



2025  
**TPM**

Technologies  
Prioritaires  
en Mécanique



Traçabilité

Blockchain

**Chaînage  
numérique**

**Intelligence artificielle**

Cybersécurité

**Big Data**

Veille stratégique



**Dans un monde en  
constante évolution,  
identifier les technologies  
d'avenir et anticiper  
l'impact d'une technologie  
émergente est essentiel  
pour rester compétitif.**



## **Sommaire**

|   |    |
|---|----|
| Une réponse aux grands enjeux sociétaux _____   | 5  |
| Les Technologies prioritaires en Mécanique,<br>un outil stratégique et évolutif _____ | 6  |
| La méthodologie qui conduit à la sélection des TPM ____                               | 9  |
| Que nous apprennent les TPM _____   | 13 |
| TPM 2025 : les incontournables _____  | 15 |
| Une architecture technologique en 6 briques _____                                     | 17 |

Hydrogène,  
pile à combustible

## Batteries à hautes performances

Procédés propres  
de préparation  
de surface

Interface  
homme-machine

Récupération  
d'énergie

Gestion des connaissances et  
des compétences

Valorisation des déchets

Matériaux et fluides  
biosourcés

Éco-conception

# Une réponse aux grands enjeux sociétaux

Par les solutions qu'elle peut apporter, la mécanique se trouve placée au cœur de la transition écologique et des défis que l'humanité doit relever.

Les TPM contribuent ainsi à identifier des pistes pour répondre à :

**La croissance  
démographique mondiale**

**L'allongement de la durée  
de vie de la population**

**La lutte contre  
le réchauffement climatique**

# Les Technologies Prioritaires en Mécanique, un outil stratégique et évolutif

Mené depuis plus de 20 ans par le Cetim - avec l'appui de la FIM - Technologies Prioritaires en Mécanique (TPM) constitue avant tout un exercice de prospective technologique. Conduit tous les cinq ans, et régulièrement mis à jour, il a pour objectif d'éclairer les entreprises mécaniciennes et leur écosystème (clients, académiques, institutionnels, etc.) sur les technologies importantes à moyen terme et d'alimenter le référentiel de l'Industrie du Futur. 51 technologies ont été identifiées à horizon 2025.

## 1. Un avantage compétitif pour les industriels

TPM 2025 alimente la réflexion stratégique de et dans les entreprises et de leur écosystème. Et ce, pour une amélioration de la compétitivité par un pilotage technologique, pour assurer leur montée en gamme et également pour développer la capacité d'innovation par la combinaison de plusieurs technologies et obtenir la reconnaissance des marchés.

### **Les TPM accompagnent la montée en gamme des entreprises mécaniciennes en leur permettant :**

- de gagner du temps grâce à cette pré-sélection ;
- de s'ouvrir à des technologies qui ne sont pas aujourd'hui au cœur de leur activité ;
- d'estimer l'impact d'une technologie émergente ;
- de confirmer ou d'infirmer leurs choix ;
- de gagner en compétitivité ;
- de pénétrer de nouveaux marchés ;
- d'utiliser l'exercice comme outil d'attractivité.

### **En irriguant l'ensemble de l'éco-système (clients, fournisseurs), elles permettent :**

- d'orienter la montée en compétences dans les filières industrielles autour des technologies de demain ;
- d'informer les Start-Up des attentes des mécaniciens en solutions innovantes pour leur permettre d'identifier des potentiels de développement commercial.

## 2. Une contribution au développement de l'Industrie du Futur

Les TPM s'inscrivent à l'origine, dans l'exercice des « Technologies clés », mené par le ministère en charge de l'Industrie et visant à identifier les technologies stratégiques pour la compétitivité des entreprises françaises à moyen terme. Elles alimentent également « Le Guide des technologies de l'Industrie du Futur » qui décline par enjeu des fiches relatives à des nouvelles technologies, des modes d'organisation ou à des équipements particuliers. L'ensemble de ces macro-briques constitue le référentiel de l'Industrie du Futur.

## 3. Un soutien au tissu productif dans la transition énergétique et environnementale

La préoccupation environnementale constitue l'une des premières priorités technologiques exprimées par les industriels à l'horizon 2025.

De fait, la mécanique doit en permanence accentuer son effort pour fournir des solutions innovantes en la matière pour l'ensemble de l'industrie. Mais les défis en matière de R&D et d'études technologiques sont nombreux.

Dans ce contexte les TPM contribuent à identifier des axes de développement en soutien au tissu productif.

