

La Métallurgie en France

Une nécessité d'innovation



Les voies de l'innovation dans les métiers de la métallurgie

Etude stratégique réalisée par

Louis Berreur
Bernard Bellot
Benoît Rivollet
Rodolphe Lilamand

NODAL CONSULTANTS

Pour le compte de la DGE

Rapport final

juin 2005

AVANT-PROPOS

Innover en Métallurgie

Une nécessité pour maintenir notre compétitivité

L'industrie française de la métallurgie est un secteur stratégique pour la France. En amont d'industries et de marchés applicatifs clés qui assurent ses débouchés (transport terrestre, naval et aérien, BTP, énergie, emballage,...), il concerne en effet 1,8 millions d'emplois directs ou indirects. Ce secteur est aujourd'hui à un tournant de son histoire. Son adaptation au nouveau contexte économique, marquée récemment par l'accélération des concentrations autour d'Arcelor et d'Alcan et par une ouverture toujours plus grande des marchés, conduira vraisemblablement à de nouveaux redéploiements accompagnés d'inévitables ajustements de capacités ou encore d'effectifs.

Pour maintenir notre compétitivité et nos emplois dans cette filière clé, il nous paraît aujourd'hui indispensable de promouvoir une véritable stratégie de développement axée sur l'innovation et la rentabilité à moyen et long terme.

Afin de rassembler les informations techniques et stratégiques actualisées du secteur, de mieux comprendre les besoins et perspectives des utilisateurs finaux des produits de la métallurgie, de leur stratégie dans un contexte international, afin d'anticiper au mieux la recherche et développement et de proposer à nos partenaires industriels de la métallurgie les orientations et des actions de soutien et d'aide à l'innovation, la Direction Générale des Entreprises (DGE) du Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie a réalisé une étude prospective sur ce thème, s'appuyant sur un Comité de Pilotage largement ouvert aux principaux acteurs du secteur: fabricants et industriels utilisateurs, centres de recherche et centres techniques, acteurs et relais institutionnels.

L'étude a permis d'établir un panorama de l'innovation française en métallurgie et de son positionnement international. Sept marchés applicatifs majeurs ont été identifiés, pour lesquels les besoins stratégiques peuvent être satisfaits par des innovations en métallurgie, ainsi que plusieurs besoins fonctionnels associés, qui constituent autant de gisements de progrès que devront exploiter les industries concernées.

Ces couples marchés/besoins ont permis d'identifier les thèmes de recherche et les technologies qui méritent un soutien particulier.

Par ailleurs, le Comité de Pilotage a émis un certain nombre de recommandations, sous la forme d'actions concrètes ou de pistes de réflexion, qui visent à améliorer la compétitivité de la filière métallurgie et la conquête de nouveaux marchés en stimulant la démarche d'innovation et améliorant la visibilité de nos compétences, à favoriser les partenariats industriels clients/fournisseurs, enfin à améliorer l'image du secteur de la métallurgie de façon à attirer et renouveler les compétences.

Je souhaite que cette étude soit particulièrement utile aux industriels et aux organismes professionnels concernés et apporte un nouvel élan au développement de ce secteur.

Luc ROUSSEAU
Directeur Général des Entreprises

NOTE DE SYNTHÈSE

La métallurgie et le travail des métaux couvre un champ très vaste (diversité des matériaux concernés, des procédés et technologies d'élaboration et de mise en œuvre, et des domaines d'applications) et concerne 5 grands secteurs aux morphologies spécifiques :

- la sidérurgie et la première transformation de l'acier
- la production et la première transformation de métaux non ferreux
- la fonderie
- les services industriels du travail des métaux
- les produits métalliques.

L'importance stratégique nationale de la métallurgie est considérable. En effet ce secteur industriel englobe en France 45.000 entreprises (en majorité des PME de moins de 50 personnes) et emploie directement 400 000 personnes. Il concerne 35% des preneurs d'ordre et 20% des donneurs d'ordre et représente 1.800.000 emplois directs ou indirects, dont 220.000 ingénieurs et cadres.

Le contexte national et international de la métallurgie est en profonde évolution. Parmi les facteurs négatifs ou les menaces, on peut citer notamment une concentration et une mondialisation des métiers de la métallurgie et un renforcement du contexte concurrentiel. Les matériaux de substitution ont également tendance à se développer, en particulier dans un contexte de bouleversement des flux d'approvisionnement induisant de fortes tensions sur les marchés et du renforcement des contraintes environnementales.

Les effets de ces différents facteurs se traduisent notamment au niveau national par la diminution progressive, voire la possible disparition de secteurs entiers d'activité. D'importantes pertes d'emplois dans la métallurgie (environ 80.000 emplois perdus entre 1989 et 2003) ont été constatées, et les avantages concurrentiels tendent à s'estomper. Par ailleurs, on observe un certain désintérêt des jeunes pour les métiers de la métallurgie qui pourrait se traduire par un non renouvellement des compétences françaises. L'étiollement de grands laboratoires de recherche en métallurgie est un autre phénomène qui renforce le manque de visibilité internationale dont souffre le secteur.

Dans ce contexte en apparence difficile, on a cependant pu identifier sept marchés applicatifs prioritaires pour l'industrie métallurgique qui constituent autant de gisements d'opportunités à saisir. En particulier les secteurs de l'automobile, de l'industrie mécanique, l'aéronautique, l'énergie, l'emballage, le nucléaire et la construction navale ont des besoins stratégiques en innovation qui constituent des défis que la métallurgie et le travail des métaux doivent relever. Le secteur du BTP est un important marché pour l'acier, mais les qualités environnementales de ce matériau ne sont pas suffisamment connues des prescripteurs. C'est pourquoi la DGE a également fait réaliser une étude sur le thème « l'acier dans la construction au regard du développement durable ».

