

# cetiminfos

*Osez le futur*

© CNES/Frédéric Lancelot

## Sommaire

### ZOOM

2 R&D partenariale - Cetim, un acteur clé du dispositif Carnot

### RENCONTRE

3 Aurélie Achille - Experte senior en traitement thermique cher Forvia et présidente de l'UNM 24

### DÉCRYPTAGE

4 Hydrogène - Des équipements taillés pour les nouvelles applications

6 Environnement virtuel, usinage, phtalates - Trois études et veilles pour préparer l'avenir

### APPLICATION

8 CNES - Des mousses en aluminium au service de l'exploration spatiale

### C AU CETIM

10 Actions collectives - PSS et PTT : trois clôtures et trois lancements

11 Cetim Academy - Former pour mieux réindustrialiser

12 Formations





## R&D partenariale

# Cetim, un acteur clé du dispositif Carnot

Le dernier conseil d'administration de l'association des instituts Carnot a élu ses nouveaux dirigeants. Parmi eux, Philippe Lubineau, directeur de la recherche et des programmes du Cetim et directeur du Carnot Cetim a été élu vice-président, secteur industrie.

**L**es Carnot changent de tête ! Le 22 juin 2023, le conseil d'administration de l'Association des instituts Carnot a nommé Alexandre Bounouh nouveau président de l'Association des instituts Carnot. Le directeur du Carnot CEA List succède ainsi à Philippe Véron, directeur du Carnot ARTS.

A l'occasion de ce conseil, un nouveau bureau a été élu, nommant en particulier Philippe Lubineau à la vice-présidence, secteur industrie. Une reconnaissance de la contribution du Cetim à la montée en gamme et au soutien de l'écosystème industriel. Cette nomination souligne en effet la position du centre comme acteur de premier plan de la recherche pour l'industrie.

### Une place singulière

Labellisé Carnot depuis 2006, le Cetim occupe une place d'importance au sein



de la recherche, comme tous les Centres techniques industriels (CTI) régis par les articles L521-1 à 13 du Code de la Recherche, qui définissent en particulier leurs objectifs et leurs missions.

Une place singulière car la mission première du Cetim est de transférer des résultats de travaux de R&D à l'industrie pour le renforcement de la compétitivité des entreprises. Il représente à cet effet le premier centre de R&D français en ingénierie mécanique, acteur majeur pour les déploiements de solutions innovantes liées à la transition environnementale et énergétique, et de technologies de l'industrie

du futur. Tout à la fois engagé dans la recherche fondamentale avec ses partenariats universitaires, ou avec de grands organismes de recherche comme le CNRS, le Cetim s'applique à développer des solutions dans les entreprises, qui peuvent difficilement mener des actions de recherche seules.

Singulière parce qu'avec son expertise technique reconnue, sa place unique de coordination et de facilitation des initiatives avec les mondes industriel et académique, comme stipulée dans le Code de la Recherche, sa capacité d'action et ses infrastructures, il contribue depuis près de 60 ans à posi-

tionner la mécanique comme une industrie de pointe.

Le Cetim est un centre de recherche, un diffuseur de connaissances au cœur des territoires, un acteur du déploiement de solutions, un émetteur de préconisations pour les travaux normatifs et, bien sûr, un acteur de recherche partenariale avec et pour l'industrie.

Au travers de cette nomination, c'est l'ensemble des CTI qui sont mis en valeur en reconnaissance de leur place dans le dispositif Carnot, et de fait dans le paysage national de la recherche. ■ AD

**Contact :** Hélène Determe  
09 70 82 16 80 – [sqr@cetim.fr](mailto:sqr@cetim.fr)



**Cliquez pour en savoir plus sur les Carnot**

**cetiminfos**

CETIM -52 avenue Félix-Louat - CS 80067 - 60304 Senlis Cedex  
Tél. : 09 70 82 16 80 - [sqr@cetim.fr](mailto:sqr@cetim.fr) - [cetim.fr](http://cetim.fr)

Directeur de la publication : **Daniel Richet** - Rédacteur en chef : **Jean-Sébastien Scandella** (06 08 77 45 01) - Rédacteur en chef délégué : **Akim Djouadi** - Maquette/Infographie : **Magali Aït Mbark** (03 44 67 30 55), **Guilbert Gabillot** (03 44 67 47 08)  
Ont participé à ce numéro : Youssef Belgnaoui, Anaïs Culot, Christophe Duprez

Pour joindre vos correspondants par mel : [prenom.nom@cetim.fr](mailto:prenom.nom@cetim.fr)

Diffusion : 09 70 82 16 80 ; Prix du n° : 16,53 € TTC (15,67 € HT)





**Aurélie Achille, experte senior en traitement thermique chez Forvia et présidente de l'UNM 24**

## « Sans la France, la norme ISO sur les traitements thermiques n'aurait jamais vu le jour »

Après dix ans de travail, la norme ISO 20431 sur la qualité en traitements thermiques s'apprête à être publiée grâce au leadership assuré dans le groupe de travail par l'UNM 24. Aurélie Achille nous relate ce parcours aussi long et difficile que gratifiant !

### **Cetim Infos : Pourquoi la norme ISO 20431 est-elle importante pour les industriels ?**

**Aurélie Achille :** Dedicée à l'évaluation des ateliers de traitements thermiques, cette norme présente la particularité de couvrir tous les domaines d'activité sans exception, contrairement au référentiel CQI9, qui porte spécifiquement sur le secteur automobile. Cela signifie que tout traiteur à façon ou entreprise ayant un atelier intégré peut s'en saisir pour l'évaluer qualitativement en continu à l'aide de deux critères : des recommandations et des exigences. Cette expertise globale est effectuée en suivant les grandes étapes des traitements en atelier, de la revue de contrat jusqu'au contrôle du produit final. Cela permet de connaître en continu les points forts et les faiblesses du site.