### Confirmer nos choix

**En tant qu'industriel, être impliqué en amont nous permet de découvrir très tôt les tendances technologiques. Cela peut confirmer nos choix initiaux et les axes de développement arrêtés en interne ou, au contraire, nous faire abandonner ce que nous pensions être des pistes sérieuses.**

**Je pense notamment à la fabrication additive. Grâce aux technologies prioritaires, nous nous sommes engagés très tôt dans cette voie, quand on parlait de prototypage rapide, ce qui nous a permis de réaliser dès 2006 un papillon de robinet en fabrication additive.**

**Dans l'exercice 2020-2025, le jumeau numérique nous intéresse particulièrement, de même que le contrôle non destructif et l'Internet des Objets.**

**Pascal Vinzio,**  
*vice-président Technologies  
et Affaires Extérieures de KSB SAS*

## 4. Des clés pour orienter les politiques industrielles, la recherche académique et la formation

En traçant les perspectives d'innovations dans les secteurs de la mécanique, les TPM influencent la stratégie des différents partenaires :

- **les élus et les institutionnels** : pour prendre en compte les technologies innovantes dans leurs politiques publiques et territoriales ;
- **les scientifiques** : pour orienter les travaux de leurs laboratoires vers les besoins de l'industrie ;
- **l'Éducation Nationale et les organismes de formation** : pour ajuster leurs programmes de formation des jeunes aux attentes des entreprises ;
- **les étudiants** : pour choisir des filières adaptées.

## 5. Un socle pour piloter la stratégie technologique du Cetim

Favoriser le développement et la diffusion de technologies qui permettent d'augmenter la compétitivité de l'industrie constitue la mission première du Cetim.

**Les TPM guident les grandes orientations et la roadmap de la recherche & développement du Cetim, en accord avec le Comité scientifique et technique, qu'il s'agisse :**

- de grands projets structurants sur des sujets transversaux d'anticipation technologique, autour de thèmes porteurs d'innovation (fabrication additive, Internet des objets, robotisation, etc.) ;
- de projets permettant de développer des connaissances au sein des différentes briques technologiques, notamment au travers de travaux en amont menés en collaboration avec les laboratoires académiques.

**Les TPM sont une synthèse des différentes technologies émergentes et à fort potentiel. Cette synthèse est mise en perspective avec les attentes et les besoins du secteur de la mécanique : améliorer sa compétitivité et être le moteur de l'industrie dans son ensemble.**

**D'ailleurs cet exercice alimente le référentiel de l'Industrie du Futur, contribuant ainsi à son développement, notamment dans les PME.**

**Vivant, TPM 2025 est mis à jour tous les ans.**

**Par exemple, nous n'avons pas attendu 2020, pour y intégrer l'intelligence artificielle, la réalité augmentée ou la cybersécurité. En ce sens, les TPM montrent combien la mécanique est innovante, contribuant ainsi à sa promotion et à son attractivité.**

**Philippe Lubineau,**  
*directeur de la recherche  
et des programmes du Cetim*



# La méthodologie qui conduit à la sélection des TPM

L'identification des TPM suit une méthodologie précise mise en œuvre par le Cetim et rassemblant de nombreux partenaires.



## Une équipe multidisciplinaire

L'exercice de prospective est piloté par le Cetim avec l'appui d'un groupe de travail représentatif d'industriels mécaniciens, d'académiques, de technologues et de représentants des secteurs clients de la Mécanique.



## Une évaluation multicritère

Le groupe de travail exploite les roadmaps au niveau international ainsi que plus de 240 notes de veille produites chaque année par le Cetim, basées sur les publications scientifiques, les brevets et une cinquantaine de manifestations. Les technologies candidates sont ensuite identifiées et une évaluation multicritère permet d'en sélectionner 51.



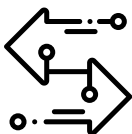
## À chaque technologie, sa fiche

Pour chaque technologie sélectionnée, le Cetim réalise une fiche qui explique son utilité, ses applications, ses perspectives, ses bénéfices, son degré de maturité, etc. Une fiche validée par les experts référents du Cetim et le groupe de travail.

# La technologie prioritaire est définie selon 4 critères :



**son impact sur  
la compétitivité  
des entreprises**



**sa transversalité  
à la mécanique**



**son degré de maturité  
tout en étant  
peu diffusée**



**sa réponse  
aux enjeux de  
la mécanique**

# Chaque technologie retenue évolue dans le temps suivant son degré de maturité et ses applications.

## Deux exemples :

### LA FABRICATION ADDITIVE

Identifiée dans l'édition 2010, elle est déjà présente dans la brique technologique usinage rapide en 2000, sous le vocable prototypage rapide, puis en 2005, sous le terme prototypage et outillages rapides.

### JUMEAU NUMÉRIQUE

Concept apparu au début des années 2000, il a été développé par Michael Grieves de l'Université du Michigan. Si le concept de jumeau numérique n'est donc pas nouveau, les actions de R&D autour de ce sujet ont été accélérées depuis 2016.

Le marché des jumeaux numériques devrait passer de 3,8 milliards de dollars en 2019 à 35,8 milliards de dollars en 2025, avec un taux de croissance annuel moyen de 37,8 %.



**Réduction des  
frottements**

Protection des surfaces

Composites  
thermoplastiques

## **Polymères techniques**

Aciers à très haute performance  
et super-alliages

Métallurgie numérique

Caractérisation  
des matériaux

## **Alliages légers et de titane**

Matériaux fonctionnels

# Que nous apprennent les TPM 2025 ?

L'Industrie du Futur ouvre l'entreprise et la connecte avec ses partenaires, en remplaçant l'être humain au centre de la production. Cela influence les TPM qui entrent dans l'ère de la multidisciplinarité et de l'hybridation.

