



RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT

La stratégie recherche & développement 2024-2027 du Cetim

Avant-propos 02

Édito 03

60 ans de R&D mécanicienne

La mécanique au cœur
de l'innovation industrielle 04

Le Cetim au cœur
de l'innovation de la mécanique 06

La force d'une gouvernance plurielle
qui mobilise de nombreux experts
de la filière mécanicienne 09

Une priorité: répondre aux enjeux nouveaux
du monde mécanicien 10

L'écosystème de recherche
du Cetim et son impact 12

Axes R&D 2024-2027

Une stratégie qui s'appuie sur l'ensemble
des expertises du monde mécanicien 14

Une stratégie qui s'articule
autour de deux volets 17

Point par point, la stratégie R&D
du Cetim de 2024 à 2027..... 18

Des réponses aux préoccupations
les plus concrètes 20

Partager les fruits de la R&D

Pour une transformation accélérée 22

Les actions collectives pour la diffusion
des connaissances 24

Les actions collectives du Cetim :
l'exemple de la fabrication additive 26





Pascal Vinzio
Président du comité scientifique et technique du Cetim

Avant-propos

L'industrie française s'est dotée, avec le Cetim membre de Mecallians, d'un outil de recherche mutualisée produisant un effet de levier unique.

Dépositaire des savoirs de l'industrie mécanique et au service des entreprises afférentes, il est l'activateur de l'innovation et le vecteur de la transformation du tissu mécanicien qui rendront possibles les transitions énergétique et écologique. Le Comité scientifique et technique, composé d'industriels, de donneurs d'ordres, d'académiques, vient en appui du Conseil d'administration du Cetim pour valider la stratégie R&D. Nous sommes à la fois observateurs attentifs et garants d'un Cetim à la pointe des avancées technologiques interdisciplinaires, restant également concentré sur les fondamentaux mécaniciens. Une gageure pour une montée en gamme de toute l'industrie française. Aux industriels qui souhaiteraient ainsi apporter leur contribution active et agile, je les encourage à participer aux projets R&D du Cetim... La garantie de recevoir une écoute attentive à leurs besoins et un moyen privilégié de s'approprier les résultats des travaux.



Philippe Lubineau
Directeur de la recherche et des programmes du Cetim

Édito

La R&D n'est pas une chasse gardée... du moins au Cetim

Liée à tous les autres secteurs, fournisseur de tous les marchés, la mécanique est constituée d'entreprises de taille mondiale et d'un tissu dense de PME fortement exportatrices (38,4 % du chiffre d'affaires à l'exportation en 2023)... Par ces différents critères, la mécanique présente un caractère structurant de l'appareil de production national. L'innovation y est primordiale, servant l'objectif d'une réindustrialisation durable.

Soutenir et accélérer l'innovation au sein des industries mécaniques constitue de fait un enjeu majeur. C'est notre mission ! Mais pas d'innovation possible dans les entreprises sans un accès rapide à de la R&D finalisée.

Tous les quatre ans, en cohérence avec les objectifs assignés par le conseil d'administration, relayés par le comité scientifique et technique (CST), nous établissons une feuille de route R&D stratégique pour doter l'industrie mécanicienne française des moyens de relever les défis de notre temps, qu'ils soient démographiques, écologiques, sanitaires ou sociaux. Une démarche méthodologique qui s'étend sur neuf mois, impliquant la consultation d'industriels et d'organisations professionnelles, ainsi que la compilation de plus de 150 roadmaps, assurant ainsi une pertinence et une efficacité maximales. Le tout piloté par le CST.

Au fil des années, nous avons enrichi notre stratégie de partenariats scientifiques nationaux et internationaux, qui dépassent la centaine. Des collaborations qui renforcent notre capacité de R&D et à répondre aux besoins industriels avec une expertise approfondie et transdisciplinaire.

Cette stratégie s'incarne au travers de projets concrets, soutenus par un budget annuel de 100 millions d'euros. Parce que le rôle d'un centre technique industriel comme le Cetim, qui plus est labellisé Carnot depuis l'origine, n'est certainement pas de fonctionner en vase clos, nous sommes fiers d'associer activement 2 000 industriels à la réalisation de ces travaux mutualisés, non seulement en priorisant les initiatives, mais aussi en contribuant

au cadrage des travaux. Une approche collaborative gagnant-gagnant améliorant la pertinence, l'impact et l'efficacité de nos actions, tout en partageant des compréhensions techniques et des cas concrets.

Notre rôle ne s'arrête pas non plus à la seule production de connaissances. Nous nous engageons également aux côtés des industriels dans la transformation des résultats de cette R&D dans leur quotidien, favorisant ainsi leur capacité à mettre en mouvement toutes les filières et à poursuivre leur rôle d'accélérateur de la transition énergétique et écologique. À ce jour, plus de 12 000 entreprises ont été embarquées dans un cycle de transformation et d'innovation individualisé, témoignant de l'impact significatif de nos initiatives.

Partant d'une vision du renforcement de la compétitivité des industries mécaniques, nous contribuons *in fine* à une industrie plus durable et résiliente. Ensemble, en conjuguant expertise, R&D et collaboration, nous façonnons l'industrie de demain.

La mécanique au cœur de l'innovation industrielle

Vecteur du progrès humain, la mécanique traverse les époques. Au service de l'industrie dans son ensemble, présente dans tous les domaines de l'économie, elle apporte une panoplie toujours plus vaste de nouvelles technologies. Là où il y a production industrielle, il y a mécanique.

« La mécanique est partout autour de nous : dans chaque bâtiment qui s'élève, dans chaque interrupteur que l'on actionne, dans chaque repas que l'on consomme, dans chaque voyage que l'on entreprend, dans chaque parcours de soin. »

Henri Morel,
président de la Fédération
des industries mécaniques
(FIM)

De l'extraction à la distribution des matières premières, de la conception à l'utilisation des produits en passant par leur fabrication, traitement et commercialisation, l'industrie mécanique irrigue les 19 filières regroupées au sein du Conseil national de l'industrie (CNI), comme :

- › sous-traitant dans les chaînes d'approvisionnement, via les procédés de fonderie, forge, usinage, formage, décolletage et traitement de surface ;
- › fabricant de machines de production et d'équipements, de composants et sous-ensembles intégrés (les « offreurs de solutions »).

Par ses écosystèmes territoriaux dynamiques et performants, la mécanique participe au succès de ces filières. Des PME et ETI innovantes et réactives contribuent aux succès des plus beaux fleurons de la France à l'international (aéronautique, spatial, énergie, ferroviaire grande vitesse, etc.).

Répartie sur tout le territoire français, la mécanique représente 10 à 20 % de l'emploi industriel, dans chaque région.

CHIFFRES CLÉS DE LA MÉCANIQUE*

1^{re}
industrie
française en
termes
d'effectifs

10 910
entreprises
de + de 10 salariés

157
milliards d'€
de CA

**+ de
600 000**
salariés

**+ de
50 000**
recrutements
par an

**Par sa place
particulière,
la mécanique est
le système racinaire
de l'appareil de production
français.**

* Sources :
pôle Économie
et statistiques
de la FIM,
2023



MECALLIANS UNE APPROCHE GLOBALE DES ENJEUX MÉCANICIENS

Mise en place en 2023, cette bannière rassemble la fédération professionnelle de la mécanique (la FIM), son centre technique (le Cetim), son bureau de normalisation (l'UNM) et ses partenaires financement et assurance-crédit Sofitech et Cemea.