Autre avantage majeur : chaque critère se présente sous forme de pourcentages qui peuvent être intégrés au plan de progrès de l'entreprise. Il est ainsi possible de voir en continu son évolution par rapport à l'audit initial, avec des résultats souvent remarquables, comme c'est le cas pour plusieurs des fournisseurs avec lesquels je travaille. Un processus extrêmement valorisant !

### **CI : Pourquoi les Français sont-ils à l'origine de ce texte ?**

**AA :** Tout simplement parce que nous ne sommes pas partis d'une norme mais d'un référentiel, d'ailleurs créé par le Cetim. Ce qui explique en partie que le processus ait été si long. Dix ans... Je suis arrivée à cette époque sur ce projet en tant qu'experte à l'UNM 24, dont j'assume à présent la présidence. J'ai donc eu deux casquettes sur cette décennie et je peux vous affirmer que si l'Hexagone n'avait pas été moteur, la norme ISO 20431 n'aurait jamais vu le jour... La première étape a consisté à transformer le référentiel qui était sous Excel en un texte normatif, ce qui a représenté un travail important. S'en sont suivies de nombreuses relectures et adaptations avant son adoption. La stratégie a ensuite été d'utiliser cette nouvelle

norme française comme levier pour la convertir en ISO. Nous souhaitions un audit plus complet que celui du CQI9 imposé à tous les traiteurs à façon... automobiles : si les questions qu'il pose sont pertinentes, elles ne permettent ni une évaluation globale, ni une visualisation des améliorations en continu, et se limitent aux points de cotation binaire 0 ou 1.

### **CI : Comment s'est déroulée concrètement son élaboration ?**

**AA :** Elle a été à la fois longue et fastidieuse. La normalisation nécessite des processus très spécifiques, souvent difficiles à appréhender. Sans un leadership suffisamment fort et expérimenté,

il est compliqué d'arriver à terme. Nous avons réussi grâce à Olivier Coissac, qui était à l'époque secrétaire de l'UNM. En effet, afin de passer de la norme française à l'ISO, il est nécessaire d'avoir cinq pays membres, et pas simplement observateurs, engagés dans les travaux. Rien que les trouver nous a demandé déjà plus de deux ans et un lobbying

incroyable de la part d'Olivier ! Suite à sa disparition tragique, il a fallu trouver des personnes pour reprendre le flambeau. Une fois cet obstacle franchi, nous avons dû dénicher des experts dans chacun de ces pays désireux de discuter avec nous, ce qui s'est avéré encore plus compliqué... Ce n'est qu'alors que nous avons pu passer au volet technique en relisant conjointement, autour de la même table, la norme française préalablement traduite en anglais. Cette étape, la plus concrète, a aussi été la moins difficile !

Dernière épreuve à surmonter : la finalisation de la norme avec les ultimes revues et commentaires à prendre en compte de la part de tous les pays, y compris certains membres qui n'ont jamais participé au groupe de travail... Un vrai parcours du combattant mais couronné de succès ! ■

*Propos recueillis par Christophe Duprez*

## Hydrogène

# Des équipements taillés pour les nouvelles applications

A travers son programme HyMEET, le Cetim renforce significativement sa palette de moyens d'essais dans le domaine de l'hydrogène. Les entreprises peuvent s'appuyer sur sa large panoplie d'équipements appropriés à la caractérisation de matériaux dans un environnement chargé en H<sub>2</sub>.

L'hydrogène présente un immense potentiel du point de vue énergétique. Ce potentiel est cependant encore bien peu exploité. Avec la transition énergétique pour la croissance verte et l'indispensable décarbonation des transports et des processus industriels, la donne va désormais changer. L'hydrogène concentre dorénavant toutes les attentions. « Nous sommes aujourd'hui au-delà des effets d'annonce. De nombreux projets se mettent en place pour la production d'hydrogène à grande échelle et l'élaboration d'infrastructures de distribution. Dans le domaine de l'e-mobilité, des fabricants d'engins agricoles, de manutention et de travaux publics envisagent sérieusement d'utiliser l'hydrogène pour la combustion directe ou l'électrification de fonctions.

La filière aéronautique elle-même se mobilise en vue du développement d'un futur avion à hydrogène », rapporte Didier Fribourg, directeur scientifique et technique au Cetim en charge du pilotage du programme Hydrogène. Airbus vise en effet la mise en service d'un avion à hydrogène en 2035. L'avionneur européen a profité de la dernière édition du salon aéronautique du Bourget pour présenter les dernières avancées technologiques liées à son projet, en



**Le nouveau moyen HySPIDE TP** du Cetim réduit considérablement les temps de production de réservoirs en composite.

particulier une pile à combustible de 1,2 MW.

### Un projet ambitieux

L'industrie mécanique n'est pas en reste. Les composants, les équipements et les systèmes qu'elle fabrique interviennent à tous les stades de la chaîne de valeur de la filière « hydrogène » : production, distribution et utilisation dans diverses applications. Il faut cependant s'assurer de la compatibilité des matériaux mis en œuvre avec l'hydrogène et adapter une très

grande variété d'équipements fluidiques : tuyaux, réservoirs, compresseurs, pompes, détendeurs, robinets... Vaste chantier auquel s'est attelé le Cetim, qui a créé, à la demande des industriels du secteur, un centre d'ingénierie et d'essais avec un premier investissement spécifique de 11 millions d'euros. « Implanté en région Pays de la Loire, HyMEET, pour Hydrogen Material and Equipment Engineering and Testing Center, constitue le premier élément d'un plan ambitieux

déployé sur quatre années. Avec un total de 25 millions d'euros, il s'agit de doter la mécanique française des moyens et des compétences pour assurer la maîtrise technologique des changements qu'impose l'utilisation de l'hydrogène sous ses formes gazeuses et liquides », explique Didier Fribourg.

