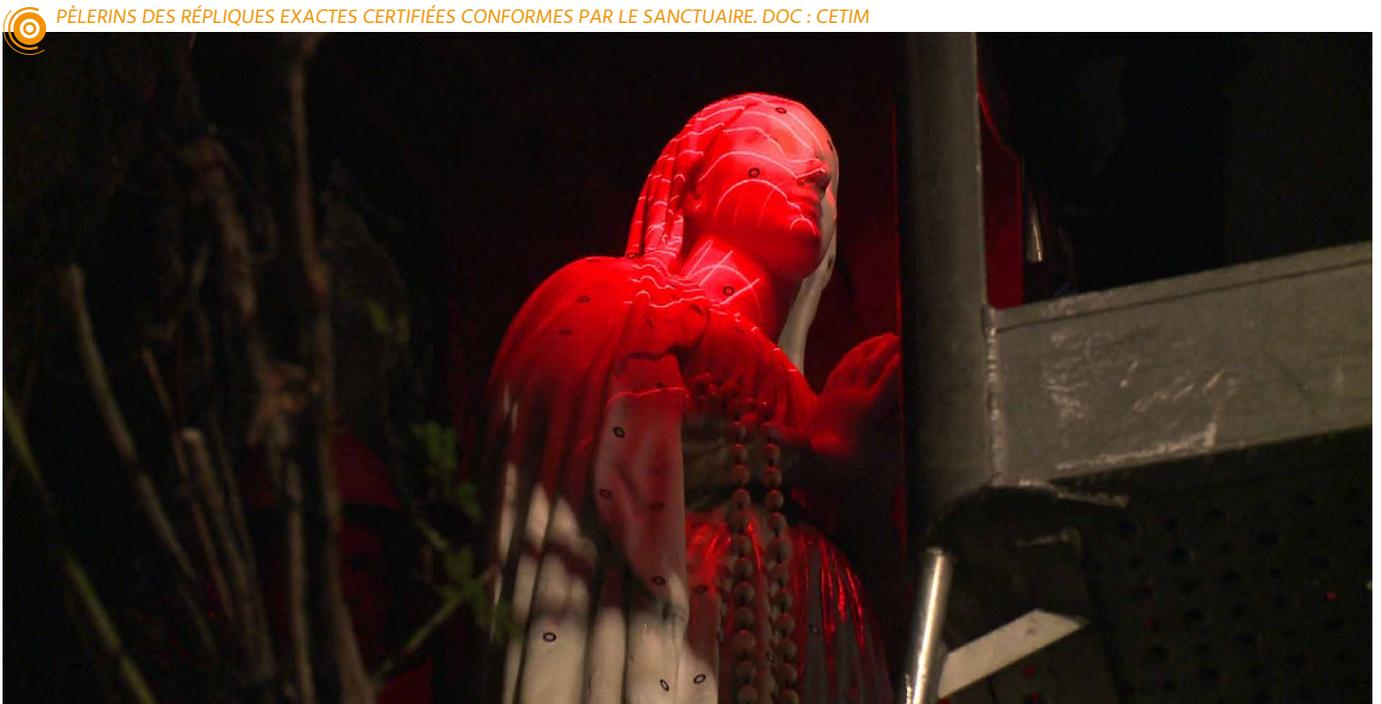
Depuis, d'autres campagnes de mesures sont menées régulièrement pour ausculter le monument meurtri, afin de fournir à tous les corps de métier une base fiable de mesures 3D, d'images et de documents techniques, et accélérer les travaux. Une véritable approche BIM mise en place avec Autodesk dont les logiciels ReCap Pro et Revit ont été utilisés pour traiter le nuage de points et construire un modèle 3D. Et ces campagnes de scan 3D vont se poursuivre tout au long du chantier pour veiller à son bon avancement.

VALIDER DES REPRODUCTIONS

Mais au-delà de ce chantier mythique de reconstruction, le reverse engineering est utilisé à de multiples fins dans le domaine du patrimoine.

« Le sanctuaire de Lourdes cherchait un prestataire capable de numériser la

LA STATUE DE LA VIERGE DE LOURDES A ÉTÉ SCANNÉE EN 3D POUR RÉALISER DES OUTILLAGES PERMETTANT DE PRODUIRE À DESTINATION DES PÈLERINS DES RÉPLIQUES EXACTES CERTIFIÉES CONFORMES PAR LE SANCTUAIRE. DOC : CETIM



statue de la vierge, afin de fournir une base réaliste aux fabricants de répliques miniatures vendues aux pèlerins dans les commerces proches, car celles-ci étaient, dans leur très grande majorité, fort éloignées de la statue présente dans la grotte », explique Vincent Barbier, directeur du Cetim Sud-Ouest qui a réalisé l'opération.

Du fait, du faible espace existant entre la statue et les parois de la grotte, et des demandes de précision des moulistes chargés des outillages de fabrication des répliques, c'est un scanner manuel portatif HandyScan de Creaform qui a été utilisé. Un scan si précis (1/10e mm) qu'il a permis de découvrir des détails imperceptibles à l'œil nu. Les répliques sont maintenant vendues avec un certificat d'authenticité. La grotte a aussi été numérisée à l'aide d'un scanner laser terrestre, afin de créer les décors d'une comédie musicale sur la vie de Bernadette Soubirous !

Une pratique de plus en plus courante. « On nous demande souvent de numériser tout ou partie d'un monument ou d'un site pour les besoins du cinéma ou de la télévision. Il s'agit alors de fournir une maquette numérique qui servira de décors pour des effets spéciaux », confirme Gaël Hamon.

PRÉSERVER LE PATRIMOINE CULTUREL MENACÉ

Mais le reverse engineering peut aussi être utilisé afin de garder une trace aussi exacte et précise que possible d'éléments du patrimoine culturel mondial menacé de destruction. C'est ce que fait depuis 2014 Iconem, une société parisienne d'une quinzaine de personnes.

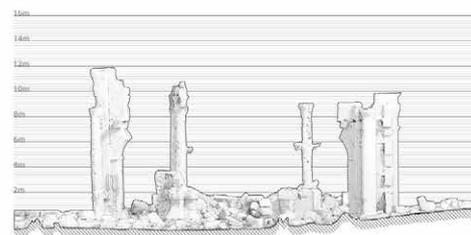
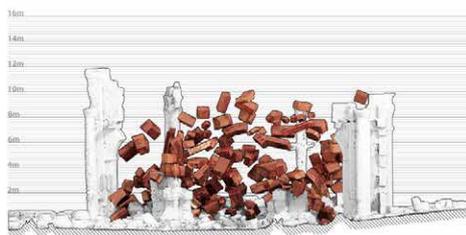
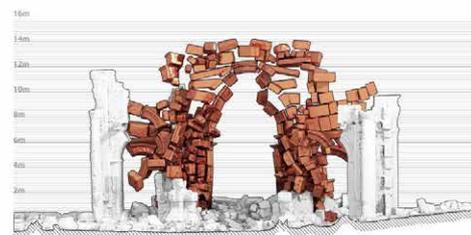
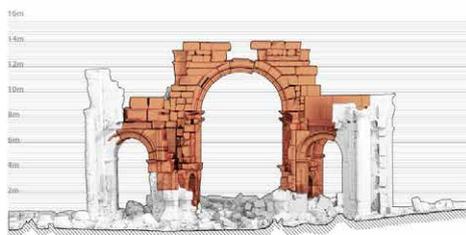
« Le rôle d'Iconem est de développer des techniques de numérisation et de capture d'images 3D à partir de drones et d'appareils photos robotisés, ainsi que des algorithmes de reconstitution détaillée de sites en 3D à partir de ces données, afin d'aider à préserver, au moins numériquement, des sites archéologiques tels ceux du Moyen-Orient, menacés par les pillages, les conflits endémiques et l'urbanisation anarchique galopante. L'idée est

d'utiliser les technologies numériques comme alternative à la conservation physique, souvent très difficile à mettre en œuvre », expliquait Yves Ubelmann lors du Forum Teratec.

Ces modèles sont à la fois un moyen de représentation, mais aussi de véritables bases de données permettant de classer dans l'espace beaucoup d'informations archéologiques (objets trouvés, fresques...). C'est particulièrement intéressant dans les zones devenues inaccessibles du fait de conflit, car cela permet à la communauté scientifique de continuer à produire de la connaissance, même si cela ne remplace pas le déplacement sur site.

Cela a été utile à Palmyre pour documenter les destructions perpétrées par l'Etat islamique, notamment à l'intérieur du musée, au Temple de Bel ou à l'Arche Monumentale. En mixant ces technologies avec de la photogrammétrie utilisant des photos des années 30, il a été possible de créer des modèles 3D des monuments détruits et de les réimplanter sur le site actuel pour évaluer l'état des blocs et documenter la faisabilité d'une reconstruction. Ces technologies ont aussi été utilisées à Alep et Mossoul pour évaluer les dégâts dus aux bombardements, afin d'envisager la reconstruction à l'échelle d'une ville entière. Elles sont aussi utilisées sur des

GRÂCE AUX SCANS 3D RÉALISÉS PAR ICONEM ET À LA PHOTOGRAMMÉTRIE, LES ARCHITECTES PEUVENT RETROUVER DANS LES GRAVAS DE L'ARCHE MONUMENTALE LES BLOCS QUI LA CONSTITUAIENT AVANT SON DYNAMITAGE ET ÉVALUER SI IL EST POSSIBLE DE LA REMETTRE SUR PIEDS. DOC : ICONEM



sites menacés par des phénomènes naturels, par exemple en Lybie où la mer grignote le site d'Apollonia.

DÉMOCRATISER LE PATRIMOINE CULTUREL

Outre la conservation de la mémoire de sites menacés pour la communiquer à la communauté scientifique et la transmettre aux générations futures, ces modèles 3D hyperréalistes sont aussi souvent au cœur d'expériences immersives permettant au grand public de découvrir leur richesse culturelle et artistique, alors qu'ils sont dans des zones aujourd'hui inaccessibles aux touristes au Proche-Orient ou au Sahel.

Sans aller aussi loin, il existe aussi en France des lieux dont la fragilité ne permet pas l'accès du public. C'est par exemple le cas de la Grotte de Lascaux fermée au public depuis 1963. Même l'accès des scientifiques dans cette « Chapelle Sixtine de l'art pariétal » datant de 18 000 ans et inscrite au patrimoine mondial de l'Unesco depuis 1979, y est strictement limité (200 heures/homme par an au total) pour éviter la dégradation des fresques. Aussi la Direction Régionale des Affaires Culturelles (DRAC) de Nouvelle-Aquitaine a-t-elle décidée dès 2003 de faire un relevé numérique 3D complet de la grotte pour en créer un modèle numérique à l'usage des scientifiques. Mais à cette époque les scanners ne pouvaient acquérir que 80 points par secondes ce qui, vu le peu de temps disponible dans la grotte pour l'acquisition, n'a permis que de faire un relevé global sans s'attarder sur les détails.

La technologie évoluant rapidement, la DRAC a décidé de faire une nouvelle campagne d'acquisition à l'aide de scanners 3D entre 2012 et 2014 avec cette fois une précision submillimétrique pour l'ensemble de la grotte. De même, alors que les relevés photographiques fait en 2003 donnaient des images de 6,5 millions de pixels, ceux faits en 2014 permettent de disposer d'images entre 25 et 32 millions de pixels.

Outre l'utilisation scientifique pour étudier la grotte et analyser ses évolutions climatologiques, le modèle numérique 3D issu de cette campagne de mesure a été utilisé pour réaliser le



LE JUMEAU NUMÉRIQUE DE LA GROTTTE DE LASCAUX, QUI A ÉTÉ RÉALISÉ À PARTIR DES NUMÉRISATIONS 3D EFFECTUÉES PAR LA DRAC NOUVELLE-AQUITAINE, PERMET AUX CONSERVATEURS D'ACCÉDER À LA CAVITÉ EN GROUPE ET AUSSI LONGTEMPS QU'ILS LE SOUHAITENT, POUR ÉCHANGER LEURS POINTS DE VUE, SANS ÊTRE BRIDÉS PAR LES RESTRICTIONS D'ACCÈS IMPOSÉES POUR LA PRÉSERVER. DOC : DASSAULT SYSTÈMES

fac-similé de la grotte « Lascaux IV » et développer les outils multimédias présentés dans le Centre international de l'art pariétal situé à Montignac-sur-Vézère.