Les thèmes de besoins fonctionnels associés, se déclinent en 5 fonctions : assembler ; maîtriser la durabilité, les propriétés mécaniques, la corrosion ; alléger ou réduire l'épaisseur ; tenir aux hautes températures ; résister aux frottements et à l'usure et 2 fonctions de contrainte : écoconception, impact sociétal, maîtrise du cycle de vie ; réduire les coûts de production.

Loin d'être exhaustifs, ces couples marchés / besoins constituent des priorités stratégiques et ont permis d'identifier des thèmes de recherche et des technologies qui méritent un soutien particulier pour y répondre.

En particulier, le Comité de Pilotage recommande de se focaliser de façon prioritaire et à moyen terme sur les technologies et thèmes stratégiques suivants:

- les procédés d'élaboration, cœur de métier des métallurgistes
- la conception de nouveaux alliages et matériaux métalliques
- le comportement multi échelle
- les bases de données expérimentales, « carburant » essentiel à toute démarche de modélisation
- les procédés propres de traitement de surface en ligne
- la métallurgie des poudres
- le soudage « friction stir welding »
- le soudage hybride

A plus long terme, les thèmes suivants, émergents et prometteurs ont été également identifiés :

- des technologies d'assemblage comme le soudage laser, le collage sans COV ou l'assemblage direct de multimatériaux
- de nouveaux matériaux comme les composites à matrice métalliques (CMM) ou les mousses métalliques
- des technologies de transformation comme l'UGV (usinage grande vitesse) ou le prototypage rapide
- les écoprocédés, couvrant l'ensemble du cycle de vie du matériau et en particulier l'écoconception, la gestion des ressources, la gestion des déchets, le recyclage et la valorisation, la réduction de l'émission de COV, le tri sélectif des multimatériaux, et qui seront particulièrement porteurs.

A partir des trois premières phases de l'étude qui confrontent l'offre technologique aux besoins et attentes du marché, les membres du Comité de Pilotage ont pu établir des propositions de recommandations ayant pour objectif général de soutenir la filière nationale de la métallurgie et du travail des métaux, et qui visent plus particulièrement à :

- améliorer la compétitivité de la filière métallurgie
- conquérir de nouveaux marchés de croissance
- stimuler la démarche d'innovation dans la filière métallurgie
- systématiser les partenariats industriels clients/fournisseurs
- améliorer la visibilité des compétences
- attirer, conserver et renouveler les compétences dans la filière métallurgie
- améliorer l'image du secteur de la métallurgie

Pour atteindre ces objectifs, on propose la mise en œuvre des recommandations opérationnelles suivantes :

- utiliser judicieusement les dispositifs de soutien et de financement régionaux, nationaux et européens existants
- créer un site web recensant les acteurs de l'innovation en métallurgie pour améliorer la visibilité des compétences et l'image du secteur, et encourager les partenariats
- diffuser un guide pratique d'innovation pour stimuler la démarche d'innovation dans la filière métallurgie en particulier pour les PME
- mettre en œuvre un plan de formation pour conserver et développer les compétences françaises en métallurgie et développer une visibilité internationale
- engager une action de promotion auprès des institutions nationales européennes pour que la métallurgie soit davantage associée aux PCRD
- soutenir des actions de communication sur la métallurgie pour revaloriser l'image de la filière et attirer davantage de jeunes diplômés
- saisir les opportunités de développement à l'international dans les pays émergents à forte croissance
- mettre à contribution les chercheurs, ingénieurs et experts techniques en fin de carrière pour assurer la transmission des compétences en métallurgie.

SOMMAIRE

Chapitre 1	Contexte et objectifs de l'étude	11
1.	<i>Le champ de la métallurgie.....</i>	<i>13</i>
1.1.	Les principales opérations des procédés de la métallurgie	13
1.2.	Les besoins en innovation des utilisateurs	14
1.3.	Les acteurs de la métallurgie	16
1.4.	Les laboratoires publics de recherche en « Métallurgie »	16
2.	<i>Les enjeux, les menaces et les opportunités dans la métallurgie.....</i>	<i>17</i>
2.1.	Des enjeux économiques, sociétaux et d'emploi industriel.....	17
2.2.	Des menaces et des opportunités	18
3.	<i>Les objectifs et la méthodologie de l'étude.....</i>	<i>19</i>
3.1.	Les objectifs.....	19
3.2.	La méthodologie	19
Chapitre 2	Panorama du secteur de la métallurgie.....	21
1.	<i>Champ de l'étude.....</i>	<i>23</i>
2.	<i>Principales données économiques du secteur EN FRANCE.....</i>	<i>27</i>
2.1.	La sidérurgie et la première transformation de l'acier.....	28
2.2.	La métallurgie des non ferreux	31
2.3.	La fonderie française	36
2.4.	Les services industriels du travail des métaux.....	39
2.5.	Le secteur de la fabrication de produits métalliques.....	41
2.6.	Récupération.....	44
3.	<i>Panorama de l'innovation en métallurgie.....</i>	<i>47</i>
3.1.	Résultat des consultations.....	47
3.2.	Marchés et applications approfondis dans l'étude.....	50
4.	<i>Les dépôts de brevets</i>	<i>51</i>
5.	<i>Analyse prospective de l'impact de la réglementation</i>	<i>53</i>
5.1.	Contexte réglementaire.....	53
5.2.	Les conséquences de ce contexte réglementaire.....	56
5.3.	Le recyclage, source d'appoint à l'approvisionnement de matières premières	58
Chapitre 3	Attentes et besoins des industries métallurgistes en relation avec les donneurs d'ordre	61
1.	<i>Analyse sectorielle</i>	<i>63</i>
1.1.	Le secteur automobile.....	63
1.2.	Le secteur aéronautique	64
1.3.	Le secteur du BTP	64
1.4.	Le transport ferroviaire.....	65
1.5.	Le nucléaire	66
1.6.	Les équipements électriques et électroniques.....	67
1.7.	L'armement	67
1.8.	La mécanique.....	68
1.9.	L'énergie.....	68
1.10.	La chimie.....	69

