

# LA REVUE **forge et fonderie**

JUIN | 2025

N°42

## Au sommaire

- 5** Simulation métallurgique et optimisation des traitements thermiques : une approche multi-physiques et multi-échelles
- 13** Des actions mutualisées d'intérêt au service de la dynamique des Commissions Métier Forge et Fonderie du CETIM
- 20** Les dérogations dans le cadre de la mise en œuvre du BREF Forge Fonderie
- 26** Les chiffres-clés 2024 de l'industrie de la forge et de la fonderie



# Objectif économies d'énergie et décarbonation ?

Solution : les formations  
**PROREFEI** pour les Référents  
énergie de l'industrie,  
subventionnées jusqu'à 70 %.

Conception : Agence Bastille - Crédit photo : Getty Images - PhotoAlto/Frédéric Cirou

## PROREFEI

Les formations des référents  
énergie dans l'industrie

Infos et inscriptions sur  
[www.prorefei.org](http://www.prorefei.org)



### EDITORIAL

- 02** L'urgence absolue : une exigence de contenu local européen substantiel  
Wilfrid BOYAULT

### BREVES

- 03** International Forging Congress : le programme de la 24<sup>e</sup> édition.  
**04** La Fédération Forge Fonderie, partenaire de la 16<sup>e</sup> édition du congrès Gazelec

### TECHNIQUE

- 05** Simulation métallurgique et optimisation des traitements thermiques : une approche multi-physiques et multi-échelles  
Ayoub EL MOUTAOUAKKIL  
**13** Des actions mutualisées d'intérêt au service de la dynamique des Commissions Métier Forge et Fonderie du CETIM  
Christophe GROSJEAN et Clotilde MACKÉ-BART

### ENVIRONNEMENT

- 16** Focus sur quelques programmes d'accompagnement pour aider les industriels dans leur démarche de décarbonation  
Charlotte MOUGEOT  
**20** Les dérogations dans le cadre de la mise en œuvre du BREF Forge Fonderie  
Charlotte MOUGEOT

### FORMATION

- 22** Concours Général des Métiers de la Fonderie : 30 ans d'excellence, de transmission et de passion  
Sergio DA ROCHA

### CHIFFRES CLÉS

- 22** Les chiffres-clés 2024 de l'industrie de la forge et de la fonderie

### VIE DE LA PROFESSION

- 28** Jean-Pierre Grapinet : 40 ans au service des Forges de Courcelles, une carrière récompensée par la médaille d'honneur du travail GRAND OR

### AGENDA

- 29** Les rendez-vous de la profession



**La revue complète  
à télécharger gratuitement  
sur notre site  
[www.forgefonderie.org](http://www.forgefonderie.org)**

**Revue professionnelle trimestrielle éditée  
par CIFORGE.**

CIFORGE  
45 rue Louis-Blanc  
92400 Courbevoie  
Tél. : 01 43 34 76 17 Fax : 01 43 34 76 31  
E-mail : [contact@forgefonderie.org](mailto:contact@forgefonderie.org)

**Directeur de la publication**  
Hervé Gestas

**Rédacteur en chef**  
Wilfrid Boyault

**Comité de rédaction**  
W. Boyault, C. Colliard, C. Macké-Bart,  
C. Grosjean

**Rédaction**  
Heidi Palzer  
Tél. : 01 43 34 76 68, [h.palzer@forgefonderie.org](mailto:h.palzer@forgefonderie.org)

**Abonnement  
(revue sous forme papier)**  
4 numéros : 95,34 € TTC  
ISSN 2493-5824



Pour vous abonner :  
<https://www.forgefonderie.org/fr/la-federation/revue-forge-fonderie-abonnement>

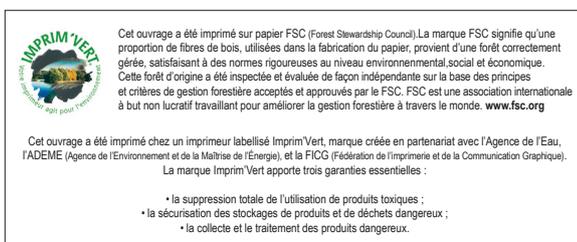
**Publicité**  
Régie Publicitaire F.F.E. (Française de Financement et d'Édition)  
15 rue des Sablons - 75116 Paris

**Responsable de publicité :**  
Isabelle de la Redonda  
Tél. : 01 53 36 20 42, [i.redonda@ffe.fr](mailto:i.redonda@ffe.fr)  
Responsable technique :  
Yael Sibony  
Tél. : 01 53 36 37 97 [yael.sibony@ffe.fr](mailto:yael.sibony@ffe.fr)  
Les publicités paraissent sous la seule responsabilité de leurs annonceurs. Les articles sont rédigés sous la responsabilité de l'auteur, leur contenu (textes et visuels) n'engage pas la revue. Toute reproduction, même partielle, d'articles ou d'illustrations nécessite l'autorisation préalable de la rédaction.

**Tirage :** 500 exemplaires

**Impression**  
Espace Graphix  
Imprimé sur papier recyclé et encres  
100 % végétales

**Photo de couverture**  
Dominique Sarraute



## L'urgence absolue : une exigence de contenu local européen substantiel

Alors que le monde gronde de bruits de bottes commerciaux, de Washington à Pékin, l'Union européenne et ses Etats membres semblent finir par accepter de décoller leurs yeux sur l'inanité d'un respect religieux et incantatoire des règles de l'OMC et d'une très illusoire libre concurrence dans les échanges commerciaux internationaux.

Cela étant, du déchirement du rideau du temple aux actes, nous sommes encore sur le chemin, et ce, d'un pas encore peu assuré et déraisonnablement tranquille au regard des enjeux.

Parce que oui, le feu est aux portes et le souffle fait déjà chanceler l'industrie, fournisseurs, clients et nos entreprises, comme en attestent chaque jour davantage les informations venant des tribunaux de commerce.

Le feu des décisions annoncées, même si encore suspendues, en tout cas erratiques et menaçantes, de l'ère trumpienne, certes, mais pas seulement. Celui aussi et peut-être surtout, d'une certaine façon, bien plus menaçant, de l'empire du Milieu. Surtout et plus menaçant, parce que réfléchi, préparé de longue date et appuyé sur l'immense pouvoir d'une dictature communiste jouant le jeu du capitalisme.

Des preuves ? Prenons l'exemple de l'automobile parce qu'elle représente environ 50 % du chiffre d'affaires de nos professions et qu'il est bien documenté.

Les conclusions d'une récente étude, menée à la demande de la Fédération Forge Fonderie et de ses homologues représentant d'autres secteurs fournisseurs de l'automobile<sup>1</sup>, sont éloquentes.

Les importations de pièces automobiles en provenance de Chine n'ont cessé d'augmenter au cours des dix dernières années : en 2024, une pièce automobile sur quatre importées en Europe était chinoise. En 2014, l'excédent de l'Union européenne était de 7,7 milliards d'euros sur les pièces détachées, en 2024, c'est d'un déficit de 1,6 milliard d'euros qu'il s'agit. Et si on exclut l'Allemagne, pour le reste de l'Europe, la chute est vertigineuse : le déficit a été multiplié par 15, de 0,5 milliard à 7,6 milliards d'euros.

Derrière les chiffres, le constat quant aux pratiques est lui aussi sans appel.

Deux enquêtes menées en 2024 par les services de l'Union<sup>2</sup> montrent que le gouvernement chinois encourage activement « l'expansion coordonnée à l'étranger des marques chinoises qui comprennent à la fois des entreprises de construction automobile et des entreprises de fabrication de pièces automobiles », que « la dynamique concurrentielle semble être faussée également dans l'industrie des pièces et des composants » et que tous les outils illégaux mis en œuvre par la Chine pour soutenir les fabricants de « véhicules à énergie nouvelle » (NEV), c'est-à-dire « subventions directes, soutien de la politique fiscale, soutien des services financiers et soutien du capital-risque » l'ont bel et bien été également pour développer et soutenir l'industrie des fournisseurs.

Or, malgré cela, rappelons qu'à ce jour, les droits de douane qui s'appliquent aux pièces automobiles importées de Chine en Europe oscillent, seulement, entre 3 % et 4,5 %, en fonction du type de pièces (hors batteries lithium-ion pour lesquelles ils sont de 1,3 %) alors qu'ils sont de 18 % à 45 % sur les véhicules électriques à batterie...

Alors rien d'étonnant à ce que des réponses de plus d'une centaine de fournisseurs basés en France, il ressorte qu'en moyenne, entre 30 et 50 % de leur production française et entre 15 et 30 % de leur production européenne soient menacés par la pression croissante exercée par les constructeurs pour déplacer leur approvisionnement vers les pays extracommunautaires à faible coût et en particulier vers la Chine.

Dans ces conditions, comment pourrait-on sérieusement contester qu'il y a bel et bien urgence absolue à instaurer comme pivot des politiques industrielles européennes une exigence de contenu local européen substantiel ?

On le peut d'autant moins que quelques chiffres comparatifs sont, là encore, sans appel : entre 2009 et 2024, dans le monde, 5 330 politiques s'articulant autour d'une exigence de contenu local ont été mises en œuvre dans 57 pays (dont 14 % liées à l'automobile).

Les principaux pays concernés sont le Brésil (52 % de ces politiques), les États-Unis, l'Inde, l'Arabie saoudite, l'Indonésie, la Russie et le Canada<sup>3</sup>. Et hors Brésil, de longue date utilisateur de telles politiques, le nombre annuel de ces politiques a été de 30 entre 2009 et 2018 (contre moins de 10 entre 2000 et 2008) et a atteint 70 au cours de la période 2019-2024.

Et l'Europe dans tout ça ? Et bien justement, alors que cet outil est bien acclimaté tout autour du globe, pour l'heure, de telles politiques sont quasi inexistantes en Europe.

Trop complexes à mettre en œuvre, absence d'outils ? Les exemples étrangers plaident déjà en sens inverse. Surtout, comme l'étude précitée du GERPISA le montre parfaitement, bien au contraire, l'outil que constituerait une règle d'origine existe et est bien connu de tous les opérateurs du commerce international puisqu'au cœur de l'application des accords de libre-échange.

Alors évidemment si l'Europe s'engage enfin, elle aussi, sur ce chemin, des choix de mise en œuvre devront être faits mais absolument rien de dirimant. Alors que les entreprises de l'Union demeurent encore globalement compétitives face au reste du monde, à l'exception de la Chine, et que la part des pièces constituant un véhicule européen produite en Europe est aujourd'hui de 80 % (75 % pour le contenu d'une pièce automobile), il n'y a rien de particulièrement ambitieux à fixer une exigence de contenu européen de 80 %.

La disruption viendra d'ailleurs. Du choix, de la décision politiques, eux-mêmes et qui pourtant s'imposent : la révolution sera que l'Union s'engage enfin dans une politique commerciale ambitieuse, seule de nature à défendre vraiment et à sauver son industrie et sa souveraineté, en imposant comme pivot et *condition sine qua non* des diverses politiques industrielles de l'Union et des Etats membres une telle exigence de contenu local, qu'il s'agisse de la libre circulation des véhicules au sein de l'Union, des marchés publics, du soutien à la demande de véhicules à zéro émission, plus généralement du soutien à la consommation, de l'éligibilité des acteurs étrangers au « Clean Industrial State Aid framework » ou de la régulation des investissements étrangers.

Nous n'avons plus le luxe d'attendre et il serait criminel de tenter de continuer à jouer les « solutions » les unes contre les autres, de les conditionner les unes aux autres dans le temps : le contenu local est une urgence accessible rapidement. Il doit accompagner et rendra possible d'attendre les résultats d'une politique volontariste plus générale en faveur de la compétitivité industrielle européenne, celle qu'a appelée de ses vœux le rapport Draghi et dont il a ouvert la voie.

Espérons que le prochain rendez-vous du dialogue stratégique sur l'avenir de l'industrie automobile européenne, prévu en septembre prochain, sera le lieu et le moment de cet aggiornamento de l'Union car, oui, il est minuit moins une...

Bon été à toutes et tous.

Wilfrid BOYAULT  
Directeur général de la  
Fédération Forge Fonderie

<sup>1</sup> <https://gerpisa.org/en/node/8350>

<sup>2</sup> « On Significant Distortions in the Economy of the People's Republic of China for the Purposes of Trade Defence Investigations », C/2024/680 et RÈGLEMENT D'EXÉCUTION (UE) 2024/1866 DE LA COMMISSION du 3 juillet 2024 instituant un droit compensateur provisoire sur les importations de véhicules électriques à batterie neufs destinés au transport de personnes originaires de la République populaire de Chine

<sup>3</sup> La place de la Chine, 13ème rang de cette liste, n'est pas significative puisqu'elle atteint les objectifs recherchés par une exigence de contenu local par d'autres voies, spécialement des subventions directes



EUROFORGE

## 24. International Forging Congress

Forging a **Sustainable** Future.

### International Forging Congress : le programme de la 24<sup>e</sup> édition.

Après Chicago en 2022, la 24<sup>e</sup> édition du congrès triennal de la forge est organisée par Euroforge du 5 au 10 octobre 2025 au centre des congrès KAP Europa de Francfort.

Le congrès débutera par la traditionnelle soirée d'accueil le dimanche 5 octobre avant deux journées complètes – les lundi 6 et mardi 7 - riches d'une programmation variée et animée par des dirigeants de premier plan et des experts renommés selon trois thèmes :

- Economique : situation des marchés de matières premières et des énergies, rapports économiques régionaux et perspectives des marchés clients ... ;
- Scientifique : innovations, digitalisation et IA, nouveaux matériaux, lubrification ... ;
- Et enfin le thème de cette édition, le développement durable, dans l'organisation du travail, dans les efforts de décarbonation de la filière et son application en termes de certifications et de standards.

Une place importante est également accordée durant ces deux jours aux partenaires des industries de la forge dans les espaces d'exposition : fournisseurs d'acier et d'aluminium, fabricant de machines, d'équipements, de lubrifiants, fournisseurs de solutions informatiques et ingénierie. Présentation de nouveautés, rencontres avec les décideurs, pour les entreprises intéressées, Euroforge propose des prestations de tout ordre pour vous permettre de bénéficier de la visibilité offerte par cet événement.

Du mercredi 8 au vendredi 10 octobre, les participants ont enfin la possibilité de participer à 5 circuits de visite d'établissements (Allemagne Ouest / Allemagne Sud / Italie / Pologne – République tchèque / Turquie).