## L'Industrie du Futur, une réalité

L'Industrie du Futur n'est plus un concept. C'est une réalité ! Le numérique irrigue toute l'activité économique et l'entreprise est réellement étendue. La mécanique migre vers l'économie de service. L'Internet des Objets et l'Intelligence Artificielle sont au cœur des évolutions de ses produits et de ses services. La conception et la fabrication sont intimement liées, le contrôle et la surveillance favorisent l'anticipation et l'agilité.

## L'enjeu de la transition énergétique et environnementale

La transition énergétique et environnementale fait appel à un large panel de technologies, majoritairement reprises dans les briques de l'industrie du futur. Il s'agit de concevoir et d'utiliser des produits, machines, procédés plus propres, en réduisant les rejets dans l'eau, dans l'air, également plus sobres en énergie consommée, et en intrants.

## Une hybridation technologique croissante

Pour réussir son appropriation, la technologie se considère dans plusieurs plans : technique, économique, humain, organisationnel. L'innovation naît de plus en plus d'une combinaison de technologies nécessaires à son intégration. L'hybridation constitue l'une des principales évolutions des TPM, à l'instar de la fabrication additive.

Par exemple, le mariage de la robotique collaborative, du contrôle non destructif et de l'intelligence artificielle débouche sur du contrôle automatisé en ligne. Autre exemple, le renouveau de la technologie des matériaux avec la métallurgie numérique.

## L'être humain au centre du système productif

L'interface homme-machine devient un enjeu majeur de l'Industrie du Futur. Cette discipline s'appuie aussi bien sur les sciences humaines (psychologie, linguistique, sociologie, etc.) que sur les sciences cognitives, la vision ou l'électronique. L'heure est à la pluridisciplinarité : les technologies prioritaires n'ont de sens que si elles sont intégrées par les collaborateurs. Ce qui suppose montée en compétences, appropriation des nouvelles technologies, organisation, etc.

## La mécanique s'ouvre à de nouvelles disciplines

Les sciences du vivant et les neurosciences intéressent la mécanique. Le biomimétisme est utilisé pour trouver des solutions durables, en s'inspirant des modèles et des stratégies de la nature pour les adapter aux technologies. Utilisée dans l'intelligence artificielle, l'analyse sensorielle permet, à l'aide de descripteurs, de définir un point de vue objectif des ressentis, en prenant en compte l'expérience de la personne, de son vécu, son état d'esprit et son environnement.

Robotisation des procédés

## Mise en œuvre des composites thermoplastiques

Machines de production  
intelligentes

Assemblages  
multi-matériaux

Fabrication additive

Usinage assisté

Agilité des systèmes  
de production

Géolocalisation sur sites  
industriels

Soudage par  
friction malaxage (FSW)

Formage avancé des tôles

# TPM 2025 : les incontournables

## DES TPM À NE PAS RATER

Le Cetim a identifié quatre TPM2025 comme particulièrement importantes pour la mécanique :

- la fabrication additive ;
  - les composites thermoplastiques.
- Toutes deux pour leur potentiel d'innovation lié à des démarches de conception de produit ou de procédés
- la réduction des frottements : c'est une réponse attendue pour l'amélioration des rendements énergétiques ;
  - la conception de produits fiables et sûrs pour la mutation des démarches déterministes de conception vers celles probabilistes pilotées par le risque.

## DES TPM À SUIVRE

De la même façon, quatre technologies nouvelles ont été identifiées et paraissent prometteuses et donc à suivre avec attention :

- machines intelligentes de production ;
- hydrogène et piles à combustible ;
- cybersécurité ;
- jumeau numérique.

## Les machines intelligentes

Les machines intelligentes de production concernent les systèmes de production agiles qui comportent une automatisation et une commande du process de plus en plus intégrées et adaptatives. Constitués de modules « plug and produce », ils savent se reconfigurer rapidement pour s'adapter à l'évolution des produits et des productions, ou répondre à une fonction donnée.

## Hydrogène et pile à combustible

Depuis longtemps utilisé dans l'industrie, l'hydrogène est de plus en plus envisagé, en combinaison avec la pile à combustible, comme vecteur énergétique pour la mobilité, l'alimentation énergétique de bâtiments, le stockage d'énergie renouvelable.

Le développement nécessite notamment de réduire les coûts de l'hydrogène produit à partir d'énergies renouvelables, de déployer l'infrastructure de distribution, de sécuriser les procédés de production, transport, et distribution. L'acceptabilité auprès du grand public est également un point critique.

## La réduction des frottements

Les technologies liées à la transition écologique, notamment énergétique, montent en puissance. Parmi elles, celles contribuant à vaincre la résistance due aux frottements, qui représente un tiers de la consommation d'énergie des transports. Elles permettent de réduire la consommation d'énergie et l'usure des pièces, diminuant ainsi les coûts de maintenance et de réparation.

## Cybersécurité

Numérisation des processus et des procédés, automatisation, objets connectés, télétravail... de nouvelles technologies et pratiques s'imposent dans les bureaux et les ateliers et sont autant de failles potentielles de sécurité pour les entreprises ! Pour se protéger de ces risques inédits aujourd'hui et à l'avenir, il est donc essentiel de mettre en place des outils, des méthodes et des politiques de cybersécurité.