Les défis stratégiques de la mécanique

Leur enjeu dépasse le périmètre de la mécanique, tant elle est au cœur de la performance et de la sobriété de l'industrie et du développement des filières souveraines.

Les principaux défis de la mécanique sont :

- › faciliter les bilans carbone des sites de production et des produits ;
- › rendre la circularité et l'éco-conception plus accessibles ;
- › anticiper la pénurie de matières premières ;
- › remplacer les substances chimiques les plus dangereuses ;
- › apporter à la mécanique le meilleur du numérique (interopérabilité, Intelligence artificielle [IA], Internet industriel des objets [IIoT]) en gérant les risques cyber ;
- › préparer la mécanique au déploiement de l'hydrogène ;
- › renforcer les compétences mécaniciennes pour gérer les nouveaux matériaux, les innovations produits et les transformations de process.

« Nous sommes au service de la reconstruction industrielle du pays, et Mecallians est une véritable solution globale pour concevoir des produits et des procédés plus robustes, plus innovants, plus sécurisés, et mettre en avant les capacités d'innovation du secteur. »

Carole Gratzmuller,
Présidente du Cetim

Le Cetim se mobilise pour accompagner les industries mécaniques, accélérer leur force d'innovation, développer la qualité de leurs solutions, leur compétitivité en France et à l'international et pour les mettre en capacité de relever les défis industriels et civilisationnels :

- › la transition écologique et énergétique (TEE) ;
- › la montée en puissance des filières souveraines ;
- › le renforcement des écosystèmes industriels territoriaux ;
- › le développement de la normalisation, au service de l'innovation et de la compétitivité internationale.

Le Cetim est l'accélérateur technologique de Mecallians, un levier unique de transformation de l'industrie française.

mecallians
LES INDUSTRIES MÉCANIQUES EN FRANCE

FIM

CETIM

UNM

SOFITECH

CEMECA

Le Cetim au cœur de l'innovation mécanique française

Organisme de recherche et de diffusion des connaissances (ORDC) porteur d'une mission d'intérêt général, le Cetim apporte le meilleur de la recherche aux industriels de la mécanique. Ses 1100 experts, docteurs, ingénieurs et techniciens accompagnent les entreprises en France comme à l'international pour assurer la montée en gamme de leurs produits et la transformation de leurs process au service des besoins industriels mécaniciens et de la politique industrielle française.

La forme du Cetim est celle d'un **Centre Technique Industriel (CTI)**, régi par les articles L521-1 à L521-13 du Code de la Recherche, créé dans toute branche d'activité où l'intérêt général le commande.

Sa création résulte d'une volonté commune de l'État et des industriels de mutualiser des moyens pour pallier l'incapacité de la plupart des entreprises mécaniciennes de mener des actions de recherche-développement. En remédiant à cette défaillance de marché, le Cetim contribue à la croissance, à l'emploi et au dynamisme économique des territoires.

« Le Cetim a une place unique entre le monde industriel et le monde universitaire. Son rôle est de faire progresser la mécanique par l'innovation. »

Carole Gratzmuller,
Présidente du Cetim

Centre de référence de 17 professions mécaniciennes, le Cetim est le dépositaire des savoir-faire mécaniciens qu'il actualise en permanence. Il projette le tissu mécanicien dans une économie de la connaissance qui se structure partout sur une base mondiale. Concrètement, le Cetim définit ses travaux de R&D avec les professions, les réalise ou les fait réaliser et en transfère le résultat aux entreprises mécaniciennes, composées à 95 % de PMI.

Sa mission est double :

- Conduire les travaux permettant de rendre les avancées de la recherche fondamentale accessibles à l'industrie et développer les fondamentaux et les briques technologiques capacitantes du monde mécanicien ;
- Transférer les connaissances et savoir-faire technologiques en les adaptant aux entreprises dans la durée, pour leur permettre la montée en gamme de leur outil de production et de leurs produits et services.

Le Cetim est ancré dans tous les territoires mais il est aussi projeté à l'international comme l'industrie qu'il sert. Il dispose de plateformes d'essai et d'appropriation emblématiques. Il est un acteur privilégié au service des entreprises comme de l'État pour travailler au réarmement industriel avec les régions et les chefs de file des grandes filières.

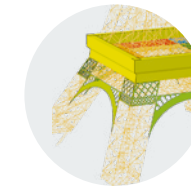
Le Cetim est également **institut Carnot depuis 2006**, label qui lui a été octroyé quatre fois consécutivement par le ministère de la Recherche, qui reconnaît ainsi sa capacité à réaliser des travaux de R&D avec et pour les industriels.

Sûreté, santé, spatial, et tant d'autres... depuis 60 ans, quelques contributions emblématiques du Cetim



1985
1^{er} prototype de cœur artificiel au monde

À la demande du Pr Carpentier, le Cetim a réalisé en 1985 le premier prototype essayé sur l'animal. La première implantation chez l'homme a été effectuée en 2015.



2015-2019
Sécurisation de la Tour Eiffel

Assurer la pérennité de la tour Eiffel, via un modèle dynamique de l'édifice simulant le comportement de la structure (effet du vent, de la neige, des visiteurs, etc.) en intégrant l'état de ses 11 700 tonnes de métal, peinture et rivets compris.



2021-2022
Étanchéité du rover Persévérance et analyse in situ du sol martien

Garantir l'étanchéité du laser, « l'œil » du rover Persévérance, et développer la technologie pour l'analyse des sols, dans le cadre d'une recherche partenariale menée dans un cadre Carnot.



LE CETIM EN QUELQUES CHIFFRES

[Données 2023]

70 %
d'ingénieurs, de
docteurs et de
techniciens

+ de
6 000
entreprises
mécaniciennes
ressortissantes

180 M€
de chiffre d'affaires

dont
100 M€
consacrés à la R&D

1100
salariés

bientôt
20 ans
sous label
Carnot
(depuis les origines
en 2006)

17
secteurs
professionnels
couverts

CETIM : MEMBRE DU RÉSEAU DES CARNOT POUR L'INDUSTRIE DU FUTUR

Le Cetim est signataire de la charte « le Réseau des Carnot pour l'Industrie du Futur » qui rassemble, autour d'un projet ambitieux pour notre avenir :

- › le Carnot Cetim ;
- › le Carnot ARTS ;
- › le Carnot CEA-List ;
- › le Carnot CEA-Leti ;
- › le Carnot Chimie Balard Cirimat ;
- › le Carnot Ingénierie@Lyon ;
- › le Carnot Icél ;
- › le Carnot LSI ;
- › le Carnot MEOD ;
- › le Carnot MERS ;
- › le Carnot MICA ;
- › le Carnot M.I.N.E.S ;
- › le Carnot Télécom & Société Numérique.

Pour ce réseau de Carnot, il s'agit de conquérir les secteurs de demain qui assureront à la France la maîtrise industrielle, ses emplois et son rang au niveau mondial et dont « innovation », « relocalisation », « souveraineté », « montée à l'échelle des nouvelles technologies » et « décarbonation » sont les maîtres mots.