Programme, informations pratiques et inscriptions (Nb : Tarif early bird jusqu'au 15 juillet) : <https://www.ifc2025.com/>



## PARTENAIRE DES FORGES



**CADDY 80**  
Cisaille mécanique  
à froid pour billettes



**S 50**  
Scie à disque "grande vitesse"  
pour billettes



**HF**  
Presse  
hydraulique



**DD**  
Presse à vis  
à moteur  
linéaire rotatif  
avec robot  
manipulateur

### Ficep France SAS

Z.I Les Platanes, FR 33360 Camblanes  
Tel. +33 (0) 556 201555  
Fax +33 (0) 556 201556

[www.ficep-france.fr](http://www.ficep-france.fr)

## La Fédération Forge Fonderie, partenaire de la 16<sup>e</sup> édition du congrès Gazelec

13,14 et 15 octobre 2025  
CNIT Paris La Défense

Source d'information de référence sur les évolutions du marché des achats d'énergie et lieu d'échanges privilégié entre fournisseurs, acheteurs, prestataires et institutionnels, le congrès Gazelec célèbre cette année ses 15 ans d'existence. Cette édition anniversaire se déroulera de nouveau dans les salles de conférence du CNIT de Paris La Défense où sont attendus 1000 participants, dont 350 acheteurs, 100 intervenants et 80 partenaires et sponsors.

Deux enjeux majeurs seront en toute logique scrutées de près lors de cette édition : les clefs de lecture à retenir pour analyser les conséquences du contexte géopolitique sur les marchés de l'énergie d'une part, et le tournant que va connaître le marché énergétique français en 2025- 2026 d'autre part.

Au programme des tables rondes également :

- Concurrence équitable : entre les différentes intermédiaires, les fournisseurs historiques et alternatifs ? Et l'équité côté consommateur ?
- Géopolitique & sécurité d'approvisionnement : comment s'assurer de prix acceptables ?
- Avenir de la filière gaz naturel et de ses infrastructures : veut-on sauver le gaz ?
- Alternatives au gaz naturel : Stop ou Encore pour les filières alternatives ?
- Décarbonation et compétitivité : une conciliation encore possible ? Vers un boom de stockage et l'apparition de l'hybridation ?



Évolutions réglementaires et fiscales, stratégies d'achats CT ou LT, prix et taxes afférentes, flexibilité, achats responsables, obligation de décarboner, leviers de verdissement, marché volatil et imprévisible... Pour répondre à ces questions et proposer un programme riche et varié, le congrès propose depuis la dernière édition de nouveaux formats et des interventions exclusives. De plus, les deux premières journées (lundi 13/10 – mardi 14/10) ne seront plus dissociées « Electricité » puis « Gaz » mais conçues de manière mixte et ouverte à tous, la dernière journée (mercredi 15/10) conservant sa fonction de journée dédiée aux ateliers de formation.

En tant que partenaire institutionnel de l'événement depuis plusieurs années, la Fédération Forge Fonderie et ses entreprises adhérentes bénéficient de tarifs préférentiels :

- 50 % de remise pour toute inscription jusqu'au 27/06/2025
- 30 % de remise au-delà et jusqu'au 09/09/2025

Pour tout renseignement, contactez Guillaume Kozubski (g.kozubski@forgefonderie.org / 01 43 34 76 51). Cette année encore, les organisateurs recommandent de réserver au plus tôt vos places. Pour plus d'informations : [www.congresgazelec.com](http://www.congresgazelec.com).



Ayoub EL MOUTAOUAKKIL  
Pôle Matériaux  
Métalliques et Surface  
CETIM

# Simulation métallurgique et optimisation des traitements thermiques : une approche multi-physiques et multi-échelles

## Introduction

Autrefois, l'optimisation des traitements thermiques des matériaux métalliques reposait sur des essais empiriques, longs et coûteux. Aujourd'hui, la simulation numérique permet de modéliser et d'analyser des processus multi-physiques et multi-échelles en s'appuyant sur des données issues de sources analytiques, empiriques et numériques. Cette approche offre une compréhension approfondie des phénomènes, anticipe les défauts et optimise les procédés, contribuant ainsi à réduire les coûts et à améliorer la qualité des pièces industrielles, en particulier dans des secteurs stratégiques tels que la défense, la mobilité et l'énergie.

Ainsi, les stratégies ICME (Integrated Computational Materials Engineering) permettent de relier les procédés, la microstructure, les propriétés et les performances des matériaux, facilitant ainsi l'optimisation multi-objectifs. Comme présenté sur la Figure 1, il est souvent indispensable que les matériaux satisfassent simultanément des propriétés de résistance mécanique, de tenue au choc, à l'usure et à la corrosion.

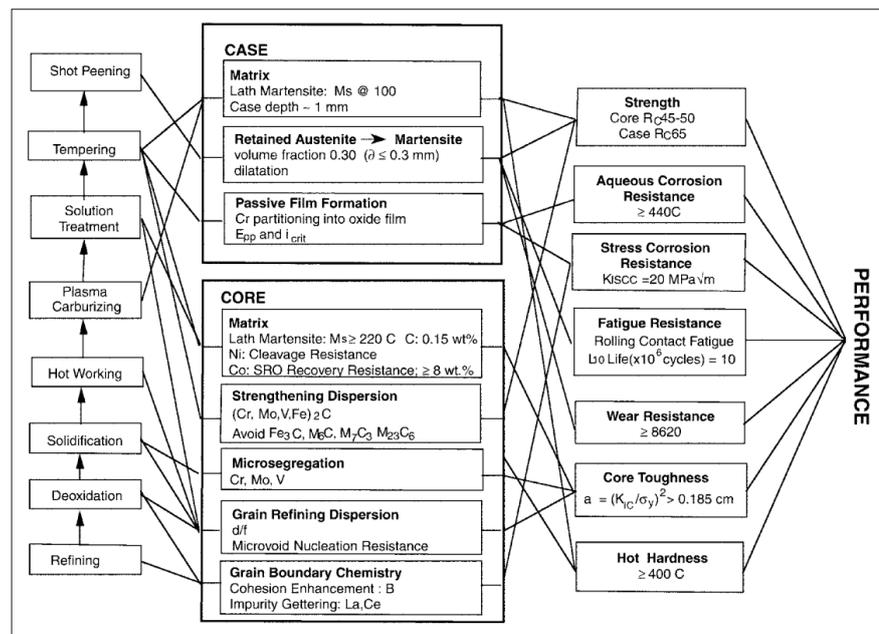


Figure 1 : Diagramme de flux illustrant les interactions entre le procédé, la structure, les propriétés et les performances pour un acier inoxydable martensitique à durcissement secondaire et cémentation<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Campbell, C., Olson, G. Systems design of high-performance stainless steels I. Conceptual and computational design. Journal of Computer-Aided Materials Design 7, 145-170 (2000). <https://doi.org/10.1023/A:1011808225838>

Répondre à ces exigences nécessite de connecter étroitement les paramètres d'élaboration, de traitement thermique et de surface avec les descripteurs microstructuraux, à la fois à cœur et en surface de la pièce en question. Cette démarche ouvre la voie à une ingénierie inverse (Backward Prediction) permettant de remonter des performances attendues vers des gammes procédés/microstructures optimales, mais aussi à des prédictions directes (Forward Prediction) fiables pour quantifier l'impact des aléas des procédés d'élaboration sur la microstructure et les propriétés des aciers. Par des couplages avancés entre modèles multi-échelles, bases de données expérimentales et algorithmes d'apprentissage, il devient possible d'établir des fenêtres opératoires robustes, indispensables pour guider les choix matériaux-processus et sécuriser l'industrialisation. Cette capacité à piloter les compromis et incertitudes dès la phase de conception représente un levier clé pour l'industrie afin d'accélérer l'innovation tout en maîtrisant les risques techniques et économiques.

L'approche ICME constitue également un levier pour l'optimisation des procédés de traitement thermique et thermo-chimique, en particulier lorsqu'il s'agit de concevoir des gradients fonctionnels optimaux de propriétés en surface et à cœur. En exploitant des modèles couplés de diffusion, de transformations de phases et de précipitation, l'ICME permet de prédire l'évolution de la microstructure induite par le traitement, et d'en déduire les profils de dureté, de ténacité, de résistance à l'usure et à la corrosion. Cette capacité prédictive est essentielle pour définir les profondeurs de traitement optimales, adaptées aux sollicita-

tions mécaniques réelles en service, tout en maîtrisant les risques de défaillance prématurée.

## I. Les piliers de l'aide au choix des matériaux et l'optimisation des procédés

Comme présenté sur la Figure 2, l'optimisation des matériaux et des procédés se fait à travers une stratégie de modélisation multi-échelles basé sur la correspondance hiérarchique entre la simulation numérique et la validation expérimentale :

### A. La simulation numérique

Permettant d'explorer le comportement des matériaux à différentes échelles, cette approche nourrit des modèles allant du niveau atomique à celui de la pièce industrielle. Ainsi, dans le contexte d'aide au choix des matériaux métalliques, il est important de définir un plan d'expérience numérique afin d'explorer de manière systématique différentes conditions de traitement thermique (température, durée, refroidissement, etc.). Ces simulations permettent d'explorer rapidement un large espace de paramètres, d'identifier les conditions optimales pour obtenir la microstructure souhaitée (martensite, bainite, ferrite, etc.), tout en anticipant les contraintes résiduelles et déformations. Cette approche repose souvent sur des méthodes statistiques de type DoE (Design of Experiments) pour maximiser l'information obtenue tout en limitant le nombre de cas à simuler.

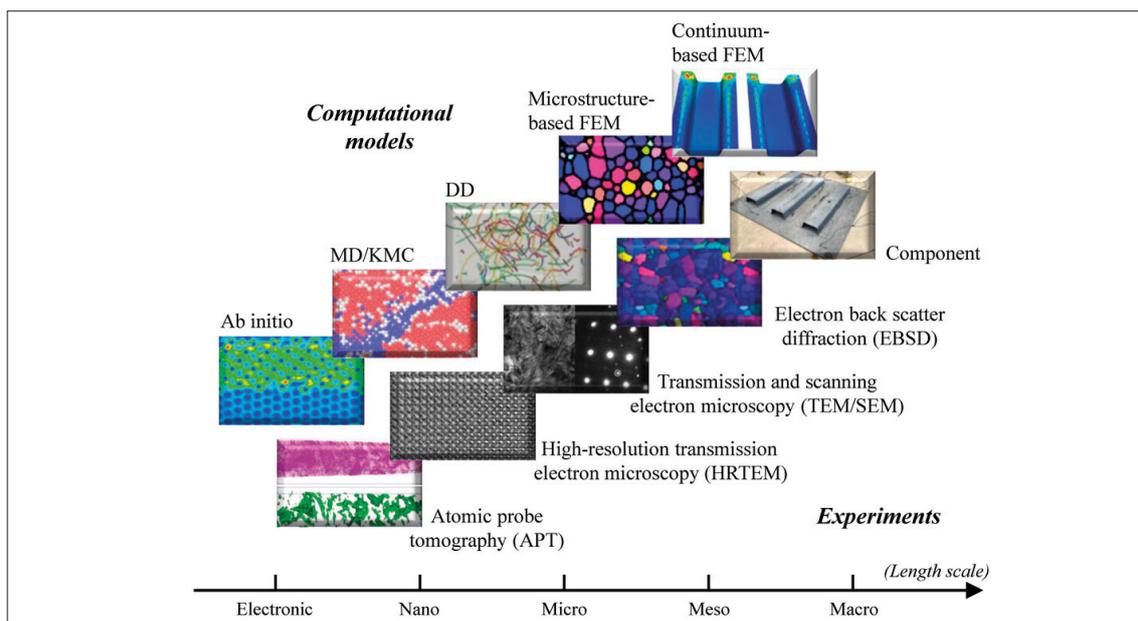


Figure 2 : Paradigme hiérarchique des modèles computationnels et des expériences pour une stratégie de modélisation multi-échelles <sup>2</sup>

<sup>2</sup> Park, Jinheung & Min, Kyung & Kim, Hyunki & Hong, Seung-Hyun & Lee, Myoung-Gyu. (2022). Integrated Computational Materials Engineering for Advanced Automotive Technology: With Focus on Life Cycle of Automotive Body Structure. Advanced Materials Technologies. 8. 10.1002/admt.202201057.

## B. La validation expérimentale

Les essais expérimentaux permettent de valider et d'ajuster les modèles numériques. La validation expérimentale peut se faire d'abord à l'échelle matériau par des essais de dilatométrie reproduisant les cycles simulés afin de confirmer la cinétique de transformation. Ensuite, les paramètres sélectionnés sont appliqués à des prototypes pour vérifier la réponse réelle du matériau (dureté, microstructure, contraintes). Une analyse détaillée de la microstructure complète cette démarche en offrant une compréhension fine des mécanismes de durcissement ou de fragilisation des matériaux métalliques. Les écarts éventuels entre simulation et expérience permettent d'ajuster les modèles, assurant ainsi la robustesse du traitement thermique final.

## 2. La simulation numérique à différentes échelles

### À L'ÉCHELLE DE LA MICROSTRUCTURE

Les avancées récentes en simulation numérique ont profondément transformé la conception des aciers et l'optimisation des traitements thermiques. De la modélisation atomistique à la simulation thermodynamique via la méthode CALPHAD, ces outils permettent d'étudier les phénomènes inhérents aux transformations métallurgiques. La modélisation atomistique, telle que la dynamique moléculaire (MD), permet d'étudier les interactions entre atomes et les mécanismes fondamentaux à l'échelle nanométrique. Ces simulations sont particulièrement utiles pour comprendre les phénomènes tels que la diffusion atomique, la formation de dislocations ou la croissance de précipités.

Ces méthodes sont complémentaires et peuvent être couplées pour étudier des phénomènes multi-échelles dans les matériaux. Cependant, en raison de leur coût computationnel élevé, elles sont limitées à des échelles de temps et d'espace restreintes, ce qui rend leur application directe à l'échelle industrielle difficile.

Ces simulations restent toutefois utiles pour informer les bases de données thermodynamiques, notamment ceux utilisées dans le cadre des méthodes de type CALPHAD (CALculation of PHase Diagrams). Il s'agit d'une approche thermodynamique permettant de prédire les équilibres de phases dans les alliages métalliques. Elle repose sur l'optimisation de modèles thermodynamiques à partir de données expérimentales et de résultats de simulation atomistique pour calculer des diagrammes de phases et des propriétés thermodynamiques.

<sup>3</sup> <https://thermocalc.com/products/>

<sup>4</sup> Borgenstam, Annika & Höglund, Lars & Ågren, John & Engström, Anders. (2012). DICTRA, a tool for Simulation of Diffusional Transformations in Alloys. *Journal of Phase Equilibria*. 21. 269-280. 10.1361/105497100770340057.