1.11.	La construction navale.....	70
1.12.	L'emballage.....	70
1.13.	L'électroménager.....	71
2.	Synthèse des besoins des industriels.....	73
2.1.	L'assemblage.....	73
2.2.	Maîtrise de la durabilité, des propriétés mécaniques et de la corrosion.....	74
2.3.	La réduction des coûts de maintien en conditions opérationnelles.....	75
2.4.	L'allègement et la réduction de l'épaisseur.....	75
2.5.	Ecoconception, impact sociétal, maîtrise du cycle de vie.....	76
2.6.	La réduction des coûts.....	76
2.7.	L'amélioration d'autres performances.....	77
3.	Marchés, applications stratégiques et niches pérennes.....	79
3.1.	Hierarchisation des besoins par leurs enjeux économiques.....	79
3.2.	Sélection des marchés, applications et niches pérennes.....	80
Chapitre 4 Savoir-faire français en innovation et positionnement international 83		
1.	Cartographie nationale et internationale du savoir-faire français.....	85
2.	Synthèse des Atouts et handicaps de l'offre technologique nationale.....	87
2.1.	Une science pluridisciplinaire.....	87
2.2.	Atouts et opportunités.....	88
2.3.	Handicaps et menaces.....	89
Chapitre 5 Moyens existants pour favoriser et soutenir l'innovation en métallurgie 91		
1.	Structures de soutien à l'innovation.....	93
2.	Moyens technologiques d'innovation.....	95
2.1.	Démarche et priorités.....	95
2.2.	Les technologies et thèmes stratégiques.....	96
2.3.	Les technologies et thèmes prometteurs.....	103
3.	L'adéquation des technologies aux besoins des industriels.....	105
Synthèse et recommandations..... 107		
1.	Préliminaire.....	109
2.	Recommandations.....	111
2.1.	Utiliser judicieusement les dispositifs de soutien et de financement régionaux, nationaux et européens existants.....	111
2.2.	Créer un site web recensant les acteurs de l'innovation en métallurgie.....	112
2.3.	Diffuser un guide pratique d'innovation pour stimuler la démarche d'innovation dans la filière métallurgie.....	112
2.4.	Mettre en œuvre un plan de formation pour conserver et développer les compétences françaises et améliorer leur visibilité internationale.....	113
2.5.	Engager des actions de promotion auprès des institutions nationales européennes pour que la métallurgie soit davantage prise en compte dans les PCRD.....	113
2.6.	Soutenir des actions de communication sur la métallurgie pour revaloriser l'image de la filière et attirer davantage de jeunes diplômés.....	114

2.7. Saisir les opportunités de développement à l'international dans les pays émergents à forte croissance	114
2.8. Mettre à contribution les chercheurs, ingénieurs et experts techniques en fin de carrière pour assurer la transmission des compétences en métallurgie	115

CHAPITRE 1

CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

1. LE CHAMP DE LA MÉTALLURGIE

1.1. Les principales opérations des procédés de la métallurgie

La **métallurgie** comprend l'ensemble des procédés et des techniques :

- d'extraction, d'élaboration, de mise en forme et de traitement des métaux (ferreux et non-ferreux) et de leurs alliages,
- d'étude des microstructures et de leur relation avec les propriétés macroscopiques,
- de mise en œuvre et de respect des performances attendues en service, ainsi que les méthodologies de mesure de ces performances.

A partir des minerais, les métaux ou leurs alliages sont obtenus par de très nombreuses techniques et opérations métallurgiques : voie sèche, voie humide, thermique ou non, volatilisation, réactions chimiques, électrométallurgie, métallo-thermie, voie biologique...

Après élaboration, les métaux sont amenés à l'état de demi-produits : barres, profilés, tôles, lingots,... et peuvent être soumis à de nombreuses opérations de première transformation, dans lesquelles **l'innovation** prend également une part importante :

- la **fonderie** permet la fusion des métaux et de leurs alliages et leur coulée dans des moules en forme ou en continu ;
- les **traitements mécaniques** de déformation sont exécutés à chaud ou à froid : laminage, forgeage, filage, matriçage, emboutissage, estampage, étirage, filage, tréfilage ;
- le **soudage** permet des assemblages complexes entre différents matériaux.

Plus récemment, de nouvelles technologies innovantes de première transformation se sont développées :

- le **collage structurel** ou par **ultra-sons** permet de nouveaux assemblages de métaux hétérogènes ;
- le **frittage** a permis d'obtenir, à partir de poudres métalliques d'alliages, des lingots des semi-produits ou des pièces complexes finies, difficiles à obtenir par fusion ;
- l'immense développement des **traitements thermiques** permet de donner aux métaux ou à leurs alliages, en cours de transformation ou sur la pièce finie, des caractéristiques particulières. En modifiant profondément la structure de l'alliage, ils permettent de jouer sur les propriétés mécaniques ;
- les **traitements thermo-chimiques, plasma et laser** modifient la structure superficielle des matériaux ; certains éléments fixés à la surface d'un métal leur confèrent de nouvelles propriétés (azote, aluminium, chrome, zinc) ;
- les **traitements chimiques ou électro-chimiques** permettent de décaper le métal ou de le recouvrir d'une couche de protection par réaction chimique (phosphatation, chromation) ou par dépôts électrolytiques.