### De nouveaux moyens d'essais

HyMEET mobilise sur tous les sujets ayant trait à l'hydrogène la communauté des experts du Cetim dans une grande variété



de domaines, qu'il s'agisse des matériaux composites, de la caractérisation mécanique des matériaux métalliques, de l'étanchéité, des procédés de mise en forme et d'assemblage, voire de la propreté... Cela représente pas moins de 140 spécialistes prêts à accompagner les mécaniciens pour relever les défis technologiques et économiques liés à l'utilisation de l'hydrogène. « *L'hydrogène est notamment susceptible de fragiliser les matériaux métalliques sous certaines conditions opératoires. Si l'on souhaite mettre en œuvre un composant dans un équipement exploitant de l'hydrogène, il faut préalablement s'assurer de sa compatibilité par la mise en œuvre d'essais mécaniques appropriés et en particulier de fatigue* », souligne Pierre Osmond, référent technique sur la plateforme de caractérisation mécanique en environnement hydrogène. Pour réaliser ces essais dans les conditions requises et répondre aux demandes croissantes des industriels, le Cetim a donc investi, dans le cadre du programme HyMEET, dans deux nouvelles machines d'essais mécaniques permettant de caractériser des matériaux dans divers environnements gazeux (hydrogène, mélange de gaz, gaz naturel). Ces deux machines, dont le cahier des charges a été établi par les experts du Cetim, ont été fabriquées par un spécialiste des équipements sous pression. Elles seront opérationnelles avant la fin 2023. « *Nous pourrions alors réaliser des essais mécaniques, notamment de ténacité et de fatigue, sur les matériaux que nous confieront les industriels dans un environnement hydrogène pouvant soutenir des pressions jusqu'à 400 bar* », indique Gouenou Girardin, responsable technique du projet HyMEET. « *Ces nouveaux moyens viennent ainsi renforcer ceux dont dispose déjà le Cetim, qui permettent la*

## Un congrès dédié à la fatigue des matériaux

Fatigue Design offre l'opportunité à des experts du monde entier de présenter leurs travaux en matière d'évaluation de la durée de vie résiduelle en fatigue. Cet événement organisé par le Cetim a lieu à Senlis (Oise) les 29 et 30 novembre 2023. Preuve que l'hydrogène fait partie des préoccupations du moment, plusieurs conférences se concentrent sur ce sujet. Ainsi, l'une d'elle concerne l'influence de l'interaction hydrogène/microstructure sur le comportement en fatigue et l'amorçage de fissures dans un superalliage à base de nickel. Une autre s'intéresse à l'évaluation de la fatigue des fils d'acier au carbone pour les conduites flexibles utilisées pour le transport d'hydrogène gazeux. Une troisième traite de son côté une problématique de modélisation de la fatigue en milieu hydrogène.



*réalisation d'essais mécaniques pour la caractérisation de matériaux jusqu'à 30 bar d'hydrogène à température ambiante et jusqu'à 15 bar à des températures pouvant descendre jusqu'à -120 °C* ».

Les essais de caractérisation seront donc un passage obligé pour les industriels qui veulent s'assurer de la compatibilité à l'hydrogène des matériaux et des soudures. Dans certains cas, des analyses complémentaires seront nécessaires. Le Cetim est déjà bien armé pour les mettre en œuvre. Il dispose en effet d'une large palette de moyens de mesure appropriés tels qu'un système TDS (Thermal Desorption Spectroscopy) pour mesurer la quantité d'hydrogène dans un matériau avant et après un essai, des solutions de mesure de la perméation de l'hydrogène dans les matériaux, ainsi que d'autres équipements spécifiquement dédiés à la caractérisation des propriétés tribologiques des matériaux au

contact de l'hydrogène. « *Tous ces moyens d'essais, de mesure et d'analyse sont à la disposition des industriels. Ils permettent de caractériser la grande majorité des matériaux dans un environnement hydrogène. Les résultats des essais fourniront des données précieuses aux concepteurs pour dimensionner leurs équipements* », observe Gouenou Girardin.

### Du nouveau dans les procédés

Ces équipements peuvent prendre par exemple la forme de réservoirs d'hydrogène. Dans le domaine de la mobilité terrestre, ces réservoirs doivent pouvoir allier légèreté et robustesse pour supporter des pressions pouvant atteindre 700 bar. Le Cetim dispose justement d'un nouveau système robotisé de fabrication de pièce thermoplastique (TP) par enroulement de tape avec consolidation *in situ* par chauffe laser à grande vitesse (HySPIDE TP). Dotée d'une

nouvelle tête, la vitesse de dépose d'HySPIDE TP est multipliée par 10 par rapport à l'ancienne génération optimisée par le Cetim et peut atteindre 100 m/min sur les parties cylindriques et 15 m/min dans les dômes pour des bandes allant jusqu'à 40 mm de largeur. « *Cette cellule robotisée nous permet d'accompagner les industriels afin d'optimiser le procédé de fabrication en ajustant notamment certains paramètres liés aux trajectoires et à la dépose. Elle leur permet également de tester de nouveaux matériaux et de concevoir de nouveaux types de réservoirs* », note Gouenou Girardin. Et donc d'inventer les composants essentiels à la mobilité décarbonée de demain. ■ YB