<sup>5</sup> Sheng, Z., Bonalet Rolland, M., Zhou, T. et al. Langer-Schwartz-Kampmann-Wagner precipitation simulations: assessment of models and materials design application for Cu precipitation in PH stainless steels. *J Mater Sci* 56, 2650-2671 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10853-020-05386-9>.

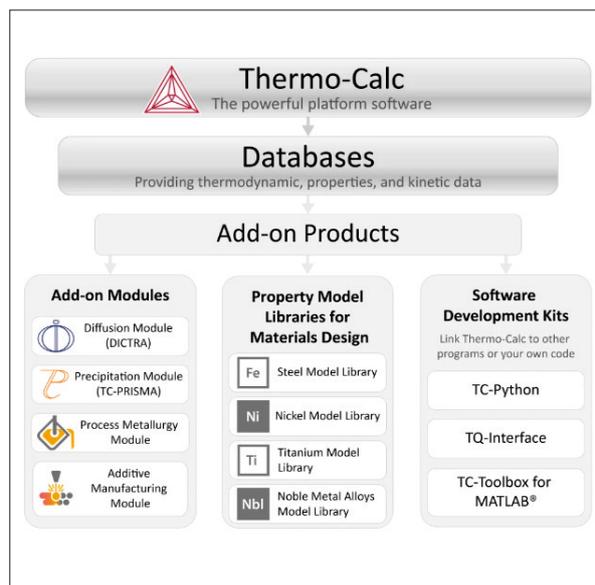


Figure 3 : La suite logicielle Thermo-Calc, avec une large gamme de produits et de bases de données pour chaque module complémentaire, pour la simulation de la diffusion, la précipitation, la métallurgie des procédés<sup>3</sup>

Thermo-Calc est un des logiciels de calcul thermodynamique basé sur la méthode CALPHAD, permettant de prédire les équilibres de phases dans les alliages métalliques. Il est souvent utilisé en combinaison avec ses modules complémentaires (cf. Figure 3) :

- **DICTRA (Diffusion Controlled TRAnsformations) :** Module dédié à la simulation des transformations contrôlées par diffusion dans les systèmes multi composants. Il résout numériquement les équations de diffusion en utilisant les bases de données thermodynamiques et de mobilité associées à Thermo-Calc<sup>4</sup>.
- **TC-PRISMA (Precipitation Simulation Module) :** Outil de simulation de la précipitation dans les matériaux, basé sur la théorie de la nucléation et de la croissance. Il utilise les mêmes bases de données que Thermo-Calc et DICTRA, permettant une intégration cohérente des données thermodynamiques et cinétiques.

Thermo-Calc, via DICTRA et TC-PRISMA, offre respectivement la résolution des équations de diffusion multi composants par différences finies implicites et la modélisation de type Langer-Schwartz-Kampmann-Wagner<sup>5</sup> des processus de germination et de croissance de phases métalliques. Ces outils sont particulièrement utiles pour la conception d'alliages et l'optimisation des traitements thermiques, en fournissant des informations détaillées sur les transformations de phases et la formation de précipités.

D'autres logiciels, tels que JMatPro, MatCalc, FactSage, partagent la méthode de minimisation de l'énergie libre de Gibbs pour déterminer les équilibres de phases, mais diffèrent par leurs modules et algorithmes de cinétique :

- JMatPro étend un modèle de Kirkaldy aux aciers et calcule les diagrammes TTT et TRC à partir de la composition, de la taille des grains et de la température de maintien<sup>6</sup>. Pour la cinétique, il met en œuvre le modèle de N. Saunders étendu aux aciers : la nucléation suit la théorie classique, la croissance est limitée par la diffusion atomique, et les équations de transport sont intégrées dans le temps pour prédire les temps de début et de fin de transformation (Ferrite, Perlite, Bainite).
- MatCalc réalise d'abord l'équilibre par minimisation CALPHAD de l'énergie libre de Gibbs sur un réseau de compositions et de températures, puis simule la cinétique de précipitation via le modèle comme Kampmann-Wagner Numerical (KWN) : la distribution de taille des précipités évolue selon des équations différentielles de nucléation-croissance-coalescence, résolues numériquement en s'appuyant sur des mobilités CALPHAD pour les flux diffusifs.
- Le module Equilib de FactSage est le moteur de minimisation de l'énergie libre de Gibbs qui calcule les fractions de phase à l'équilibre sous conditions données (Température, Pression, Composition) via un algorithme de multiplicateurs de Lagrange.

### À L'ÉCHELLE DU COMPOSANT

La simulation des traitements thermiques par éléments finis permet d'établir des liens entre les conditions de traitement thermique, l'évolution microstructurale et le comportement mécanique macroscopique, afin de prévoir les caractéristiques mécaniques des pièces. Les logiciels commerciaux sont capables de coupler de façon étroite la conduction thermique, les transformations métallurgiques et la mécanique des matériaux pour prédire la dureté, les déformations et les contraintes résiduelles. Ces outils répartissent les phénomènes physiques en modules interconnectés : transfert de chaleur (conduction, convection, rayonnement), évolution des phases (diffusive et displacive) et comportement mécanique (élasticité, plasticité et dilatation thermique).

Ces logiciels utilisent des schémas de résolution numérique, comme l'approche implicite de Newton-Raphson, pour résoudre des équations couplées. Le choix et la qualité des données matériaux sont cruciaux, car toute erreur se traduira par des écarts significatifs entre simulation et réalité<sup>7</sup>. La fiabilité des simulations dépend de la qualité des données : courbes TTT/TRC réelles, propriétés mécaniques en fonction de la température et de la phase, et propriétés thermophysiques. Des bases de données (Thermo-Calc, JMatPro, CES EduPack) ou des mesures expérimentales permettent de calibrer ces paramètres pour chaque nuance.

Parmi les logiciels de calcul par éléments finis souvent utilisés pour les traitements thermiques, nous retrouvons :

- Abaqus<sup>8</sup> est un logiciel de simulation par éléments finis développé par Dassault Systèmes. Grâce au développement de sous-routines (ex. UMAT, UMATHT), la prédiction des transformations de phase et des contraintes internes sur l'historique thermique est possible. La résolution couplée thermique-métallurgique-mécanique intègre la chaleur latente de transformation ainsi que l'impact de la plasticité dans la cinétique de transformation des phases. Il permet donc d'évaluer simultanément l'évolution des champs de température et de contrainte/déformation lors du traitement thermique.
- COMSOL Multiphysics est un logiciel de simulation par éléments finis qui permet de modéliser et de simuler des phénomènes physiques complexes. La prédiction des transformations de phase grâce au module « Metal Processing ». Il propose plusieurs modèles spécifiques pour le traitement thermique des aciers, notamment la décomposition de l'austénite lors de la trempe. COMSOL Multiphysics permet des couplages forts avec d'autres modules, tels que l'Electromagnetics Module (EM) et le Computational Fluid Dynamics Module (CFD).
- DEFORM-HT (Scientific Forming Technologies) est un logiciel dédié à la simulation des traitements thermiques, prédisant la microstructure, la distorsion et les contraintes résiduelles.
- FORGE et SIMHEAT sont deux logiciels de simulation développés par Transvalor, spécialisés dans la modélisation des procédés de mise en forme des matériaux et des traitements thermiques. Ils permettent d'analyser l'impact des cycles thermiques complets (trempe, revenu, nitruration...).

<sup>6</sup> Saunders, Noa & Guo, Zhanli & Li, X. & Miodownik, A. & Schillé, J.-P. (2004). The Calculation of TTT and CCT diagrams for General Steels.

<sup>7</sup> Turner, Richard & Schroeder, Florian & Ward, R.M. & Brooks, J.W. (2014). The Importance of Materials Data and Modelling Parameters in an FE Simulation of Linear Friction Welding. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2014. 10.1155/2014/521937.

<sup>8</sup> Yaakoubi, Mahmoud & Kchaou, M. & Fakhreddine, Dammak. (2013). Simulation of the thermomechanical and metallurgical behavior of steels by using ABAQUS software. *Computational Materials Science*. 68. 297-306. 10.1016/j.commatsci.2012.10.001.

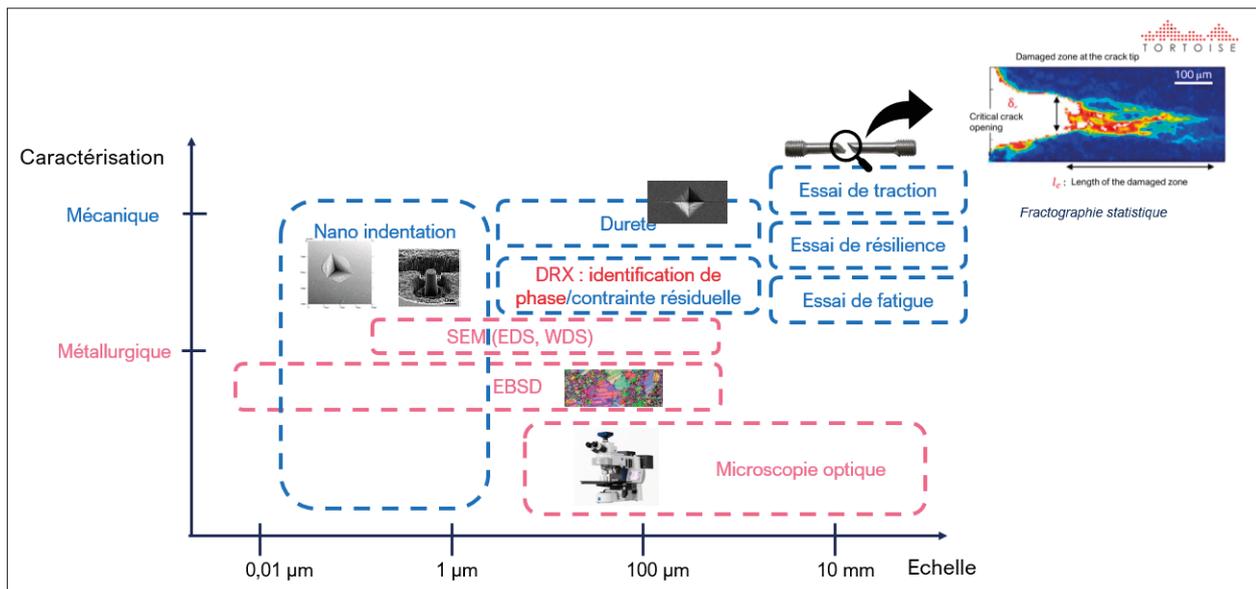


Figure 4 : Principaux moyens multi-échelles de caractérisation mécanique et métallique, proposés par le CETIM.

Enfin, dans le cas de la trempe, le coefficient de convection sur la surface du composant varie fortement avec le fluide de trempe : l'eau génère des films de vapeur instables, l'huile présente des gradients plus doux, les polymères offrent un contrôle précis. Ainsi, il est souvent nécessaire de modéliser le coefficient d'échange via un couplage avec un code CFD (Computational Fluid Dynamics) pour obtenir des prédictions fiables des gradients thermiques et des contraintes induites<sup>9</sup>. Les méthodes inverses (comparaison courbes de refroidissement) fournissent des lois de convection, mais un couplage direct entre les modèles thermique et fluide (ex. ANSYS Fluent, StarCCM+, COMSOL) modélise l'écoulement, la turbulence et la formation du film, améliorant la prédiction des gradients thermiques et des contraintes.

#### A. La validation expérimentale

La dilatométrie est une des techniques incontournables pour valider les données d'entrée des modèles de simulation de traitement thermique. Elle permet de remonter, à travers de la dilatation thermique, aux températures de transformation de phases. Elle est également utilisée pour simuler physiquement les conditions de traitement. La dilatométrie, accompagnée par la caractérisation métallurgique et mécanique (cf. Figure 4), fait partie de la démarche intégrale proposée par le CETIM (Centre Technique des Industries Mécaniques) pour garantir une validation rigoureuse des outils numériques. Elle permet d'optimiser

avec confiance la sélection des aciers et leurs traitements thermiques.

#### CARACTÉRISATION MICROSTRUCTURALE ET MÉCANIQUE

Une compréhension fine des mécanismes de déformation et de rupture est obtenue grâce à diverses techniques :

##### MICROSCOPIE

Les techniques de microscopie sont essentielles pour l'analyse quantitative de la microstructure des aciers, permettant de valider les modèles de simulation de traitements thermiques. La microscopie optique (OM) est souvent la première étape, offrant une vue d'ensemble de la microstructure, y compris la taille des grains, la distribution des phases et la présence de défauts. La microscopie électronique à balayage (MEB), couplée à la diffraction des électrons rétrodiffusés (EBSD), permet d'obtenir des images à haute résolution et de cartographier les orientations cristallographiques et les distributions de phases. Cette technique est cruciale pour analyser la nature et la distribution des joints de grains. La microscopie électronique en transmission (MET) offre des images à résolution encore plus élevée, révélant la structure cristallographique des phases et des précipités nanométriques et des dislocations, ce qui est indispensable pour évaluer les mécanismes de durcissement structural des aciers.

<sup>9</sup> Bouissa, Yassine & Shahriari, Davood & Champlaud, Henri & Jahazi, Mohammad. (2018). Prediction of Heat Transfer Coefficient during Quenching of Large Size Forged Blocks using Modeling and Experimental Validation. Case Studies in Thermal Engineering. 100379. 10.1016/j.csite.2018.100379.

La microscopie électronique en transmission à balayage (STEM) combine les avantages du TEM et du SEM, permettant une analyse détaillée de la microségrégation à l'échelle nanométrique avec une résolution élevée. Le STEM est utilisé pour étudier les interfaces et les précipités dans les matériaux traités thermiquement. La diffraction des électrons rétrodiffusés en transmission (TKD), une technique dérivée de l'EBSD utilisée en mode transmission dans le MEB, permet une analyse cristallographique à haute résolution des matériaux fins, offrant des informations détaillées sur la texture et les orientations des grains. Enfin, la tomographie par sonde atomique (ATP) permet une reconstruction tridimensionnelle de la composition atomique des matériaux, analysant la distribution des éléments d'alliage et les précipités à l'échelle atomique. Ces techniques de microscopie permettent une analyse approfondie de la microstructure des aciers, facilitant l'optimisation des processus de traitement thermique pour atteindre les propriétés mécaniques et les performances souhaitées.