En parallèle, la **métallographie** permet de mieux connaître la structure des métaux et de mettre au point de nouvelles méthodes de contrôle, de caractérisation, d'analyse et d'essais :

- les **essais mécaniques** permettent de vérifier la qualité et les performances des métaux ou alliages, en vue de leur utilisation dans des ensembles soumis à des contraintes diverses (traction, cisaillement, dureté, choc,...) ;

- les **essais de caractérisation physiques ou physico-chimiques** (analyse thermique, radiographie, gammagraphie, structure cristallographique par diffraction de rayons X) permettent de suivre l'évolution de certains traitements ou de contrôler la pureté des métaux par la mesure de certaines propriétés physiques (densité, conductibilité électrique, élasticité); ils permettent également d'analyser des essais de corrosion pour étudier le comportement des matériaux dans des milieux corrosifs ;
- la **caractérisation cristalline** microscopique permet de connaître la structure et la constitution des échantillons par macro- ou micro-graphie.

Le travail des métaux fait appel à des techniques mettant en oeuvre des technologies parfois très **sophistiquées**. Certaines sont considérées comme des technologies prioritaires ou stratégiques (usinage grande vitesse, laser, jet d'eau pour découpe, CND, simulation, prototypage rapide, modélisation).

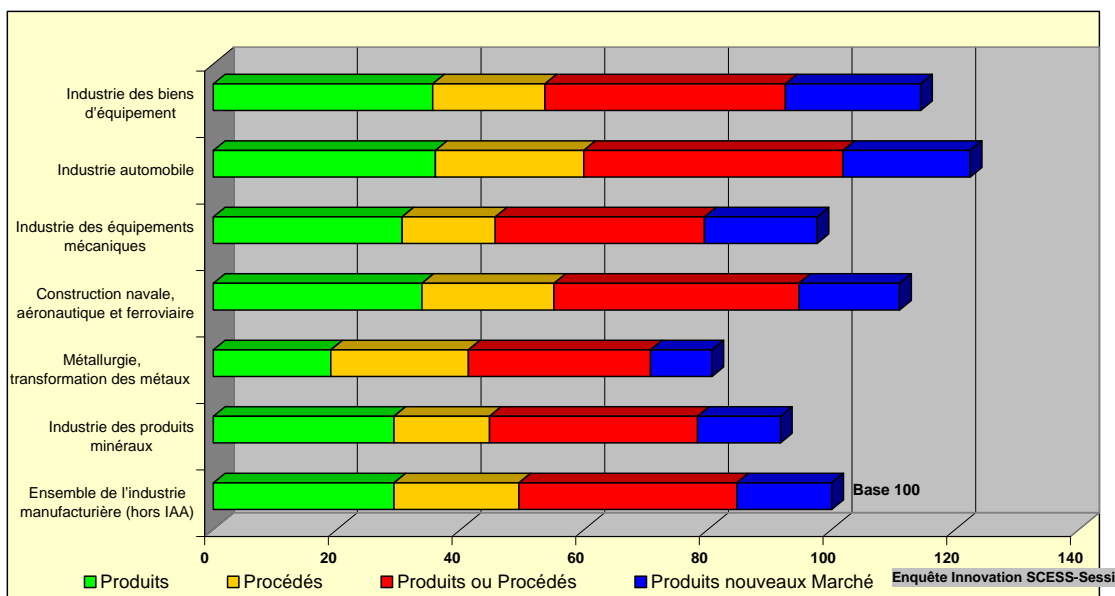
La métallurgie, souvent pionnière, diffuse largement ses innovations vers les **autres matériaux**. Toutefois, la lourdeur des investissements et l'ampleur des amortissements matériels et immatériels dans la métallurgie imposent une grande prudence dans le développement d'innovations radicales.

Les **lois, normes, réglementations** sont toujours plus **contraignantes**, notamment en matière de toxicité, de sécurité, de protection de l'environnement et de développement durable.

1.2. Les besoins en innovation des utilisateurs

Le graphe ci-dessous illustre le **retard de la métallurgie française en innovation** par rapport aux autres secteurs d'activité, aussi bien pour les procédés que les produits métallurgiques (données 2002).

L'innovation par secteur selon la définition du Manuel d'Oslo
(en % des entreprises industrielles - entreprises de 20 salariés et plus)



Les industriels utilisateurs des technologies de la métallurgie manifestent de nombreux besoins pour de nouveaux produits métallurgiques par rapport à leurs propriétés de mise en œuvre et d'usage, dans un champ de recherche qui s'étend de l'élaboration des matériaux à une meilleure connaissance des performances ultimes. Les **grands thèmes prioritaires porteurs d'innovation** qui se dégagent touchent

notamment la protection de l'environnement et le recyclage, la durabilité et la fiabilité, la modélisation, la simulation et la caractérisation des matériaux :

- les recherches sur l'**élaboration** et la première **transformation des métaux** nécessitent en général des moyens lourds, mais les besoins d'études en thermodynamique des alliages, cinétique des transformations et modélisation sont particulièrement ressentis, notamment dans les domaines de la fonderie, des procédés de mise en forme, de l'usinage, du soudage et de la métallurgie des poudres ;
- de nombreux thèmes de recherche se rapportent aux **surfaces** : revêtements, corrosion et oxydation, fatigue et fatigue-corrosion, tribologie, échanges thermiques, matériaux à gradient. L'étude des interfaces joue également un rôle essentiel dans la résolution de nombreux problèmes, en particulier pour l'assemblage ;
- la **fiabilité** et la **durabilité**, la fatigue, le fluage et leurs combinaisons sont des sujets de grande importance ; des exigences toujours plus grandes apparaissent dans les sollicitations mécaniques ou thermiques, dans celles résultant de l'environnement ou des durées d'utilisation et de leurs combinaisons. Il faut également citer les phénomènes de vieillissement, de fragilisation, la tenue aux chocs, les contrôles non destructifs et, plus généralement, l'évaluation non destructive et, en particulier, celle des joints soudés et des assemblages ;
- le **recyclage** et le développement durable, associés au cycle de vie complet du matériau suscitent un nombre grandissant d'innovations pour satisfaire de nouveaux besoins.