**Plateformes  
IoT**

Tomographie

**Réalité augmentée**

Edge Computing

**Actionneurs hybrides  
et intelligents**

Jumeau  
numérique

**Communication  
sans fil**

Maintenance prédictive

**Capteurs autonomes  
et communicants**



# Une architecture technologique en 6 briques

**Matériaux  
et Surfaces**

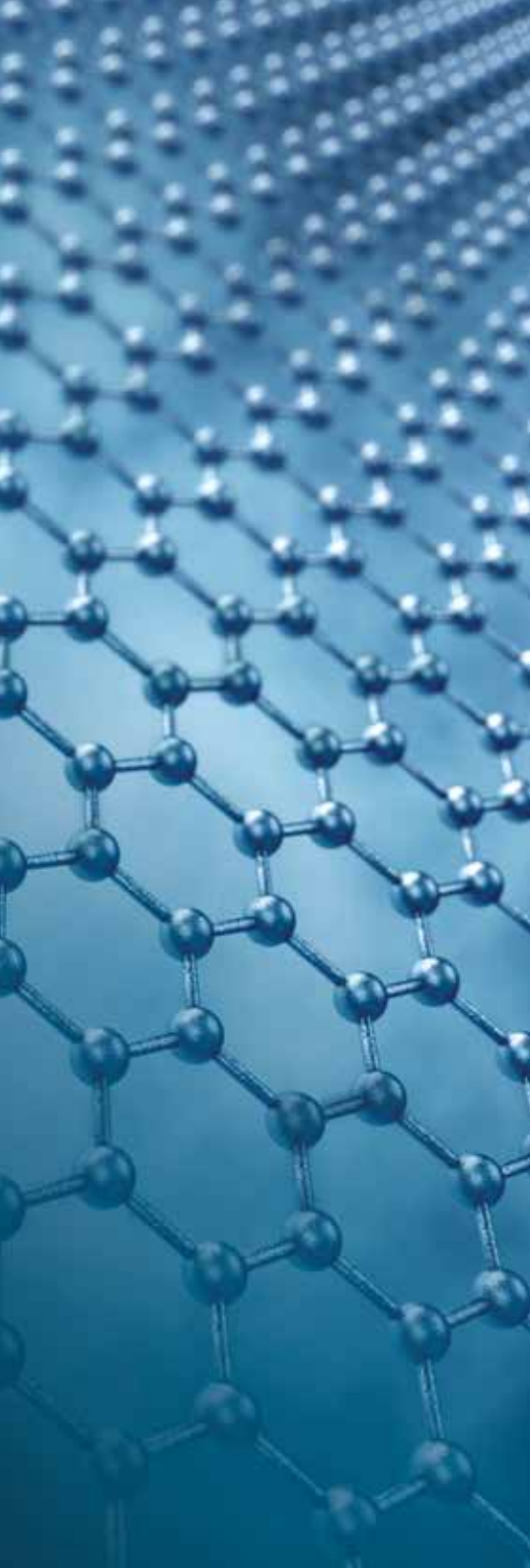
**Procédés de  
fabrication**

**Conception  
Simulation**

**Numérique**

**Objets connectés  
et Surveillance**

**Développement  
Durable**



# Matériaux Surfaces

## Aciers à très haute performance et super-alliages

Les aciers à très hautes performances répondent à des besoins d'amélioration des performances mécaniques, à des spécifications d'allègement et, pour certaines nuances, de sécurité due à la capacité à absorber de l'énergie par déformation, tout en préservant leur facilité de mise en œuvre. Les superalliages sont utilisés pour leur tenue à haute température (fluage et résistances à différentes atmosphères : oxydante, carburante, réductrice...) et/ou leur résistance dans des milieux très agressifs à température ambiante ou plus élevée.

## Alliages légers et de titane

Les alliages d'aluminium, de magnésium et de titane sont des matériaux qui visent à répondre essentiellement à des spécifications d'allègement. Les alliages de titane et d'aluminium répondent en plus à des exigences de tenue mécanique. Le titane apporte aussi une tenue à la corrosion dans des environnements très agressifs, et à la température.

## Composites thermoplastiques

Les composites à matrice thermoplastique (polyamide (PA), polypropylène (PP), polyesters saturés (PET, PBT), polysulfure de phénylène (PPS), polyétheréthercétone (PEEK), etc.) sont utilisés pour fabriquer des pièces de structure plus légères que les pièces métalliques et plus résistantes que les pièces plastiques grâce à leur renfort par des fibres de carbone, de verre ou naturelles. Ils sont soudables et permettent la réalisation de formes complexes et fonctionnalisées. Ces matériaux ont un potentiel de recyclage plus important que les composites thermodurcissables (polyester, époxy, polyuréthane, etc.).

## Réduction des frottements

La tribologie – science des frottements - est la science qui étudie et optimise les phénomènes au contact, pour assurer le meilleur fonctionnement des machines. La tribologie, la lubrification et les revêtements tribologiques visent à réduire la consommation d'énergie et l'usure.

## Protection des surfaces

Technologies permettant, dès la conception, de définir un couple matériau/surface pour une protection durable (anticorrosion, thermique...) et éventuellement des fonctions additionnelles (esthétique, anti-adhérence, hydrophobie...), en réponse aux exigences de plus en plus strictes.

