

# LA FORMATION AUX MATERIAUX ET A LA METALLURGIE DANS LES ECOLES D'INGENIEURS

**Le 17 Janvier 2018**

# PREAMBULE

Dans son analyse prospective 2020-2025, l'Observatoire de la Métallurgie met en évidence que le secteur de l'élaboration et de l'utilisation des matériaux, constitue un secteur majeur pour l'économie nationale. De nombreux postes au niveau Bac+5 seront à pourvoir dans les années à venir dans les industries concernées.

Le RNM a donc décidé de créer un Groupe de Travail chargé de faire des propositions relatives aux formations indispensables à mettre en œuvre dans les écoles d'ingénieurs concernées par ce domaine.

## Composition du Groupe de Travail

Jean-Luc BECHADE	CEA & INSTN
Ghislaine BERTRAND	ENSIACET
Pierre-Yves BRAZIER	ESFF
Marjorie CAVARROC	SAFRAN
Sylvain DANCETTE	INSA LYON
Jean DHERS	AREVA
Justin DIRRENBARGER	CNAM
Anna FRACZKIEWICZ	MINES SAINT ETIENNE
Pascal GHYS	ALSTOM
Jacques JUPILLE	UPMC
Olga KLINKOVA	SUPMECA
Florence LE STRAT	RENAULT
Jean-Jacques MAILLARD	RNM
François MUDRY	IRT M2P
Jacques POIRIER	POLYTECH ORLEANS
Michel PIETTE	VALLOUREC
Frédéric PRIMA	CHIMIE-PARISTECH
Hélène REGLE	ARCELORMITTAL
Hubert SCHAFF	SF2M
Frédéric SCHUSTER	CEA
Denis SOLAS	POLYTECH PARIS-SUD
Patrick TODESCHINI	EDF

# PRINCIPALES CONCLUSIONS DE L'OBSERVATOIRE DE LA METALLURGIE (Février 2017)

## **1/ Le Bilan**

Le secteur de l'élaboration des métaux, de leur transformation représente un poids important de l'économie française :

- 61 Milliards € de C.A (hors recyclage)
- 276.000 salariés

C'est une industrie essentielle aux autres secteurs industriels nationaux :

- Par l'élaboration des métaux et leur première transformation par forge, fonderie, fabrication additive, elle alimente les secteurs industriels phares : aéronautique, automobile, énergie, électronique, santé...
- Elle participe à répondre aux enjeux et mutations de ces secteurs (Métaux plus légers, plus performants, Intégration d'électronique embarquée Nouvelles fonctionnalités...

C'est une industrie qui alimente :

Des centres de R&D industrielle de classe mondiale

- Arcelor Mittal Maizières Research
- Constellium Technology Center
- Eramet Research
- Rio Tinto / LRF
- CETIM
- CTIF

Une recherche publique de très haut niveau au sein de grands pôles universitaires :

- Institut Jean Lamour (Nancy),
- LEM3 (Metz),
- CEMEF (Mines Paris),
- CIRIMAT (Toulouse),
- ICMCB (Bordeaux),
- P' (Poitiers)
- SIMAP (Grenoble),
- IRT M2P (Metz)
- IRT Jules Verne (Nantes)

C'est une industrie qui emploie plus de 12 % de ses effectifs au niveau Ingénieur et doctorat.

## **2/ Les Perspectives**

C'est un secteur pourvoyeur d'emplois pour les ingénieurs (environ 700 postes/an jusqu'en 2025), principalement dans les domaines de :

- La recherche (nouveaux matériaux)
- La R&D (simulation, modélisation, nouveaux procédés)
- La conception (numérisation, cycle de vie des produits, fabrication additive,...)
- La maintenance (usine 2.0, gestion des robots à distance,...)

C'est également un secteur qui voit apparaître de nouvelles filières et de nouveaux métiers, principalement dans le domaine du recyclage et de la gestion des déchets.