Le réseau s'est accordé sur deux grands objectifs impactants :

- › Concerner les actions autour de 3 cibles pour l'industrie française :
 - donner de la valeur à l'outil de production/site d'exploitation et à ses organisations et contribuer à sa décarbonation par l'usage des technologies « industrie du futur » ;
 - concevoir et réaliser des produits innovants, et éco-responsables, intégrant de nouveaux services ;
 - favoriser l'émergence d'une nouvelle offre française de solutions « industrie du futur » en embarquant tous les acteurs de la chaîne de valeur.
- › Concerner les actions autour de 4 grands axes d'innovation inscrits dans la durée :
 - montée en gamme des produits ;
 - système de production industrielle intelligente ;
 - transition environnementale et énergétique des usines ;
 - richesses humaines au centre de l'organisation.



Participer activement à la mise en place des Pôles Universitaires d'Innovation (PUI)

Accélérer l'utilisation des résultats de la recherche par les entreprises est une ambition conjointe des industriels et du gouvernement, qui consacre une partie des moyens de France 2030 à cette accélération, notamment via la mise en place des pôles universitaires d'innovation (PUI). Le modèle du Cetim porte précisément sur la structuration du continuum entre la recherche amont, qu'elle soit réalisée par les grands établissements publics de recherche, les universités ou les Centres techniques eux-mêmes, et l'appropriation des résultats de cette recherche par les entreprises. Institut Carnot, le Cetim a naturellement vocation à participer activement à la mise en place des PUI et à contribuer à ce que leur mise en œuvre pratique produise le meilleur impact économique pour notre pays.

La force d'une gouvernance plurielle qui mobilise de nombreux experts de la filière mécanicienne

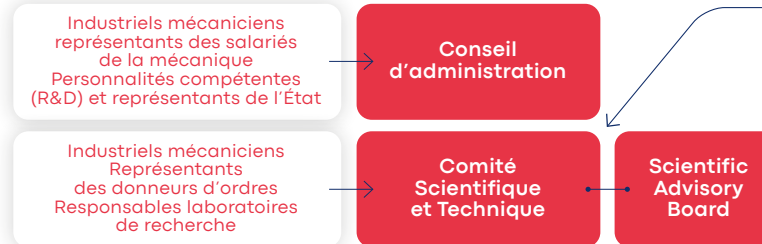
› Les décisions et orientations majeures du Cetim sont soumises au conseil d'administration

L'administration du Cetim est confiée à un conseil d'administration, dont les administrateurs sont des représentants indépendants proposés majoritairement par les organisations professionnelles représentatives des industries mécaniciennes, comptant également des personnalités et représentants de l'État.

Le conseil d'administration du Cetim s'appuie sur le Comité Scientifique et Technique (CST) pour valider la stratégie R&D.

› Pour les choix R&D : le Comité Scientifique et Technique

Le conseil d'administration du Cetim s'appuie sur le Comité Scientifique et Technique (CST) pour valider la stratégie R&D.



PARTIES PRENANTES

2 000 industriels participent aux PTT/PSS¹
Filière usinage
Équipements fluidiques
Engins mobiles et installations
Machines et process
Tôles minces et fils
Matériaux, transformations et traitements

Comités programmes et commissions sectorielles

› Pour prioriser et veiller à la meilleure complémentarité des travaux de recherche : les Commissions sectorielles et les Comités programmes

Les Commissions Sectorielles réunissent des industriels et des représentants de l'organisation professionnelle des secteurs concernés. Ces commissions se prononcent sur les études sectorielles à mener par le Cetim. En lien avec les Comités programmes, ils recherchent la meilleure complémentarité possible entre les études sectorielles pour rationaliser l'ensemble.

¹ Projets thématiques transversaux (PTT) et projets stratégiques sectoriels (PSS), voir page 25.

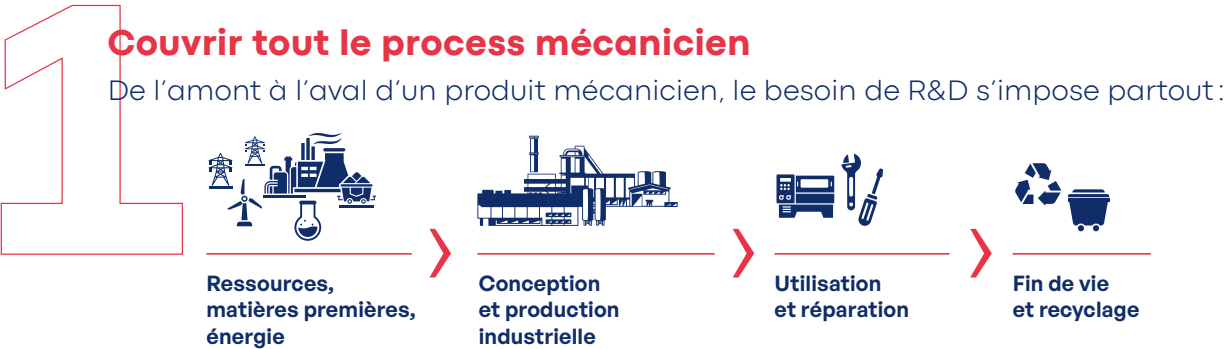
› Pour veiller sur la qualité des travaux de recherche : le Scientific Advisory Board

Pour renforcer le suivi scientifique de ses travaux, le Cetim a mis en place sous l'égide de son Comité Scientifique et Technique un « Scientific Advisory Board ». Il est chargé de donner un avis sur la qualité des travaux de R&D amont.

Une priorité : répondre aux enjeux nouveaux du monde mécanicien

Convaincu que l'industrie mécanique porte en elle une partie des solutions aux grands défis qui nous font face, l'ambition du Cetim est claire : faire émerger une industrie mécanicienne toujours plus souveraine, positive et durable, capable de se saisir des dernières innovations pour répondre aux enjeux nouveaux du monde socio-économique.

Pour cela, l'activité de recherche du Cetim porte sur tous les niveaux et toutes les dimensions de l'écosystème mécanicien. Ainsi, les axes stratégiques de R&D du Cetim sont pensés pour :



Prendre en compte les préoccupations liées aux quatre composantes de l'industrie mécanique



Fabricants de machines de production et d'équipements mécaniques :

- Éco-conception ;
- Jumeau numérique des machines ;
- Électrification ;
- Hydrogène ;
- Transformation des machines via le 4.0 ;
- ...



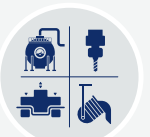
Fabricants de composants et sous-ensembles :

- Empreinte carbone ;
- IA et ses usages ;
- Efficacité énergétique ;
- Nouvelles technologies dans les procédés de fabrication ;
- ...



Fabricants de produits de grande consommation :

- Substances et impact ;
- Alimentarité ;
- Traçabilité ;
- ...



Fabricants de pièces mécaniques issues d'opération de fonderie, forge, usinage, formage, traitement de surface... :

- Automatisation et robotisation ;
- Impact de la réglementation sur les métiers ;
- Transition numérique ;
- ...