ALIMENTER LA RÉALITÉ VIRTUELLE

Dernière utilisation en date de cette numérisation, celle faite conjointement par la Cité de l'Architecture et du Patrimoine et Dassault Systèmes qui, au sein de leur laboratoire commun parisien l'Exaltemps, proposent au grand public une visite de la grotte en réalité virtuelle. Ce modèle numérique immersif est aussi un outil de travail pour les conservateurs, car ils peuvent y venir autant fois qu'ils veulent pour observer précisément des détails sans aucune incidence sur le modèle original. Ainsi, Muriel Mauriac, la conservatrice en chef de la grotte, et ses équipes l'ont utilisé lors des réunions de travail pour aller à des endroits où ils n'ont pas le temps d'aller lors des rares visites contingentées qu'ils sont autorisés à faire dans la vraie grotte.

Cela a permis pour la première fois aux six conservateurs de se retrouver simultanément dans la grotte pour échanger leurs points de vue, alors que les rares visites autorisées sont limitées

à 2 personnes. Ils auraient ainsi redécouvert des pigments paléolithiques dans un endroit très haut, que l'abbé André Glory avait déjà identifiés lors du recensement des 1 500 peintures qu'il a faites entre 1952 et 1963.

« On voit ainsi tout l'intérêt de ce nouveau média qui permet d'une part de raconter des histoires en RV à un groupe de personnes, et d'autre part de proposer de nouvelles applications professionnelles en remplaçant, par exemple, les « Caves industriels » qui arrivent en bout de course. Il faut maintenant proposer de nouveaux modes d'immersion, qui soient aussi facile à mettre en œuvre que des outils bureautiques, pour que cela sorte des départements d'ingénierie. C'est ce à quoi nous travaillons dans ce laboratoire de recherche. Et la disponibilité des modèles 3D ne sera bientôt plus un frein, puisque l'on commence à trouver des smartphones haut de gamme permettant de faire des scans 3D. Ce type d'outil de RV démocratisé permettra enfin de faire disparaître le paradoxe actuel de la consommation de contenus 3D sur des écrans 2D. Ici on peut déjà les consommer en 3D à l'échelle 1/1 ! », explique Mehdi Tayoubi, Vice-président Stratégie et Innovation de Dassault Systèmes. —

AVIS D'EXPERT

REVERSE ENGINEERING, QUELS SONT LES VRAIS BESOINS ?

Est-il nécessaire de remodeler un nuage de points pour l'utiliser facilement ? On risque de perdre en précision et on le fige à un moment donné. Son traitement automatique par des outils d'Intelligence Artificielle permet d'en dériver facilement et régulièrement un jumeau numérique à jour intégrant des caractéristiques fonctionnelles, qui en font un outil à très haute valeur ajoutée. Simon Huffeteau entre-ouvre la porte sur un futur proche.

« Si depuis des années on a pris l'habitude de reconstruire des modèles 3D à partir des nuages de points issus de scans laser 3D, cela correspond-t-il aux besoins et aux usages des acteurs du monde de la construction et des exploitants de grandes infrastructures ? », s'interroge Simon Huffeteau, Vice President Infrastructure & Cities Strategy, chez Dassault Systèmes.

La reconstruction d'un modèle CAO 3D à partir d'un nuage de points est effectivement largement utilisée dans de multiples secteurs, car elle permet de disposer d'une capture exacte de la réalité d'une installation ou d'un bâtiment, tel qu'ils ont été construits. C'est par exemple intéressant quand il s'agit de rénover une installation

existante. « Nous avons ainsi aidé Hydro-Québec à planifier l'évolution de la salle des machines d'un de ses barrages hydro-électrique. Des scans 3D de la salle existante ont servi à recréer dans Catia un modèle géométrique 3D exact de cette salle et de ses accès, puis de l'utiliser dans Delmia pour définir et valider toutes les opérations de démontage des installations existantes, leur manutention et leur évacuation, puis les opérations de montage des nouvelles installations dans cet endroit confiné où tout se joue à quelques centimètres près. »

Une fois le monde réel acquis dans le monde virtuel (numérisation), au lieu d'essayer de le remodeler, au risque d'y ajouter des approximations ou les erreurs, pourquoi ne pas utiliser directement le nuage de points, qui est



**SIMON HUFFETEAU, VICE PRESIDENT
INFRASTRUCTURE & CITIES STRATEGY,
CHEZ DASSAULT SYSTÈMES**

très précis, pour travailler non plus sur le cycle de vie de la modélisation virtuelle du bâtiment, mais sur le cycle de vie de la capture du réel. On est ainsi capable d'avoir l'état et l'évolution d'une infrastructure à différents moments.

EVITER DE REMODÉLISER

« C'est ce que l'on a expérimenté avec EDF dans le cadre de son pilote industriel Smart, qui visait à créer des jumeaux numériques des centrales nucléaires de 900 MW. Les nuages de points et les états de configuration de ces installations sont gérés en cycle de vie. Cela permet également d'avoir non plus simplement le cycle de vie d'un produit en développement, mais d'avoir le cycle de vie du monde réel. On est capable de créer un jumeau virtuel qui n'est pas uniquement basé sur une modélisation abstraite, mais sur la capture du réel dont on suit l'évolution dans le temps. On est alors sûr que le jumeau numérique est bien représentatif du réel. »

Certes on ne peut pas gérer des Téra Octets de données de manière directe, mais on est capable de gérer un ensemble de nuages de points dans une délimitation géométrique comme

étant un simple objet dans Catia ou Delmia. On peut ainsi planifier le déplacement d'un élément de tuyauterie et en prévoir la manutention directement en utilisant non pas un modèle géométrique de la tuyauterie, mais son nuage de points. Mais cela n'empêche pas de disposer dans Catia et Delmia d'outils permettant de faire de la modélisation en détectant automatiquement dans le nuage de points des formes primitives (plan, cylindre...).

« Mais nous sommes aujourd'hui capables d'aller beaucoup plus loin. On travaille par exemple sur la détection d'informations à forte valeur ajoutée enrichissant la donnée qui est dans le nuage de points, afin d'apporter de l'intelligence pour un métier particulier. On peut par exemple pré-identifier une porte dans le nuage de points d'un bâtiment et identifier rapidement la cinquantaine de portes identiques qui s'y trouvent. C'est maintenant faisable automatiquement grâce à des algorithmes d'Intelligence Artificielle. »

L'IA CRÉE DE L'INFORMATION À HAUTE VALEUR AJOUTÉE

Cette détection automatique d'éléments plus complexes que de simples primitives géométriques dans les nuages de points, permet d'apporter de l'intelligence complémentaire aux données pour créer beaucoup plus rapidement de l'information à haute valeur ajoutée. De plus, il est aussi possible de comparer rapidement de multiples scans afin de voir l'évolution d'un équipement, grâce à la capacité de



gérer de très gros volumes de données et aux performances de réseaux de neurones et du Machine Learning.

« On peut aussi imaginer coupler ces capacités de détection automatique avec notre logiciel OnePart, qui définit les standards de composants de l'entreprise. On pourrait ainsi associer des caractéristiques fonctionnelles à un sous-ensemble du nuage de points correspondant à un objet. On pourrait alors recréer très rapidement un modèle fonctionnel d'une installation à partir d'un nuage de points en connectant un monde virtuel basé sur des modèles et des simulations avec un monde réel basé sur de la donnée acquise. »

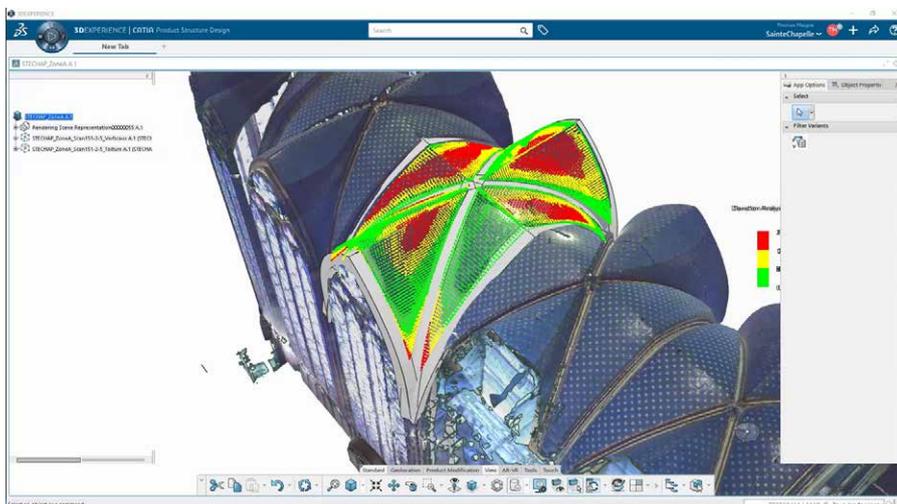
Ce jumeau numérique fonctionnel issu du nuage de points reconnectera la vision du monde virtuel, tel que conçu, avec celle du monde réel, que l'on conserve aussi proche que

possible de son état acquis, pour avoir un « tel que construit ». Le tout sous le contrôle du cycle de vie, garantissant des données et des informations associées de qualité, précises, à jour et fiables. C'est ce qui fait la forte valeur ajoutée du jumeau numérique.

VERS DE NOUVEAUX CAS D'USAGE

Pourquoi alors ne pas imaginer de surveiller en permanence des installations à l'aide de scans 3D rafraîchis très régulièrement et traités par des outils d'Intelligence Artificielle capables de détecter la moindre évolution ou anomalie ?

« On voit effectivement se dessiner une vraie pratique du scan 3D dans des installations industrielles complexes (plates-formes off-shore, centrales nucléaires, infrastructures de grande ampleur...). Pour le bâtiment conventionnel c'est plus occasionnel, mais certaines entreprises commencent à expérimenter un usage plus régulier. De fait, plus le scan 3D va être fréquent, plus on va être amené à réfléchir sur de nouveaux cas d'usage à forte valeur ajoutées (automatismes de suivi, détection de défauts...) dont la pertinence va conduire à une augmentation de l'utilisation du scan 3D. La capture du réel (scan 3D) couplée à la gestion de son cycle de vie (PLM) et l'utilisation de l'Intelligence Artificielle, conduit à une boucle vertueuse, qui générera de multiples nouveaux cas d'usage à très forte valeur ajoutée », conclut Simon Huffeteau. ■



INTERVIEW

AG&P, L'ENTREPRISE QUI A SCANNÉ « LA FORÊT DE NOTRE-DAME »

Nous avons rencontré l'un des meilleurs spécialistes français du relevé architectural numérique pour le patrimoine. Il nous a expliqué son métier et son savoir-faire, fondés sur plus de 3 000 chantiers réalisés dans des monuments historiques en 27 ans d'existence.

« Pour nous les bâtiments sont des patients. Ils ont une longue vie, parsemée de multiples péripéties et réparations, et l'on doit les conserver pour les générations futures. Pour cela, nous devons faire des analyses précises afin de diagnostiquer les pathologies et proposer des actions de restauration », explique Gaël Hamon, un tailleur de pierres devenu aujourd'hui, avec sa société Art Graphique & Patrimoine (AG&P), l'un des meilleurs spécialistes français du relevé architectural numérique pour le patrimoine.