Les années 80-90 ont été la décennie des « nouveaux matériaux » (plasturgie, composites) ; la présente décennie sera plutôt celle de l'obtention contrôlée de propriétés reproductibles par la **maîtrise de la micro, voire de la nano- structure** et, par conséquent, de celle du procédé dont elle dépend.

Elle sera aussi celle de l'optimisation des conceptions par un choix rationnel et systématique des matériaux et des procédés de mise en œuvre, ce qui implique de réfléchir aux matériaux en relation avec leur **fonction d'usage**, de façon à assurer une meilleure liaison entre les aspects fondamentaux de la recherche et ses applications potentielles.

La science des matériaux de structure se doit de regarder en aval, vers les applications ultimes de la **seconde transformation** des matériaux, au travers de leurs nouvelles fonctions sur les marchés utilisateurs.

Dans les années à venir, deux domaines industriels seront particulièrement demandeurs d'innovation dans le champ des matériaux structuraux à hautes performances : l'**industrie de transformation thermique de l'énergie** (industrie nucléaire, thermique, motoriste) et l'**industrie des transports** (automobile, aviation, spatial, ferroviaire et construction navale) :

- dans la **transformation thermique** de l'énergie, l'augmentation continue des températures de fonctionnement, pour **améliorer le rendement** thermodynamique, ainsi que la nécessité accrue de **contrôler l'endommagement**, du au vieillissement des infrastructures, demandent un effort de modélisation des propriétés de tenue à chaud et d'endommagement des matériaux. Les notions de « reproductibilité des propriétés » et de « durabilité des matériaux » vont de pair avec la nécessité de concevoir les pièces sans surdimensionnement, en assurant une sécurité optimale ;
- dans les **transports terrestres**, une politique d'allègement respectant les impératifs de sécurité passe par un meilleur contrôle de la **reproductibilité des propriétés** issues de modes d'élaboration comme le forgeage, le moulage, le formage ou le soudage, et leur combinaison avec des matériaux organiques, sandwich ou complexes, céramiques ou multimatériaux métalliques ;
- pour l'**aéronautique**, viennent se greffer de nombreuses procédures de contrôle en service (fatigue cumulée, vieillissement), ce qui pose le problème du **contrôle non destructif** et de l'**instrumentation** de matériaux intelligents par des capteurs embarqués, mais la reproductibilité des propriétés reste une question centrale.

Enfin, un autre aspect structurant de la recherche est l'émergence des **méthodes de modélisation** en science des matériaux aux différentes échelles de la structure, ainsi que les menaces et opportunités liées aux **risques de substitution** des matériaux métalliques par d'autres matériaux.

1.3. Les acteurs de la métallurgie

La métallurgie concerne une **très large gamme de métiers** et d'acteurs économiques, industriels, clients, fournisseurs et partenaires, organismes de recherche et institutionnels :

- les **centres de recherche publique** (voir note ci-dessous) et **industrielle**, les centres de soutien à l'innovation (l'Irsid n'existe plus en tant que tel) ;
- les centres techniques et de compétences ;
- les industriels, grands groupes et PME innovantes et organismes professionnels :
 - industriels de première transformation, fabricants de produits et semi-produits métallurgiques (tels Arcelor, Alcan, Eramet, Aubert et Duval),
 - utilisateurs « finaux » des différents marchés d'application (énergie, transports, mécanique, BTP, etc.),
 - autres industriels d'activités connexes ou « synergiques » (notamment l'environnement).
- les sociétés de services associés :
 - ingénieries spécialisées, bureaux d'étude et de calcul,
 - organismes d'essais et de contrôle ;
- les organismes institutionnels en tant que soutien à la R&D et réglementaires :
 - Commission Européenne, Ministères, Drire,
 - organismes normatifs et réglementaires,
 - organismes de formation.

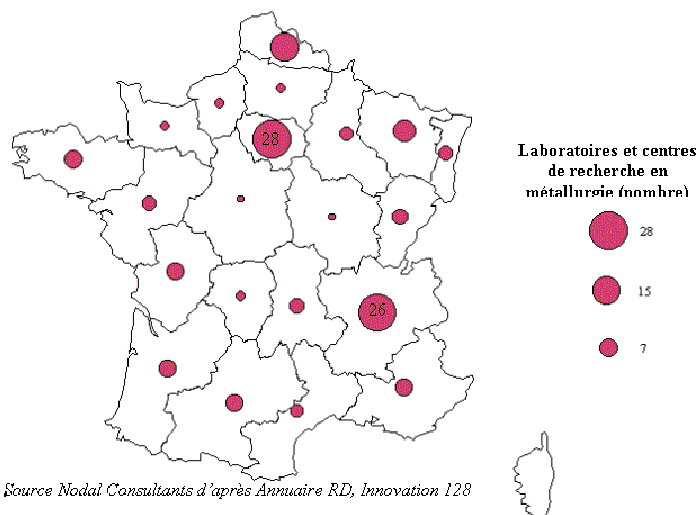
Deux documents complémentaires séparés permettent d'identifier et de caractériser les acteurs de l'innovation dans la métallurgie:

- un **annuaire de l'innovation métallurgique en France**
- un **atlas de l'innovation dans la métallurgie et position de la France**

1.4. Les laboratoires publics de recherche en « Métallurgie »

On recense près de 150 laboratoires français impliqués dans la recherche sur la métallurgie. Très inégalement répartis sur le territoire français, plus du tiers d'entre eux sont localisés en Ile-de-France et en Rhône-Alpes.