Prendre en compte les enjeux exprimés par les différents marchés clients de la mécanique

3

Parmi lesquels :



Aéronautique

- Avion vert ;
- Carburants alternatifs ;
- Procédés de fabrication innovants ;
- ...



Automobile

- Véhicule électrique et sa chaîne de valeur ;
- Réglementations environnementales ;
- Groupe motopropulseurs électriques (E-GMP) ;
- ...



Mines et métallurgie

- Électrification des procédés ;
- Capture, utilisation et stockage de carbone (CCUS) ;
- ...



Nouveaux systèmes énergétiques

- Hydrogène renouvelable ;
- Mix énergétique ;
- Rendement ;
- ...



Nucléaire

- Extension de la durée de vie ;
- Nouveau parc ;
- Sûreté ;
- ...



Solutions Industrie du futur

- Machines intelligentes ;
- Jumeau numérique ;
- Fabrication additive ;
- ...

Alimenter le besoin en innovation des différents services et collaborateurs de l'entreprise



Direction

- Diversification et nouveaux marchés de la transition énergétique & environnementale ;
- RSE ;
- Transformation numérique et supervision par la donnée ;
- ...



Service QSE

- Numérisation et automatisation du contrôle ;
- Surveillance des équipements et composants ;
- Optimisation énergétique des process ;
- ...



Services R&D, prototypage, BE et méthodes

- Choix et mise en œuvre des matériaux et procédés ;
- Accélération et fiabilisation des cycles de conception & validation ;
- Éco-conception et conception low-tech ;
- ...



Production

- Chaînage numérique des procédés ;
- Assistance physique et cognitive des opérateurs ;
- Interopérabilité des machines ;
- ...



Commerce et exploitation

- Économie de la fonctionnalité ;
- Maintenance prédictive ;
- Impact dans des environnements variables (H₂, Pression, t°...);
- ...

De l'usine de production à l'exploitation des produits, les services sont tous concernés par le besoin d'innover. Quelques exemples :

4

L'écosystème de recherche du Cetim et son impact

Le Cetim dispose de partenariats académiques et technologiques d'excellence en France comme à l'international : **10 laboratoires communs** / **7 plateformes technologiques** / **une fondation** pour explorer la recherche amont par des projets à haut niveau scientifique / **un réseau agile de partenaires scientifiques et technologiques** (ONERA, CEA, Alliance des Carnot pour l'Industrie du Futur...). Enfin, le Cetim est impliqué dans l'**Association Française de Mécanique** (AFM) depuis sa création. En tout, ce sont plus de 1000 projets de R&D pilotés chaque année par de nombreux experts dotés de moyens techniques dédiés.

Les 7 plateformes technologiques du Cetim

Ces plateformes technologiques constituent des outils collaboratifs au service de l'industrie disposant de moyens expérimentaux et numériques importants.

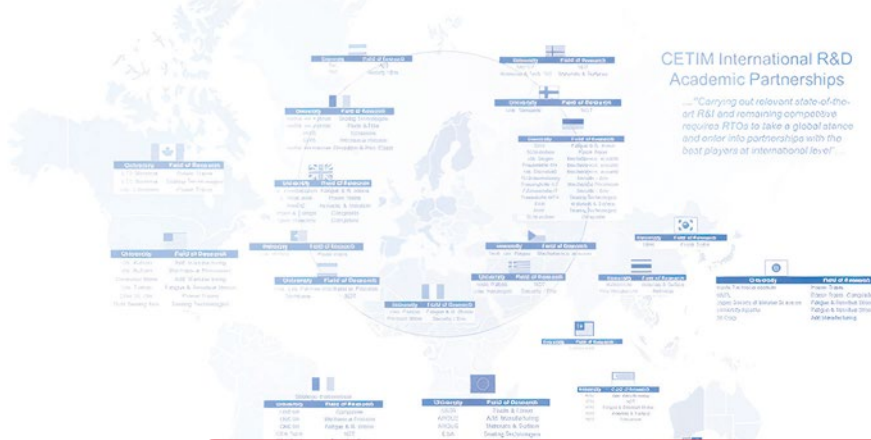


L'écosystème de l'innovation (Club FIM – Start-up)

Les start-up font désormais partie des écosystèmes d'innovation et à ce titre, elles peuvent apporter des solutions innovantes aux industriels de la mécanique. En lien avec la FIM, le Cetim poursuivra ses actions d'identification de start-up d'intérêt pour la communauté mécanicienne et contribuera à permettre leur rencontre avec les industriels mécaniciens dans le cadre du Club FIM – Start-up. Ce sont aujourd'hui près de 300 start-up françaises et européennes qui ont été recensées.

Les partenariats académiques du Cetim à l'international

La mécanique étant fortement exportatrice, sa compétitivité ne peut être abordée que dans une vision pleinement ancrée dans la compétition mondiale. Le plan stratégique du Cetim a été construit autour de cette exigence, pour lui permettre d'apporter aux industriels mécaniciens les meilleurs atouts technologiques dans une économie de la connaissance devenue, elle aussi, mondiale. Le Cetim souhaite renforcer ses partenariats R&D et technologiques à l'échelle internationale en s'appuyant notamment sur ses zones d'implantation et de développement (Europe, Asie, Nord Afrique).



EN TERMES D'IMPACT, AUJOURD'HUI, LA R&D PAR LE CETIM, C'EST :

+ de **7 000 documents** restituant nos travaux sur la **mécathèque**

+ de **100 M€ [par an]** consacrés à la **R&D**

2 000 participants industriels impliqués directement dans nos travaux

+ de **300 publications** (dont 25 de rang A) par an

+ de **50 thèses [par an]** et une **trentaine de projets collaboratifs** (Europe, ANR, Ademe...)

Une stratégie qui s'appuie sur l'ensemble des expertises du monde mécanicien

Pour établir sa stratégie de R&D, le Cetim s'est appuyé sur différentes données d'entrée et a mené une réflexion structurée « en entonnoir » en 6 étapes :



1 Analyse d'une centaine de roadmaps technologiques et feuilles de route prospectives françaises et internationales

Élaborées par des instituts de recherche, organismes publics, associations professionnelles et grands cabinets privés, ces roadmaps se déclinent sur trois niveaux territoriaux :

- › Régional, à travers notamment les feuilles de route des Schémas Régionaux de Développement Économique, d'Innovation et d'Internationalisation (SRDEII) ;
- › National, notamment les contrats de filières du Conseil National de l'Industrie (CNI), les feuilles de route des grands acteurs au service de la R&D et les fédérations professionnelles ;
- › International, avec plusieurs études de type « technologies clés » faites par de grands cabinets, ou des documents de cadrage de la recherche communautaire.

De l'analyse de cette centaine de documents sont sortis 500 briques technologiques ou sujets d'innovation. Après une seconde sélection, ont été choisis 120 sujets, briques technologiques à développer ou briques technologiques existantes mais à intégrer. Parmi ces 120 sujets, 75 ont été jugés comme pouvant avoir un impact fort à moyen terme sur l'industrie mécanique française. Ainsi, catégorisés en cinq domaines adossés à un socle mécanicien, ils concernent :

- la décarbonation et la circularité de la mécanique ;
- les matériaux durables pour la mécanique, sous l'angle de l'élaboration, de la caractérisation et des procédés de transformation et d'économie de l'eau ;
- la transformation numérique de la mécanique ;
- la mécanique dans les nouveaux systèmes énergétiques, y compris nucléaire ;
- la mécanique et la mobilité bas-carbone ;
- l'excellence et l'innovation des fondamentaux mécaniciens.