## Polymères techniques

Les polymères dits « techniques » (PA, PTFE, PVDF, PEEK, PEKK, PPS ...) présentent des propriétés mécaniques, thermiques et chimiques supérieures à celles des matériaux standards. Ils sont en mesure de faire face aux environnements extrêmes et complexes, en répondant à des besoins spécifiques de résistance à des sollicitations multiples.

## Métallurgie numérique

Concevoir des alliages métalliques (structures, phases, composition chimique, élaboration, traitements) à l'aide d'outils numériques en fonction de propriétés d'usage voulues.

## Matériaux fonctionnels

Matériaux répondant à un besoin fonctionnel (actionnement, conduction/isolation, antigivre, biocompatibilité, environnement agressif, réponse à un stimulus externe thermique, électrique, magnétique, lumineux, rayure) ou multifonctionnel.

## Caractérisation des matériaux

Les essais et mesures pour déterminer les caractéristiques d'un matériau sont renouvelés par la technologie (Smart Testing, numérique, caméras rapides, mesure au niveau nano) et les besoins (données nécessaires à la simulation, connaissance des lois de comportement, variété des conditions d'usage, personnalisation).



# Procédés de fabrication

## Formage avancé des tôles

Mise en forme de tôles ou de tubes métalliques sous presse par chauffage, ou par déformation incrémentale à froid à l'outil, ou par application localisée de champs électromagnétiques ou d'impulsion électrique dans un fluide, ou par formage massif dans l'épaisseur. Utilisation éventuelle de servo-presses.

## Géolocalisation sur sites industriels

Géolocalisation de moyens de production (machines, outillages, ...), dans un environnement industriel complexe (production, maintenance, ...), pour mieux les gérer et optimiser leur utilisation. S'applique aussi aux personnes dans un contexte de sécurité (localisation en environnement dangereux ou isolé).

## Agilité des systèmes de production (production agile et personnalisée)

Processus par lequel une entreprise apporte à ses clients un produit ou un service personnalisé. Elle met en œuvre les technologies et les méthodes permettant une multitude de variétés de produits afin de répondre rapidement à la demande des consommateurs.

## Soudage par friction malaxage (FSW)

Le soudage par friction-malaxage (ou FSW pour friction-stir welding) est réalisé par la rotation d'un pion qui crée un échauffement permettant le ramollissement de la matière et la création d'un joint soudé après refroidissement. Il est principalement utilisé sur l'aluminium.

## Assemblages multi-matériaux

Technologies adaptées ou spécifiques pour assembler plusieurs matériaux de nature et de caractéristiques mécaniques différentes : vissage, collage, rivetage-collage, soudo-collage, clinchage, surmoulage.

## Machines de production intelligentes

Les systèmes de production agiles comportent une automatisation et une commande du processus de plus en plus intégrées et adaptatives. Constitués de modules « plug and produce », ils se reconfigurent rapidement pour s'adapter à l'évolution des produits et des productions, ou répondre à une fonction donnée.

## Mise en œuvre des composites thermoplastiques

Ensemble de procédés, manuel ou automatisé, discontinu ou continu, d'élaboration et de mise en forme de composites thermoplastiques : thermocompression, thermo-estampage, enroulement filamentaire, placement de fibre, pultrusion, moulage par transfert de résine (RTM : Resin Transfer Moulding), infusion, consolidation in-situ etc.

## Fabrication additive

Cette technologie regroupe une grande variété de procédés: photopolymérisation en cuve (SLA), projection de matière, projection de liant, frittage ou fusion sur lit de poudre (PBF, LBM, EBM), extrusion de matière (FDM), dépôt de matière sous énergie concentrée (DED, DMD, CLAD), stratification de couches. Ils permettent de fabriquer, sans outillage préalable, des pièces fonctionnelles directement à partir d'un modèle CAO, par addition de matière (polymère, métal ou céramique) sous forme de poudres, fils (WAAM) ou plaques, soumis à l'effet d'un rayonnement UV, d'un laser, d'un faisceau d'électrons, d'un arc électrique, d'ultrasons, de frottements (MELD), etc. Cela permet de réaliser des produits de forme complexe à l'unité, en petite ou moyenne série.

## Usinage assisté

Amélioration de l'usinage par une assistance à la coupe, avec technologie cryogénique (air refroidi, air comprimé cryogénique, dioxyde de carbone à l'état gazeux, azote liquide), vibratoire (forage ou perçage vibratoire), ultrasonore, par jet haute pression ou par laser.

## Robotisation des procédés

Utilisation de solutions robotisées pour différents procédés de fabrication en mécanique et l'automatisation des tâches.



# Conception Simulation

## Conception de produits fiables et sûrs

Optimisation de la conception de pièces, composants ou systèmes mécaniques, intégrant l'évaluation de la variabilité des matériaux, des procédés et des usages, afin de garantir une fiabilité de fonctionnement, au vu d'une utilisation donnée, sur une période de temps définie.