### TECHNIQUES COMPLÉMENTAIRES

D'autres techniques sont également utiles pour analyser de manière quantitative la microstructure des aciers, permettant d'optimiser les traitements thermiques. La diffraction des rayons X (DRX) permet d'identifier et de quantifier les phases cristallines telles que l'austénite résiduelle, la martensite et les carbures. Elle évalue également les contraintes résiduelles en analysant les décalages de pics de diffraction. La calorimétrie à balayage différentiel

(DSC) mesure les flux de chaleur lors des transitions de phase, fournissant des informations sur les températures critiques et les effets thermiques des transformations. Ces données sont essentielles pour valider les diagrammes de phases simulés. Le pouvoir thermoélectrique (PTE), une technique non destructive, est sensible aux défauts de la microstructure comme les impuretés, les précipités et les dislocations. La mesure du PTE peut permettre un suivi in-situ de l'évolution de l'état microstructural au cours du traitement thermique.

Des techniques de pointe comme le synchrotron et la diffraction de neutron sont particulièrement efficaces pour détecter des phénomènes fins in situ. Elles offrent une analyse approfondie des microstructures et des transformations de phase dans les matériaux. Ces techniques avancées sont essentielles pour optimiser les propriétés des aciers.

Ces techniques permettent d'établir de données quantitatives nécessaires pour ajuster les propriétés thermodynamiques et cinétiques des aciers. Les informations obtenues sont intégrées dans des bases de données comme CALPHAD et utilisées dans des modèles de simulation. Cela permet de valider les prédictions de microstructures des matériaux sous différents traitements thermiques, assurant ainsi une meilleure performance et durabilité des aciers. En combinant ces techniques, les ingénieurs peuvent développer des gammes de traitement thermique des aciers avec des propriétés spécifiques adaptées aux exigences industrielles.

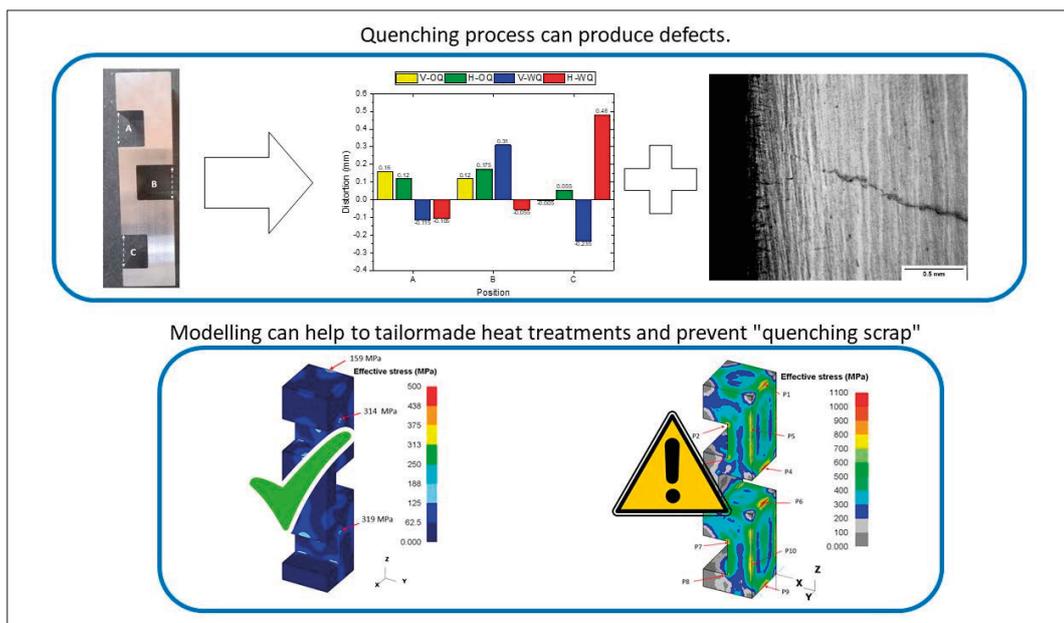


Figure 5 : Apport de la simulation numérique du traitement thermique pour prédire et contrôler les déformations et la fissuration dans les aciers trempés.<sup>10</sup>

<sup>10</sup> Lopez-Garcia, R. D., Medina-Juárez, I., & Maldonado-Reyes, A. (2022). Effect of Quenching Parameters on Distortion Phenomena in AISI 4340 Steel. *Metals*, 12(5), 759. <https://doi.org/10.3390/met12050759>

## ESSAIS MÉCANIQUES

La caractérisation mécanique est nécessaire dans la validation des modèles de simulation numérique. Les tests mécaniques standards, tels que la traction, la dureté, la résilience, fournissent des données empiriques essentielles permettant d'ajuster les paramètres des modèles de simulation pour qu'ils reflètent fidèlement le comportement réel des matériaux. Par exemple, les essais de traction à différentes températures permettent de calibrer les modèles rhéologiques décrivant le comportement des matériaux sous conditions de chargements thermomécaniques.

La nanoindentation, en revanche, offre une évaluation locale des propriétés mécaniques à l'échelle microscopique. Cette technique permet de mesurer des paramètres tels que la dureté et le module d'élasticité à des échelles très fines, souvent inaccessibles par les tests mécaniques standards. En combinant les résultats de la nanoindentation avec ceux des tests mécaniques traditionnels, il est possible de développer des modèles de simulation plus complets et précis.

Enfin, les tests de résilience et de fatigue, quant à eux, permettent de valider chaque gamme de traitement thermique en fonction des exigences spécifiées. Ainsi, en intégrant ces données dans les simulations, on peut améliorer la précision et la fiabilité des prédictions. Ces modèles peuvent alors être utilisés pour prédire le comportement des matériaux sous diverses conditions de charge et d'environnement, contribuant ainsi à la conception de structures plus sûres et plus performantes.

## B. Reverse Engineering

La simulation numérique peut avoir une valeur ajoutée dans l'analyse de défaillance et la non-conformité des pièces après traitement thermique. En permettant la modélisation précise des processus thermiques et mécaniques, elle aide à prédire les comportements des matériaux sous différentes conditions. Ainsi, la simulation numérique peut être utilisée pour l'identification des facteurs d'influence ayant conduit à la localisation des contraintes élevées et l'amorçage de fissure.

La Figure 5 présente une démarche paramétrique permettant d'évaluer la sensibilité à la fissuration lors de la trempe d'un acier. Grâce à la combinaison des résultats de la simulation et de l'expérimental, il est possible de mettre en évidence l'impact des contraintes résiduelles, générées

à cause des gradients thermiques élevés et des transformations de phases (austénite-martensite), et des contraintes générées au niveau des zones géométriquement complexes. Ces résultats soulignent l'importance de la conception des traitements thermiques et de l'utilisation de modèles numériques pour prédire et contrôler les phénomènes de distorsion et de fissuration dans les aciers trempés.

## APPORT DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Comme illustré schématiquement dans la Figure 6, la mise en œuvre d'une approche basée sur l'apprentissage automatique implique le traitement d'une quantité suffisante de données expérimentales et de simulation, afin d'établir les liens entre les paramètres d'élaboration, les descripteurs atomiques et/ou microstructuraux et les propriétés d'usage des matériaux.

Le recours à l'IA dans la conception des aciers et l'optimisation des procédés connaît une avancée significative grâce à des outils tels qu'AlloyGPT<sup>12</sup>. Ce dernier est basé sur des modèles de langage de grande taille (LLM), comme GPT-4, combiné à des agents d'IA collaboratifs, visant à automatiser et accélérer le développement de matériaux et de procédés. En s'appuyant sur des données ICME (Integrated Computational Materials Engineering) et des bases de données thermodynamiques CALPHAD, AlloyGPT peut prédire les caractéristiques microstructurales et les propriétés des alliages d'aluminium, surpassant les techniques traditionnelles d'optimisation bayésienne et d'apprentissage automatique.

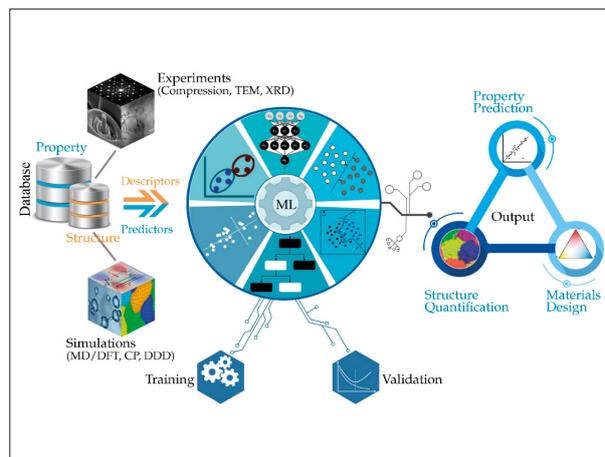


Figure 6 : Workflow typique pour l'apprentissage automatique, avec les bases de données générées par des données expérimentales et de simulation pour fournir des descripteurs et des prédicteurs pertinents.<sup>11</sup>

<sup>11</sup> Frydrych, K., Karimi, K., Pecelerowicz, M., Alvarez, R., Dominguez-Gutiérrez, F. J., Rovaris, F., & Papanikolaou, S. (2021). *Materials Informatics for Mechanical Deformation: A Review of Applications and Challenges*. *Materials*, 14(19), 5764. <https://doi.org/10.3390/ma14195764>

<sup>12</sup> A. Ghafarollahi, M.J. Buehler. (2024), *Rapid and Automated Alloy Design with Graph Neural Network-Powered LLM-Driven Multi-Agent Systems*, arXiv, DOI:000000/11111, 2024

<sup>13</sup> Pyan, Zini & Liang, Hongyu & Wang, Jingya & Zhang, Hongbin & Kwiatkowski da Silva, Alisson & Liang, Shiyu & Rao, Ziyuan & Zeng, Xiaoqin. (2024). *PDGPT: A large language model for acquiring phase diagram information in magnesium alloys*. *Materials Genome Engineering Advances*. 2. 10.1002/mgea.77.

L'IA peut être également utilisée dans la prédiction des diagrammes de phase et peut révolutionner la conception des matériaux. Des approches telles que le prompt engineering, le fine-tuning et la génération augmentée par récupération (RAG) sont utilisées pour améliorer la précision des modèles de langage dans ce domaine. Par exemple, le modèle PDGPT<sup>13</sup> conçu pour les alliages de magnésium, combine ces techniques pour extraire efficacement des informations sur les diagrammes de phase à partir de données textuelles et numériques, surpassant les méthodes traditionnelles en termes de rapidité et de précision.

Des liens entre la composition chimique, l'énergie de défaut d'empilement dans les aciers inoxydables austénitiques et les courbes de trempabilité Jominy des aciers peuvent être établies grâce à l'apprentissage automatique. En ce qui concerne la prédiction de l'énergie de défaut d'empilement (SFE) en fonction de la composition chimique, une étude a combiné la modélisation thermodynamique et l'apprentissage automatique pour prédire la SFE de plus de 300 aciers austénitiques<sup>14</sup>. Les résultats ont montré que la SFE peut être prédite avec précision en fonction de la composition chimique, ce qui est essentiel pour concevoir des aciers avec des propriétés mécaniques optimales.

Concernant la prédiction des courbes de trempabilité Jominy des aciers, une approche innovante a été développée pour déterminer automatiquement et avec précision la composition chimique de l'acier en fonction de la courbe Jominy souhaitée<sup>15</sup>. Cette méthode prend en compte la microstructure, notamment la présence de martensite à différentes distances de l'extrémité trempée de l'échantillon Jominy, permettant ainsi de concevoir des aciers répondant à des exigences spécifiques de trempabilité.

Dans le contexte des traitements thermiques, ces approches facilitent l'exploration rapide des espaces de composition et des fenêtres procédés, tout en intégrant de manière dynamique les retours de données d'essais, pour affiner en continu les prévisions de performance et de durabilité. Les principaux enjeux limitant l'usage de l'apprentissage automatique dans la conception des matériaux sont l'accès continu à des données de haute qualité et la complexité de ces données, qui nécessitent des descripteurs précis pour

capturer les mécanismes physiques pertinents. De plus, l'interopérabilité des données et la gestion du bruit et des incertitudes sont essentielles pour garantir des prédictions fiables et précises.

## Conclusion

L'optimisation des matériaux et des procédés en métallurgie s'appuie sur une approche multi-échelles combinant simulation numérique, validation expérimentale et analyse microstructurale. L'usage conjoint de la forward prediction et du reverse engineering permet non seulement de prévoir les propriétés finales des matériaux, mais aussi de diagnostiquer et corriger les écarts de processus. Avec l'avènement de la métallurgie 4.0, l'intégration de l'intelligence artificielle et des jumeaux numériques ouvre la voie à des procédés industriels plus précis, réactifs et adaptés aux défis actuels.

Dans un contexte industriel, les approches hybrides IA-physiques permettent de renforcer la fiabilité et l'agilité des décisions, en intégrant les aléas des procédés et les variabilités matériaux, tout en réduisant les temps et coûts d'expérimentation. Elle ouvre ainsi la voie au développement de nouvelles générations d'outils capables de simuler non seulement la réponse des matériaux à des scénarios de traitements thermiques complexes, mais également leurs comportements en service, en tenant compte des gradients microstructuraux, des états de contraintes résiduelles, et des mécanismes de vieillissement.

Bien que les outils de simulation avancés offrent des avantages considérables, leur mise en œuvre industrielle n'est pas sans défis. En effet, ils nécessitent des compétences spécialisées, du temps et des moyens considérables pour être pleinement opérationnels. Le CETIM travaille activement sur ces sujets, notamment à travers le Projet Thématique Transversal (PTT) traitement thermique et contraintes résiduelles (METHERM). Ce projet vise à développer des technologies et des méthodes pour optimiser les procédés thermiques en métallurgie, en intégrant la simulation numérique. Ces efforts sont essentiels pour rendre ces outils plus accessibles et utilisables dans un contexte industriel, permettant ainsi de mieux maîtriser les procédés de traitements thermiques.

<sup>14</sup> Wang, X., & Xiong, W. (2020). Stacking fault energy prediction for austenitic steels: thermodynamic modeling vs. machine learning. *Science and Technology of Advanced Materials*, 21(1), 626–634. <https://doi.org/10.1080/14686996.2020.1808433>

<sup>15</sup> Tomašić, Neven & Sitek, Wojciech & Iljkić, Dario & Gemechu, Wendimu. (2024). Designing the Chemical Composition of Steel with Required Hardenability Using Computational Methods. *Metals*. 14. 10.3390/met14091076.





**Pour la Fonderie**, le projet technologique transversal « Performance environnementale en fonderie » initié en 2024, explore les voies de la décarbonation, de l'amélioration de la performance énergétique et de l'économie circulaire sur le périmètre de la fusion des alliages ferreux et non ferreux. Les résultats du projet devront permettre d'éclairer les choix technologiques et stratégiques permettant de limiter l'empreinte environnementale de la fonderie de façon durable et des opérations de fusion en particulier.