**Contact :** Didier Fribourg  
09 70 82 16 80 – [sqr@cetim.fr](mailto:sqr@cetim.fr)

Environnement virtuel, usinage, phtalates

## Trois études et veilles pour préparer l'avenir

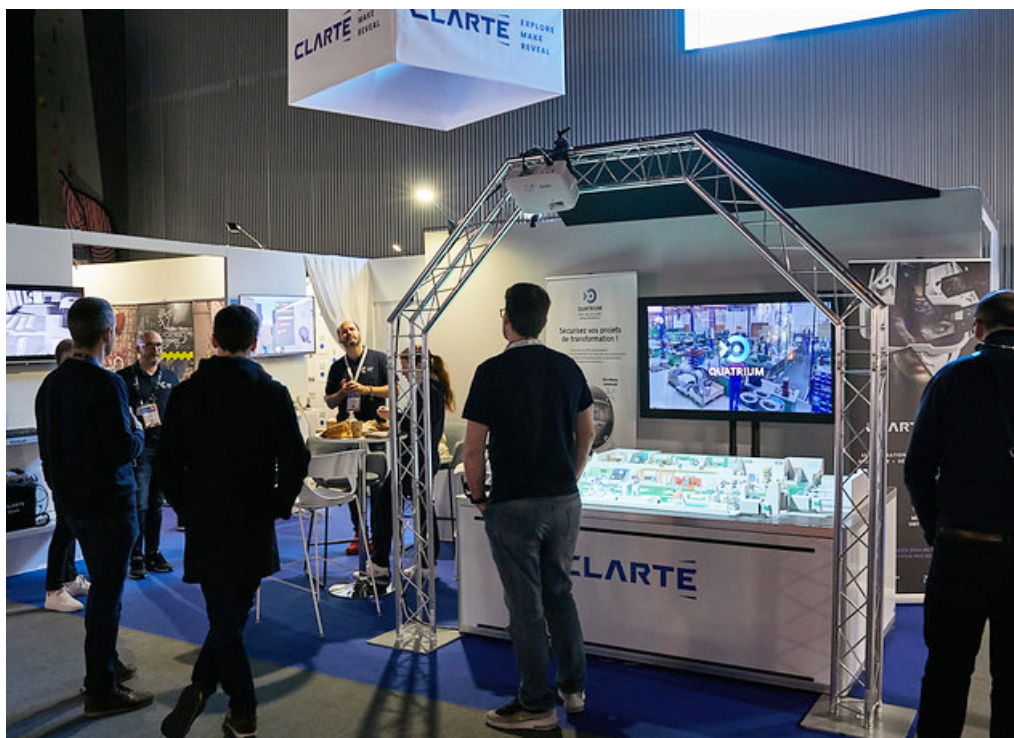
Toutes les innovations qu'il ne fallait pas rater sur les salons Laval Virtual et Intercut, ainsi qu'un point sur les pistes de substitution des phtalates : dans ce numéro, notre sélection de sujets vous aide à garder une longueur d'avance.

### 1 Réalité virtuelle : retour sur le salon Laval Virtual 2023

La réalité virtuelle a quitté le monde des jeux et du divertissement pour gagner celui de l'industrie où elle trouve de nombreuses applications dans le domaine de la formation, de la prévention ou de la maintenance : simulation de situations délicates, accès sans risques à des zones inaccessibles, optimisation de la chaîne de production, sensibilisation à la sécurité au travail...

La note de veille « Synthèse du salon Laval Virtual 2023 » propose une sélection d'innovations traduisant les tendances de la dernière édition du salon mayennais, dont la plus notable est la capture du mouvement : technologie à base de caméras infra-rouges ou RGB permettant la détection d'un corps, modélisé ensuite automatiquement en avatar numérique, gants de capture du mouvement par système émetteur récepteur d'ondes électromagnétiques, ou encore combinaison de capture du mouvement sans fil et sans caméra.

Au cœur d'une conférence



CDR

dédiée, le métavers – et ses applications – a été un autre sujet d'intérêt, avec notamment la génération de jumeaux numériques et le développement d'environnements où divers avatars peuvent interagir avec des personnes éloignées géographiquement (salons à dis-

tance, entretiens d'embauche, lieux de formation...). Enfin, le hardware (casques de réalité virtuelle, cartes graphiques, processeurs...) poursuit son évolution et ne cesse de se perfectionner.

**Contact :** David Dubois  
09 70 82 16 80 – [sqr@cetim.fr](mailto:sqr@cetim.fr)



Cliquez pour  
télécharger la  
note de veille



## 2 Les défis de l'usinage pour l'aéronautique à Intercut 2023

Intercut 2023 s'est intéressé aux grands enjeux à venir des acteurs de l'usinage pour l'industrie aéronautique et, plus spécifiquement, aux axes de recherche technologique du groupe Safran : assistance à la coupe, modélisation, synergies entre fabrication additive et usinage, perçages complexes.

Sujet majeur, l'assistance à la coupe suscite de grandes attentes. Actuellement en cours, des travaux de modélisation de la coupe par outils à plaquettes à rotation libre

visent à optimiser la rotation et la durée de vie de l'outil. D'autres évaluent la performance et les impacts de l'assistance à l'usinage par CO<sub>2</sub> supercritique. Tout aussi prometteuses, modélisation et simulation permettent de déterminer en amont de la fabrication comment optimiser son processus d'usinage et son bridage pour limiter la déformation de la pièce, améliorer sa tenue en fatigue...

Traitement et fonctionnalisation de surface par procédés laser, procédé de polissage

hybride électro-mécanico-chimique à temps de cycle court, processus d'assemblage sans dégroupage, perçage multicouche sans ébavurage : de nombreuses solutions pour la finition des pièces et la fonctionnalisation des surfaces ont aussi été présentées lors de cette édition. Certaines mettent à profit les atouts de la robotique : cellule robotisée flexible de parachèvement, cellule de ponçage collaborative ou encore cellule de décapage laser automatisé...

Toutes ces innovations sont à

retrouver dans la note de veille « Intercut - 2023 - Rencontres internationales de l'usinage ». ■

**Contact :** David Dubois  
09 70 82 16 80 – [sqr@cetim.fr](mailto:sqr@cetim.fr)



Cliquez pour télécharger la note de veille

## 3 Phtalates dans l'industrie mécanicienne : état des lieux et solutions de substitution

Jouets, réfrigérateurs et congélateurs, produits cosmétiques et d'entretien ménager, articles de bijouterie, matériel médical, matériaux de construction (revêtements de sol, profilés, tuyaux, câbles...), peintures et vernis... Couramment utilisés comme plastifiants de matières plastiques, les phtalates sont une famille de plus de 500 composés chimiques dérivés de l'acide phtalique, présents dans un grand nombre de produits du quotidien.

Présentant des propriétés identifiées comme toxiques pour la reproduction et perturbateurs endocriniens, certaines de ces substances se voient interdites ou restreintes par les réglementations européenne et française. Ainsi, les phtalates à chaîne courte considérés comme plus

toxiques que les composés à chaîne longue ont vu leur volume de marché passer de 30 % en 2005 à quelques pourcents résiduels en 2020.