## Méthodes innovantes de conception

Mise en oeuvre de méthodes collaboratives et participatives (open innovation, crowd innovation), de méthodes de résolution créative (lean innovation, créativité) ou de méthodes de conception biomimétique (s'inspirer de solutions du vivant) pour concevoir des solutions innovantes.

Certaines de ces méthodes nécessitent de s'appuyer sur des ressources externes (plateforme collaborative d'innovation, Fab-Lab, open lab, designer ...).

## Optimisation numérique

Combinaison de techniques mathématiques et algorithmiques d'optimisation et de simulation pour déterminer la solution la plus adaptée à une situation donnée : meilleure configuration des machines pour l'ordonnement de la production, meilleure gestion de la main d'œuvre, optimisation de la fabrication d'un moteur... Plusieurs approches d'optimisation sont possibles : méthodes de Monte Carlo, méthodes des plans d'expériences...

## Essais et qualification virtuels

Apport du numérique à l'ingénierie d'essais : préparation des essais par la modélisation et la simulation, réduction des essais physiques grâce à la simulation (virtual testing), qualification virtuelle (homologation virtuelle).

## Réalité virtuelle

La réalité virtuelle (RV) est un scénario généré par ordinateur qui simule des expériences par les sens et la perception. Elle génère des ambiances immersives supportant une interaction intuitive avec l'homme et plus ou moins en temps réel.

## Modélisation et simulation des procédés

Outils logiciels permettant de modéliser des procédés complexes de fabrication (fabrication additive, forgeage, soudage) par la prise en compte des phénomènes multiphysiques mis en œuvre. Les simulations numériques ainsi réalisées permettent d'anticiper les contraintes résiduelles et les déformations, et donc d'optimiser les procédés.

## Simulation multi-échelle

Technique qui consiste à simuler un phénomène à différentes échelles en utilisant plusieurs modèles de tailles et de finesses différentes. On distingue généralement 3 niveaux d'échelle : macroscopique (à l'échelle de la pièce), mésoscopique (taille intermédiaire), microscopique (dans l'intimité de la matière). Les problèmes multi-échelles peuvent être spatiaux, temporels ou les deux. La combinaison de ces simulations multi-échelles permet de trouver un compromis entre précision et faisabilité.



# Numérique

## Blockchain

La Blockchain est une technologie de stockage et de transmission d'informations, transparente, sécurisée, et fonctionnant sans organe central de contrôle. Elle forme une base de données contenant l'historique de tous les échanges entre ses utilisateurs depuis sa création, base de données sécurisée et partagée, sans intermédiaire, ce qui leur permet de vérifier sa validité.

## Intelligence artificielle

Consiste à réaliser, par une machine ou un robot, une tâche ou une série de tâches que l'intelligence humaine est capable de faire, et qui demande un apprentissage à partir de l'analyse des données fournies à l'IA (machine learning ou deep learning par exemple).

## Traçabilité

Techniques, incluant ou non des identifications électroniques, permettant d'authentifier l'information et/ou d'assurer la traçabilité d'un produit. Elles contribuent à l'amélioration de la qualité et de la sécurité d'utilisation, tout en prévenant la contrefaçon.



## Chaînage numérique

Capacité à disposer de l'ensemble des informations numériques sur un produit ou un système tout au long de son cycle de vie et à les chaîner de manière homogène.

## Cybersécurité

Mettre en place l'organisation, les méthodes et les outils pour garantir la sécurité des données et de leurs échanges, dans un contexte où les pratiques des entreprises évoluent : nomadisme, Cloud, Saas, objets connectés, utilisation de matériels personnels...

## Big Data

Nouveaux moyens technologiques et organisationnels pour analyser à grande vitesse et exploiter de grands volumes de données hétérogènes, issus d'objets connectés, de données de calcul ... Ces « données en masse » (Big Data) sont stockées en général dans des espaces de très grande capacité situés dans le cloud.

## Veille stratégique

Méthodes, outils et organisation pour s'informer, surveiller les évolutions (technologiques, concurrentielles, réglementaires, ...) de l'environnement de l'entreprise, et permettre d'anticiper et/ou de prendre des décisions stratégiques.



# Objets connectés et Surveillance

## Edge Computing

Traitement des données en périphérie du réseau directement où elles sont générées. Le Edge Computing peut être considéré comme un réseau maillé de Micro Data Centers qui traitent ou stockent les données critiques localement. C'est une technologie complémentaire au cloud computing.

## Plateformes IoT

Une plateforme IoT (Internet des Objets) récupère et traite les flux de données issus des capteurs des objets connectés, gère les différents périphériques et protocoles de communication, et permet de créer de nouvelles applications à valeur ajoutée pour les entreprises.

## Jumeau numérique

Le jumeau numérique (digital twin) est un modèle dynamique et connecté de simulation, qui évolue en temps réel grâce aux informations captées sur l'objet (composant, produit, machine, usine ...). Il permet de diagnostiquer et d'analyser le produit ou le process en permanence et dans les conditions réelles d'exploitation, et ainsi d'optimiser son fonctionnement et sa maintenance.

## Tomographie

La tomographie industrielle, principalement par rayons X, est une technologie de contrôle non destructif permettant l'analyse de pièces : détection de défauts (santé matière, porosités, fissures non débouchantes, ...) ou contrôle dimensionnel (notamment dimensions des parties cachées et/ou inaccessibles). Elle permet également d'obtenir un modèle 3D de pièce, notamment les zones inaccessibles par les moyens habituels de numérisation 3D.