### **3/ La formation initiale et les préconisations**

Face à ces perspectives, l'observatoire de la métallurgie a recensé les formations d'ingénieurs dans ce domaine.

Il en ressort l'existence de :

- 1 formation d'ingénieurs dans le domaine de la forge et la fonderie (30 diplômés /an).
- 8 formations d'ingénieurs dans le domaine de la métallurgie (70 diplômés/an).
- Quelques masters orientés matériaux métalliques en université (50 diplômés /an)
- 50 thèses/an spécifiques aux matériaux métalliques.

***Cette analyse fait ressortir un déficit d'ingénieurs formés par rapport aux besoins futurs.***

L'observatoire émet donc deux préconisations pour essayer de remédier à cette situation :

- ***Accroître les effectifs dans les formations existantes, ou développer les formations proches (matériaux par exemple)***
- ***Attirer des jeunes diplômés de formations « généralistes » vers ces métiers en revalorisant leur image et en mettant en place des formations spécialisées dans ces domaines.***

***Pour consulter le rapport dans son intégralité : [https://rnm-metallurgie.fr/wp-content/uploads/2017/04/etude\\_metallurgie\\_2017.pdf](https://rnm-metallurgie.fr/wp-content/uploads/2017/04/etude_metallurgie_2017.pdf)***

# LA FORMATION A LA METALLURGIE ET AUX MATERIAUX DANS LES ECOLES D'INGENIEURS

## 1/ Etat des lieux

Suite à l'analyse et aux recommandations de l'observatoire de la métallurgie, le Groupe de Travail, constitué à parité de représentants des entreprises et de représentants du monde académique a commencé par répondre à cette question : « *L'enseignement de la métallurgie dans les écoles d'ingénieurs concernées par cette science est-il en adéquation avec les besoins des entreprises ?* »

### 1.1 / La vision des industriels sur la formation à la métallurgie dans les écoles

Principales tendances observées :

- Lorsque les entreprises ont besoin de recruter des experts en métallurgie pour leurs services de R&D ou leurs centres de recherche, elle font plutôt appel à des docteurs qu'à des ingénieurs.
- Bien souvent, les entreprises embauchent des « ingénieurs matériaux » qu'elles forment ensuite à leurs besoins spécifiques en métallurgie.
- En règle générale, les entreprises ont noté des lacunes importantes des jeunes ingénieurs dans un certain nombre de domaines techniques et scientifiques :
  - Les modes d'élaboration des matériaux métalliques,
  - Les propriétés d'usage « de base » des matériaux,
  - L'absence de sens pratique dans le choix des matériaux (lié à la quasi-disparition des T.P dans le domaine ? ),
  - Peu de connaissances en micro-structures,
  - Carences dans la connaissance et la pratique des mesures physiques.
    - S'ajoutent à cela des problématiques liées au comportement de ces ingénieurs :
      - Difficultés à mener plusieurs projets en parallèle,
      - Des lacunes dans la rédaction des rapports techniques,
      - Leur volonté de devenir le plus rapidement « chef de projet », sans prendre le temps d'acquérir des compétences techniques.

### 1.2 / L'enseignement de la métallurgie dans les écoles d'ingénieurs

Il est plus difficile de tirer des grandes tendances générales, communes à toutes les écoles.

Néanmoins, on peut quand même remarquer que :

- Après avoir constaté que l'ingénieur métallurgiste fourni « clés en main » n'existait plus, un certain nombre d'écoles se sont orientées vers la formation d'ingénieurs disposant de suffisamment de compétences et de connaissances dans ce domaine pour leur leur permettre d'être ensuite aisément formables aux métiers des entreprises par celles-ci.