2 Contribution des experts référents sur les grands enjeux scientifiques

L'une des forces du Cetim est de pouvoir mobiliser l'ensemble de ses experts référents pour qu'ils formalisent leur propre vision des besoins stratégiques de R&D sur les toutes prochaines années. Leur connaissance pointue de l'état de la recherche et de son potentiel pour l'industrie mécanicienne en font une ressource clé pour définir les grands enjeux scientifiques d'aujourd'hui. En l'occurrence, leur analyse a permis au Cetim d'identifier :

- › les expertises scientifiques et technologiques à développer sur les quatre prochaines années au regard des cinq domaines issus de l'analyse de l'étape 1 ;
- › les incontournables mécaniciens à consolider et les inflexions à mettre en œuvre.

3



Prise en compte de la vision des organisations professionnelles

Autre source d'expertise incontournable du monde mécanicien sur laquelle le Cetim s'est appuyé pour définir sa stratégie R&D : les syndicats professionnels et en premier lieu la Fédération des Industries Mécaniques (FIM). Des échanges dédiés aux perspectives de R&D du secteur ont permis d'identifier avec eux les enjeux technologiques d'actualité et à venir.

Les quatre composantes de l'industrie mécanique représentées à travers les commissions professionnelles ont ainsi permis de retenir les principaux sujets technologiques d'intérêt. Au total, quelque 30 sujets ont émergé, parmi lesquels les questions :

- d'économie d'énergie,
- d'intelligence artificielle et de transition numérique,
- de décarbonation de l'industrie,
- de développement de l'hydrogène ou du nucléaire,
- de fiabilisation et de réglementation.

[Retrouver les 4 secteurs de l'industrie mécanique page 10]



4



Prise en compte des grands enjeux de la normalisation

Définir les sujets d'avenir pour l'industrie mécanique exige de réfléchir en amont aux grands enjeux de normalisation pour le secteur. Un travail a donc été mené auprès de l'Union de Normalisation de la Mécanique (UNM) pour prendre en compte les enjeux à l'échelle européenne (CEN) et internationale (ISO).

Les principaux sujets identifiés pour faire l'objet d'études de prénormalisation et/ou de travaux de normalisation avec un pilotage ou une forte implication des experts du Cetim ont été les suivants :

- › Environnement et économie circulaire : études visant à accélérer le déploiement au sein des normes mécaniciennes « produits » des concepts, exigences et méthodes transverses ;
- › Fabrication additive : études visant à poursuivre le déploiement du parc de normes et appui spécifique à la prise de secrétariats CEN et ISO du domaine ;

› Entreprise numérique : études sur des sujets innovants pouvant s'appuyer sur la normalisation pour accélérer leur diffusion et appropriation par les industriels, par exemple : jumeau numérique, simulation numérique, ontologies de domaines, IoT, protocoles de communication entre machines ;

› IA et cybersécurité en lien avec la sécurité des machines : études visant à faciliter l'intégration dans près de 550 normes mécaniciennes des exigences du nouveau Règlement 2023/1230 Machines ;

› Hydrogène : études visant à accélérer l'intégration des exigences liées à l'hydrogène dans les normes mécaniciennes (équipements de production, transport, stockage, distribution) ;

› Soudage et équipements sous pression : études visant à renforcer la capacité d'initiative normative des industriels mécaniciens de la filière nucléaire.



5

Prise en compte des besoins technologiques des filières clientes du CNI

Le Cetim est allé à la rencontre de plusieurs des 19 filières du Conseil National de l'Industrie (CNI) pour identifier leurs besoins technologiques particuliers en tant que « client » du secteur de la mécanique.

Ce travail a permis de consolider les besoins technologiques, notamment auprès des filières :

- › aéronautique ;
- › automobile ;
- › énergies renouvelables (hors nucléaire) ;
- › pétrole et gaz ;
- › nucléaire.

6



Prise en compte des besoins de développement métier de ses Directions d'Activités Stratégiques (DAS).

Le Cetim pilote et entretient une expertise de pointe sur les différents domaines clés pour les industriels du secteur au travers de chacune des trois Directions d'Activités Stratégiques (DAS Performance Des Systèmes [PDS], DAS Matériaux Produits Process [MPP] et DAS Transformation Durable [TD]). Ces DAS ont décliné le plan stratégique du Cetim.

Chacune intègre pour son périmètre de référence, une chaîne de valeur de compétences métiers scientifiques et techniques à consolider et/ou acquérir :

- › fiabiliser la conception ;
- › évaluer les performances des systèmes mécaniciens ;
- › analyser et prévoir le comportement des systèmes mécaniciens ;
- › faire bon usage des matériaux ;

- › adapter les procédés aux besoins sociétaux et la conception aux enjeux mécaniciens et environnementaux ;
- › numériser pour la transformation industrielle durable ;
- › développer la performance industrielle ;
- › accompagner la transition environnementale.

Une stratégie qui s'articule autour de **deux volets**

Issue des travaux en six étapes précédemment décrits, la stratégie R&D du Cetim s'inscrit en cohérence avec son Contrat d'Objectifs et de Performance signé avec la FIM et l'État.

1

+

2

+

3

+

4

+

5

+

6

AXES DE LA STRATÉGIE R&D 2024-2027 DU CETIM

Des inflexions



Des incontournables mécaniciens

pour mettre en place
ou accélérer des dynamiques de R&D



Décarbonation
& économie
de l'eau



Circularité
& matériaux
durables



Transformation
numérique



Systèmes
énergétiques



Mobilité
bas-carbone

pour maintenir dans le temps
ou consolider les connaissances socle



Concevoir,
dimensionner,
optimiser



Fabriquer



Contrôler,
surveiller,
valider

Point par point,
la stratégie R&D du Cetim
de 2024 à 2027



5 inflexions + des incontournables mécaniciens

Accélérer des dynamiques de R&D

Consolider les connaissances



Décarbonation
& économie
de l'eau



Circularité
& matériaux
durables



Transformation
numérique



Systèmes
énergétiques



Mobilité
bas-carbone



Concevoir
dimensionner
optimiser



Fabriquer



Contrôler
surveiller
valider

Maîtrise des énergies
(optimisation, nature)
et adaptation des machines,
des composants
et procédés mécaniciens
au mix énergétique
et à la réutilisation
de l'eau.

Optimisation
des performances
des **systèmes fluidiques**
pour la filière CCUS
(*Carbon Capture,
Utilisation and Storage*).

Ingénierie de surface
et simulation pour
l'optimisation
de la sobriété hydrique
et énergétique
des composants
et équipements
mécaniciens.

Bases de **connaissances**
« matériaux » à des fins
de réduction d'empreinte
environnementale.

Caractérisation de
la **criticité des matériaux**
et substances, recherche
de substitution.

Apport de la **métallurgie**
numérique pour
l'élaboration des nouveaux
matériaux.