## Réalité augmentée

Superposition d'informations sous format numérique, en 3D, à l'environnement réel, permettant un fonctionnement interactif en temps réel et donc une aide aux opérateurs.

## Maintenance prédictive

Processus de suivi de la performance des composants essentiels de machines afin d'optimiser de manière prévisionnelle les phases de maintenance nécessaires à leur utilisation, en termes de planification, de durée et de coût. Les technologies numériques actuelles issues de l'Industrie 4.0 permettent d'étendre ce processus à une démarche proactive globale de conception, de gestion de l'exploitation et d'optimisation de la durée de vie.

## Communication sans fil

La communication sans fil regroupe différentes technologies, adaptées en fonction de la distance entre les objets communicants (composants, machines, unité centrale), du débit d'information, de la quantité d'énergie disponible, de la sécurité : WiFi, Li-Fi, Zigbee, Wimax, LoRa, Sigfox, 4G et 5G, etc.

## Actionneurs hybrides et intelligents

Ces dispositifs réalisent un actionnement physique optimisé à partir d'un mix d'énergies (électrique, hydraulique, pneumatique, mécanique...) et d'informations (lois et modèles de commande, capteurs, quantité de mouvement ou travail disponible).

## Capteurs autonomes et communicants

Les capteurs autonomes s'auto-alimentent en récoltant l'énergie disponible dans l'environnement (énergie solaire, vibratoire, thermique) ou disposent d'une batterie. Ils sont caractérisés par une faible consommation. Communicants, ils transmettent sans fil les informations, entre eux ou vers une unité de traitement.

# Développement Durable

## Hydrogène, pile à combustible

L'hydrogène ( $H_2$ ) est largement et depuis longtemps utilisé dans l'industrie notamment pour la désulfuration de carburants pétroliers et la synthèse d'ammoniac. Il est de plus en plus envisagé, en combinaison avec la pile à combustible, comme vecteur énergétique pour la mobilité, l'alimentation énergétique de bâtiments, le stockage d'énergie renouvelable...

## Batteries à hautes performances

Batterie à hautes performances (densité énergétique, durée de vie, charge rapide...) moins coûteuse, plus sûre, plus fiable, et à plus faible empreinte environnementale.

## Récupération d'énergie

Technologies de récupération d'énergie sur des machines et équipements (récupération de la chaleur fatale, ...) contribuant à réduire la consommation d'énergie d'un site industriel.



## Procédés propres de préparation de surface

Procédés de préparation de surface, de nettoyage ou de dégraissage, et de dépoudrage (en cas de fabrication additive) apportant les caractéristiques attendues, tout en réduisant l'impact environnemental et permettant de satisfaire les exigences réglementaires.

## Interface homme-machine

Ensemble des dispositifs matériels (ergonomie) et logiciels (ergonomie cognitive) permettant à un utilisateur humain d'interagir efficacement avec un produit ou un équipement. Les aspects de robotique collaborative / cobotique sont également intégrés.

## Gestion des connaissances et des compétences

Identifier, formaliser, mettre à disposition et faire vivre les connaissances, savoir-faire et compétences critiques pour l'entreprise. Cette démarche peut notamment s'appuyer sur les technologies numériques des nouveaux modes de formation (Mooc, e-learning, webinar, etc.) et les Réseaux Sociaux d'Entreprise.

## Valorisation des déchets

Ensemble de procédés de traitement des déchets comprenant le réemploi, le recyclage ou toute autre action visant à obtenir des matériaux réutilisables ou de l'énergie.

## Éco-conception

Prendre en compte, dès la phase de conception d'un produit, d'un procédé, ou d'un site de production, son impact environnemental tout au long du cycle de vie, tout en préservant ou améliorant la qualité d'usage et les performances.

## Matériaux et fluides biosourcés

Matériaux et fluides issus de la biomasse caractérisés par leur teneur biosourcée, conformes aux exigences réglementaires, ayant un impact environnemental et énergétique faible.

A man with black hair and glasses, wearing a blue button-down shirt, is looking down at a tablet device. He is interacting with a digital interface that displays a futuristic cityscape with glowing blue buildings. The background is a dark, blurred office or control room with several computer monitors.