De multiples technologies sont utilisables pour capter l'existant d'un bâtiment en fonction de sa nature et des informations souhaitées par les spécialistes chargés de sa restauration (Scanner laser 3D, Lidar, photogrammétrie, thermographie, tomographie...). « On connaît bien leurs

besoins, car nous sommes pour la plupart issus des métiers du bâtiment et du patrimoine : tailleur de pierres, architectes, géomètres, topographes... »

Cette concertation sur les objectifs abouti à la fourniture de documents techniques précis aux spécialistes chargés de faire le diagnostic et proposer des travaux pour conserver et restaurer. « Nous avons aussi un rôle de conseil grâce à notre expertise issue de plus de 3 000 chantiers en monuments historiques. Cela nous permet de définir avec nos interlocuteurs quels sont les meilleurs documents à fournir pour dresser le meilleur état pathologique possible d'un bâtiment, donc les technologies à utiliser. »

LES BONS DOCUMENTS POUR LES BONNES DÉCISIONS

A moins que le client dispose de ses propres outils et techniciens pour l'interpréter, AG&P livre rarement une base de données brutes issue de la numérisation. Celle-ci est interprétée pour fournir des documents facilement lisibles par les spécialistes, qui résultent souvent de la conjugaison de plusieurs analyses menées simultanément, scans laser 3D, photogrammétrie, analyses thermiques ou multimodales. « On ne livrera pas les mêmes documents pour une déformation structurelle ou la dégradation de l'épiderme. Cela va des ortho-images en 2D, déchiffrables par

L'ACQUISITION 3D DEPUIS LES AIRS

« On utilise aussi des Lidars embarqués pour certains travaux spécifiques, comme par exemple la numérisation de l'ensemble du Domaine National de Marly-le-Roi, qui couvre une centaine d'hectares en très grande partie boisés. L'acquisition, qui aurait pris des mois sur le terrain, n'a demandé que ¾ d'heure de survol en hélicoptère. La segmentation des fichiers LAS obtenus en fonction des différents échos lasers récupérés permet de différencier la végétation du bâti et du sol. Le post-traitement, avec des coupes dans différents plans, a ainsi permis de redécouvrir des anciens chemins et d'anciennes structures militaires. Enfin des coupes à 5, 10, 25 et 50 m du sol ont permis de voir les lignes de frondaison d'arbres, afin d'estimer les travaux de coupe et de reboisement nécessaires. »



GAËL HAMON, LE TAILLEUR DE PIERRES PASSIONNÉ DE MONUMENTS EN PÉRIL ET SPÉCIALISTE DE LA NUMÉRISATION DU PATRIMOINE. DOC : FRANÇOIS BOUCHON / LE FIGARO

un tailleur de pierres, à la maquette numérique 3D utilisable dans un projet BIM. »

La technologie la plus couramment utilisée est le scanner laser 3D. C'est un outil de métrologie précis, rapide à mettre en œuvre, qui fournit directement les bonnes mesures sans interprétation ultérieure comme cela est nécessaire pour la photogrammétrie.

« De fait, c'est un peu notre outil à tout faire, d'autant plus qu'il existe chez les fabricants de multiples gammes de matériels pour répondre à tous les besoins, depuis les scanners travaillant à 1 km, pour modéliser de très grands sites, jusqu'au scanner infra-millimétrique pour voir les fissures dans l'épiderme d'un bâtiment. » Aujourd'hui toutes ces technologies de numérisation sont rentrées dans les

mœurs, dès que l'on veut restaurer sérieusement du patrimoine. « On peut dire que depuis 5 ans le marché est très mature et très structuré, même s'il y a toujours des évolutions technologiques ».

L'IA FACILITE LA TÂCHE

Ces évolutions portent essentiellement sur les logiciels de traitement des données. « L'utilisation de l'Intelligence Artificielle est ici d'un grand secours car elle permet d'affiner et d'automatiser le traitement des échos lasers en éliminant les bruits de fond. Et elle s'améliore en permanence grâce au Machine Learning. Certes on trouve sur le marché des briques logicielles que l'on peut intégrer dans nos logiciels, mais nous avons une équipe de R&D interne qui intègre notre savoir-faire dans nos logiciels. »

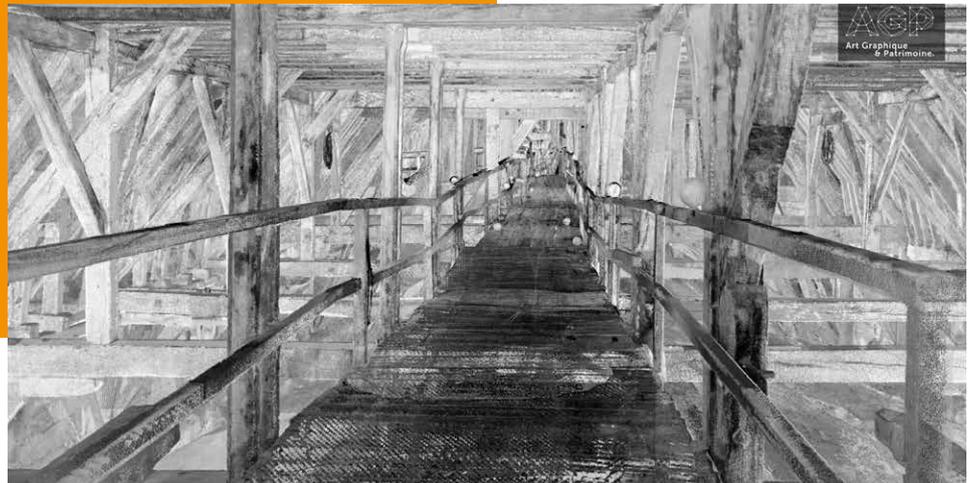
C'est ce qui a été fait pour faciliter le développement géométrique de surfaces complexes, telles des voûtes qui ne sont pas exactement sphériques ou cylindriques, afin que les projections soient le plus proche possible de la réalité.

« Voilà résumé notre savoir-faire. C'est d'abord comprendre le contexte et discuter métier avec les spécialistes de la restauration pour évaluer leurs besoins. Charge à nous de mettre en œuvre les bonnes technologies de mesure pour arriver à des documents techniques précis leur permettant de poser les bons diagnostics et de prendre les bonnes mesures de conservation », conclut Gaël Hamon. ▀

LA NUMÉRISATION DE LA "FORÊT"

La charpente de Notre-Dame a été numérisée presque par hasard. En 2014, Rémy Fromont qui faisait sa thèse dessus à l'École de Chaillot est venu voir Gaël Hamon pour savoir s'il disposait de relevés 3D de la "Forêt". Mais rien n'avait été fait. Deux ans plus tard, AG&P a été missionné par la DRAC pour faire un relevé de tout l'extérieur de la cathédrale, afin de préparer les travaux qui débutaient au moment de l'incendie. Ayant besoin de traverser la "Forêt", il a demandé de son propre chef à ses équipes de scanner toute la charpente pour qu'il en existe une trace au cas où ! 150 scans de précision millimétrique ont été faits pour un total de 3 à 5 milliards de points.

Bien lui en a pris car c'est aujourd'hui la seule base de données 3D existante de la "Forêt" et elle est utilisée par Rémy Fromont, devenu Architecte en chef des monuments historiques, pour mener à bien la reconstruction aux côtés de Philippe Villeneuve, Architecte en chef de la cathédrale depuis 2013.



PRODUITS

PLUS DE CONSTRUCTION SANS REVERSE ENGINEERING



LE SCANNER À BALAYAGE LASER 3D X7 DE TRIMBLE PERMET DE VÉRIFIER QU'IL N'Y A PAS D'OUBLIS OU DE ZONES D'OMBRE AVANT DE QUITTER LE CHANTIER. DOC : TRIMBLE

A l'heure de l'amélioration de la performance énergétique des bâtiments, il devient crucial de capter l'existant pour fonder les opérations de rénovations sur des données exactes. Mesures ponctuelles, scanner à balayage laser 3D, photogrammétrie, les techniques sont multiples pour créer des nuages de points représentatifs de la réalité du terrain. L'intelligence artificielle facilite leur traitement, afin d'aider à reconstruire des maquettes numériques 3D, qui seront au cœur des approches BIM de ses nouveaux chantiers.

A l'heure où le Building Information Modeling (BIM) devient la règle incontournable dans le monde de la construction, comment utiliser cette approche lorsqu'il s'agit de travailler sur des constructions déjà existantes dont on n'a pas les plans si elles sont anciennes ou bien des plans,

mais qui n'ont pas été mis à jour au fil de la vie du bâtiment ?

« *La seule solution est de repartir de l'existant en faisant un relevé en 3D sur le terrain à l'aide d'un scanner laser à balayage. C'est le meilleur moyen de figer un état des lieux de manière rapide, exacte et précise, afin de recréer une maquette numérique fiable utilisable pour tous les types de travaux que l'on peut être amené à faire sur un bâtiment existant, qu'il s'agisse de réfection, d'isolation ou d'agrandissement* », constate Julien Cano, co-fondateur de Digital Twin Solutions, société spécialisée dans les prestations de numérisation. En deux mots, c'est le Reverse Engineering ou Rétro Ingénierie.

La création de la maquette numérique d'un bâtiment existant comporte trois phases interdépendantes : l'acquisition des données 3D sur le terrain ; la reconstruction géométrique 3D ; la restitution de l'apparence visuelle, si l'on veut une maquette photo-réaliste. Chacune de ces phases utilise des outils bien spécifiques.

Le relevé 3D peut faire appel à différentes technologies suivant la nature et les dimensions de la construction à traiter, ainsi que la qualité et la précision des informations que l'on veut obtenir suivant l'usage envisagé. On distingue deux grandes catégories d'équipements : ceux assurant un relevé direct (scanners laser 3D, station totale, etc.) ; ceux utilisant une méthode d'acquisition indirecte (photogrammétrie...).

DU MÈTRE LASER AU SCANNER À BALAYAGE LASER 3D

Pour le relevé direct un simple mètre-laser sera suffisant pour un artisan chargé de peindre des murs ou de poser un carrelage au sol dans quelques pièces. Par contre, il faudra s'orienter vers d'autres technologies si l'on veut capturer l'ensemble d'un bâtiment de grande ampleur. Il peut s'agir de simples tachéomètres, ou stations totales, permettant de mesurer des angles horizontaux, verticaux, des distances et de se positionner grâce à un GPS. « *C'est la version moderne du théodolite, qui*



ne mesurait que des angles. Le relevé se fait par visée point après point. C'est long et surtout partiel car on ne capture que les points remarquables d'une construction. Cependant, le résultat obtenu est clair et facile à traiter car sans parasites. Ce sont des équipements surtout utilisés en topographie pour du relevé de terrain et en implantation de

chantiers », explique Vincent Frèrebeau, responsable commercial chez Leica Geosystems. Notons qu'il faut renouveler ces prises de mesure depuis plusieurs points de vue, les "stations", pour avoir une vue d'ensemble et explorer les zones invisibles depuis une station. Chaque station devra être repérée précisément par rapport aux autres.

Des limitations qui ont ouvert la voie à un autre type d'appareil d'acquisition aujourd'hui très largement utilisé, le scanner à balayage laser 3D, qui permet l'acquisition directe de milliers de coordonnées par seconde. Un laser, placé sur une tourelle pivotant suivant deux axes horizontaux et verticaux, illumine via des impulsions tout l'espace dans lequel il est placé. Chaque fois que le faisceau touche un objet il est renvoyé vers l'appareil qui calcule alors en temps réel les coordonnées spatiales du point (x, y, z). De plus, certains dispositifs de balayage acquièrent aussi l'intensité du retour, valeur exprimant la réponse du matériau au faisceau laser dans une nuance de 256 niveaux de gris, et des données colorimétriques RVB via une caméra calibrée embarquée. Là aussi il faudra effectuer des prises de mesures depuis de multiples stations. Pour faciliter le recalage précis des différentes stations on pourra utiliser des cibles (sphères, damiers...) dont on prendra les coordonnées depuis plusieurs stations. Mais de plus en plus de systèmes sont capables de recalculer automatiquement les positions des

différentes stations à partir de points remarquables du bâtiment mesuré.

MIXER LES TECHNOLOGIES

Suivant l'usage envisagé, différentes technologies sont utilisées pour calculer les coordonnées spatiales de chaque point. Pour les longues distances de 10 à 400 m et au-delà on utilisera des scanners utilisant le temps de vol de l'impulsion ou le décalage de phase émission/réception. Pour les distances plus faibles, on utilisera des scanners à triangulation optique à une ou deux caméras.