Biomimétisme
pour des produits
mécaniciens durables.

Adaptation des procédés
de transformation
aux nouvelles nuances
matière (**matériaux**
recyclés, matériaux
de substitution,
alliages verts...).

Éco-conception,
prolongation de la durée
d'usage des composants
et des systèmes.

Continuité numérique
des procédés
d'élaboration
et de fabrication
mécaniciens.

Contrôle en ligne.

Jumeaux numériques
des composants
et machines intelligentes
(simulation multiphysique,
interopérabilité,
5G, IA générative,
exploitation des données).

Qualification
de la technologie
de **fabrication**
additive métallique
et optimisation/
fonctionnalisation
de la conception.

Approches multi-
physiques et essais
virtualisés pour
la conception.

Comportement
des matériaux
et des systèmes
en environnement
H₂, cryogénique
et sous conditions
sévères.

Prolongation
de la durée de vie
(y/c la réutilisation)
des composants
et équipements
(Instrumentation
et analyse
de la donnée...).

Méthodologies
de caractérisation
et d'optimisation
des performances
des systèmes mécaniciens
au regard des spécificités
de **nouveaux usages**
comme la mobilité
électrique.

Allègement et nouvelles
fonctionnalités
des pièces au travers
de l'optimisation
du triptyque matériau/
produit/process.

Propriétés physiques,
lois de comportement,
connaissance et caracté-
risation des matériaux
métalliques et non
métalliques, mécanique
des systèmes complexes.

Prédiction des performances
via une conception robuste
et sûre : **corrélation**
calculs/essais des produits
et systèmes, chaînage
numérique, dimension-
nement multi-échelles.

Mécanique du contact.

Mécanique hydraulique
et pneumatique.

Mécanique des fluides.

Compréhension
des **comportements**
vibratoires
et acoustiques, réduction
des phénomènes,
analyse des signaux,
dynamique des systèmes
et des structures.

Amélioration
et optimisation
des performances
et de **l'efficacité**
des procédés
de fabrication,
de transformation,
d'assemblage
et de traitement
depuis la conception
des pièces jusqu'à
la maîtrise industrielle
(matériaux métalliques,
composites, fonction-
nalisation et intégrité
de surface,
automatisation...).

Métallurgie
(état solide/état liquide).

Évolutions
réglementaires.

Développement
de méthodologies
et moyens avancés
de **caractérisation**
des matériaux
(métalliques, composites,
verre...), des systèmes
et équipements.

Analyse des
endommagements
(défauts, corrosion,
fatigue...).

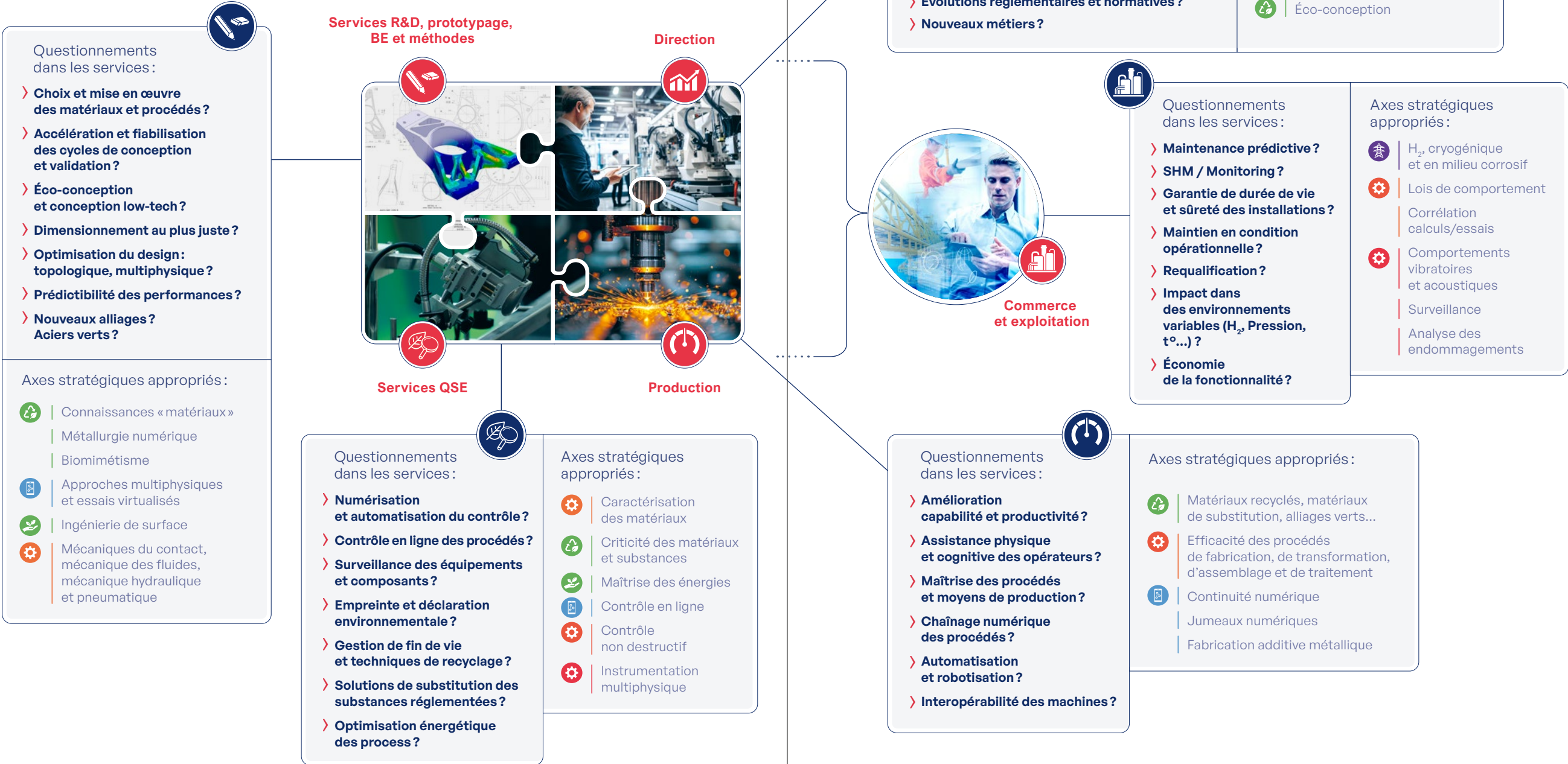
Instrumentation
multiphysique
et métrologie
et traitement
du signal associé.

Surveillance
des composants
et des systèmes
(SHM).

Contrôle
non destructif.

Des réponses aux **préoccupations** les plus concrètes

Ne perdant jamais de vue les préoccupations de terrain, le Cetim veille à ce que chaque axe stratégique couvre les besoins, où qu'ils soient.
En voici quelques exemples :



Pour une transformation accélérée

Seul ou en partenariat avec d'autres acteurs, le Cetim a le pouvoir de proposer des solutions à la mesure de chaque entreprise mécanicienne, **en fonction de sa taille, de son niveau de maturité technologique et de son secteur d'activité**. Cela implique la mise en œuvre d'un continuum fluide d'actions de différentes typologies, de l'amont vers l'aval, au service de la transformation, comportant schématiquement trois grandes composantes.