Disponible en français et en anglais, l'étude « Utilisations, réglementations, substitutions des phtalates » (Ref. 9Q461) dresse un état des lieux complet de la situation : liste complète des phtalates les plus couramment utilisés et de ceux recensés par l'ECHA ou ayant un usage déterminé ; point sur les différentes réglementations (Reach, directive RoHS, règlements de l'Union européenne...) ; solutions de substitution matures et commerciales selon les secteurs d'utilisation, assorties au tableau de suivi des substitutions régulièrement mis à jour par l'Ineris.

Ce document de référence à



©DR

conserver est téléchargeable sur notre site, rubrique Mécatèque (accès réservé aux entreprises ressortissantes). ■

**Contact :** Olivier Santraine  
09 70 82 16 80 – [sqr@cetim.fr](mailto:sqr@cetim.fr)



Cliquez pour télécharger le rapport

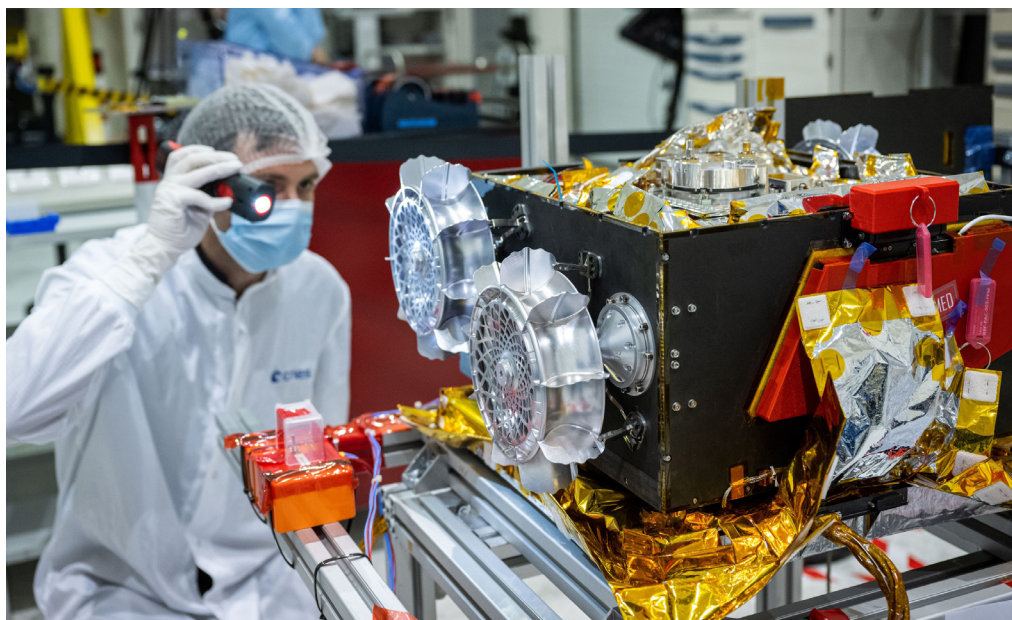
## Centre national d'études spatiales

# Des mousses en aluminium au service de l'exploration spatiale

Dans le cadre de la mission MMX, le CNES a approché les spécialistes en fonderie du CTIF (désormais Cetim) pour développer des mousses d'aluminium pur. Elles protégeront le générateur solaire lors de l'atterrissage de leur rover chargé d'explorer le satellite martien Phobos en 2026.

En 2024, la mission MMX (Mars Moons eXploration) de l'Agence spatiale japonaise visera bien plus haut que la Lune. Son objectif : être la première expédition à ramener des échantillons du système martien en explorant ses satellites Phobos et Déimos. Pour répondre aux nombreuses questions scientifiques qui entourent ces astres, la sonde MMX comptera sur un rover de 25 kilogrammes conçu par le Centre national d'études spatiales (CNES) et l'agence spatiale allemande DLR. Véritable éclaircie, le rover étudiera la surface de Phobos en vue de réduire au minimum les risques lors de l'atterrissage de la sonde. Mais encore faut-il que le véhicule se pose en un seul morceau !

En effet, le rover sera largué à 50 mètres de la surface sans aucun dispositif de guidage. S'il est impossible de prédire comment il atterrira, les ingénieurs du CNES estiment à 40 % la probabilité que le premier impact se fasse sur le générateur solaire qui l'alimentera en énergie. Problème : l'endommagement des panneaux risquerait d'anéantir sa mission. « La nécessité d'avoir un système de protection des panneaux solaires est arrivée alors que la conception du rover était déjà définie », explique Frans Ijpelaan, ingénieur en mécanismes spatiaux au CNES et responsable du développement



Le rover conçu par le CNES et le DLR allemand étudiera la surface de Phobos, une des deux lunes martiennes.

du générateur solaire. Seule possibilité : intégrer un mode de protection adaptable, mais lequel et comment ? L'agence spatiale allemande soulève l'idée de mousses métalliques en vue d'absorber l'énergie du choc. Le CNES repère les travaux du CTIF (désormais Cetim) et approche ses experts en février 2021. Commence alors le codéveloppement des crashpads, les sous-systèmes qui préserveront autant que possible le générateur solaire.

### Des mousses en aluminium aux propriétés inédites

Avec une gravité 2 000 fois inférieure à celle de la Terre, la

physique sur Phobos est totalement nouvelle. Ainsi, la vitesse d'une chute de 50 mètres sur la lune martienne équivaut à celle d'une chute de quelques centimètres sur notre planète. L'énergie à dissiper est par conséquent très faible. « Le CNES recherchait un matériau aux propriétés opposées aux demandes usuelles, autrement dit avec une grande porosité et une quantité de matière très faible. Le choix s'est porté sur une mousse en aluminium pur aux limites techniques de la fonderie », décrit Yves Gaillard, du Cetim.

Ce matériau ductile a l'avantage d'être stable sur la gamme de températures définie par le

CNES correspondant aux extrêmes de l'environnement spatial (-170 °C et +70 °C). Il répond à la contrainte de masse imposée par la mission (300 grammes). Enfin, les mousses produites permettent d'intégrer des interfaces pour les attacher au rover.