De même on pourra, mixer différentes technologies d'acquisition pour améliorer ponctuellement le niveau de détail et la précision de la numérisation. « Notre logiciel de traitement des nuages de points Scene permet de gérer aussi bien les scanners à balayage laser 3D Focus que les scanners portatifs Freestyle 2 ou même des bras de mesure Quantum Max FaroArm », explique Thomas Maze, responsable des marchés de la construction chez Faro. Même chose chez Leica Geosystems où le scanner laser 3D terrestre RTC 360 peut être complété par le scanner portable BLK2GO, tout deux gérés par le logiciel Cyclone.

Enfin, pour couvrir rapidement de très grands chantiers le scanner laser pourra être embarqué sur un support mobile. C'est le cas avec le chariot Swift qui

JULIEN DE WISMES CHARGÉ D'AFFAIRES CHEZ BIMSKY : « LE TRIMBLE X7 A AUGMENTÉ NOTRE PRODUCTIVITÉ »

« Nous travaillons sur de grosses installations techniques qui ont besoin de remise à niveau (stations d'épuration, chaufferies, incinérateurs...) et dans 80 % des cas les plans papiers sont introuvables ou pas à jour. Leur numérisation 3D nous est donc confiée par les bureaux d'études en charge de leur rénovation, afin de partir d'une base exacte.

Notre choix s'est porté sur le Trimble X7 dès sa sortie fin 2019, car couplé à la tablette T100 équipée du logiciel Field Link, il nous permet de gagner 40 % de temps de numérisation et de partir du chantier avec un nuage de points consolidé, sur lequel on a pu vérifier que nous n'avions rien oublié et qu'il n'y avait pas de zones d'ombre. Un véritable contrôle qualité de notre production.

De plus, cette machine intègre pour le même prix que ses concurrentes le logiciel de traitement et, grâce à sa fonction X-Drive d'auto-calibration à chaque utilisation, évite le couteux recalibrage annuel.

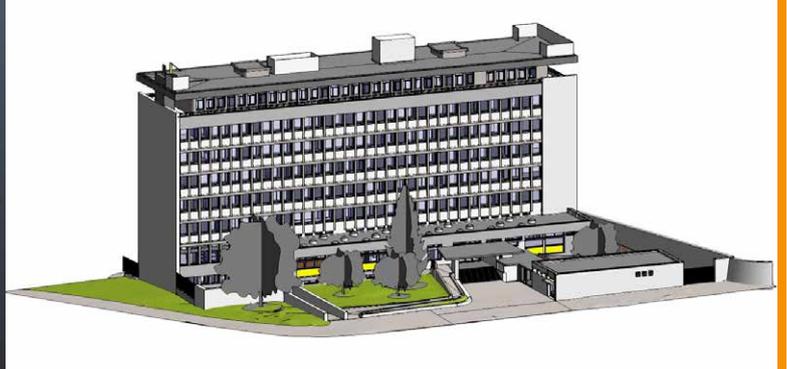
De plus, nous pouvons directement associer des photos prises avec la tablette et des annotations, à chaque point. On enrichit ainsi l'information géométrique sur un moteur avec la photo de ses caractéristiques sur sa plaque constructeur. La richesse de l'information est donc bien supérieure pour alimenter le BIM ».



Doc : BIMSKY

ERIC LEFRANÇOIS, FONDATEUR DE BATINUMÉRIQUE : « SEGMENTEZ LES GROS PROJETS »

« Je suis prestataire de numérisation indépendant travaillant pour des architectes, aussi bien sur de la maison individuelle que du bâtiment industriel ou tertiaire. J'ai choisi un scanner Laser 3D Faro S70. Il est pratique, petit, léger 5kg, rapide et fournit un nuage de points de très bonne qualité. Son logiciel Scene recalcule automatiquement les nuages de points pour la plupart de mes projets. Par contre sur les gros projets, il faut procéder par sous-ensemble de scans proches, puis les regrouper pour ne pas perdre en précision. »



NUMÉRISATION D'UN IMMEUBLE ET SA MODÉLISATION 3D. DOC : BATINUMÉRIQUE

embarque les scanners Focus chez Faro ou de la plateforme ProScan chez Leica Geosystems. Mais cela peut être aussi dans un sac à dos pour pénétrer dans des espaces confinés avec le Pegasus Backpack ou sur le toit de véhicules avec le Pegasus Two chez Leica Geosystems. Enfin, il est possible d'avoir recours à des drones ou des hélicoptères pour couvrir de très grandes zones à l'aide de Lidar embarqués.

UTILISER DE SIMPLS PHOTOS

Une autre méthode d'acquisition consiste à utiliser des supports photographiques pour extraire les coordonnées spatiales à l'aide de différentes techniques de restitution, telle la photogrammétrie. Il suffit de prendre des photos de la construction que l'on veut modéliser en 3D, voire d'utiliser des photos anciennes si l'on veut restituer l'état d'un bâtiment à une date donnée. Ces prises de vue s'effectuent à l'aide d'un simple appareil photo, qui peut être embarqué sur un drone si le site est de grande ampleur ou comporte des éléments élevés. Des outils spécifiques d'analyse d'images permettent de travailler à partir de photos isolées, stéréoscopiques ou multiples. Ils extraient de ces images les coordonnées spatiales de multiples points qui serviront d'appuis à la reconstruction de lignes ou de plans caractéristiques de la construction. Ils peuvent aussi extraire des variations

chromatiques des images qui serviront alors à créer des photomodèles (représentations géométriques enrichies par des textures).

NE PAS SE PERDRE DANS LES NUAGES

Ces différentes techniques d'acquisition permettent de créer un nuage de points repérés par leurs coordonnées spatiales qui est caractéristique des lignes de force de la construction numérisée (arête, surface, volume...). Il est généralement proposé par les fabricants d'instruments d'acquisition dans un format standard (RCP, LAS, E57...).

Ce nuage, qui peut contenir de millions voire des milliards de points, doit ensuite être traité. Il faut d'abord, si cela n'a pas été fait automatiquement par le

système d'acquisition, consolider les multiples nuages de points correspondant à chacune des stations de mesure. Cela peut être fait manuellement en associant des points remarquables dans les différents nuages ou automatiquement si l'on a utilisé des cibles. Mais de plus en plus de systèmes utilisent des technologies d'Intelligence Artificielle pour reconnaître et associer automatiquement les points communs à plusieurs nuages, afin de fournir un unique nuage représentatif de l'ensemble de la construction.

Cela va même plus loin chez Trimble. « Notre logiciel Field Link, commun à l'ensemble de la gamme de machines, affiche, sur la tablette associée au scanner, l'évolution du scan en direct et assemble automatiquement en temps masqué l'ensemble des nuages des différentes stations effectuées. Lorsque



NUMÉRISATION D'UNE CHAUFFERIE RÉALISÉE PAR BIMSKY. DOC : BIMSKY





« Mais le Reverse Engineering ne se limite pas à préparer de futurs chantiers. Il peut aussi être utilisé lors de la phase de construction », explique Pascal Martinez, directeur commercial chez Bentley Systems. « Notre portefeuille d'applications Synchro permet de superposer les scans d'un chantier faits jour après jour avec le modèle 3D issu du BIM, montrant grâce à un pilotage par un diagramme de Gantt, l'état d'avancement où il devrait être. Cela permet de voir très rapidement des erreurs et des retards. Tesla a notamment montré une telle application où un scanner 3D Faro est posé sur le dos du robot chien Spot de Boston Dynamics pour surveiller l'avancement de sa Gigafactory ».

NUMÉRISATION D'UN PÂTE DE MAISONS AVANT RÉNOVATION. DOC : DIGITAL TWIN SOLUTIONS

l'on quitte le chantier on dispose d'un unique nuage de points consolidé, dont la visualisation permet de s'assurer que l'on n'a pas oublié de station ou qu'il n'existe pas de zone d'ombre », précise Rémi Combe, responsable commercial.

Si cela n'a pu être fait sur site, il faut ensuite nettoyer ce nuage de points en supprimant tous les échos et parasites générés lors de la mesure. Il faut aussi traiter les éléments posant problème aux scanners (vitres, miroirs, surfaces réfléchissantes ou absorbantes, etc.). C'est tout l'art de l'opérateur, mais là aussi l'Intelligence Artificielle tend à automatiser et accélérer ces opérations fastidieuses.

Enfin, suivant l'usage final envisagé et la précision demandée on peut alléger le nuage de points pour réduire les temps de calcul. S'il s'agit juste d'avoir une représentation globale du bâtiment, une précision centimétrique est suffisante, par contre si l'on s'intéresse à l'état structurel, le 1/10e mm est requis pour observer la moindre fissure.

sont celles du maillage et de la reconstruction de primitives géométriques. Suivant les besoins, ce modèle CAO 3D peut être habillé pour offrir un rendu photo-réaliste. On peut lui associer les informations colorimétriques ou photographiques acquises lors de la mesure sur site, ou plaquer sur les surfaces des textures ou des images. Il est fin prêt pour être au cœur de l'approche BIM d'un nouveau projet.

Les données scannées peuvent aussi servir pour piloter directement le guidage d'engins sur les chantiers de travaux publics, via par exemple le logiciel MC1 de Leica Geosystems, ce qui permet de niveler et de terrasser le terrain au plus juste.

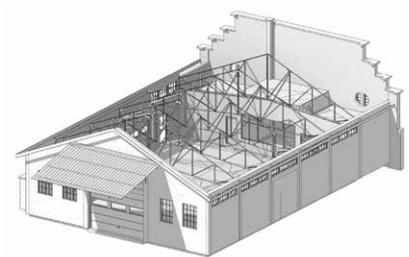
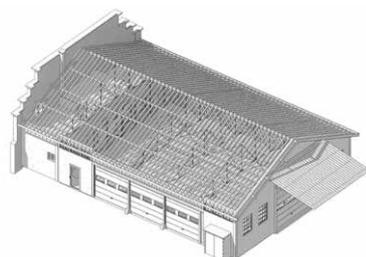
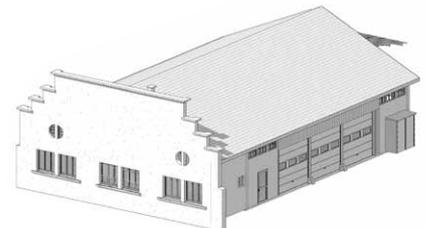
Aujourd'hui donc plus de construction sans Reverse Engineering. —

NUMÉRISATION D'UN VIEUX GARAGE EN VUE DE SA RÉHABILITATION EN CABINET DE KINÉ. DOC : ADXL/DIGITAL TWIN SOLUTIONS



POINT D'ENTRÉE DANS LE BIM

Ce nuage de points nettoyé et calibré est ensuite exporté dans les logiciels de CAO dédiés au bâtiment (AllPlan, Archicad, Open Building Designer, Revit...), pour servir de base à la reconstruction d'un modèle 3D du bâtiment. De multiples méthodes existent (manuelles, semi-automatiques, automatiques) pour appuyer des lignes, des surfaces ou des volumes sur des alignements remarquables de points. Les plus utilisées



AVIS D'EXPERT

LE REVERSE ENGINEERING AU SERVICE DU BÂTIMENT : L'EXTENSION DES BÉNÉFICES DU NUMÉRIQUE

La transition numérique est l'une des priorités reconnues par les acteurs de l'industrie du BTP. La crise du Covid-19, et en particulier le coup d'arrêt causé par le confinement en France de mars 2020, a été révélatrice de l'urgence de cette transformation pour renforcer la filière. Au cœur de cette transformation, la gestion des données techniques et l'utilisation de maquettes numériques.

A ppliqué au secteur du BTP, le Reverse engineering s'attache à reconstituer les données de conception des ouvrages et bâtiments déjà réalisés lorsque celles-ci ne sont pas connues ou partiellement disponibles. L'enjeu est de pouvoir maintenir ou faire évoluer ce qui a été réalisé en utilisant l'état de l'art des méthodes et techniques de conception, en évitant de tout reconcevoir, en récupérant ou reconstituant le plus complètement et le plus automatiquement possible les données décrivant ces ouvrages et bâtiments. Ces enjeux classiques sont renforcés par deux

facteurs : la longue durée de vie des bâtiments et ouvrages, et le renouvellement important des technologies de construction et d'exploitation des bâtiments.