Du point de vue des industriels de la mécanique

Ce continuum d'actions collectives permet donc aux mécaniciens d'avoir directement accès à :

- › des connaissances, savoir-faire et outils dédiés autour de technologies avancées et/ou des fondamentaux mécaniciens ;
- › des démonstrateurs et plateformes/équipements emblématiques pour l'assimilation et l'aide à la décision ;
- › des moyens technologiques inaccessibles à l'échelle de chaque entreprise pour l'assimilation et l'aide à la décision ;
- › des utilitaires métiers et bases de données pour mieux répondre, par exemple, aux besoins de la réglementation et/ou de consolidation des savoir-faire ;
- › des documents scientifiques/techniques et des experts en appui à la normalisation ;
- › des formations aux évolutions technologiques, numériques en cours et à venir.

UN CONTINUUM D' ACTIONS COLLECTIVES DE R&D ET DE TRANSFERT, DE L'AMONT VERS L'AVAL, AU SERVICE DE LA TRANSFORMATION MÉCANICIENNE

La coopération du Cetim avec des laboratoires académiques pour affiner les connaissances issues des travaux scientifiques et en faire des éléments transférables aux industriels.

Les actions sectorielles, qui apportent aux métiers les connaissances, outils et méthodes élaborés en amont. C'est le domaine d'application des projets thématiques transversaux (PTT¹) et des projets stratégiques sectoriels (PSS²) du Cetim.

Principaux partenaires de recherche



Produire de la connaissance

- Via
- De la veille
 - De la recherche exploratoire
 - Les fondamentaux mécaniciens
- En s'appuyant sur 10 laboratoires communs.

- › Se ressourcer dans une économie de la connaissance mondiale
- › Poursuivre le progrès incrémental

Adapter et partager la connaissance

- Via
- Des utilitaires métiers et des documents technologiques
 - Des bases de données
 - Des démonstrateurs
- En s'appuyant sur nos projets transversaux (PTT¹) et sectoriels (PSS²).

- › Assimiler et dérisquer les innovations
- › Animer les communautés technologiques (RD-LinkIM)

Faire émerger des standards³ dont l'industrie mécanicienne a besoin

- Avec
- UNM
 - CEN - ISO
- En s'appuyant sur les 300 experts Cetim présents dans les instances de normalisation.

- › Pour accompagner l'innovation et la création d'un cadre de confiance indispensable au marché

Concrétiser la transformation

- Via
- La R&D partenariale
 - L'appropriation de nouvelles technologies
 - La formation
- Et notre réseau de centres, laboratoires, plateformes et démonstrateurs.

- › Transformer le plus grand nombre d'entreprises
- › Faire émerger des champions nationaux

Les étapes d'appropriation pour transformer les industries et accompagner les entreprises disposant du meilleur niveau de maturité, avec ces trois grands outils que sont :

- les plateformes Quatrium ;
- la recherche contractuelle de type Carnot ;
- la normalisation, en lien avec l'UNM, important vecteur de transfert et de compétitivité.



bpi france

¹ PTT : Projets Thématiques Transversaux
² PSS : Projets Stratégiques Sectoriels
³ Terme anglais recouvrant les normes techniques, utilisé dans toutes les enceintes européennes et internationales compétentes



Les actions collectives pour la diffusion des connaissances

Le parti pris du Cetim pour une transformation effective de l'industrie mécanique française est de construire un large continuum d'actions collectives. Celui-ci propose aux industriels un ensemble de **prestations de recherche, de développement, d'innovation, de diffusion des connaissances et de technologies** allant d'informations générales jusqu'à des prestations sur mesure pour chaque industriel.

Du plus général au plus spécifique, le partage ou le transfert de l'information technologique s'effectue ainsi au travers :

- › de la Mécathèque (bibliothèque numérique du mécanicien) ;
- › des journées techniques, des congrès ;
- › du déploiement d'une rubrique mon compte sur le site Cetim, accessible à tous les ressortissants ;
- › de l'accompagnement des PMI vers l'industrie du futur, incluant l'appropriation des technologies 4.0, suivant plusieurs modalités :
- 30 parcours utilisateurs pour une meilleure appropriation des résultats des actions collectives autour des thématiques des PTT/PSS à travers la plateforme collaborative RD-LinkIM ;
- la mise en œuvre de démarches de sensibilisation, diagnostic, accompagnement à la mise en œuvre d'au moins une brique du référentiel de l'Industrie du futur sur les plateformes Quatrium ;
- la formation, des prestations marchandes.

La communauté des PPT/PSS à travers la plateforme RD-LinkIM

Près de 2000 industriels suivent les projets PTT/PSS, démontrant l'intérêt des sujets et l'attractivité des modalités de réalisation. La présence des industriels est en effet essentielle pour assurer la vitalité de l'action collective.

Pour renforcer l'appropriation de ces résultats collectifs, la participation aux projets PTT/PSS s'effectue directement sur une plateforme en ligne dédiée nommée RD-LinkIM (« IM » pour « Industrie Mécanique ») qui permet à chaque participant d'intégrer des communautés. Concrètement, RD-LinkIM permet simplement pour tout industriel qui s'y connecte :

- › d'accéder à toutes les informations incontournables sur une thématique (technologies innovantes, performances et expérimentations, événements, nouveaux produits/services ou acteurs du domaine...) ;
- › de bénéficier d'un espace fermé, réservé aux ressortissants du Cetim, pour échanger en toute confiance sur une problématique industrielle.

L'enjeu de la massification

Chaque année, le Cetim touche plus de

60 % des entreprises ressortissantes (70 % sur deux années glissantes). À titre d'exemple, on peut noter plusieurs dizaines de milliers de téléchargements sur la mécathèque,



5 000 stagiaires et près de

4 000 entreprises accompagnées chaque année.

Au travers des 6 000 entreprises ressortissantes, c'est environ

150 000 collaborateurs que le Cetim doit pouvoir toucher grâce à ses actions de transfert.



ZOOM

L'importance des projets de R&D sectoriels et transversaux pour les industriels de la mécanique

Les projets thématiques transversaux (PTT) et les projets stratégiques sectoriels (PSS)

Sur la base de la revue des besoins sectoriels, sont identifiés en continu une trentaine de sujets d'ampleur répondant à :

- › des centres d'intérêt partagés entre plusieurs professions (CND, acoustique...), pour lesquels sont initiés des projets transversaux thématiques (PTT) ;
- › des enjeux technologiques sectoriels stratégiques (servo presse...) pour lesquels sont initiés des projets stratégiques sectoriels (PSS).

Ces sujets donnent lieu à l'établissement de programmes structurés et cohérents, visant à éviter la fragmentation des études par profession et la dispersion des ressources. Les PTT et PSS permettent ainsi la concentration de moyens autour d'un portefeuille conséquent de projets (typiquement d'une durée de 24 à 36 mois), articulés par axes, avec un budget, des livrables et des jalons associés. Ce portefeuille est renouvelé en gardant le principe d'amplifier la synergie entre les études sectorielles et les grands projets structurants du Cetim et de la FIM.