### Une co-conception par étape

Le procédé de fonderie de moulage en sable est retenu. « Sur ce type de pièce en prototypage indirect, il permet d'être réactif, d'avoir tout de suite un nouveau noyau et une pièce en modifiant la CAO », précise Yves Gaillard. Il permet ainsi de répondre avec





©DR

“ Je souligne la curiosité technique des ingénieurs du Cetim qui se sont intéressés à une application très différente des autres domaines en fonderie, ce qui a permis un vrai travail de co-ingénierie. ”

**Frans Ijpelaan, ingénieur en mécanismes spatiaux au CNES et responsable du développement du générateur solaire**

souplesse aux délais imposés par le CNES, pour assurer une livraison du rover à l'été 2023. « Sur des systèmes orbitaux, personne n'avait connaissance de pièces de fonderie utilisées dans l'espace au niveau européen. Partir sur ce procédé était donc une aventure pour nous », décrit Frans Ijpelaan. Le

CNES décide de mettre en place une batterie de tests afin de s'assurer du comportement des mousses.

À cet effet, le Cetim livre un premier jeu de blocs cubiques de mousses de 70 centimètres de côté. La tomographie à rayons X sert à caractériser la porosité à l'intérieur des échantillons. Le CNES effectue également différents tests de traction et de compression à haute et faible températures sur ces blocs. Ces essais confirment le choix de l'aluminium pur.

L'agence spatiale française développe en parallèle un modèle permettant d'anticiper le comportement de la mousse moyennant différents ajustements sur la forme des pièces. L'ensemble de ces essais incite le CNES à revoir l'intégralité de la géométrie des crashpads. « Sans ces simulations, la conception aurait probablement été trop rigide. Nous avons également repensé la géométrie pour éviter de solliciter les mousses en traction au risque de les fragiliser », précise Frans Ijpelaan. Enfin, la disposition des pièces est recalculée afin d'assurer la meilleure protection possible sans impacter le fonctionnement du rover.

### Un prototype prometteur

Le CNES commande alors au Cetim la fabrication de trois



©CNES/Lancelot Frédéric

**La taille caractéristique** des cellules de la mousse développée par le Cetim est de 10 millimètres avec une porosité totale de 90 %.

typologies de pièces ayant les mêmes propriétés, mais des interfaces différentes. La taille caractéristique des cellules de la mousse est de 10 millimètres avec une porosité totale de 90 %. Les pièces pèsent entre 13 et 25 grammes chacune. 16 crashpads pyramidaux seront montés sur le rover afin de protéger le panneau solaire supérieur. Trois crashpads en forme de tulipe seront vissés sur chaque axe de déploiement des panneaux. Une dernière mousse sera vissée sur la charnière arrière du véhicule. Une modification locale des alvéoles est également apportée. « La

géométrie souhaitée avec des alvéoles standard faisait que certaines pièces allaient être trop raides. Nous avons donc retiré davantage de matière et des arêtes pour mieux dissiper l'énergie », note l'ingénieur du CNES.

Les pièces sont livrées en plusieurs exemplaires afin de réaliser des tests d'impacts. Les mousses sont montées sur un générateur solaire percuté par un béliet à la vitesse maximale de la chute du rover d'un mètre par seconde (3,6 kilomètres par heure). Le CNES est particulièrement satisfait des résultats qui collent aux simulations. Une ultime vague d'essais est menée durant l'été 2023 sur de vrais panneaux solaires. Frans Ijpelaan de conclure : « MMX pourra devenir le premier rover européen à explorer un autre corps céleste et il sera une première mondiale dans ce type de gravité. C'est une occasion rare de démontrer notre savoir-faire en vue de futures explorations et ces mousses contribuent à rendre notre ambition possible ». ■ **AC**

## C'est quoi la mission MMX ?

La mission MMX, planifiée par l'Agence d'exploration aérospatiale japonaise (JAXA), sera la première expédition à ramener un échantillon du système martien. Avant de se poser sur Phobos - le satellite de Mars de seulement 11 kilomètres de diamètre - la sonde orbitera pendant un an et demi autour de sa cible. Une multitude d'instruments optiques lui permettront d'analyser cette lune sous toutes ses coutures et d'étudier ses caractéristiques physiques, sa composition et sa structure interne. Dans un deuxième temps, le rover franco-allemand aidera à planifier l'atterrissage de la sonde qui se posera à deux reprises pour récolter des échantillons. Avec ces prélèvements, les scientifiques espèrent percer le mystère de l'origine et l'évolution des lunes martiennes, ainsi que l'histoire de Mars elle-même. Les satellites ont-ils été conformés avec Mars ? S'agit-il d'astéroïdes captés par la gravité de la planète rouge ? Encore un peu de patience, MMX décollera en 2024 et son retour sur Terre est prévu en 2029.

**Contact :** Yves Gaillard  
09 70 82 16 80 – [sqr@cetim.fr](mailto:sqr@cetim.fr)

## Actions collectives

# PSS et PTT : trois clôtures et troisancements cet automne

Ce sont plus de 30 projets thématiques transversaux et projets stratégiques sectoriels qui sont menés de front par le Cetim avec le concours des industriels. A l'automne 2023, trois arrivent à leur terme et trois autres démarrent sur des sujets importants pour la communauté mécanicienne.

Qu'il s'agisse de projets thématiques transversaux ou de projets stratégiques sectoriels, les projets menés par le Cetim dans le cadre de l'action collective ont une durée de vie précise.

Parmi les projets arrivés à leur terme récemment on retiendra le PTT déformations. Son objectif : mettre en place une méthodologie de contrôle et d'anticipation des déformations subies en cours de fabrication, avec la particularité d'intégrer un maximum de métiers : soudage, traitement thermique, forge, fourniture de matières premières... Les travaux se sont focalisés sur l'apport du numérique et un plan expérimental mené dans le cadre du projet. Parmi les pistes qui restent à creuser, renforcer encore le numérique et l'intégration de l'intelligence artificielle dans l'industrie mécanicienne, ou encore la création d'une communauté numérique pour intégrer la métallurgie dans les approches mécaniciennes classiques.