DES TECHNOLOGIES DE RÉTROINGÉNIEURIE MATURES

Les technologies de modélisation des objets physiques ont évolué rapidement ces dernières décennies et proposent des solutions accessibles et performantes, à la fois pour capter la donnée (scan 3D, photogrammétrie...) mais également pour la transformer en représentation 3D exploitable dans les outils numériques à l'aide d'algorithmes.

Un large panel de solutions est disponible - l'enjeu réside finalement dans la définition précise des cas d'usages futurs de la représentation 3D et dans la prise en compte des contraintes existantes afin de sélectionner la technologie la plus adaptée. Quel contenu, avec quel degré de précision, est attendu dans la représentation ? Quelle vitesse d'acquisition des données est nécessaire pour ne pas perturber le projet ? Quelles sont les contraintes d'accessibilité aux zones à numériser ?

Quant aux coûts liés à l'utilisation de ces technologies, ils sont en baisse et sont à confronter aux opportunités et bénéfices offerts par l'utilisation d'une maquette numérique et la mise en place des processus associés, ces gains pouvant être massifs lorsqu'ils permettent par exemple d'éviter des erreurs lors de chantiers d'aménagement / reconstruction / retrofit, ou lorsqu'il s'agit de réduire le délai d'immobilisation d'un bâtiment, installation, usine...

L'EXTENSION POTENTIELLE DES BÉNÉFICES DU BIM À TOUS

Les cas d'usages associés à l'utilisation d'une représentation 3D d'un bâtiment, d'un ouvrage, d'un moyen de production ou encore d'un territoire sont nombreux. Le déploiement du BIM le démontre : la performance et les réels bénéfices sont obtenus lorsque l'on couple aux maquettes numériques des processus robustes de gestion de données et de collaboration, supportés par une organisation adaptée.

Le Reverse engineering s'impose donc comme un moyen pour les industriels du secteur de bénéficier des apports du numérique, en particulier ceux offerts par



le déploiement et la généralisation du BIM. On parle alors de « *Scan-to-BIM* ». La reconstitution numérique d'un actif, au sens large du terme, doit cependant être réalisée avec des objectifs précis pour couvrir un ou plusieurs cas d'usages, dont certains sont décrits ci-après.

LE REVERSE ENGINEERING AU SERVICE DE LA (RE) CONSTRUCTION

Les nouvelles constructions, en particulier les bâtiments et ouvrages comme les gares, les aéroports, etc. font face à de fortes contraintes d'urbanisation et d'intégration. La numérisation des projets dans leur environnement est devenue incontournable, à la fois d'un point de vue technique mais également à des fins de communication. La précision et la complétude des maquettes territoriales n'est pas suffisante aujourd'hui et impose aux industriels de scanner l'environnement, les bâtiments voisins voire mitoyens avant de lancer leur projet de construction ou d'extension.

L'utilisation du Reverse engineering est également un moyen performant pour identifier les éventuelles divergences entre le prévisionnel et la réalité lors de la

phase d'exécution, en comparant la maquette numérique conçue lors du projet avec la maquette numérique issue des relevés réalisés sur le terrain. Enfin, disposer d'une maquette de l'existant peut s'avérer primordial pour la reconstruction d'ouvrages anciens à la suite d'incidents. Pour donner un exemple emblématique, la reconstruction de la charpente de Notre Dame de Paris, qui date du moyen-âge, s'appuie sur un scan 3D complet et récent.

LE REVERSE ENGINEERING AU SERVICE DE LA RÉNOVATION ET DE LA MAINTENANCE

Les activités de rénovation et maintenance représentent une part importante, voire majoritaire, du chiffre d'affaires des grands groupes du secteur du BTP. L'utilisation des maquettes numériques pour ces activités est indéniable. Les acteurs du nucléaire, par exemple, s'appuient régulièrement sur des maquettes issues de scan 3D afin de préparer les interventions, qu'elles nécessitent ou non des arrêts de production, sur des maquettes précises de l'ouvrage tel qu'il est réellement (« *tel que maintenu* »), et non pas tel qu'on croit qu'il devrait être. Enfin, des scans 3D en une journée ont été réalisés sur l'édifice de Notre Dame de Paris post-incendie afin d'établir un diagnostic des dégâts.

LE REVERSE ENGINEERING AU SERVICE DE L'EXPLOITATION, DE LA MODERNISATION

Les actifs ne sont plus seulement une source de revenus lors de leur livraison, mais bien une source importante lors de leur exploitation. Les propriétaires ou exploitants doivent être en mesure de proposer des services et s'appuient sur l'utilisation de capteurs, le déploiement de l'IoT et l'émergence des jumeaux numériques. Le Reverse engineering permet de faciliter la mise en place de ces services sur tous les bâtiments, anciens ou récents. Cela nécessite cependant de réaliser des scans 3D de plus en plus complets, par exemple pour modéliser les systèmes et réseaux, après avoir démonté certains éléments du bâtiment comme les dalles de faux plafonds.

L'utilisation de maquettes numériques peut également s'avérer utile pour réaménager ou moderniser un outil de production. Les groupes pharmaceutiques, dont les investissements dans de nouveaux bâtiments sont limités, utilisent par exemple ces techniques pour modéliser les lignes de production existantes et évaluer la mise en place de nouvelles (en optimisant les flux, en travaillant l'ergonomie des postes de travail, etc.).

NATHAN PICHOT, MANAGER CHEZ MEWS PARTNERS



DE BELLES PERSPECTIVES POUR LE REVERSE ENGINEERING, PORTÉES PAR LA TRANSITION NUMÉRIQUE DU SECTEUR

Le Reverse engineering, notamment grâce à la réduction du coût des technologies, est en pleine expansion. Les cas d'usages potentiels sont de plus en plus nombreux avec le déploiement du BIM et les enjeux du secteur : transformation énergétique, bâtiments connectés, mise à disposition de services pour l'exploitation, utilisation de jumeaux numériques... —

Par Nathan PICHOT, Manager chez Mews Partners

ANALYSE

L'AUTOMATISATION POURRAIT CRÉER PLUS D'EMPLOI QU'ELLE N'EN DÉTRUIT

La transformation digitale et l'automatisation des secteurs manufacturiers et de la construction sont perçues par beaucoup comme une menace pour l'emploi. Une étude récente indique que la mise en place d'une nouvelle approche de formation tout au long de la vie professionnelle pourrait au contraire transformer cette menace en opportunité d'emploi avec 12 millions de postes à la clé...

Le « *Good Work Innovations in Europe* » c'est le titre d'une nouvelle étude réalisée par la Fondation Autodesk et de la Royal Society of Arts (RSA) annonçant que la transformation numérique et l'automatisation des secteurs manufacturier et de la construction pourraient « *créer 12 millions de nouveaux emplois d'ici à 2025* » ! Ceci à la condition que la formation continue soit désormais une priorité absolue.

DES SITUATIONS DIVERSES PAR SECTEUR

L'Europe est un continent éclectique, avec des emplois et des secteurs d'activité très différents d'un pays à l'autre. Par conséquent, les menaces et les opportunités présentées par l'automatisation sont tout aussi diverses. L'Europe du Sud et les régions rurales sont les plus menacées par l'automatisation. Selon le rapport, l'industrie manufacturière est confrontée à de plus grandes probabilités d'automatisation du monde du travail, mais cela ne se traduit pas automatiquement par une menace pour les travailleurs. En effet, on s'attend à ce que toute une série de fonctions dans l'industrie manufacturière - notamment les opérateurs, les techniciens et les directeurs de production - supervisent les robots et un éventail plus large de processus automatisés.

La construction est, elle, confrontée à un risque d'automatisation plus faible. Sa transformation en Europe englobe de nombreuses approches différentes, notamment l'automatisation des tâches physiques, ainsi que la numérisation et l'automatisation des procédures de conception, de planification et de gestion. Les robots de maçonnerie, les drones et les véhicules autonomes utilisés pour la surveillance et le transport sont de plus en plus répandus sur les chantiers de construction sur le marché européen.

Dans les deux secteurs, l'émergence de l'automatisation met en évidence la nécessité d'améliorer la formation et de mettre en place des initiatives de perfectionnement et de requalification afin de préparer la réussite des travailleurs européens face à cette automatisation.

TROIS CHIFFRES À RETENIR DE CETTE ÉTUDE

- D'ici 2025, l'automatisation aura créé 12 millions de nouveaux emplois*
- 50 % des employés devront renouveler leurs compétences d'ici 2025.
- Dans 10 ans, 40 % à 60 % des offres d'emploi concerneront des métiers qui n'existent pas encore.**

*These Are the Top 10 Job Skills of Tomorrow ?? and How Long It Takes to Learn Them, World Economic Forum, octobre 2020.

**Reskilling, Upskilling, and Workplace Learning for Industry 4.0, CGS, septembre 2020.



L'IMPACT COVID-19 ET LA PRÉPARATION AUX EMPLOIS DU FUTUR

L'automatisation s'est accélérée en Europe pendant la pandémie, grâce à son potentiel pour faciliter les interactions sans contact et alléger la pression sur la main-d'œuvre et les coûts. Le rapport identifie plusieurs innovations prometteuses en matière de compétences, de formation et d'apprentissage tout au long de la vie

afin d'aider les travailleurs à se préparer aux emplois du futur :

- L'apprentissage en ligne à travers des MOOC et d'autres outils pour une approche flexible et modulaire de la formation.
- Les « *camps d'entraînement* » à la technologie qui enseignent des compétences numériques dans un format accéléré et les connectent avec des opportunités d'emploi.

INNOVATIONS POUR ACCOMPAGNER LE TRAVAIL DE DEMAIN :

- Le rapport RSA met en exergues quelques innovations qui répondent aux spécificités du marché du travail français.

Formation et apprentissage

- Kokoroe est une plateforme d'apprentissage en ligne qui s'est associée à Pôle Emploi, pour aider 3,4 millions de demandeurs d'emploi.
- Level Up propose également un apprentissage en ligne et s'adresse aux travailleurs de la gig economy (emploi à la tâche comme Uber ou Deliveroo)
- Konexio est un "bootcamp" technologique qui propose des ateliers de compétences numériques dans les quartiers où les populations sont les plus éloignées du numérique.

Sécurité économique

- Mansa soutient les travailleurs indépendants en leur offrant un accès rapide à des prêts bancaires, avec un taux de crédit adapté.
- WeMind est une communauté d'indépendants qui permet à ses membres d'accéder à des produits tels que l'assurance maladie et l'assurance responsabilité civile, à un coût réduit.
- Coopaname est un exemple de coopérative d'activité et d'emploi où les travailleurs peuvent accéder à une protection plus forte, en devenant salariés de la coopérative, sans renoncer à leur autonomie.

« *voix et pouvoir des travailleurs* »

- CoopCycle, basée à Paris, est une fédération de coopératives de plates-formes de messagerie qui utilise un écosystème en réseau pour se développer. Grâce à la mise en commun des ressources, elle réduit les coûts des coopératives individuelles.

EN FRANCE :

- La part des emplois à haut risque d'automatisation en France est de 16 %, contre 14 % en moyenne dans l'OCDE. Ce chiffre est supérieur à celui du Royaume-Uni (12 %) et de la Finlande (7 %), mais nettement inférieur à celui de certaines régions d'Europe du Sud comme la Grèce (23 %).
- Il existe également un net clivage entre les régions urbaines et rurales de France. Par exemple, en France, la région Île-de-France, qui comprend Paris, est la moins menacée, tandis que la région Champagne-Ardenne, largement agricole, est la plus menacée.
- Certaines régions françaises étaient confrontées à des défis particulièrement aigus en termes de création d'emplois avant la pandémie de Covid-19. Une région sur quatre en France est en déclin et perd des emplois qui sont principalement à faible risque d'automatisation

- Les certifications de compétences numériques et profils de compétences pour reconnaître et valider les compétences.