- Dans la plupart des écoles, la métallurgie est enseignée dans le cadre d'un cours plus large consacré aux matériaux qui intègre également des enseignements liés à leurs propriétés mécaniques.
- Pour des raisons d'emploi du temps et de coûts, beaucoup d'écoles ont sensiblement réduit la part consacrée aux T.P dans leur cursus matériaux. A noter l'originalité de l'ESFF (formation par alternance) qui considère que les connaissances devant être acquises lors des T.P le sont dans le cadre de l'expérience en entreprise de leurs apprentis.
- En dehors de l'ESFF et de l'ENSAM, peu d'écoles disposent encore d'un cursus consacré aux modes d'élaboration des matériaux métalliques, d'où la difficulté pour certaines entreprises de recruter de jeunes ingénieurs de production.
- Compte-tenu d'un certain manque de connaissances en métallurgie supposées être acquises en cycle ingénieur, il est difficile aux écoles de spécialisation (INSTN) de remplir pleinement leur rôle.

## **2/ Projet de programme de formation des ingénieurs**

Suite à cette analyse, le groupe de travail a décidé de consacrer ses travaux à ***l'élaboration d'un programme de formation plus large que la métallurgie, en le centrant plutôt sur les matériaux (métalliques et non-métalliques).***

En première approximation, celui-ci pourrait durer 600 h (cours, T.P et projets compris) de façon à pouvoir faire l'objet :

- soit d'une formation étalée sur les 3 ans du cursus en cycle ingénieur,
- soit d'une année complète dédiée à une spécialité « matériaux ».

Le programme comprend 9 blocs thématiques que le Groupe de Travail a classé par ordre d'importance

### **Bloc 1 : Structures et propriétés des matériaux**

- Les différentes échelles (macro- micro).
- La cristallographie.
- Les défauts cristallins (lacunes, dislocations, ...).
- Les Diagrammes de phases (d'équilibre et hors équilibre) et les transformations de phases.
- Les microstructures en lien avec les diagrammes de phases.
- La germination – croissance.

### **Compétences attendues de l'ingénieur après cette formation**

- Savoir lire un diagramme de phases, l'interpréter en fonction de l'utilisation pratique, et l'utiliser pour prédire l'apparence des microstructures.
- Connaître les différents types de défauts de microstructures et leur impact sur la propriété des matériaux.
- Savoir interpréter des diagrammes TRC et TTT.

- Comprendre le fonctionnement des outils utilisés (logiciels, machines et méthodes d'expérimentation), ainsi que les phénomènes physiques associés.

### **Bloc 2 : Les techniques d'analyse**

- Méthodes structurales (macro et micro).
- Observations macrographiques (CND – ressuage – faciès de rupture).
- Diffraction / Spectroscopie

#### **Compétences attendues de l'ingénieur après cette formation**

- Choix des moyens adéquats d'analyse en fonction du problème posé.
- Connaissances des interactions rayonnement/matière

### **Bloc 3 : Les propriétés d'usage des matériaux**

- Les différentes familles de matériaux et d'alliages.
- La déformation plastique et visco-plastique.
- Les essais mécaniques (traction, dureté, fluage, ténacité, fatigue, résilience,.....)
- Les propriétés des surfaces et leur fonctionnalisation (revêtements – traitements thermochimiques).
- La durée de vie en service.

#### **Compétences attendues de l'ingénieur après cette formation**

- Connaissance des unités et des ordres de grandeur.
- Choix des essais en adéquation avec le problème à traiter.
- Compréhension et interprétations des résultats des essais.

### **Bloc 4 : Utilisation des matériaux en fonction des secteurs d'application**

- Choix des alliages.
- Optimisation du choix du matériau en fonction des contraintes d'élaboration, de mise en forme, des traitements de surface et du coût.

#### **Compétences attendues de l'ingénieur après cette formation**

- Capabilité à établir un cahier des charges fonctionnel.
- Capabilité à établir des indices de performance sur quelques cas simples.
- Capacité à poser un problème de choix de matériaux et trouver les compromis nécessaires pour l'application particulière

### **Bloc 5 : Les modes de ruine**

- La mécanique des matériaux.
- Les frottements et l'abrasion.
- La rupture des matériaux (fatigue – fluage).
- Les mécanismes de la rupture.
- Analyse des défaillances et des défauts.
- La corrosion.