Un projet stratégique sectoriel « **Instrumentation en environnements sévères** » dédié aux métiers de la forge et de la fonderie se poursuit également. Avec pour finalité d'améliorer la collecte de données, ce projet permet également d'apporter des briques nécessaires à la quantification des émissions/consommations ou encore à l'intégration des jumeaux numériques nécessitant de la donnée fiable pour être efficiente.

D'autres projets sont également suivis en Commissions forge et fonderie tels que :

- L'étude sur les **revêtements minces** (PVD) visant à trouver un essai représentatif de l'endommagement au sein d'un outil de forge de façon à comparer différentes solutions de dépôts,
- Les groupes de travail USIFF et NUMFOND dédiés à l'amélioration des méthodes et usages sur les **logiciels de simulation**, respectivement en forge et en fonderie
- La finalisation des travaux sur le **forgeage isotherme**
- La poursuite des R&D initiées sur la **métallurgie numérique** et la caractérisation thermophysique des **alliages et matériaux de moulage**,
- L'action initiée sur les **sables de fonderie**, avec une première phase d'inventaire et de qualification des gisements et filières,
- La conception d'un nouvel outillage d'essai et structuration d'un programme associé en **fonderie sous pression**, qui sera piloté dans le cadre du Laboratoire Commun MetaLiq avec l'ENSAM,
- Des travaux de veille associés à ces différents domaines et plus largement.

Par ailleurs, plusieurs projets plus transversaux, d'intérêt pour les professions de la forge et de la fonderie, font l'objet de focus réguliers en commissions, avec un nombre croissant de participants issus de la profession sur ces projets, qui montre leur intérêt. On peut citer pour exemple :

- le projet thématique transversal sur la **fabrication additive à coût accessible** (livrable spécifique : Fabrication additive des outillages de forge à chaud - <https://www.cetim.fr/mecatheque/Resultats-d-actions-collectives/fabrication-additive-des-outillages-de-forge-a-chaud-version-francaise-et-anglaise> - Figure 4),

- le projet thématique transversal sur le **contrôle en ligne des produits et procédés** avec des travaux initiés sur le contrôle pendant les opérations de soudage ou de fabrication additive, sur la détection automatisée de défauts de surface sur les pièces de fonderie avant/pendant ou juste après écroutage, sur le contrôle en ligne et à chaud des pièces après déformation/laminage, sur l'apport des méthodes d'imagerie UT sur des pièces très bruitées (fonderie), ou encore sur la compréhension des phénomènes de bruitage sur les image RX,
- le projet thématique transversal sur les **traitements thermiques et contraintes résiduelles**, structuré autour de trois axes : l'optimisation et modification du traitement thermique par simulation numérique, la définition d'une méthodologie innovante pour déterminer plus efficacement les paramètres optimaux de traitement thermique, et la recherche de performance via l'exploration de traitements innovants tels que le détensionnement par vibration ou la trempe bainitique en four sous vide.
- Un nouveau projet en démarrage sur la **maîtrise de la thermique dans les outillages...**



Figure 4 : Réalisation de canaux internes au sein d'un outillage de forge

Enfin, en lien avec l'UNM, plusieurs actions sont menées en normalisation notamment dans le domaine de la forge libre, des alliages d'aluminium, des contrôles non destructifs (contrôle par thermographie et ultrasons multiéléments notamment).

En résumé, les études menées par le CETIM, en collaboration avec la Fédération Forge Fonderie pour les enjeux sectoriels, ou plus largement dans le cadre des grands projets, des travaux de R&D et de thèses ou des projets thématiques transversaux ou stratégiques sectoriels précités, adressent directement les problématiques techniques des professionnels de la fonderie et de la forge. Aussi, si ces thématiques vous intéressent, n'hésitez pas à nous contacter pour rejoindre la Communauté de ces Projets.

Commission Technique Fonderie CETIM – contact : [Clotilde.macke-bart@cetim.fr](mailto:Clotilde.macke-bart@cetim.fr)

Commission Technique Forge CETIM – contact : [Christophe.grosjean@cetim.fr](mailto:Christophe.grosjean@cetim.fr)



Charlotte MOUGEOT  
Responsable  
Environnement,  
Hygiène et Sécurité  
Fédération Forge  
Fonderie

## Focus sur quelques programmes d'accompagnement pour aider les industriels dans leur démarche de décarbonation

L'engagement dans la transition énergétique et bas carbone est un impératif pour nos secteurs pour faire face aux exigences réglementaires, à la demande croissante des secteurs clients et aux enjeux de compétitivité. La Fédération Forge Fonderie se place aux cotés de ses adhérents dans cette démarche et assure en premier lieu la diffusion des programmes d'accompagnements que les industriels peuvent solliciter.

Dans cet objectif, cet article fait état de quelques dispositifs d'aides déployés par l'ADEME et la BpiFrance pour répondre aux besoins d'accompagnement des entreprises selon leurs niveaux de maturité dans la démarche de décarbonation.

Le tableau ci-après se veut être une synthèse des programmes d'aides mais il ne saurait se substituer à la lecture attentive des conditions d'éligibilité propres à chacun d'eux.

Les dispositifs d'aides présentent une trame commune de conditions d'éligibilités (qui viennent s'ajouter aux conditions spécifiques à chacune des aides expliquées dans le tableau) :

- Les travaux ou études n'ont pas débuté au moment de la demande de l'aide
- Les bureaux d'études réalisant les accompagnements sont référencés par l'organisme encadrant l'aide.
- Seuls les coûts de prestations externes liés à l'accompagnement sont éligibles
- Les études devront être conformes aux cahiers des charges ou aux méthodologies des aides sollicitées.
- Le site n'encourt ni sanction ni mise en demeure et est en bonne santé financière
- Les aides ne peuvent aider à remplir une obligation réglementaire

### Diag Décarbon'action pour obtenir son Bilan gaz à effet de serre – inscription en continue

La BpiFrance remet en place un programme à succès, grandement sollicité dans les campagnes précédentes : le **Diag Décarbon'Action** qui permet **d'obtenir son Bilan gaz à effet de serre**.

Il propose une démarche simple établie en 3 étapes qui se déroule sur **12 jours d'intervention d'un expert répartis sur 6 à 8 mois** dont les travaux consistent à :

1. Mesurer les émissions de Gaz à effet de serre de l'entreprise.
2. Elaborer le plan d'actions pour décarboner l'activité.
3. Embarquer l'écosystème de l'entreprise en valorisant l'engagement dans la décarbonation.

L'expert en question est agréé et sélectionné par Bpifrance se déplace sur site pour aider à définir une trajectoire de décarbonation adaptée à l'activité et à ses enjeux.

A l'issue de la démarche l'industriel bénéficie :

- du bilan de gaz à effet de serre de l'entreprise.
- d'un plan d'action détaillé.
- des supports pour communiquer et valoriser la démarche de décarbonation entreprise

Ce programme est éligible aux entreprises de moins de 500 salariés, ayant au moins 1 an d'activité, et pour lesquelles aucune démarche de bilan gaz à effet de serre n'a été réalisée durant les 5 dernières années.

Les inscriptions sont ouvertes en continue dans la limite des places disponibles aux sessions.

Le bilan carbone constitue un prérequis nécessaire à l'entrée dans les programmes PACTE industrie ou PI-MECA développés ci-après.

### PROREFEI pour former des référents énergie – Inscription avant le 15 septembre 2025

PROREFEI est un programme de formation déployé par l'ADEME destiné aux entreprises de moins de 250 salariés souhaitant former des référents énergie dans leurs entreprises qui seront capables de porter des actions de transition énergétique. Pour se faire, **4 modules de formations** doivent être suivies par les futurs référents énergie qui sont développés ci-dessous. Ces formations peuvent être aussi bien suivies indépendamment les unes des autres que simultanément. Les coûts de cette formation peuvent être subventionnés jusqu'à 70%. Ce programme a été ouvert sur la période 2024-2026, les inscriptions pour la prochaine session doivent être faites avant le 15 septembre 2025.

#### Parcours de formation en 3 modules

- ⇒ 1 MOOC de 6 h + 2 jours de stage en présentiel ou en distanciel + coaching individuel en situation de travail sur site.
- ⇒ Livrables : Structurer et piloter une démarche d'efficacité énergétique adaptée aux contraintes de chaque entreprise.

#### Le plan de mesurage

- ⇒ 1 journée, en présentiel ou distanciel.
- ⇒ Livrables : Savoir mettre un plan de mesurage pour arbitrer sur le choix et les priorités des indicateurs de performance à mesurer, effectuer un choix éclairé sur des instruments de mesure, identifier les bonnes pratiques méthodologiques et techniques de mise en œuvre, d'exploitation et de suivi d'un plan de comptage de l'énergie.

#### Energies Renouvelables et de Récupération

- ⇒ 1 journée, en présentiel ou distanciel.
- ⇒ Livrables : Comprendre les enjeux des énergies renouvelables et de récupération pour les industries, identifier les opportunités des énergies renouvelables et de récupération compte tenu de leur secteur industriel, définir une méthodologie de projet pour l'intégration des énergies renouvelables et de récupération dans l'industrie, identifier les différents types de financements, appréhender et évaluer les risques inhérents à son projet.

#### Les achats d'énergie

- ⇒ 1 journée, en présentiel ou distanciel.
- ⇒ Livrables : Identifier les leviers d'actions disponibles pour optimiser les achats d'énergie, accompagner l'entreprise lors des achats d'énergie, contribuer à la rédaction des cahiers des charges lors des achats d'énergie, mobiliser et coordonner les acteurs internes / externes, argumenter auprès de la Direction.

### Pro-SME<sub>n</sub> – Prime à la mise en place de l'ISO 50 001 – Inscription avant le 30 septembre 2025

Un 3<sup>ème</sup> campagne Pro-SME<sub>n</sub> est ouverte sur la période 2023-2026 qui fait suite aux deux précédentes campagnes à succès.

PRO-SME<sub>n</sub> récompense la mise en place de Systèmes de Management de l'Énergie ISO 50001 dans les entreprises, par le versement d'une **prime dont le montant représente 20 % des dépenses énergétiques de l'entreprise dans la limite du plafond fixée à 40 000 euros**

La norme ISO 50001, qui encadre le management de l'énergie, est historiquement une démarche volontaire. Toutefois, la réglementation européenne et française évoluent et imposent désormais sa mise en place pour les entreprises dépassant certains seuils de consommation énergétique.

Ainsi la loi portant diverses dispositions d'adaptation au droit de l'Union européenne du 2 mai 2025, dans son article 25 établit que :

« Art. L. 233-1.-I.-Les personnes morales immatriculées au registre du commerce et des sociétés ainsi que les personnes morales de droit privé mentionnées à l'article L. 612-1 du code de commerce sont tenues de :

« 1° Mettre en œuvre un système de management de l'énergie lorsque leur consommation annuelle moyenne d'énergie finale est supérieure ou égale à 23,6 gigawattheures ;

« 2° Réaliser, tous les quatre ans, un audit énergétique des activités qu'elles exercent en France lorsque leur consommation annuelle moyenne d'énergie finale est supérieure ou égale à 2,75 gigawattheures et qu'elles n'ont pas mis en œuvre de système de management de l'énergie [...]. »

Ces dispositions entreront en vigueur le 1<sup>er</sup> octobre 2025, pour l'heure les textes réglementaires sur les modalités d'application ne sont pas encore publiés.

Ainsi, afin de ne pas déroger à une des conditions d'éligibilité communes à tous les dispositifs d'aides consistant à ne pas contribuer à la mise en conformité réglementaire du site, il est primordial que les sites qui ne sont pas encore dotés de SME ISO 50 001 et qui entreraient dans le champ d'application de la réglementation ci-dessus, s'inscrivent dans le dispositif PRO-SME<sub>n</sub> avant le 30 septembre 2025.

Pour les sites IED concernés par l'application des MTD du BREF SF pour décembre 2028, cet engagement dans PRO-SMEn est d'autant plus utile car certaines MTD du BREF SF requièrent de mettre en place des éléments d'un système de management de l'énergie :

- MTD 2 : Afin d'améliorer les performances environnementales du site, la MTD requiert de mettre en place un inventaire des flux entrants et sortants du site, contenant de nombreuses informations sur la consommation et l'utilisation d'énergie
- MTD 6 : Mettre en place une surveillance au moins annuelle des consommations d'énergie
- MTD 7 : Afin d'accroître l'efficacité énergétique du site, la MTD requiert de mettre en place notamment un plan d'efficacité énergétique et audits énergétiques ainsi que l'établissement d'un bilan énergétique un fois par an détaillant les sources d'énergie

## PACTE industrie et PI-MECA pour accompagner la stratégie de décarbonation

Le programme **PACTE industrie** propose un ensemble **d'accompagnements et de formations** que les industriels peuvent solliciter à titre individuel pour avoir un programme sur mesure adapté à la maturité du site. Ces aides permettent notamment d'engager les équipes dans le projet de transition énergétique mais surtout d'obtenir une stratégie de décarbonation et de sécuriser les investissements liés à la décarbonation grâce à des outils d'aide à la décision.

Le programme **PI-MECA** est le programme collectif spécialement dédié aux entreprises de la mécanique, issu de PACTE industrie et animé par le CETIM.

Ce programme permet aux industriels de bénéficier non seulement des programmes de PACTE Industrie (que chaque industriels peut solliciter à la carte et à titre

individuel), mais aussi de bénéficier de la valeur ajoutée apportée par la dimension collective du programme.

A l'issue de ce programme l'entreprise peut choisir 5 accompagnements différents qui vont de la construction d'une stratégie de décarbonation (méthodologie ACT) aux modes de financement adaptés aux choix d'investissement Bas Carbone en passant par l'optimisation du mix énergétique du site. Ce programme permet en outre d'engager les équipes dirigeantes autour d'un projet ambitieux et structurant mais surtout de sécuriser les investissements en axant la démarche sur l'identification des leviers d'efficacité énergétique.

A travers PI-MECA, les entreprises participent à des ateliers tous les trois ou six mois avec l'intervention d'un expert sur les thématiques d'adaptation stratégique aux enjeux climatiques et énergétiques. La synergie au sein du groupe permet notamment de découvrir les bonnes pratiques des autres industriels, d'engager des travaux communs entre industriels et de partager les actualités.

**Programme ouvert jusqu'en juin 2026 - Recrutement en cours de 20 entreprises pour l'action collective**

**Il reste encore des places pour y participer. Si vous êtes intéressés n'hésitez pas à y prendre part !**

Ce dispositif est ouvert aux PME ou ETI manufacturières ressortissantes Cetim dont le siège social est basé en France et ayant déjà réalisé un Bilan Carbone ou un audit énergétique, qui souhaite aller plus loin dans leur engagement dans une démarche de décarbonation à moyen et long terme.