Pour créer cette opportunité, il faut un effort coordonné entre gouvernement, éducation, organisations du secteur privé et les travailleurs eux-mêmes pour optimiser les compétences en fonction des exigences d'un marché du travail en évolution rapide. Il faut également adopter de nouvelles approches en matière de développement des compétences, de formation et d'apprentissage tout au long de la vie afin de donner aux travailleurs les moyens de réussir.

L'Europe est une région diversifiée et les défis liés à l'automatisation auxquels sont confrontés les différents pays sont aussi uniques que les pays eux-mêmes. Cependant, quel que soit le lieu, l'accent doit être mis sur un partenariat fort entre toutes les parties prenantes afin de s'assurer que les travailleurs soient équipés pour réussir. ■

≡ AVIS D'EXPERT ≡

PLM DANS LE CLOUD : LA RÉVOLUTION SILENCIEUSE

Après les CRM, les outils de management des stocks ou encore les données de gestion entreprises, serait-ce au tour des outils de PLM de migrer dans le Cloud ? Certains grands groupes industriels s'engagent déjà dans cette voie, et c'est une petite révolution dans les projets de transformation digitale des entreprises.

Les solutions de PLM sont des outils quasiment substantiels pour les entreprises, car ils sont intégrés à la chaîne de production de l'industrie. Ils permettent de maîtriser les processus de conception et de fabrication, et de suivre les cycles de vie des produits. Souvent longs et complexes, ces derniers nécessitent l'intervention de nombreux acteurs au fil des ans. Au-delà de la rupture technologique que cela représente, positionner les outils PLM dans le Cloud constitue donc un véritable changement de paradigme. Les gains en matière d'agilité, de réactivité, de suivi en temps réel et de performance sont considérables, mais certains freins risquent de ralentir un déploiement plus généralisé. Voyons ici comment les lever pour capitaliser sur les avantages d'une démarche SaaS et gagner en fluidité dans la gestion du cycle de vie des produits.

PLM DANS LE CLOUD : IL Y AURA UN AVANT ET UN APRÈS !

Jusqu'à présent, les logiciels de PLM étaient déployés au cœur des entreprises, selon le modèle on premise, tout simplement parce qu'il n'existait pas de solutions SaaS suffisamment robustes pour une problématique aussi complexe. L'avènement d'outils PLM directement dans le Cloud est donc une véritable



avancée technologique, et ouvre des perspectives majeures pour les entreprises, tant PME que grands groupes industriels. Pourquoi ? Parce que cela va permettre d'harmoniser les processus et de simplifier les échanges entre toutes les parties prenantes, à l'échelle de l'entreprise étendue. C'est bien là qu'est la clef du succès d'un PLM. Un projet industriel international, ce sont des dizaines de sites et des centaines d'équipes qui travaillent ensemble. L'hébergement d'un PLM dans le Cloud va permettre cela : l'utilisation d'un même outil standardisé favorise en effet l'harmonisation des processus métiers, l'agilité, et donc la collaboration multi-sites, multi-régions et multi-partenaires. Tous les acteurs travaillent sur le même référentiel de données produits, mis à jour en temps réel. C'est un atout considérable pour les projets.

LE CLOUD : BIEN PLUS SÉCURISÉ QU'ON NE LE PENSE

Les croyances ont la vie dure. Celle qui soutient que le risque d'espionnage industriel serait plus important dans le Cloud que via des serveurs internes ne fait pas exception. Car les solutions de PLM dans le Cloud ne sont pas moins sécurisées que les PLM on premise. Ce serait même l'inverse. Par effet d'échelle, les moyens de supervision sont plus pointus et efficaces chez les fournisseurs de solutions Cloud que chez un industriel seul. A partir du moment où l'univers Cloud est segmenté par client – ce qui doit faire l'objet d'une convention de service entre l'industriel et le fournisseur de solutions Cloud – cette problématique de fuite de données n'est plus d'actualité. Le risque de cyber-attaques reste cependant présent, mais principalement sur les données qui transitent, comme c'est

déjà le cas aujourd'hui, que les serveurs de solutions PLM soient dans l'entreprise ou sur le Cloud.

EN FINIR AVEC LA CUSTOMISATION À OUTRANCE

Un autre point critique que le développement d'outils PLM dans le Cloud devrait permettre de solutionner est celui de la sur-customisation des solutions informatiques. Traditionnellement, les outils PLM de conception produit sont très customisés dans les entreprises. Ils sont identifiés comme une preuve de richesse pour l'organisation. Or, si la façon de développer les produits fait partie du patrimoine immatériel de l'entreprise, elle n'est pas intrinsèquement liée aux outils. Les infrastructures informatiques on demand ont l'avantage d'adapter leur dimensionnement et leur puissance de calcul en fonction des besoins de l'entreprise et du projet. En architecture Cloud, les éditeurs vont aussi être en mesure de faire monter les nouvelles versions des logiciels et de les rendre accessibles à tous. Faire le choix d'un PLM dans le Cloud, c'est donc aussi lutter contre l'obsolescence des outils informatiques.

DES BARRIÈRES PLUS HUMAINES QUE TECHNOLOGIQUES

Comme c'est le cas dans nombre de projets de transformation digitale, l'engagement des équipes dans la réussite du programme est primordial. La barrière technologique étant désormais levée (puisque de grands groupes industriels adoptent les derniers outils des éditeurs de solutions de PLM), il s'agit d'accompagner les collaborateurs dans cette transition. Les individus étant habitués à travailler sur des logiciels extrêmement customisés, ils ont l'impression qu'un outil plus standard ne couvrira pas le même périmètre et ne pourra être aussi performant. C'est donc tout un état d'esprit qu'il faut faire évoluer avec l'avènement des solutions PLM dans le Cloud. Cela nécessite un accompagnement fort, pour faire adhérer les équipes à une vision globale qui va encourager la création de valeur et permettre de concevoir de nouveaux modes de travail, plus collaboratifs et plus efficaces. Le défi ici est à la fois humain et pédagogique.

UNE TRANSITION CAPITALE, MAIS QUI S'ANNONCE ARDUE

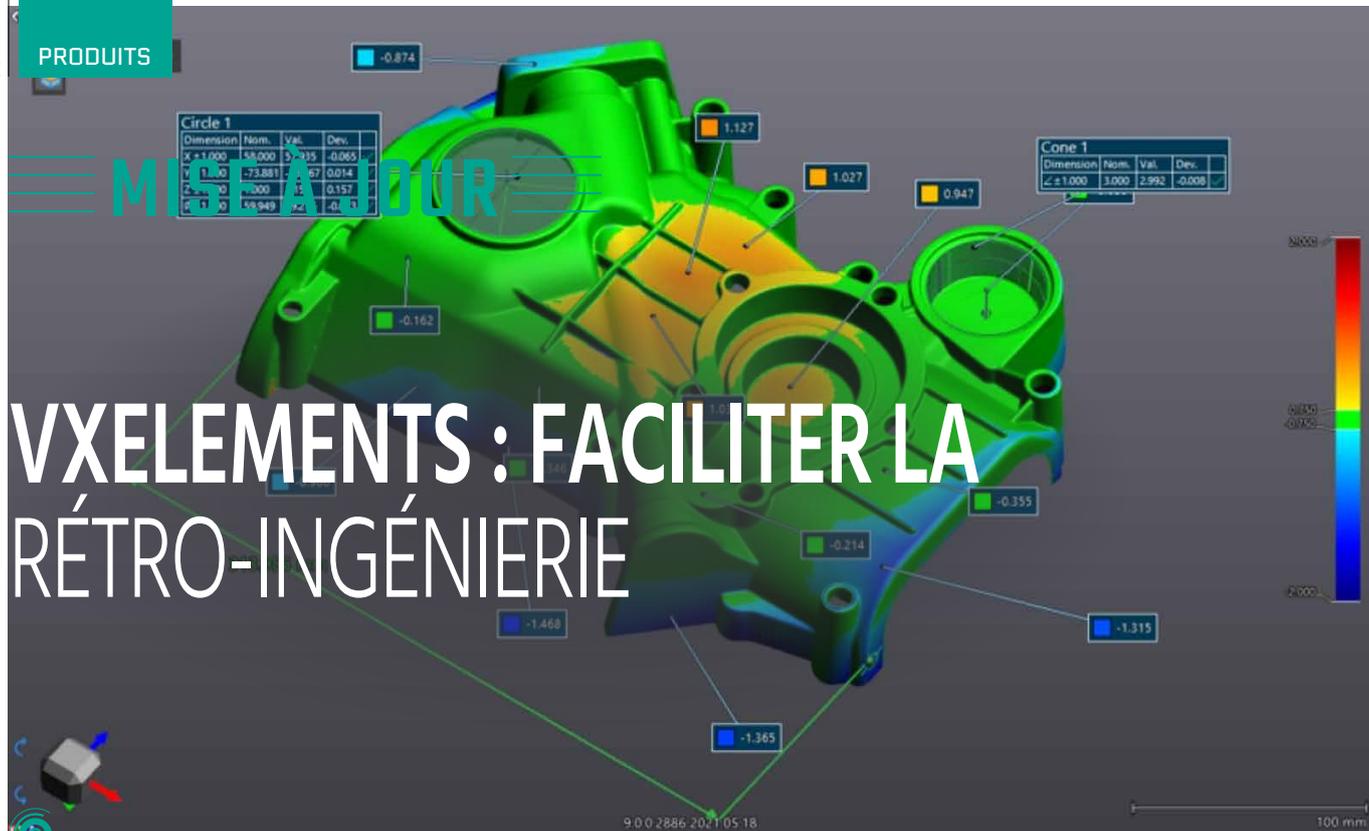
Un autre frein souvent cité, celui de la bascule des logiciels et des données dans un environnement Cloud. Il est possible que la migration se fasse par étapes : IaaS (d'abord les infrastructures dans le cloud), puis SaaS (l'hébergement des services et donc des solutions PLM). Ce sont probablement les nouveaux projets industriels qui bénéficieront en premier des outils PLM dans le Cloud. Nous nous orienterions donc plutôt sur une période de transition qui utiliserait ces deux solutions opérationnelles. Cependant, s'appuyer sur des référentiels de données séparés risque d'être problématique dans les cas (fréquents) de réutilisation de composants d'anciens modèles dans de nouveaux projets. Les seuls grands groupes capables de basculer rapidement vers une offre intégrale Cloud directement en SaaS sont donc ceux qui commencent seulement aujourd'hui à utiliser davantage les solutions PLM ou BIM. Pour faire face à cette situation, il revient aux éditeurs d'outils SaaS de développer des solutions de migration de données, pour faciliter le passage de l'ancien vers le nouveau monde dans le Cloud.

L'arrivée sur le marché de solutions PLM dans le Cloud ouvre des perspectives de développement et de performances inégalées pour les entreprises, grands groupes et PME. S'il y a un certain nombre de difficultés (humaines et organisationnelles notamment) à surmonter, il convient d'engager dès aujourd'hui la transition. Cette dernière doit faire l'objet d'un plan stratégique précis, et d'un accompagnement adapté à la réalité de chaque entreprise. Le développement de solutions digitales PLM en SaaS peut également favoriser l'aboutissement des projets de Cloud français et européen. Un sujet majeur qui rejoint celui de la souveraineté et donc de la sécurité des marchés. —

Par François Le Normand, principal consultant chez Cognitive Companions

Cognitive Companions est une entreprise fondée il y a trois ans, spécialisée dans le conseil aux industriels, qui s'appuie notamment sur des techniques dites de « spirale cognitive ». Celles-ci permettent de gérer efficacement la gestion des problèmes complexes. L'entreprise de moins de 15 salariés est très centrée sur les problématiques de PLM et s'adresse à des grands groupes comme Naval group, EDF, Renault ou encore Veolia.