#### **Compétences attendues de l'ingénieur après cette formation**

- Capabilité à identifier les faciès de ruine des matériaux à partir de cas modèles
- Avoir une idée de la durée de vie des pièces afin de proposer des solutions pour éviter la ruine dès la conception.

### **Bloc 6 : L'analyse du cycle de vie**

- Recyclabilité.
- Réglementations spécifiques aux matériaux et à l'environnement.
- Méthodologie de de l'analyse du cycle de vie.

#### **Compétences attendues de l'ingénieur après cette formation**

- Réaliser des bilans énergétiques économiques.
- Capabilité à réaliser les meilleurs compromis entre le choix des matériaux, leur coût et leur recyclabilité.

### **Bloc 7 : Elaboration – fabrication – Mise en forme**

- Elaboration des matériaux : Thermochimie – Thermodynamique - ....
- Mise en forme des matériaux : Fonderie – Forge – Laminage – Estampage – Matricage.
- Métallurgie des poudres : Fabrication additive – Frittage.
- Usinage

#### **Compétences attendues de l'ingénieur après cette formation**

- Capabilité à élaborer une stratégie de choix entre les différents procédés, en fonction de l'application demandée.
- Capacité à comprendre le lien entre procédé de fabrication et qualité du produit fini.



### **Bloc 8 : Simulation et modélisation numérique**

- Préviation de comportement des matériaux.
- Simulation des procédés de fabrication.

#### Compétences attendues de l'ingénieur après cette formation

- Connaissance des mises en données d'une simulation (valeurs, conditions limites,...).
- Capacité à confronter les résultats de la simulation à des données expérimentales.

### **Bloc 9 : les assemblages**

- Les assemblages mécaniques.
- Le soudage.
- Le collage.
- Risques spécifiques aux assemblages de matériaux différents (couplage galvanique).

#### Compétences attendues de l'ingénieur après cette formation

- Capacité à choisir un type d'assemblage en fonction des matériaux, leur environnement et leurs contraintes.

## **3/ Assistance Pédagogique**

Ce programme de formation universitaire ne pourra être pleinement efficace que s'il est accompagné par les industriels, les organismes de recherche et les sociétés savantes : seuls capables de fournir des exemples concrets, des visites ou des films pour illustrer les cours.

Le groupe de travail a donc défini au sein de chaque bloc d'enseignement, l'assistance pédagogique qu'il serait nécessaire de mettre en place, ainsi qu'un certain nombre de partenaires potentiels.

Ces éléments sont indiqués dans le tableau ci-après.

	<b><i>Assistance Pédagogique</i></b>	<b><i>Partenaires potentiels</i></b>
Bloc 2 : Les techniques d'analyse	Fourniture de films et de cas industriels. – visites de sites et de constructeurs de machines	Industriels à définir.
Bloc 3 : Les propriétés d'usage des matériaux	Fourniture de films et de cas industriels -	- Industriels - CEFRACOR
Bloc 4 : Utilisation des matériaux en fonction des secteurs d'application	- Fourniture de cas industriels - Fourniture d'une liste d'experts industriels pouvant traiter ce sujet	Industriels à définir.
Bloc 5 : les modes de ruine	Fourniture de Cas industriels	- CEFRACOR - Société Française de tribologie - SF2M (commission fatigue)
Bloc 6 : Analyse du cycle de vie	Fourniture d'une liste d'experts industriels pouvant traiter ce sujet	FEDEREC
Bloc 7 : Elaboration – Fabrication – Mise en Forme	Sous forme de projets avec des ingénieurs des entreprises	- Industriels à définir - CTIF - CETIM
Bloc 8 Simulation et modélisation numérique	Stages au sein des entreprises	
Bloc 9 : les assemblages	Fourniture de films et de cas industriels.	- CETIM - IRT M2P