UNM

› **La normalisation avec l'UNM pour la compétitivité mécanicienne en France comme à l'international (CEN - ISO)**

La normalisation, qui s'effectue à l'échelle internationale, est reconnue par la FIM comme un élément clé pour la compétitivité des entreprises. En ce sens, elle attend du Cetim un appui important, notamment sur les points suivants :

- › assurer le financement des participations des entreprises mécaniciennes ;
- › accompagner les industriels mécaniciens par la présence de ses experts, au niveau français, européen et international ;
- › réaliser des études techniques de prénormatation.



QUATRIUM
Réseau d'accélération

› **Les plateformes Quatrium du Cetim**

Afin de démultiplier l'impact de l'action collective, les plateformes d'accélération Quatrium du Cetim¹ sont le point d'entrée des PMI pour un accompagnement individualisé des industriels dans leur transformation vers l'industrie du futur et de leur transition écologique et énergétique. Il s'agit d'un accompagnement dit « jusqu'au dernier kilomètre ».

Dans ce parcours, le Cetim fait appel à l'ensemble de ses moyens technologiques et de production pour proposer à l'industriel, en fonction de ses attentes et des caractéristiques propres à son entreprise, les points de transformation qui paraissent les plus pertinents.

Dans la phase de conseil qui lui fait suite, le Cetim accompagne l'industriel dans la conception, la préparation et la mise en œuvre de la transformation, en l'aidant à identifier puis à organiser ses contacts avec les offreurs de solutions et enfin à limiter les risques de son investissement. Les étapes clés de cette phase sont le diagnostic spécialisé, le plan d'actions, le choix des solutions et l'industrialisation, qui s'accompagne le plus souvent d'un volet formation des équipes de l'entreprise.

¹ Co-financées par l'État et les collectivités territoriales dans plusieurs régions.

Les actions collectives du Cetim : l'exemple de la **fabrication additive**

Quel que soit le degré de maturité d'une entreprise industrielle sur une question relevant de la mécanique, l'articulation des actions collectives du Cetim lui permet de trouver des réponses à la mesure de ses préoccupations, de la faire monter en compétence et de faciliter ainsi les prises de décisions sur son propre processus de transformation.

« Je souhaite me familiariser
et me faire une idée »



Atouts Cetim

J'accède à des retours d'expérience d'industriels.

Outils à disposition

- › Vaste bibliothèque numérique
- › Groupes de travail thématiques avec résultats partagés
- › Démonstrateurs



« Je souhaite bénéficier
d'une aide technologique »



Atouts Cetim

Je fabrique un de mes produits avec l'aide des experts.

J'ai un accompagnement personnalisé pour structurer mon projet.

Outils à disposition

- › Moyens mutualisés et conseillers en fabrication additive
- › Programmes dédiés sur certaines filières (défense, énergie)
- › Experts de la transformation industrielle



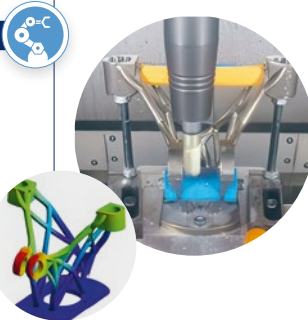
« Je souhaite déployer
la solution dans mes ateliers »

Atouts Cetim

Le Cetim m'aide à sécuriser les différentes étapes de mon projet.

Outils à disposition

- › Experts et équipements pour définir les paramètres d'intégration
- › Mise en situation avec les fournisseurs de machines et de matière
- › Formation



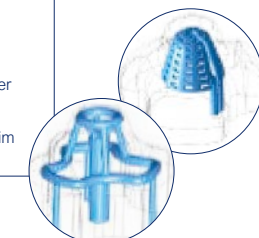
« Je souhaite innover sur
mes produits pour devenir leader »

Atouts Cetim

J'accède à un écosystème d'innovation.
Je participe aux travaux de standardisation* qui me concernent.

Outils à disposition

- › Mise en relation avec des start-up mécaniciennes
- › Contrat de recherche avec le Carnot Cetim ou d'autres Carnot pour m'aider à innover
- › Accès aux travaux de pré-standardisation* du Cetim



* Terme renvoyant à la préparation de standards, c'est-à-dire de normes techniques, dans les enceintes européennes et internationales compétentes

PAROLES D'INDUSTRIELS

La fabrication additive dans le cadre de projets thématiques transversaux (PTT)



« Nous avons eu l'opportunité, dans le cadre d'un PTT, d'étudier la possibilité de concevoir par fabrication additive une pièce habituellement produite en série par usinage. L'idée était de voir s'il était possible de la valider avec les nouvelles technologies. Des phases de conception et de simulation aux tests de résistance des pièces ainsi produites par fabrication additive (pression maximum et pression cyclique), les experts du Cetim nous ont accompagnés, et ce, jusqu'à l'analyse économique pour comparer les données de ces deux procédés. Cela nous a permis de nous positionner par rapport à ces nouvelles technologies en plein développement. »

« Dans le cadre d'un PTT, nous avons apporté un cas concret assez complexe. Il s'agissait d'une petite pièce utilisée dans l'aérospatiale. Nous avons eu une très bonne collaboration avec les ingénieurs du Cetim qui ont vite compris l'utilité et les spécificités de cette pièce. Ils ont travaillé sur sa réalisation par fabrication additive métallique jusqu'à en atteindre les limites technologiques. Nous avons ainsi beaucoup avancé sur la compréhension des possibilités et la maîtrise géométrique à acquérir par rapport à notre application. »



À propos de la plateforme Printing Bourges



« Sans Printing Bourges, le ticket d'entrée unitaire par machine est tellement élevé et qui plus est, sur un marché pas encore suffisamment mature, que je n'aurais jamais pu envisager de me positionner sur la fabrication de pièces en série par fabrication additive. Grâce à ce consortium, cela devient possible. »

« Nous sommes aujourd'hui au démarrage d'une fabrication additive industrielle. Nous sommes en train de réfléchir avec les personnes du Cetim, mais aussi avec les donneurs d'ordres avec lesquels nous travaillons, à fabriquer des pièces pour des programmes qui, dans 5 à 10 ans seront complètement matures. »



N° 2406-02

Directeur de publication : Daniel Richet

Coordination : Hélène Determe

Conception graphique : Yann Brand/Æ

et Nicolas Pleutret pour Æ

Relecture et correction orthotypographique :

Valérie Willié pour Æ

Crédits photographiques :

Cetim, AdobeStock, Agence Sister,
Fotolia, tous droits réservés.

Achevé d'imprimer en décembre 2024

sur les presses de l'Imprimerie Moderne,
Pont-à-Mousson

Papier :

Fedrigoni Arena Natural Rough

200 g. pour la couverture

et 140 g pour les pages intérieures.

Papier certifié FSC, sans acide,

sans métaux lourds et sans chlore élémentaire,

encres végétales non polluantes.





Le Cetim est labellisé Carnot, membre du réseau CTI

Co-fondateur de



Mecallians est la bannière commune des Industries Mécaniques, créée à l'initiative de la FIM, du CETIM, de l'UNM, de SOFITECH et de CEMECA.

CETIM.FR

Centre technique
des industries mécaniques
52, avenue Félix-Louat
CS 80 067 / 60 304 Senlis Cedex