Conception de produits  
fiables et sûrs

Essais et  
qualification  
virtuels

Modélisation  
et simulation  
des procédés

Optimisation  
numérique

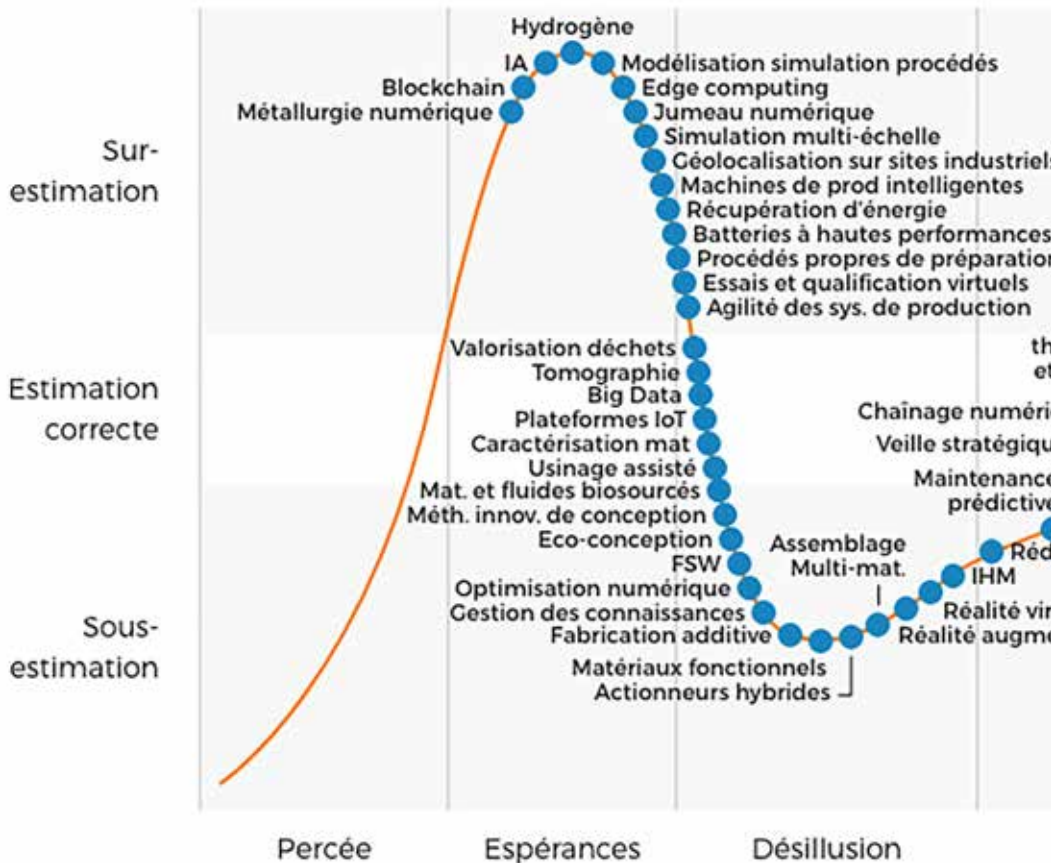
Réalité  
virtuelle

Simulation  
multi-échelle

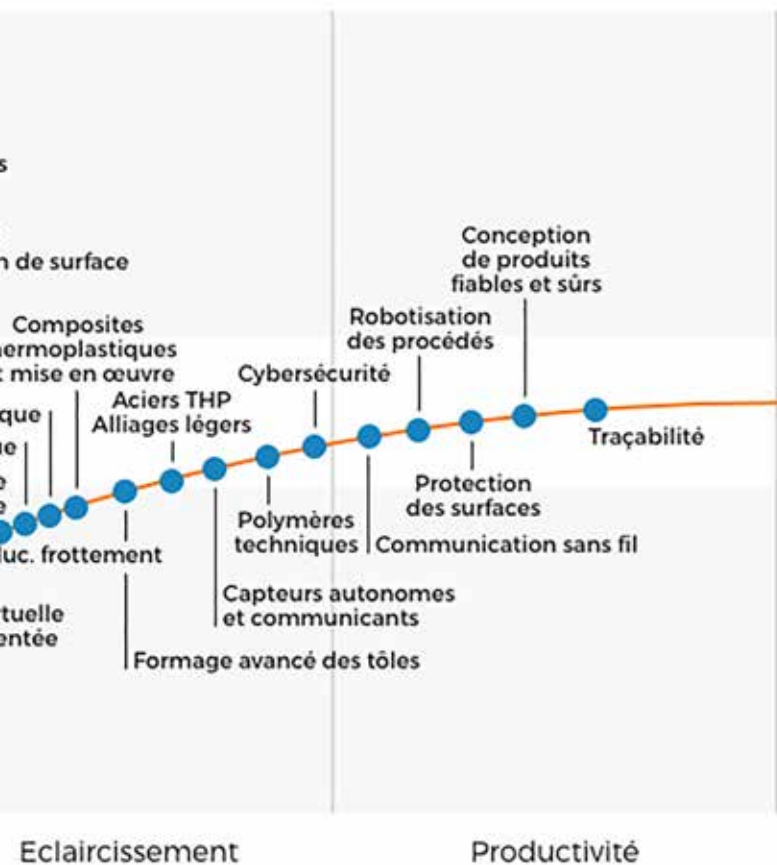
Méthodes innovantes  
de conception

# Une évaluation réaliste face aux attentes

Courbe de Hype des TPM 2025



# entes







N°2107-010

*Achévé d'imprimer sur les presses de l'imprimeur Calligraphy en Septembre 2021*

Crédits photos :

©artjazz-AbobeStock / ©kras99-AbobeStock/ ©nobeastsofierce-AbobeStock /  
©your123-AbobeStock / ©biela.design-AbobeStock /  
©Cetim / ©Gorodenkoff-vidé-AbobeStock



**TPM** 2025

[www.tpm2025.fr](http://www.tpm2025.fr)

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