Cette répartition géographique, avec des régions Ile-de-France et Rhône-Alpes atypiques, laisse déjà présager d'une organisation territoriale centrée sur quelques grands bassins spécialisés, pour partie reliée aux grandes traditions minières françaises. Ces laboratoires de recherche métallurgique sont, pour la plupart, liés au CNRS, à l'Onera,



aux Universités et aux grandes écoles d'ingénieurs, notamment l'Ecole des Mines.

Bien que la recherche scientifique et universitaire couvre l'ensemble du champ de la métallurgie, quelques **marchés applicatifs sont considérés comme prioritaires** par la Société Française de Métallurgie et des Matériaux (SF2M) :

- industrie des produits minéraux,
- métallurgie, transformation des métaux,
- construction navale, aéronautique et ferroviaire,
- industrie des équipements mécaniques,
- industrie automobile,
- industrie des biens d'équipement.

Certains laboratoires de recherche français ont acquis **une expertise et réalisé des innovations de niveau mondial** dans des domaines tels que :

- génie des procédés d'élaboration, production d'alliages du futur,
- thermodynamique et cinétique,
- revêtements de surface, protection contre la corrosion et la corrosion sous contrainte, transformations métallurgiques et recristallisation,
- nanomatériaux, verres métalliques, composites à matrice céramique ou métallique, intermétalliques, mousses métalliques, matériaux à forts amortissements, matériaux à gradient, quasi-cristaux,
- procédés particuliers, rhéomoulage, métallurgie des poudres, mécanosynthèse,
- fatigue, fragilisation, endommagements et rupture,
- contacts et tribologie.

Des besoins de programmes de recherche **interdisciplinaires**, associant plusieurs équipes, sont exprimés dans les domaines de la fonderie, de la **mise en forme** et du **soudage**.

2. LES ENJEUX, LES MENACES ET LES OPPORTUNITÉS DANS LA MÉTALLURGIE

2.1. Des enjeux économiques, sociétaux et d'emploi industriel

Du fait de son champ très vaste (diversité des matériaux concernés, des procédés et technologies d'élaboration et de mise en œuvre, et des domaines d'applications), l'importance stratégique nationale de la métallurgie est considérable. Ce secteur industriel englobe en France 45.000 entreprises (en majorité des PME de moins de 50 personnes) et emploie directement 400 000 personnes, concerne 35% des preneurs d'ordre et 20% des donneurs d'ordre et représente 1.800.000 emplois directs ou indirects, dont 220.000 ingénieurs et cadres.

La recherche a toujours une grande importance en métallurgie. Elle est active et productive avec de nombreuses zones encore à explorer. L'innovation et les nouvelles technologies représentent des enjeux nationaux très importants, notamment pour les entreprises françaises, du point de vue :

- **économique et industriel** : facteur de compétitivité internationale des entreprises et des régions spécialisées, apport de richesse et de valeur ajoutée,
- **sociétal** : emplois générés ou maintenus, élévation du niveau des compétences, répercussions sur le tissu industriel et le développement durable.

2.2. Des menaces et des opportunités

Le contexte national et international de la métallurgie est en profonde évolution. Parmi les **facteurs négatifs ou les menaces**, on peut citer notamment :

- une concentration et une mondialisation des métiers de la métallurgie et un renforcement du contexte concurrentiel :
 - apparition de **groupes multinationaux spécialisés** très puissants (exemple Timet pour le titane) ;
 - concurrence des **pays à bas coût** (Chine, Inde, Egypte), apparition de nouveaux entrants sur le marché mondial (Brésil, Australie, Russie) ;
- le développement des **matériaux de substitution** (polymères et composites) et la résistance – ou le retour – des matériaux traditionnels (bois, verre) ;
- les tensions sur les sources d’approvisionnement, compensé, en partie, par le développement du recyclage (voir ci-contre) ;
- la plus grande prise en compte des contraintes HSE (hygiène-sécurité-environnement) et le renforcement des réglementations en matière de toxicité des produits, de l’amélioration des conditions de travail, notamment dans les pays occidentaux.

Part du Recyclage dans la consommation des Métaux

Métal	Période	Métal consommé (kT)		Part du recyclé
		Total	Recyclé	
Fer	1980	26.700	10.700	40%
	2000	24.400	12.700	52%
Aluminium	1980	790	200	25%
	2000	1.340	415	31%
Cuivre	1980	630	175	28%
	2000	800	170	21%
Plomb	1980	230	130	57%
	2000	275	185	67%
Zinc	1980	400	70	18%
	2000	460	110	24%

Chiffres clés des matières premières minérales DGE (2000-2001)

Les effets de ces différents facteurs se traduisent au niveau national par :

- la diminution progressive, voire la possible disparition de secteurs entiers d’activité (ex : Metaleurop), le transfert de centres de décisions (rachat de Pechiney par Alcan) dans une contexte général de désindustrialisation d’activités traditionnelles dans les pays occidentaux ;
- les pertes d’emplois dans la métallurgie (environ 60.000 emplois perdus entre 1989 et 2001, soit 1,10% par an pendant 12 ans) ;
- des avantages concurrentiels qui tendent à s’estomper (par exemple, dans les logiciels) ;
- un certain désintérêt des jeunes pour les métiers de la métallurgie, au profit d’autres technologies plus « propres » telles que l’électronique, les NTIC et la « nouvelle économie », qui se traduit par la raréfaction des compétences et la nécessité pour les entreprises de recruter des ingénieurs à l’étranger ou même d’y délocaliser ses centres de recherche ;
- l’étiolement de grands laboratoires de recherche en métallurgie de certaines grandes écoles d’ingénieurs (Ecole Centrale Paris, Mines, Conservatoire des Arts & Métiers).