VXELEMENTS : FACILITER LA RÉTRO-INGÉNIERIE

LA RÉTRO-INGÉNIERIE PERMET DE RÉCUPÉRER VIA DES SCANS 3D LA GÉOMÉTRIE EXACTE D'UN OBJET AFIN D'EN RECRÉER UN MODÈLE 3D QUI EST UTILISABLE COMME BASE DANS LES OUTILS DE CAO. DOC : CREAFORM

Les besoins en rétro-ingénierie, qu'il s'agisse de retravailler des produits existants ou de capter des savoir-faire, vont grandissant. Pour répondre à cette demande, Creaform, spécialiste des technologies associées, améliore son logiciel VXelements, afin de le rendre plus performant et plus simple à utiliser.

Creaform, spécialiste des technologies de mesure et d'analyse 3D portables, annonce la version 9 de son logiciel d'acquisition de données 3D tout-en-un VXelements. Cette plateforme, qui depuis 2011 pilote l'ensemble de ses technologies de palpation et de numérisation, bénéficie d'améliorations et de nouvelles fonctionnalités.

Que ce soit dans VXscan (acquisition de données), VXinspect (inspection 3D), VXmodel (post-traitement des numérisations) ou VXscan-R (environnement de jumeau numérique), les experts comme les débutants découvriront des outils nouveaux et améliorés qui rendront leur travail beaucoup plus facile, rapide et rentable.

« Grâce à un partenariat étroit avec les leaders de toutes les industries, aux commentaires de nos clients et à notre désir constant d'innover, nous avons développé des fonctionnalités qui changeront les flux de travail des entreprises. Nous sommes animés par la conviction qu'il est toujours possible de faciliter la vie de nos clients, sans compromettre l'exactitude et les résultats », explique Daniel Brown, Directeur de la gestion des produits chez Creaform.

AMÉLIORER LA PRODUCTIVITÉ DES UTILISATEURS

Voici quelques-unes des évolutions qui nous semblent importantes dans cette dernière version.

Dans VXmodel, l'ajout des fonctionnalités Flatten mesh, Extrude boundaries et Extend boundaries permettra aux utilisateurs d'effectuer des opérations de post-traitement sur des données de numérisation 3D de manière simple et sans effort.

Dans VXinspect, des outils d'inspection rapide tels que la One-click entity creation, de nouvelles méthodes de construction pour les entités

géométriques et de nouvelles capacités de création de rapports ajouteront simplicité et flexibilité à ce logiciel d'inspection 3D.

Dans VXscan-R, la nouvelle fonction Surface feature, combinée à la fonction Smart resolution, permettra aux utilisateurs de générer plus facilement des trajectoires de robots et de tirer le maximum de leurs solutions de contrôle de la qualité automatisé.

A côté de ces évolutions, notons l'arrivée de VXelements viewer, une version gratuite de la plateforme qui permettra aux clients ou aux partenaires extérieurs à l'équipe de visualiser directement les données, rendant les projets collaboratifs plus simples et plus rapides.

Enfin, une nouvelle fonction baptisée Smart resolution, disponible pour la dernière génération de scanners 3D de Creaform, permet aux utilisateurs de générer des numérisations à partir de plusieurs niveaux de résolution, afin de mieux reproduire les détails, les rebords et les courbures élevées. Des niveaux de résolution plus élevés peuvent être créés automatiquement grâce à l'intelligence du logiciel, déclenchés à partir du scanner, ou générés à partir d'une sélection sur le maillage ou à partir d'un modèle. ■



Cad Xp a fait le plein de nouveautés

Nouvelle interface, recherches facilitées, possibilités accrues pour la communauté.



CADxp

CAO et nouvelles technologies



BON...
ALLONS VOIR
SUR CADxp*.
UN MEMBRE AURA
PEUT-ÊTRE
UNE SOLUTION



&£3-ù:\$?!
!@^&~%*./
=
!

WAOUH!

* LE SEUL FORUM
EN FRANÇAIS DE
DISCUSSION ET
D'ENTRAIDE DE LA
COMMUNAUTÉ CAO



TROUVEZ DES RÉPONSES
SUR CADxp* ET REJOIGNEZ
LES 40 000 MEMBRES !

www.CADxp.com

NOUVEAUTÉ

AUTOFORM ASSEMBLY : SIMULER L'ASSEMBLAGE DES CAISSES EN BLANC



L'éditeur suisse AutoForm Engineering complète sa palette de logiciels de simulation des process de tôlerie pour l'industrie automobile avec AutoForm Assembly. Ce logiciel traite tous les problèmes d'assemblage de caisses en blanc. Il complète AutoForm Forming qui traitait déjà les opérations d'emboutissage et de sertissage.

La solution AutoForm Assembly, qui est proposée par l'éditeur AutoForm Engineering, couvre toute la chaîne process d'assemblage de la caisse en blanc d'un véhicule automobile, en incluant les aspects critiques de l'assemblage des différentes pièces qui la compose. Elle traite notamment les aspects tolérancement, faisabilité amont, ingénierie process et production.

Les utilisateurs disposent ainsi d'une connaissance approfondie du process de production de la caisse du véhicule. Ils peuvent rapidement évaluer des

conceptions alternatives de pièces et de process d'assemblage, identifier les causes des écarts géométriques et prendre des contre-mesures efficaces. Ils peuvent faire des modifications de process, en changeant les façons d'insérer les pièces, en déplaçant les pilotes chargés de positionner ces pièces et les sauterelles chargées de les fixer, ainsi qu'en modifiant les différentes positions et séquences des points d'assemblage. AutoForm Assembly leur permet ainsi d'atteindre une plus grande maturité du process et une meilleure robustesse au cours de la mise au point et de la mise en production.

LE CHAINON MANQUANT

« Nous étions capables avec notre logiciel de conception et de simulation AutoForm Forming de traiter toutes les opérations d'emboutissage concernant les multiples pièces servant à fabriquer les caisses et les carrosseries des véhicules automobiles, ainsi que celles liées aux outillages associés. Nous l'avions déjà complétée avec le module HemPlanner pour gérer et optimiser les opérations de sertissage des tôles. Aujourd'hui, avec AutoForm

Assembly, nous couvrons toute la chaîne du process d'assemblage de la caisse en blanc : emboutissage, sertissage et assemblage », explique Vincent Ferragu, responsable de la filiale française d'AutoForm Engineering. « De plus, cette offre utilise la même base numérique, ce qui contribue à réduire l'effet silo qui existe chez de nombreux constructeurs automobiles, en facilitant la communication entre les équipes chargées de l'emboutissage et celles chargées de l'assemblage ». Ainsi les projets de caisse en blanc seront dans une démarche beaucoup plus proactive qui ne sera plus orientée pièces, mais produit fini.

D'autre part, AutoForm Assembly est une solution originale sur le marché, car elle s'adresse en priorité aux géomètres et experts GD&T (Geometric Dimensioning and Tolerancing) et non pas aux experts de la soudure ou de la robotique.

Dans son principe, AutoForm Assembly permet d'assembler virtuellement une caisse automobile en positionnant les pièces (avec des pilotes), en les fixant (avec des sauterelles) et en les joignant (points de soudures, lignes de soudures...). Il est ainsi possible

GRÂCE À AUTOFORM ASSEMBLY, LES PROBLÈMES DE PROCESS D'ASSEMBLAGE DES CAISSES EN BLANC PEUVENT ÊTRE RÉSOLUS BIEN AVANT LE DÉBUT DE LA PRODUCTION. DOC. AUTOFORM ENGINEERING



de la géométrie pourra quant à lui compenser le retour élastique d'un ensemble assemblé (compensation sur la pièce menante par exemple, puis assemblage pièce menante et menées pour analyse du résultat sur l'assemblage).

En ingénierie assemblage, l'utilisateur va utiliser AutoForm Assembly pour valider sa stratégie d'assemblage. Le logiciel permet d'utiliser les résultats de simulation d'emboutissage. Il profite alors des informations de formages de la tôle pour augmenter la précision de l'analyse d'assemblage.

Enfin, lors de l'étape de mise au point en production, AutoForm Assembly permet d'utiliser des fichiers scannés de pièces assemblées. Il est alors possible de simuler le process d'assemblage sur la base de ces scans en optimisant le process, en modifiant les positionnements ou séquences de soudure, ou en modifiant en dernier recours la géométrie, afin d'assurer un assemblage robuste et conforme au cahier des charges.

Notons que cet outil métier semble simple à utiliser, son éditeur affirmant que sa prise en main par un technicien GD&T sans compétence numérique, se fait en deux jours. ■

d'évaluer et d'optimiser les positions des points d'assemblages, ainsi que la séquence d'assemblage (séquentiel, simultané) en tenant compte des principaux facteurs influant sur les déviations de l'ensemble assemblé.

L'utilisateur peut assurer ses tolérances, analyser les déviations potentielles et détecter les pièces influentes (menantes, menées). Il peut aussi analyser mécaniquement les contraintes générées par les points de soudure et réagir en conséquence, ainsi que mesurer les efforts de serrage et d'assemblage nécessaires.

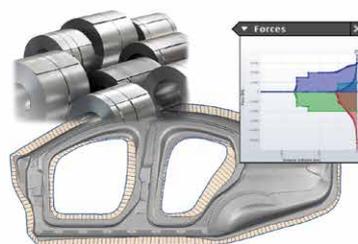
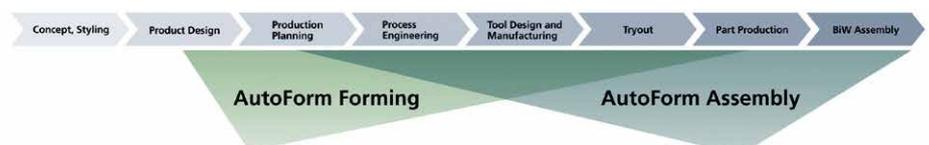
tolérances et le bon comportement de l'assemblage. En cas de problèmes détectés, l'utilisateur peut effectuer des modifications géométriques (morphing ou autre) pour proposer des aménagements. Des corrections qui interviennent donc un an ou deux avant la réalisation physique de la moindre pièce.

De même, il est possible d'anticiper les effets potentiels du retour élastique d'une pièce, grâce à un outil intelligent d'analyse de détente travaillant directement sur la CAO. Le spécialiste

COUVRIR TOUT LES ASPECTS DE LA CAISSE EN BLANC

AutoForm Assembly s'adresse à trois domaines d'activité : la conception amont ; l'ingénierie d'assemblage ; la mise au point en production.

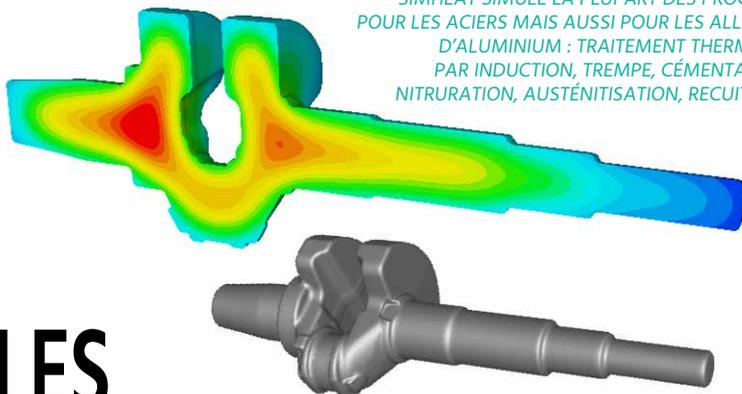
Dans la phase amont du projet, on ne dispose que de la nature des matériaux et de définition géométrique des multiples pièces envisagées. Grâce à AutoForm Assembly, il devient possible d'assembler ces géométries initiales, tout en vérifiant le bon respect des



L'ASSOCIATION DES SOLUTIONS LOGICIELLES AUTOFORM FORMING ET AUTOFORM ASSEMBLY PERMET DE COUVRIR L'ENSEMBLE DES PROCESS D'EMBOUTISSAGE, D'ASSEMBLAGE ET DE SERTISSAGE DE LA CAISSE EN BLANC. DOC. AUTOFORM ENGINEERING

NOUVEAUTÉ

SIMHEAT SIMULE LA PLUPART DES PROCÉDÉS POUR LES ACIERS MAIS AUSSI POUR LES ALLIAGES D'ALUMINIUM : TRAITEMENT THERMIQUE PAR INDUCTION, TREMPE, CÉMENTATION, NITRURATION, AUSTÉNITISATION, RECUIT, ETC.