Le PSS Assemblages vissés, se clôt également avec des avancées significatives. Il s'est notamment attardé sur les méthodes de serrage à l'angle, en proposant des modèles de calcul précis et l'investigation de méthodes de contrôle. Les travaux ont aussi porté sur la tenue en service des assemblages vissés vis-à-vis du glissement et de la résistance au



La journée de clôture du PTT déformation a réuni des industriels de nombreux secteurs.

dévisage. D'un point de vue du dimensionnement, une approche et un outil ont été développés pour appréhender la répartition des efforts et chargements dans un assemblage « multifixations ».

Le PTT Défauts de fonderie prend fin en décembre. Ce projet a étudié l'impact d'un défaut de retassure sur la durée de vie en fatigue d'une éprouvette de fonderie. Objectif : fournir aux industriels des éléments pour estimer la criticité d'un défaut de fonderie, afin d'en tenir compte dès la conception ou évaluer les mesures à prendre en cas de mis au jour d'un défaut sur une pièce en service.

### Trois nouveaux projets lancés

Cet automne voit également le lancement de trois nouveaux projets. A l'image du PTT Fabrication additive métallique à coûts accessibles, qui vise à suivre les évolutions technologiques des procédés, à identifier et évaluer les plus accessibles financièrement et à capitaliser les bonnes pratiques pour les procédés les plus diffusés. Le projet se focalisera notamment sur les procédés DED-W ou -P couplés à l'usinage, les procédés indirects (MBJ, Mold Jet, Cold Metal Fusion) et l'emploi de cellules de soudage MAG robotisées pour la fabrication additive.

Le PTT « Fragilisation hydrogène fixations » se consacre pour sa part au phénomène de Fragilisation par l'hydrogène (FPH) qui entraîne la dégradation des propriétés mécaniques de matériaux métalliques en contact avec l'hydrogène issu de différentes sources. Ce projet ambitieux vise à consolider les connaissances acquises, identifier les méthodologies et moyens d'essais les plus pertinents pour caractériser le risque de FPH ainsi que développer des outils de caractérisation de la rupture à destination des industriels.

Enfin, le PSS Codes Neufs Maintenance et Nucléaire (PSS-CODNMN) vient également de démarrer. Il suivra quatre axes principaux : la contribution à l'évolution des codes de construction des appareils à pression et tuyauterie reconnus comme le Codap, Codeti, Codres et le Covap, la création d'un outil de calcul sur la base du cahier technique associé pour le maintien en conditions opérationnelles (CT Maintenance), la contribution à l'évolution des codes nucléaires des appareils à pression comme les codes RCC-M, RCC-MRX, RSE-M... et des travaux focalisés sur les appareils à pression en atmosphère hydrogène. ■

**Contact :** Service question réponse  
09 70 82 16 80 – [sqr@cetim.fr](mailto:sqr@cetim.fr)



**Cliquez pour découvrir tous les PSS/PTT**



**Cetim Academy**

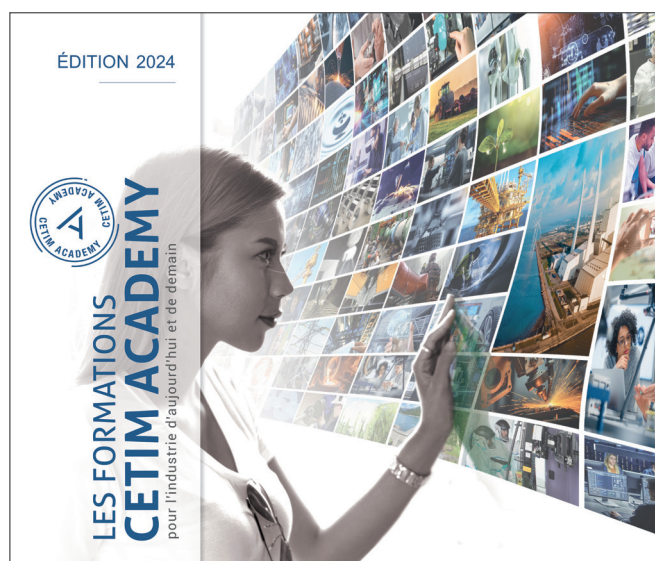
# Former pour mieux réindustrialiser

L'édition 2024 du catalogue des formations du Cetim est disponible. Plus de 600 formations adaptées à l'industrie d'aujourd'hui... et de demain !

**L**e monde en général, et l'industrie en particulier, sont actuellement soumis à de nombreux défis qui rebattent durablement les cartes : coûts de l'énergie, dérèglement climatique, tensions sur les matières premières... Autant de challenges économiques et écologiques à relever alors même que la France a fait de la réindustrialisation par l'innovation une priorité. « Dans ce contexte, la montée en compétences est plus que jamais cruciale, souligne Pascal Marcheix, responsable de l'activité Formation de la Cetim Academy. Ce besoin s'exprime partout sur le territoire où certains industriels font également face à une problématique de recrutement sur des métiers fondamentaux de la mécanique aujourd'hui en forte tension. »

## Une offre exhaustive facile d'accès

C'est dans cette optique que le Cetim lance son nouveau catalogue Cetim Academy, disponible en téléchargement mais également en version catalogue interactif à feuilleter en ligne sur le site du Cetim (la version imprimée est aussi disponible sur demande). Plus de 600 formations, délivrables en présentiel ou à distance par les spécialistes métiers du Cetim, y sont regroupées sur 128 pages. Afin de permettre de trouver rapidement celles qui concernent plus particulièrement son entreprise, elles sont



déclinées en cinq grandes approches : par chaînes de valeur (forge, fonderie, plastiques/composites, maintenance prévisionnelle...), par briques technologiques (formage, usinage, CND, métrologie, acoustique/vibration...), par thématiques (industrie du futur, production, conception, organisation/management...), par formations qualifiantes et certifiantes (analyse vibratoire, mesure tridimensionnelle, CQPM...) et par parcours de spécialisation (sécurité des machines, efficacité énergétique, transformation 4.0...). Un simple clic renvoie à la page du site internet du Cetim, qui fournit toutes les informations relatives à chacune d'elles, avec le programme détaillé, les lieux, dates, contacts et le formulaire d'inscription.