Dans ce tableau d’apparence difficile, il existe cependant **plusieurs points positifs d’importance** qui sont détaillés dans la suite de l’étude, tels que :

- l’existence d’avantages concurrentiels, notamment pour certains procédés d’élaboration et de transformation des métaux, par des moyens de simulation ou de CAO ;
- des efforts importants qui ont déjà été entrepris au niveau national pour la recherche et l’innovation (nouvelles équipes, pôles de compétences, réseaux métallurgiques, investissements de R&D de grands groupes). Ces efforts sont probablement encore insuffisants et il est impératif de tirer avantage des évolutions en cours et surtout **d’exploiter les opportunités** que constituent l’apparition de nouveaux besoins et l’existence de compétences importantes dans la recherche française :
 - nouveaux produits et nouvelles applications,
 - nouvelles performances,

- nouvelles fonctions,
- réduction des coûts des procédés,
- opportunités liées au développement durable.

3. LES OBJECTIFS ET LA MÉTHODOLOGIE DE L'ÉTUDE

3.1. Les objectifs

Afin de faire face à ces menaces et d'exploiter ces opportunités, la présente étude a pour objet de fournir à la DGE et ses partenaires des **recommandations opérationnelles pour favoriser l'innovation dans les métiers de la métallurgie** pour :

- **maintenir et développer la compétitivité et la rentabilité** de la métallurgie française : amélioration des performances des produits métallurgiques, réduction des coûts de mise en œuvre ;
- maintenir et développer les **compétences nationales** en matière de recherche, de conception de fabrication, et d'une manière générale sur toute la chaîne du savoir faire métallurgique ;

L'étude propose également à la DGE et ses partenaires des recommandations et des outils de communication et de sensibilisation des acteurs du domaine et du monde économique et industriel, à l'échelon régional et national, telles que :

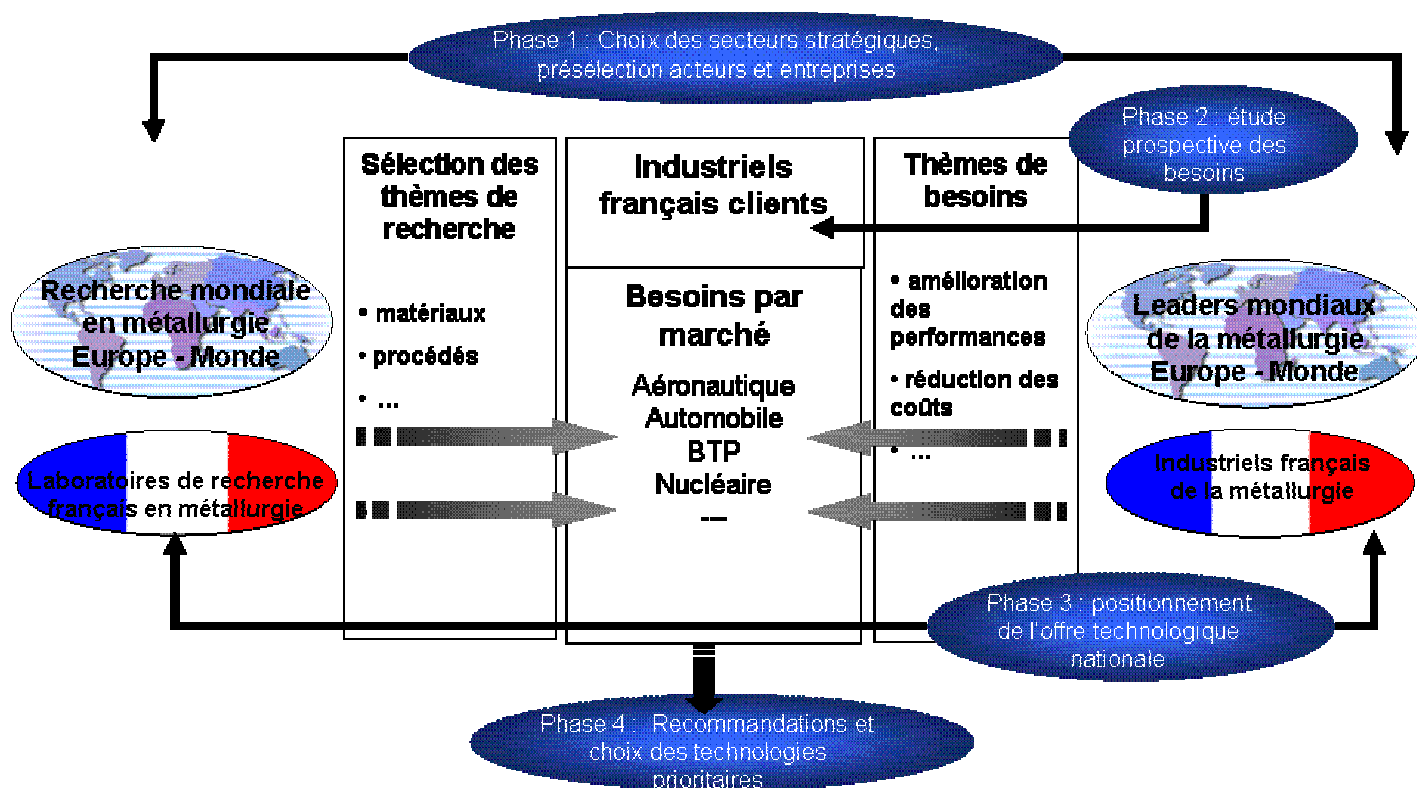
- objectifs stratégiques, mesures de soutien de la métallurgie, de développement de nouveaux marchés,
- information sur les développements en cours,
- mise en relation des acteurs, développement de partenariats.