SIMHEAT PRÉDIT LES TRANSFORMATIONS MÉTALLURGIQUES

Depuis sa création en 1984, Transvalor a développé un savoir-faire rare dans le domaine de la simulation de la mise en forme des matériaux. L'entreprise française lance Simheat, un nouveau logiciel simulant le traitement thermique des alliages métalliques.

Prédire les transformations métallurgiques, réduire les contraintes résiduelles et limiter les distorsions pendant les procédés de traitement thermique est un enjeu crucial pour les industriels. Spécialiste de la simulation des procédés de forge, de fonderie, de soudage... Transvalor a récemment lancé Simheat, une nouvelle solution dédiée aux traitements thermiques des métaux, qui permet justement de palier à ces problématiques. Son objectif est bien l'optimisation des pièces produites tout en réduisant les dépenses de mise au point des procédés.

En effet, la simulation permet de prédire les propriétés d'usage de pièces métalliques comme la dureté et la

résistance, grâce au contrôle de leur évolution microstructurale. En simulant différents paramétrages, les industriels peuvent ainsi prédire distorsions, contraintes résiduelles, fissures et autres défauts qui peuvent apparaître à l'issue du procédé ou en condition d'utilisation. Les risques de rejets de la pièce sont donc limités et les dimensions du produit peuvent être maîtrisées.

Simheat simule la plupart des procédés pour les aciers mais aussi pour les alliages d'aluminium : traitement thermique par induction, trempe, cémentation, nitruration, austénitisation, recuit, revenu, refroidissement contrôlé, mise en solution et vieillissement artificiel. Le logiciel est particulièrement efficace vis-à-vis du traitement thermique par induction car il adopte une approche multi-physique : mécanique, électromagnétique et métallurgique. Il donne des informations détaillées sur la zone affectée thermiquement, sur le gradient de température depuis la surface jusqu'au cœur de la pièce et sur l'emplacement des zones où des transformations de phase se

produisent. On peut vérifier l'impact de la fréquence du courant, de la géométrie de la bobine ou même de l'emplacement des concentrateurs sur la zone affectée thermiquement. Les configurations avec traitement localisé (ex : cémentation des tourillons de vilebrequin) peuvent être efficacement simulées grâce à la prise en compte de la rotation de la pièce et/ou du mouvement des inducteurs et des concentrateurs. Simheat peut également modéliser les générateurs en ajustant l'intensité et la fréquence du courant pour maintenir une valeur de puissance nominale prescrite, ce qui représente un réel élément différenciant face aux logiciels concurrents.

Transvalor a conçu Simheat à partir de son logiciel phare Forge dédié à la simulation de procédés de forgeage à chaud, à mi-chaud et à froid. Un outil qui a fait ses preuves depuis plusieurs années auprès d'une clientèle internationale, ce qui permet à Simheat de bénéficier d'une expérience utilisateur solide dans ce domaine. —

SIMHEAT SIMULE LES MODIFICATIONS STRUCTURELLES DES MÉTAUX LORS DE LEUR TRAITEMENT THERMIQUE, CE QUI PERMET D'OPTIMISER LEUR CONCEPTION.

Revue Bimestrielle

TARIFS TTC	1 an	1 numéro
FRANCE	90 €	17 €
Education (TVA 2,1 % incluse)	70 €	
Union Européenne	102 €	20 €
Etranger	120 €	20 €

BULLETIN D'ABONNEMENT

Je m'abonne pour un an à **cad-magazine** et je recevrai 6 numéros papier

Je paye par chèque bancaire ou postal à l'ordre de CIMAX

Je paye par virement

Je paye par mandat administratif

Nom Prénom Fonction

Société

N° TVA intracommunautaire

Adresse

Code postal Ville Tél.

email @

L'abonnement ne sera pris en compte qu'accompagné de son règlement. Je souhaite recevoir une facture acquittée.

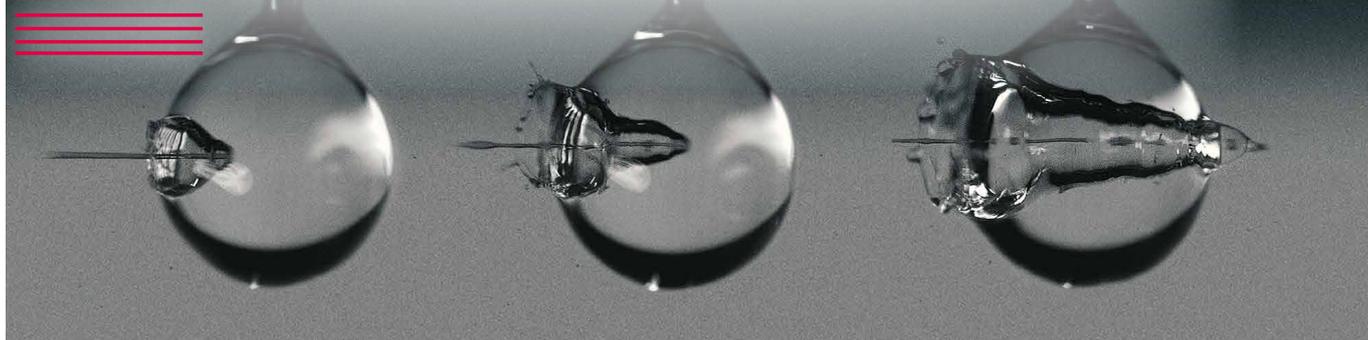
A renvoyer sous enveloppe affranchie au tarif en vigueur à : **cad-magazine** Service Abonnements
3A, rue Pétigny 78000 Versailles - Tél. : 01 84 27 04 18

Nouveau !

Formule papier + numérique

Rendez-vous sur notre kiosque :
www.groupe-cimax.fr

PLUS DE RAISON D'AVOIR PEUR DES PIQUES



Infirmier pendant mon service militaire, j'ai réalisé bon nombre de piqûres. Environ un millier de conscrits à vacciner tous les deux mois pendant un an, sans compter les intramusculaires à des dizaines d'appelés malades m'ont appris que la peur de la piqûre est assez répandue. Et j'en ai vu plus d'un blêmir avant de s'écrouler sous le coup du stress. Bonne nouvelle, on pourrait peut-être sans passer, d'après une équipe de recherche du MIT américain.

Le célèbre institut de technologie américain a utilisé pour cela la photographie à très haute vitesse. Des chercheurs ont en effet filmé à un rythme de 50 000 images par seconde l'injection d'un micro-jet d'eau au sein d'une goutte d'eau. Des centaines de vidéos de ce genre tournent d'ailleurs sur YouTube montrant au ralenti l'impact d'une large variété de projectile sur tout type de surface. Le résultat est en effet assez esthétique. Grâce à la transparence de l'eau dans notre cas et la précision des images, l'équipe du MIT a pu comprendre précisément ce qui se passait, lors de l'impact initial entre les deux surfaces, mais aussi pendant la pénétration du dard liquide au sein de la goutte d'eau.

La répétition de l'expérience a permis de modéliser numériquement le phénomène. Chargé d'un actif médicamenteux, ce projectile liquide pourrait être injecté sous la peau d'un patient, et cela sans aucune aiguille. D'après le laboratoire du MIT, cela serait possible en faisant varier les caractéristiques du projectile liquide en fonction de la cible, de son épaisseur et de sa dureté.

Reste à trouver la bonne combinaison de vélocité, de forme, et de viscosité de cette aiguille liquide pour que l'on puisse passer de l'expérimentation à la pratique.

Il faudra également concevoir le pistolet capable sans doute de faire varier ces paramètres en fonction du patient, du type d'injection et du principe actif à lui administrer.

Pour en revenir à mon expérience personnelle d'infirmier, au bout de six mois, nous avons remplacé les traditionnelles seringues sous-cutanées par des pistolets d'injection. Tout était devenu plus rapide : la piqûre et l'évanouissement des plus émotifs ! Je ne suis plus très sûr du titre de cet article... —



BE 4.0

SALON INDUSTRIES DU FUTUR



30 & 1^{er}
nov. déc. 2021
Parc Expo
Mulhouse

Respect
des règles
sanitaires
en vigueur



BE ENGAGED
in the industrial revival

- Innovations en démonstration
- Masterclass, conférences d'experts, pitch
- Networking et rendez-vous B2B

Inscription gratuite sur industriesdufutur.eu



EPLAN

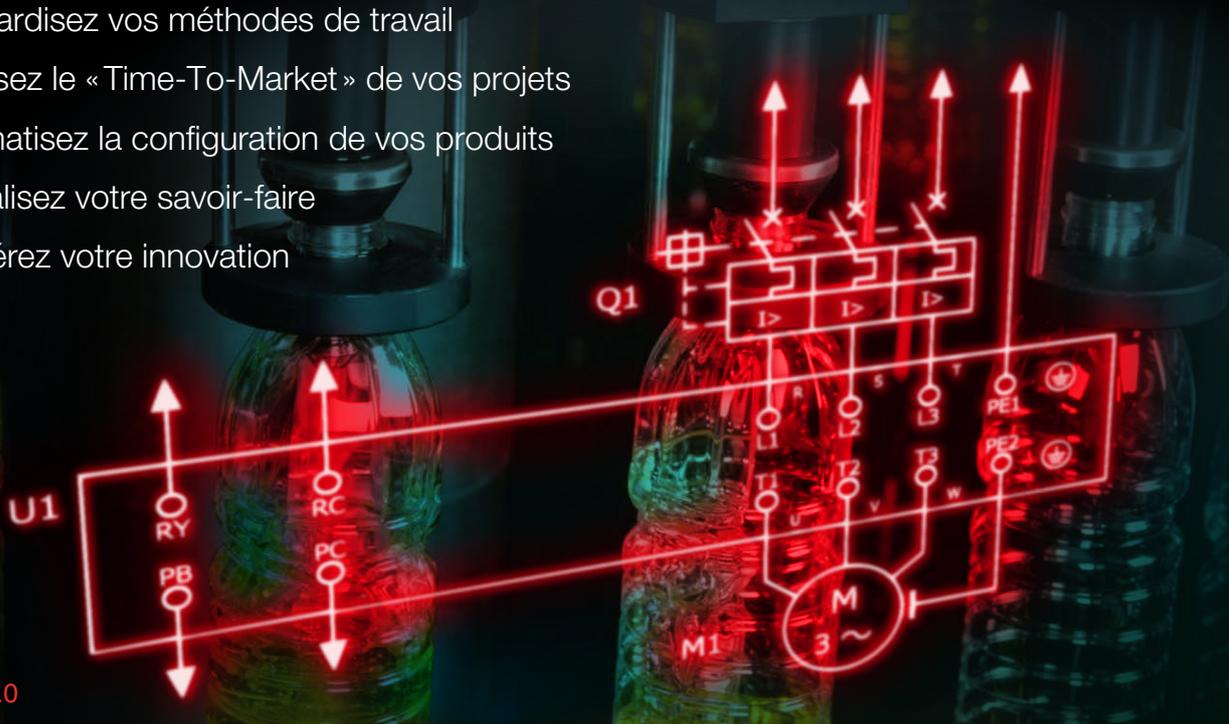
efficient engineering.

EPLAN

Efficient Engineering is when a PLAN becomes EPLAN.

LOGICIELS D'INGÉNIERIE ÉLECTRIQUE & MÉCATRONIQUE

- Standardisez vos méthodes de travail
- Réduisez le « Time-To-Market » de vos projets
- Automatisez la configuration de vos produits
- Capitalisez votre savoir-faire
- Accélérez votre innovation



Industrie 4.0

EPLAN fournit des solutions logicielles de conception et de services dans les domaines de l'électricité, de l'automatisation et de l'ingénierie mécatronique pour les fabricants de machines industrielles et d'armoires électriques.

EPLAN France
www.eplan.fr - info@eplan.fr
Téléphone : +33 (0)1 55 39 07 09

PROCESS CONSULTING

ENGINEERING SOFTWARE

IMPLEMENTATION

GLOBAL SUPPORT

FRIEDHELM LOH GROUP