Pour tout renseignement sur ces programmes PI-MECA et PACTE industries : [nicolas.cortesi@cetim.fr](mailto:nicolas.cortesi@cetim.fr) Responsable activité Transition énergétique et environnementale CETIM

## Aide Formation Subvention

Nom des programmes	Actions	Taux d'aide maximum	Pré-requis	Plafond des dépenses éligible (euros HT)	Durée
PROREFEI	<b>Formation du référent technique en énergie</b> pour structurer sa démarche énergétique 1 MOOC et 2 jours de formation + 1 coaching	70% du montant pour les entreprises de moins de 250 salariés	aucun	3 700 euros	quelques jours
Pro-Smen	<b>Prime à la certification ISO 50 0001</b>	20 % des dépenses énergétiques annuelles des sites bénéficiaires	aucun	40 000 euros	selon l'implication du site dans la démarche 6 à 8 mois

Nom des programmes	Actions	Taux d'aide maximum	Pré-requis	Plafond des dépenses éligible (euros HT)	Durée
Diag Décarbon'action de BPI France	<b>Accompagnement :</b> - Réaliser un Bilan gaz à effet de serre par un expert BpiFrance qui se rend sur site - Elaborer un plan d'action - Obtenir des supports de communication pour embarquer ses équipes	40% pour les entreprises <b>pour les entreprises de moins de 500 salariés</b>	- Ne jamais avoir réalisé de Bilan gaz à effet de serre ou datant de plus de 5 ans - avoir plus d'1 an d'activité Attention : a partir du 01/10/2025	6 000 euros	12 jours répartis sur 6 à 8 mois
<b>PACTE industrie (action individuelle)</b> (date limite : 31 décembre 2025)  OU  <b>Pi-MECA (action collective) :</b> Entre 5 et 10 entreprises sont nécessaires pour cette action collectives (date limite : 31 décembre 2026)  ADEME	<b>Etude opportunité mix énergétique bas carbone (site) :</b> Accompagnement pour Etablir des scenario de décarbonation et une feuille de route	80% maximum pour les micros et petites entreprises **	- Disposer d'un audit énergétique* de moins de 4 ans	10 000 euros	2 à 3 mois
	<b>Etude globale (audit énergétique * (non réglementaire) + étude d'opportunité mix énergétique bas carbone) :</b> Accompagnement pour faire réaliser ces études	70% maximum pour les moyennes entreprises **		15 000 euros	
	<b>ACT Pas-à- pas (les 5 étapes de la démarche entière)</b> Accompagnement pour développer et organiser : - une stratégie de décarbonation - une feuille de route - un plan de transformation Monter en compétence de la direction et des chargés de projets	60% maximum pour les grandes entreprises**	- Disposer d'un bilan gaz à effet de serre de moins de 2 ans - Avoir suivi une formation ACT pas à pas	30 000 euros	6 à 12 mois
	<b>Trajectoire d'investissement bas carbone (TIBC)</b> Accompagnement pour construire à l'échelle d'un groupe : - des scénario de décarbonation - un planning d'investissement et flux de trésorerie associé - Analyse de sensibilité aux prix de l'énergie etr carbone		- Disposer d'un audit énergétique* de moins de 4 ans - Disposer d'un bilan gaz à effet de serre datant de moins de 2 ans	20 000 euros	6 à 12 mois
	<b>Stratégies et trajectoires d'investissements bas carbone (Act Pas-à-pas complet + TIBC)- (Multi-sites)</b> Accompagnement regroupant les deux programmes ci-dessus		cf. conditions des 2 cases ci-dessus	50 000 euros	9 à 18 mois
	<b>Act Evaluation</b> Accompagnement Evaluer l'alignement de la stratégie climatique au regard de l'Accord de Paris et la cohérence des engagements		- Disposer d'une stratégie bas carbone - Disposer d'un plan de transition - Avoir suivi la formation ACT «évaluation»	5 000 euros	2 à 3 mois
	Accompagnement par <b>Coaching sur les projets</b> d'investissement (5 types de coaching)		aucun	- 5000 euros pour 1 coaching - Si l'entreprise cumule 2 coaching : 8 000 euros - Si l'entreprise cumule 3 coaching : 10 000 euros - Si l'entreprise cumule 4 coaching : 15 000 euros	2 à 5 jours
PI-MECA ( action collective) : 10 entreprises sont nécessaires pour cette action collective  ADEME et du CETIM	(En plus des actions individuelles de PACTE Industrie ) <b>Ateliers collectifs :</b> - Groupe de travail trimestriel pour partager les retours d'expérience, les bonnes pratiques - Ateliers thématiques ( récupération chaleur, adaptation au changement climatique)	Pour les ressortissants CETIM	Solliciter un à plusieurs programmes ci-dessus de PACTE-Industrie	/	1 à 2 réunions / trimestre

\* à partir d'octobre 2025 au plus tard, l'audit énergétique deviendra obligatoire pour les sites consommant plus de 2,75 GWh/an

\*\* Les micro, petites, moyennes ou grandes entreprises sont quantifiées selon la définition européenne. Le guide de la catégorisation des entreprises selon la réglementation européenne est disponible sur le site de l'Office des publications de l'UE "guide utilisateurs pour la définition de la PME"



Charlotte MOUGEOT  
Responsable  
Environnement,  
Hygiène et Sécurité  
Fédération Forge  
Fonderie

## Les dérogations dans le cadre de la mise en œuvre du BREF Forge Fonderie

Les BRef sectoriels sont des documents européens qui constituent la référence réglementaire pour fixer les conditions d'autorisation d'exploiter des installations classées IED. Chaque BRef établit pour un secteur donné des Meilleures Techniques Disponibles (MTD) dont certaines avec des niveaux limites d'émission (NEA-MTD) ou des niveaux limites de performances (NPEA-MTD) que les sites concernés sont dès lors, tenus de respecter.

La Fédération Forge Fonderie, aux côtés des autres parties prenantes, a suivi pendant cinq ans la révision du BRef Forge Fonderie (BRef SF) avec une implication active des industriels. Un travail qui a mené à la publication d'un nouveau BREF SF en décembre 2024.

Sa mise en application soulève de nombreux défis techniques, économiques et organisationnels pour les industriels du secteur avec un calendrier réglementaire exigeant :

- Douze mois sont accordés aux exploitants des sites IED pour élaborer leur dossier de réexamen, soit une échéance à décembre 2025
- Quatre ans sont ensuite prévus pour la mise en conformité effective des installations par l'application des MTD sur leur site, soit une échéance fixée à décembre 2028.

Pour l'heure, la plupart des sites IED concernés s'affairent à la réalisation de ce dossier de réexamen.

Cet exercice complexe doit permettre de préciser la situation actuelle du site au regard des nouvelles MTD, dont le respect des NEA-MTD et des

NPEA-MTD, et de proposer un plan d'action si la mise en œuvre immédiate n'est pas possible. En cas d'impossibilité à terme, l'exploitant doit formuler dans son dossier de réexamen, une demande de dérogation précisant soit la demande d'un délai supplémentaire, soit la demande de se voir appliquer une valeur limite différente du NEA-MTD.

Les dérogations demandées dans le cadre du réexamen sont encadrées par [l'Article R. 515-68](#) du Code de l'environnement qui précise que la dérogation peut être accordée si l'exploitant « justifie dans une évaluation que l'application des dispositions de l'article R. 515-67 entraînerait une hausse des coûts disproportionnée au regard des bénéfices pour l'environnement, en raison : a) De l'implantation géographique de l'installation concernée ou des conditions locales de l'environnement ; ou b) Des caractéristiques techniques de l'installation concernée. »

L'évaluation dont il est question dans cet article nécessite notamment, dans la plupart des cas de développer des arguments techniques circonstanciés et de présenter des actualisations d'études de risques sanitaires (ERS)

ainsi qu'un calcul d'un ratio coûts/efficacité. [Un guide ministériel](#) fournit un cadre méthodologique à cette fin et le site internet « AIDA » propose en ligne [un outil Excel](#) pour réaliser le calcul du ratio coûts/efficacité.

Bien que ces justifications pour les dérogations exigent un travail conséquent de la part de l'exploitant, il est primordial de saisir cette opportunité légitime pour expliciter et documenter les problèmes qu'il rencontre pour la mise en œuvre des nouvelles MTD sur son site.

Nos professions doivent changer de braquet sur ce point, puisqu'il ressort de l'évaluation de la mise en œuvre de la directive IED avant sa révision, que, sur la base de ce texte, on ne compte que 40 dérogations, tous BRef confondus, en France, chiffre qui atteste que jusqu'à présent, il n'est pas d'usage d'y avoir recours bien qu'elle soit prévue par la réglementation.

C'est dans cet esprit que s'inscrit l'action de la Fédération Forge Fonderie pour accompagner ses adhérents dans le cadre de la mise en œuvre du nouveau BRef et des éventuelles demandes de dérogation.

Ainsi, dans un premier temps, trois webinaires ont été organisés durant le premier trimestre 2025 afin de clarifier le cadre réglementaire nouveau, les requis dans le cadre de la constitution des dossiers de réexamen ainsi que les méthodologies à mettre en œuvre pour la constitution de ce dossier et la formulation de demandes de dérogations.

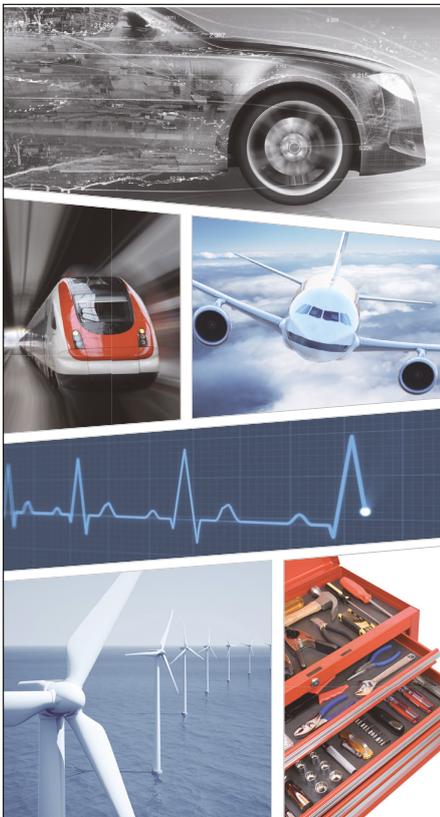
Pour alors faire suite à la publication d'un BREF, la Direction Générale de la Prévention des Risques, organise traditionnellement une réunion de concertation réunissant industriels, inspecteurs DREAL et syndicats professionnels. La Fédération Forge Fonderie a travaillé à sa participation utile à cette réunion, prévue fin septembre 2025 pour son secteur, dans le cadre de laquelle elle interviendra

pour porter la voix des industriels en exposant les principales difficultés identifiées et plus particulièrement les points du BREF justifiant le plus de demandes de dérogations. Dans cet esprit la Fédération organise une session d'échange début septembre 2025 au cours de laquelle les responsables EHS des sites concernés sont invités à partager leurs difficultés de mise en œuvre que la Fédération pourra ensuite porter en synthétisant ces retours d'expérience.

Et ce travail pourrait s'avérer avoir une autre utilité, dans l'hypothèse où le BREF SF donnerait lieu à l'élaboration d'un Arrêté Ministériel de Prescriptions Générales (AMPG) pour les sites IED, comme cela a été le cas pour le BREF Traitement de surface publié en 2022 par exemple.

L'ambitieux chantier proposé par la Fédération au tour du nouveau BREF pourrait ainsi s'avérer d'une très grande utilité afin de donner une image sincère des réalités industrielles et ce, dans l'objectif de ne pas se voir inscrire, dans cet AMPG, les valeurs limites les plus strictes établies dans le BREF SF (comme le permet, même de façon encadrée, l'article 15.3.b de la Directive IED 2.0 que nous rappellerons en cas de besoin).

A votre entière disposition dans ce cadre, nous espérons que vous serez nombreux à participer à ces travaux indispensables afin qu'autant que possible, l'application du nouveau BREF ne constitue pas un handicap supplémentaire trop lourd pour vos entreprises.



## L'OPTIMUM QUALITÉ EST NOTRE PRIORITÉ

Notre vaste gamme de machines-outils pour les techniques de formage comprend entre autres **des presses hydrauliques, des marteaux-pilons, des marteaux à contre-frappes, des presses à vis, des machines de préformage et des laminoirs transversaux et longitudinaux**. Un autre de nos atouts : **l'automatisation** clef en main des installations, lignes complètes ou simples machines. **Your needs. Our solutions.**

### Domaine d'application actuel :

- ▶ Industrie automobile
- ▶ Technique ferroviaire
- ▶ Industrie aéronautique
- ▶ Construction navale
- ▶ Techniques médicales
- ▶ Appareils électroménagers
- ▶ Fabrication d'outillages à main
- ▶ Construction de machines
- ▶ Construction de machines agricoles
- ▶ Energies renouvelables
- ▶ Construction de centrales énergétiques
- ▶ Industrie de la robinetterie
- ▶ Industrie Offshore
- ▶ Industrie minière



LASCO Umformtechnik GmbH

Hahnweg 139 • 96450 Coburg • Allemagne • Tél +49 9561 642-0

LASCO.COM



Sergio DA ROCHA  
Responsable Formation  
Fédération Forge Fonderie



## Concours Général des Métiers de la Fonderie : 30 ans d'excellence, de transmission et de passion

C'est un anniversaire symbolique que la filière fonderie a célébré les 27 et 28 mai 2025 au Lycée Marie-Curie de Nogent-sur-Oise : les 30 ans du Concours Général des Métiers (CGM) de la Fonderie.

Depuis son ouverture à l'enseignement professionnel en 1995, le CGM n'a cessé de mettre à l'honneur l'excellence, la rigueur et la technicité des métiers de la fonderie. Trente années à révéler des talents, valoriser des savoir-faire.

### La fonderie, présente dès la première heure

C'est en 1995 que le Concours Général, jusqu'alors réservé aux filières générales et technologiques, s'est ouvert aux spécialités professionnelles. La fonderie a aussitôt rejoint cette prestigieuse compétition, affirmant ainsi sa place dans le paysage de la formation technique d'excellence. Depuis, chaque année, de jeunes fondeurs y démontrent leur maîtrise des gestes, leur capacité d'analyse.