## Des formations adaptées aux objectifs de chacun

S'ouvrir à une nouvelle thématique, consolider ses bases ou approfondir une technologie, les formations interentreprises Cetim Academy permettent de bénéficier des connaissances et savoir-faire pluridisciplinaires des experts métiers du Cetim et s'enrichissent du partage d'expériences terrain entre les participants provenant d'entreprises et de secteurs différents.

Afin d'aider les PME à relever les défis actuels de transformation vers une industrie plus propre, flexible et réactive, l'édition 2024 du catalogue s'enrichit d'une offre dans des domaines aussi centraux que l'hydrogène, la transition énergétique et environnementale et le numérique. Avec, en ligne de mire, la

réindustrialisation de la France, dans laquelle la mécanique à un rôle central à jouer, comme le résume Pascal Marcheix : « la contribution des industries mécaniciennes à la performance et à la sobriété de l'industrie est telle que les défis auxquels elles sont confrontées représentent un enjeu plus large que leur seul périmètre. Sans montée en gamme de l'industrie mécanique, pas de transformation ni de développement des industries utilisatrices. » ■ **CD**

**Contact :** Service Question Réponse  
09 70 82 16 80 – [sqr@cetim.fr](mailto:sqr@cetim.fr)



**Cliquez pour découvrir le catalogue en ligne**

## La fatigue sous toutes ses formes



**T**ous les mécaniciens le savent : un bon dimensionnement statique ou dynamique ne fait pas tout.

Le phénomène de fatigue peut en effet limiter la durée de vie des pièces et des structures et ne pas le prendre en compte, c'est prendre un risque important. Afin d'accompagner les industriels dans la compréhension et la maîtrise de ce risque, une quarantaine de formations Cetim Academy sont disponibles.

Parmi elles, plusieurs modules de découverte et d'initiation, à commencer par « Fatigue des matériaux – généralités » (M49) et « Découverte de la fatigue des matériaux » (M401), disponible en intra et à distance (W-M401), ou encore « Panorama de la fatigue des matériaux et des structures » (M40), qui permet de prendre en compte les phénomènes de fatigue dès la conception de ses pièces, en fonction des matériaux utilisés et de leurs conditions de mise en œuvre.

On retrouve également au catalogue des modules dédiés aux problématiques de conception, avec « Démarche fiable pour la conception en fatigue » (K20), de production ou d'essais, dont par exemple « Introduction aux essais de fatigue » (MC11), et des modules qui se focalisent sur des aspects spécifiques : « Analyse simplifiée en fatigue selon codap - section c11.2 » (L26), « Analyse en fatigue à partir de calculs aux éléments finis » (M48), « Fatigue des assemblages soudés » (T51)... Enfin, plusieurs formations visent à explorer les moyens pour éviter ou atténuer les phénomènes de fatigue comme « Grenaillage de précontrainte : améliorer la tenue en fatigue » (M41), à comprendre ce qui mène à la rupture comme « Initiation à la mécanique de la rupture » (MC05), mais aussi à reconnaître les modes de rupture et à identifier leurs origines pour remonter à la cause racine : « Analyse de défaillance : matériaux métalliques » (ADE01). ■



**Cliquez pour retrouver ces formations**

**Contact :** Patrick Gacek - 09 70 82 16 80 - [sqr@cetim.fr](mailto:sqr@cetim.fr)

## Les bases des calculs mécaniques

**En mécanique, des connaissances solides en calculs mécaniques sont essentielles.**

Pour cela, la formation « CM01 - Calculs mécaniques : maîtriser les notions de base » permet de consolider et de maîtriser les notions mécaniques élémentaires, et de se familiariser avec les concepts de la mécanique statique et cinématique. Au programme de ce module de deux jours, la présentation des outils mathématiques nécessaires aux calculs mécaniques et la définition des concepts physiques de base, puis un approfondissement avec les concepts de

la mécanique statique et de la cinématique. L'apprentissage dispensé par un formateur expert technique dans le domaine alterne théorie et pratique au travers d'études de cas et de travaux dirigés. Pour les agents techniques, techniciens de bureaux d'études ou des services maintenance-entretien qui souhaitent suivre cette formation, aucun prérequis n'est exigé. En revanche, ils sont priés de ne pas oublier leur calculatrice ! ■



**Cliquez pour découvrir cette formation**

## Pour se perfectionner en résistance des matériaux



**Améliorer ses connaissances en résistances des matériaux,**

c'est l'objectif de la formation Cetim Academy « Résistance des matériaux (RDM) et dimensionnement. Niveau 2 » (RDM02). À l'issue de la formation, le stagiaire sait utiliser des méthodes de calcul de RDM pour le dimensionnement ou la vérification d'éléments de structure, rechercher les grandeurs de dimensionnement (contraintes, déformations, déplacement) pour les principaux « modes de ruine » dans les éléments de la structure, mais aussi évaluer et vérifier la tenue en fatigue des joints soudés et des éléments des structures.

Alternant théorie et pratique au travers d'études de cas ou de travaux dirigés, la formation com-

mence par un rappel des bases avant d'aborder les systèmes hyperstatiques et leur résolution (détermination des actions et des forces d'appui, etc.). Des calculs des structures soumises au flambement et particulièrement les poutres sont réalisés, notamment avec le logiciel Cetim Castor. Suivent le dimensionnement des assemblages soudés soumis à des sollicitations de fatigue, le calcul des plaques et des coques.

Cette formation qui vient en complément du module d'initiation RDM01 est disponible en présentiel et en intra, et peut être dispensée en anglais. ■



**Cliquez pour découvrir cette formation**