### Une épreuve anniversaire placée sous le signe du symbole

Pour cette 30<sup>e</sup> édition, quoi de plus emblématique que de mettre en œuvre la palme, symbole du Concours Général des Métiers lui-même ? Après de nombreuses recherches, les organisateurs ont choisi un modèle issu d'une fonderie française d'exception : Les Sables Noirs, fondée à Chandon (Loire) en 1985 et labellisée Entreprise du Patrimoine Vi-



vant. Son gérant, Marc Averseng, a généreusement autorisé l'utilisation d'un de ses modèles, en proposant même une adaptation exclusive pour cette édition anniversaire. La palme a ainsi été revisitée avec une épaisseur spécifique, moulée en fonte à graphite lamellaire et obtenue par un moulage sable silico-argileux type Bendol, avec joint horizontal.

### Un défi technique de haut niveau

L'épreuve s'est déroulée en trois temps sur deux jours :

- Étude de fabrication (4 h) : analyse du modèle, intégration des contraintes du procédé et anticipation des phases de production ;
- Réalisation du moule et coulée (4 h) : exécution technique sous pression du temps, avec une attention constante aux règles de l'art ;
- Décochage et parachèvement (4 h) : soin du détail et finesse du geste pour livrer une pièce conforme aux standards professionnels.



### Une ambiance studieuse et professionnelle

Le plateau technique fonderie du Lycée Marie-Curie a vibré au rythme des opérations, sous l'œil attentif du jury composé de professionnels aguerris et d'enseignants.



### Une présence symbolique : Sébastien Kret, premier lauréat du CGM Fonderie (1995)

Parmi les moments marquants des 30 ans du Concours Général des Métiers de la Fonderie, la venue de Sébastien Kret, premier lauréat de l'épreuve en 1995. Trente ans après sa distinction, Sébastien Kret a présenté son parcours (30 ans dans la fonderie !) et la manière dont le CGM a marqué un tournant dans sa vie professionnelle. Son témoignage, a rappelé aux candidats l'importance de l'engagement, du travail bien fait, et de la fierté que suscite l'apprentissage d'un métier aussi exigeant que la fonderie.



### Une soirée de gala pour célébrer l'excellence

Le mardi 27 mai, après une première journée intense d'épreuves, les finalistes, enseignants, jurés et partenaires ont été conviés à une soirée de gala exceptionnelle au restaurant panoramique de l'hippodrome de Chantilly. Face à un cadre prestigieux et une vue imprenable sur les pistes et les jardins du Domaine de Chantilly, cette soirée a permis à tous les acteurs du concours de partager un moment convivial et fédérateur. Entre souvenirs, échanges et perspectives, la fonderie a été célébrée dans ce qu'elle a de plus humain : le lien entre les générations, le respect des savoir-faire, et l'envie commune de transmettre.



### Un succès collectif et une vitrine pour la filière

Cette édition a été rendue possible grâce à l'engagement des enseignants, à la mobilisation des membres du jury, et au soutien fidèle de figures reconnues du secteur, parmi lesquelles Jean-Marc Desprez et Frédéric Dedequen. Au-delà du concours, cette manifestation rappelle combien la fonderie est un métier d'excellence, exigeant et passionnant. À l'heure où les enjeux de souveraineté industrielle et de transmission des savoir-faire sont cruciaux, le CGM de la Fonderie incarne un modèle à suivre.



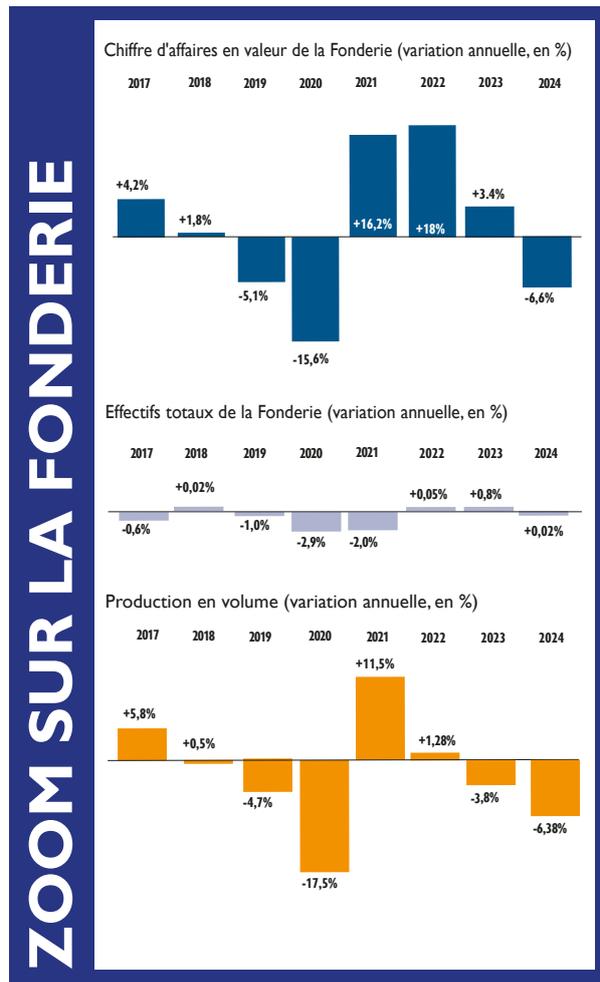
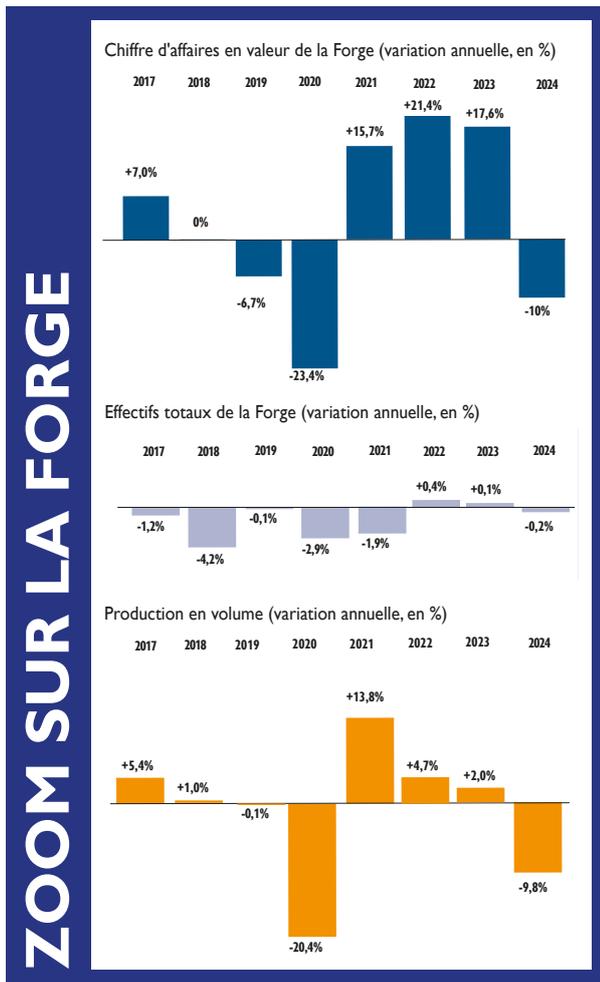
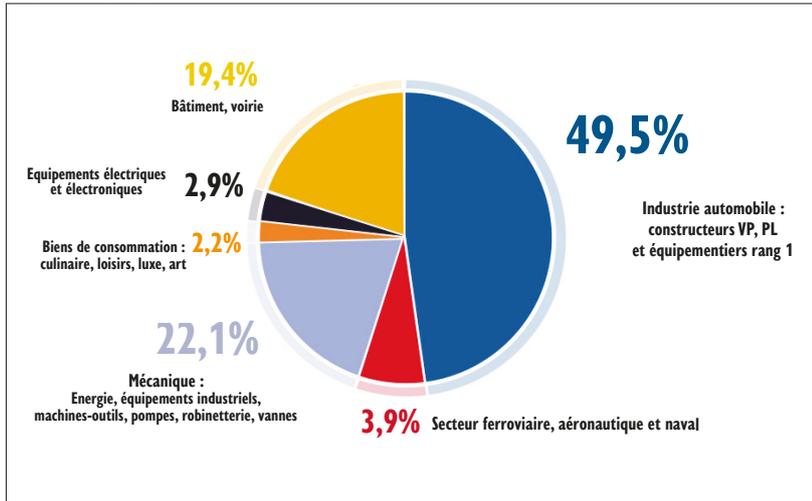
### Remerciements

La fédération remercie Monsieur Alain Procar, proviseur du Lycée Marie-Curie, Monsieur Nelson Alves Dos Santos, DDFPT, ainsi qu'à toute l'équipe pédagogique pour leur accueil, leur professionnalisme et l'organisation exemplaire de cet événement.



# Les chiffres-clés 2024 de l'industrie de la forge et de la fonderie

Repartition par grands marchés clients en 2024





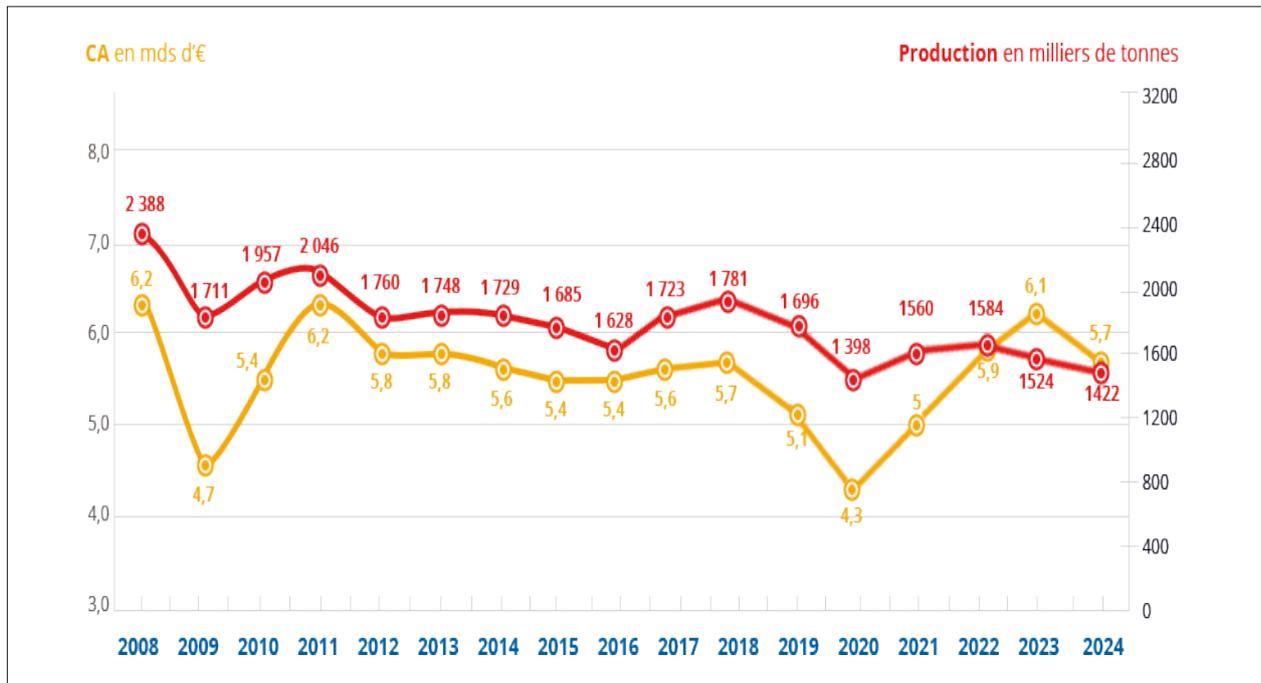
## Situation de l'activité fonderie en 2024

(Données issues des enquêtes mensuelles et annuelles réalisées par le service Statistiques Economiques & Prospective de la FIM)

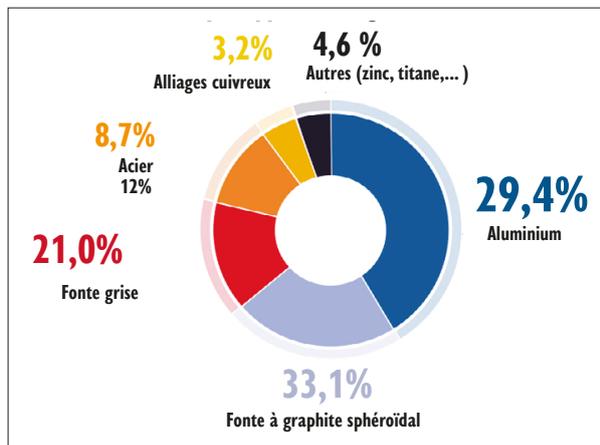
Le chiffre d'affaires global des industriels de la fonderie en 2024 s'établit à 5,7 Md€, soit une baisse de 6,6 % par rapport à 2023 (6,1 Md€), pour un volume de 1,423 million de tonnes, en baisse de 6,38 % par rapport à 2023 (1,520 Mt).

Le nombre de salariés reste sensiblement le même avec 28507 salariés (- 0,02 %) pour environ 330 établissements dénombrés.

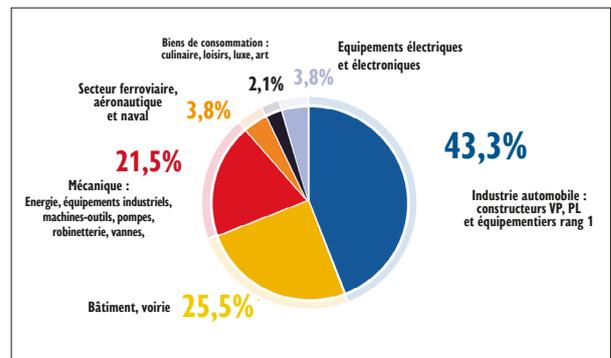
Evolution de la fonderie en valeur et en volume



Répartition de la fonderie par types d'alliages en 2024 (en valeur)



Répartition de la fonderie par marchés en 2024 (en volume)





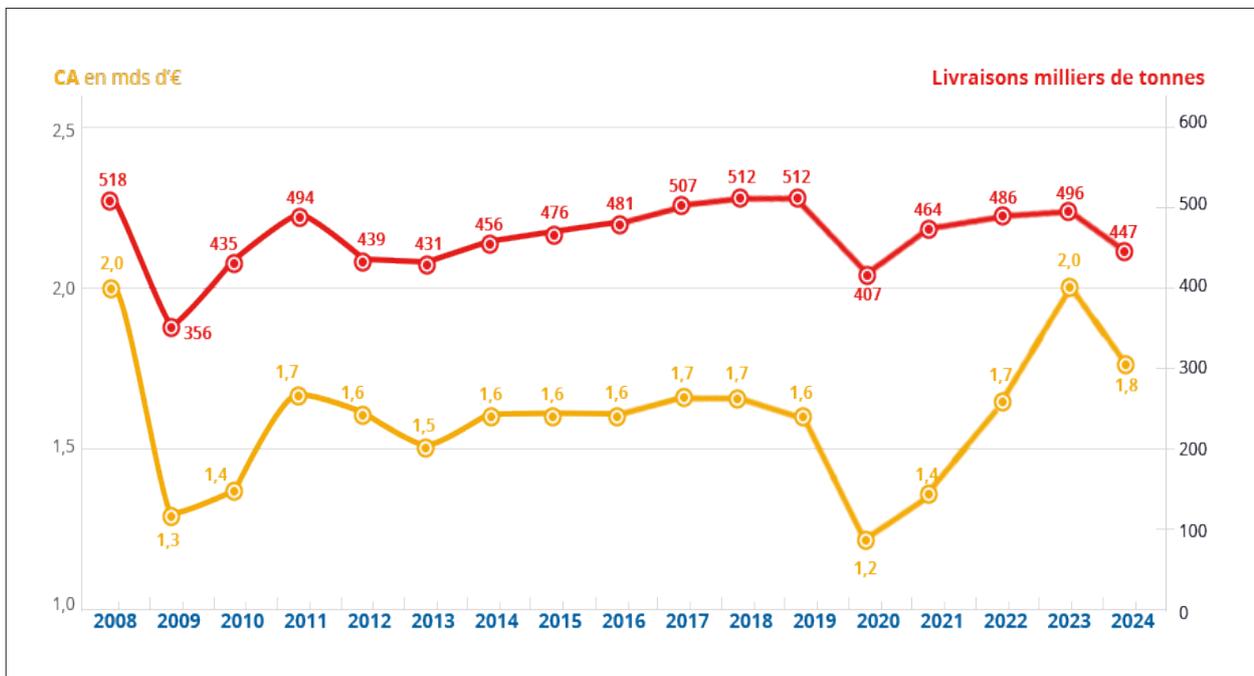
## Situation de l'activité forge en 2024

(Données issues des enquêtes mensuelles et annuelles réalisées par le service Statistiques Economiques & Prospective de la FIM)

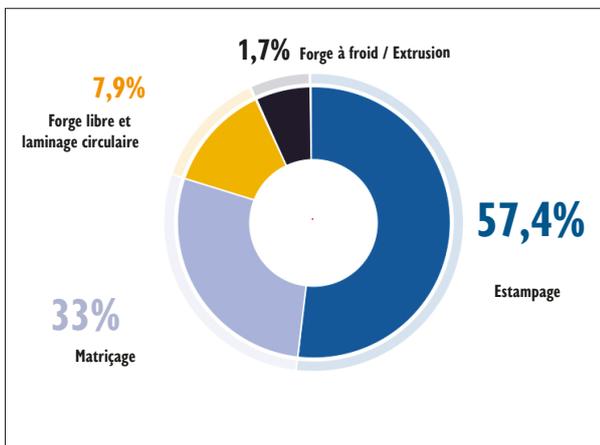
En 2024, le volume de production atteint 447 milliers de tonnes, soit un recul de 9,8 % par rapport à 2023 (496 Mt), pour un chiffre d'affaires de 1,8 Md€, en baisse de 10 %

(2 Md€ en 2023). Les effectifs de l'industrie française de la forge se maintiennent avec 7 413 salariés répartis dans 73 établissements de production.

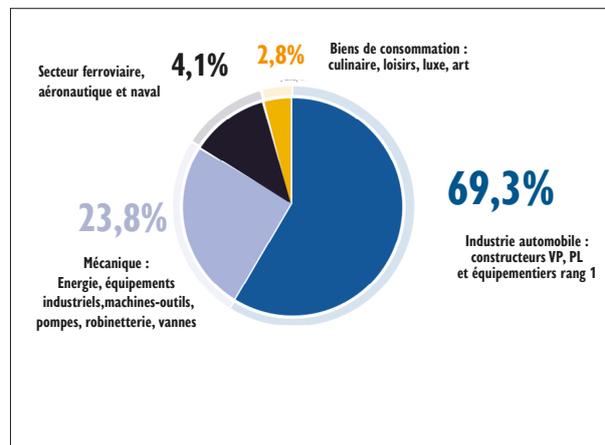
Evolution de la forge en valeur et en volume



Répartition de la forge par activités en 2024 (en valeur)



Répartition de la forge par marchés en 2024 (en volume)



## Jean-Pierre Grapinet : 40 ans au service des Forges de Courcelles, une carrière récompensée par la médaille d'honneur du travail GRAND OR



En mars 1985, Jean-Pierre GRAPINET rejoint les Forges de Courcelles en CDD. Moins d'un an plus tard, il décroche un CDI, marquant le début d'une carrière qui s'étendra sur près de 40 ans. Un parcours réalisé avec engagement, détermination et un profond respect pour son métier et ses équipes.

### Une ascension au sein de la Forge

Dès ses débuts, Jean-Pierre fait un court passage au Parachèvement avant d'intégrer définitivement la Forge, où il gravira tous les échelons. D'Opérateur à Technicien, puis Agent de maîtrise en mai 2019, il a su allier compétences techniques et qualités humaines pour relever les défis de la production.

Jean-Pierre s'est particulièrement distingué par sa capacité à fédérer et à faire grandir ses équipes. Il a formé, accompagné et fait progresser de nombreux collaborateurs, veillant toujours à ce que chacun trouve sa place et s'épanouisse dans son travail. Son management, impliqué et juste, lui a permis de concilier les impératifs de la production avec la valorisation de ses équipes.

Le 23 mai 2025, lors de la cérémonie de remise de la médaille d'honneur du travail GRAND OR, Jean-Pierre a été honoré pour l'ensemble de sa carrière. Cette distinction souligne non seulement ses 40 années au service des Forges de Courcelles, mais aussi l'importance de la forge et son rôle essentiel dans le département de la Haute-Marne.

La cérémonie a eu lieu au Ministère du Travail, de la Santé, des Solidarités et des Familles, en présence de Madame la Ministre Astrid Panosyan-Bouvet. Jean-Pierre GRAPINET a reçu la médaille d'honneur du travail GRAND OR, récom-

pensant ses 40 années de service. Il faisait partie des 31 récipiendaires sélectionnés parmi les travailleurs ayant marqué leur profession de manière exceptionnelle.

Accompagné de son épouse, Jean-Pierre a vu sa carrière mise à l'honneur, tout comme l'entreprise des Forges de Courcelles et la profession de la forge elle-même. La Haute-Marne a été valorisée à travers cet événement prestigieux, et la contribution de Jean-Pierre à l'essor de la forge a été soulignée avec fierté. À l'aube de ses 61 ans, Jean-Pierre entame une nouvelle vie de retraité.

La fédération se joint aux félicitations pour son parcours et considère que celui-ci est un bel exemple, montrant que les métiers de la forge et de la fonderie offrent de véritables opportunités d'évolution professionnelle dans un environnement stable et épanouissant.



SEPTEMBRE 25

14<sup>au</sup>  
17  
**IFCG 2025**  
International cold forging group  
Valenciennes  
[www.icfg.info](http://www.icfg.info)  
The International Cold Forging Group is a non-profit organization bringing together experts from industry and science in order to promote the economic and technical advancement of cold forging.

23<sup>au</sup>  
24  
**Congrès ALLICE 2025**  
2 jours consacrés à la Décarbonation de l'industrie !  
Cité International Universitaire, Paris  
[www.allice-congress.com/fr/](http://www.allice-congress.com/fr/)  
Durant ces 2 journées, le congrès ALLICE dressera un panorama des clés techniques, conjoncturelles et innovantes pour renforcer les actions des industriels en vue d'atteindre la neutralité carbone.

OCTOBRE 25

14<sup>au</sup>  
15  
**Congès gazelec**  
CNIT Forest, Paris La Défense  
[www.congresgazelec.com](http://www.congresgazelec.com)  
Deux enjeux majeurs seront en toute logique scrutés de près lors de cette édition : les clés de lecture à retenir pour analyser les conséquences du contexte géopolitique sur les marchés de l'énergie d'une part, et le tournant que va connaître le marché énergétique français en 2025- 2026 d'autre part.

Depuis plusieurs années, la Fédération Forge Fonderie et ses entreprises adhérentes bénéficient de tarifs préférentiels :  
- 50 % de remise pour toute inscription jusqu'au 27/06/2025  
- 30 % de remise au-delà et jusqu'au 09/09/2025  
Pour tout renseignement, contactez Guillaume Kozubski  
[g.kozubski@forgefonderie.org](mailto:g.kozubski@forgefonderie.org)



OCTOBRE 25

05<sup>au</sup>  
10  
**International Forging Congress IFC**  
Francfort ( Allemagne)  
Organisée par Euroforge  
[www.ifc2025.com](http://www.ifc2025.com)  
Le 24<sup>e</sup> Congrès international de la forge (IFC) a comme thème « Forger un avenir durable », cet événement réunira des leaders de l'industrie, des innovateurs et des experts pour explorer les dernières avancées en matière de technologie de forgeage. Il aura des conférences, des ateliers pratiques et un hall d'exposition avec de produits de pointe.

14  
**Commission Environnement**  
En format hybride (en présentiel dans les locaux de la Fédération et en teams)  
Plus d'information :  
Charlotte Mougeot  
Responsable Environnement  
[c.mougeot@forgefonderie.org](mailto:c.mougeot@forgefonderie.org)



NOVEMBRE 25

19<sup>au</sup>  
20  
**Congrès Fatigue Design 2025**  
Organisé par Cetim Senlis  
[www.fatiguedesign.org](http://www.fatiguedesign.org)  
Fatigue Design 2025 présentera les approches les plus innovantes et les progrès scientifiques dans les méthodologies et les outils de conception, en se concentrant sur les applications industrielles. Pour sa 11<sup>e</sup> édition, l'accent sera mis sur l'économie verte.  
Depuis plus de 20 ans, le congrès accueille en moyenne 300 participants et couvre une centaine de conférences en seulement deux jours.

25  
**Horizon Hydrogène**  
Centre de conférences Verso Victoire - Paris 75009  
[www.horizon-hydrogene.fr](http://www.horizon-hydrogene.fr)  
Le rendez-vous contenu & business des acteurs de l'hydrogène - revient pour une 5<sup>e</sup> édition.



FORMATIONS

Cetim Academy Catalogue 2025

Fondeurs et Forgerons



Pour aider les entreprises à trouver le parcours pédagogique adapté au profil de leurs salariés, le Cetim sera à votre écoute et vous orientera dans les solutions de formations possibles.

- Demandes de formation Intra ou toutes autres demandes d'informations : Mouloud CHERCHOUR – Responsable Commercial Formation [mouloud.cherchour@cetim.fr](mailto:mouloud.cherchour@cetim.fr), Tél. 06 86 45 97 98
- Demandes relatives aux CQPM : Pascal Germain – Chargé d'Affaires en ingénierie formation [pascal.germain@cetim.fr](mailto:pascal.germain@cetim.fr) Tél. 06 83 01 99 15
- Demandes de formations Inter : Sylvia PAGE – Responsable ADV et inscription aux formations dites « catalogue » [sylvia.page@cetim.fr](mailto:sylvia.page@cetim.fr), Tél. 03 44 67 35 66

Email : [formation@cetim.fr](mailto:formation@cetim.fr)  
Site : <https://www.cetim.fr/formation/Cetim-Academy>

A noter en 2026 :

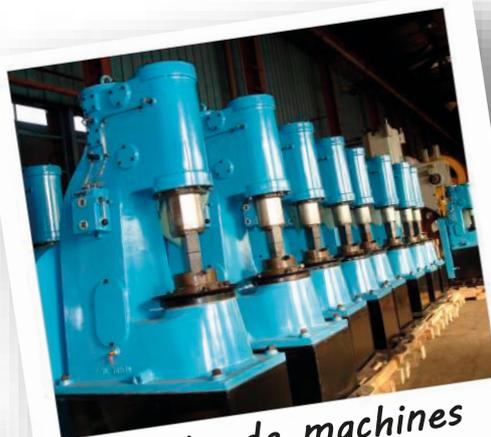
- METAL AMS 2026 Du mercredi 25 mars 2026 au jeudi 26 mars 2026 Cetim Senlis
- CASTFORGE à Stuttgart (Allemagne) du 9 juin au 11 juin 2026
- GLOBAL INDUSTRIE à Paris du 30 mars au 2 avril 2026



MAINTENANCE PRESSES  
CLERMONT-FERRAND



*Maintenance corrective et préventive*



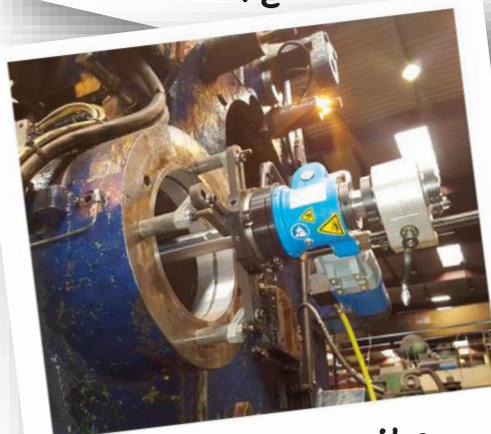
*Vente de machines neuves et occasions*



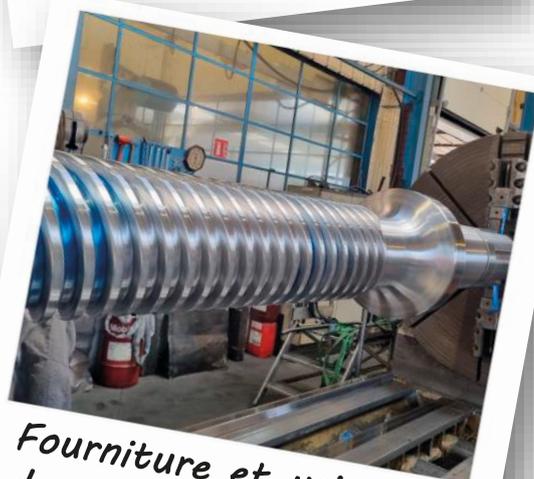
*Soudure*



*Reconstruction et mise en conformité*



*Usinage sur site*



*Fourniture et usinage de pièces de rechange*



**Actemium Maintenance Presses Clermont Ferrand**  
Société AREF  
Route de Courpière- 63920  
Peschadoires- France  
Tel: + 33 (0) 4 73 80 17 68 –  
Fax: + 33 (0) 4 73 80 52 14  
E-mail: [ampcf@actemium.com](mailto:ampcf@actemium.com)  
Site: [www.eref.fr](http://www.eref.fr)

**A.R.E.F.**