3.2. La méthodologie

Pour répondre à ces objectifs, Nodal a réalisé cette étude stratégique et prospective de l'innovation dans les métiers de la métallurgie en 4 phases interactives :

- un **panorama de l'innovation** en métallurgie et de ses acteurs en France ;
- une **analyse thématique prospective** :
 - géographique : marchés et technologies par bassins régionaux,
 - des besoins hiérarchisés des utilisateurs ou utilisateurs potentiels de la métallurgie et des différents acteurs (clients, chercheurs, formateurs et intervenants) du domaine et les thématiques d'innovation associées à ces besoins,
 - de l'environnement, en particulier normatif et réglementaire.
- le **positionnement de l'innovation** métallurgique et des compétences nationales par rapport à ces besoins prioritaires et par rapport à la concurrence internationale, avec une attention particulière en ce qui concerne les Etats-Unis, le Japon, la Chine et l'Europe de l'Ouest ;
- des **recommandations et un plan d'action** opérationnel pour la DGE et ses partenaires industriels et institutionnels :
 - technologies prioritaires,

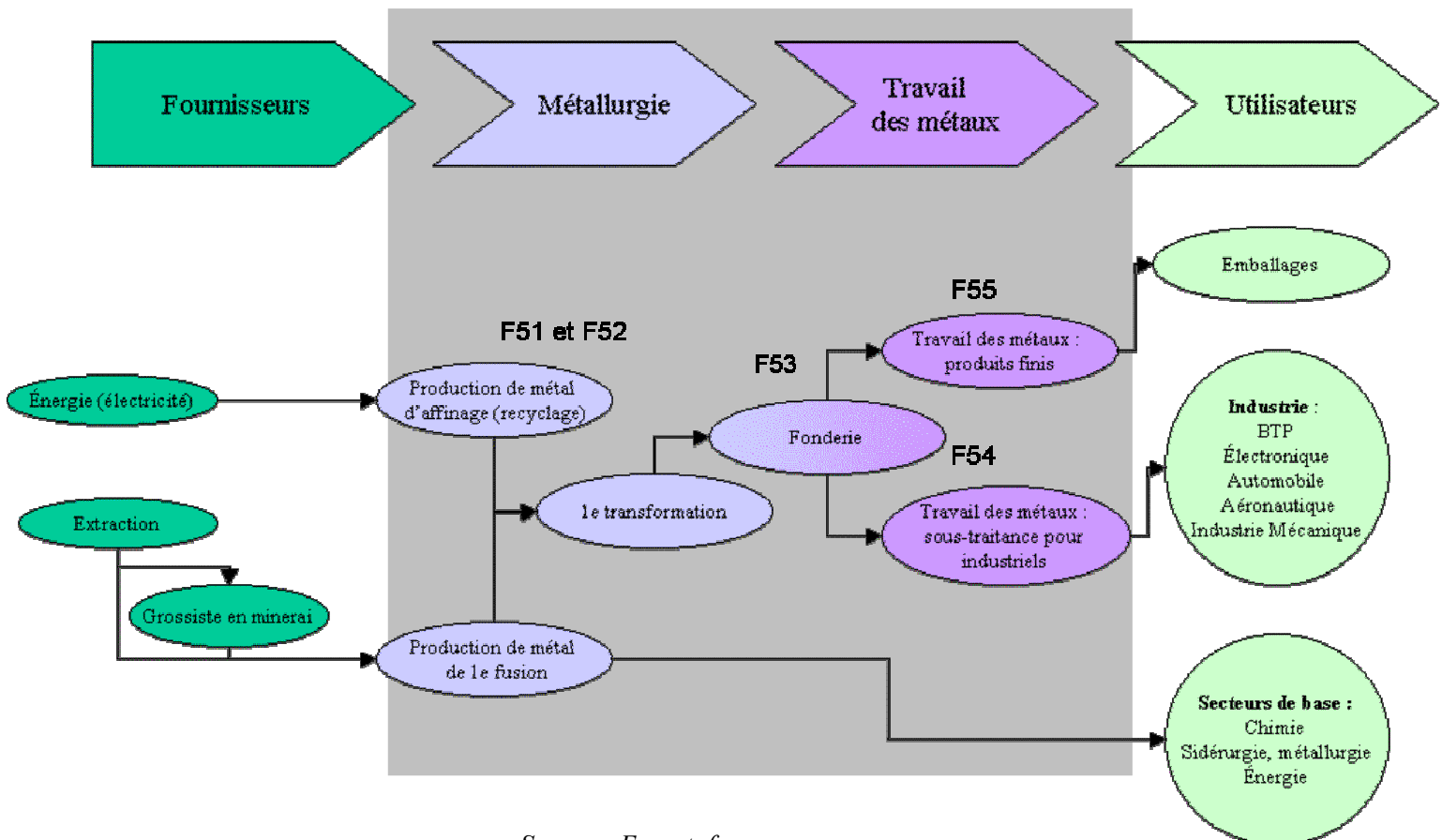
- moyens, outils, actions, « modes d'emploi » et conditions de mise en œuvre de ces moyens, pour ces technologies, aux différents niveaux de la chaîne de valeur ajoutée (recherche fondamentale, applicative, industriels, formation),
- répartition des actions et des rôles entre les différents acteurs de l'industrie et de la recherche (locaux, nationaux, européens),
- stratégie et support de communication du Ministère et des professions auprès des acteurs publics et privés en vue de faciliter une véritable promotion de l'innovation dans les métiers de la métallurgie.



CHAPITRE 2

PANORAMA DU SECTEUR DE LA MÉTALLURGIE

1. CHAMP DE L'ÉTUDE



Source : Eurostaf

Pour réaliser la première phase de l'étude, la DGE a limité le champ de la métallurgie et pris en compte les familles NES F51 à F55 auxquelles devrait être rajouté le champ F56 du recyclage. Ces familles ont été retenues pour construire l'atlas et l'annuaire de l'innovation métallurgique.

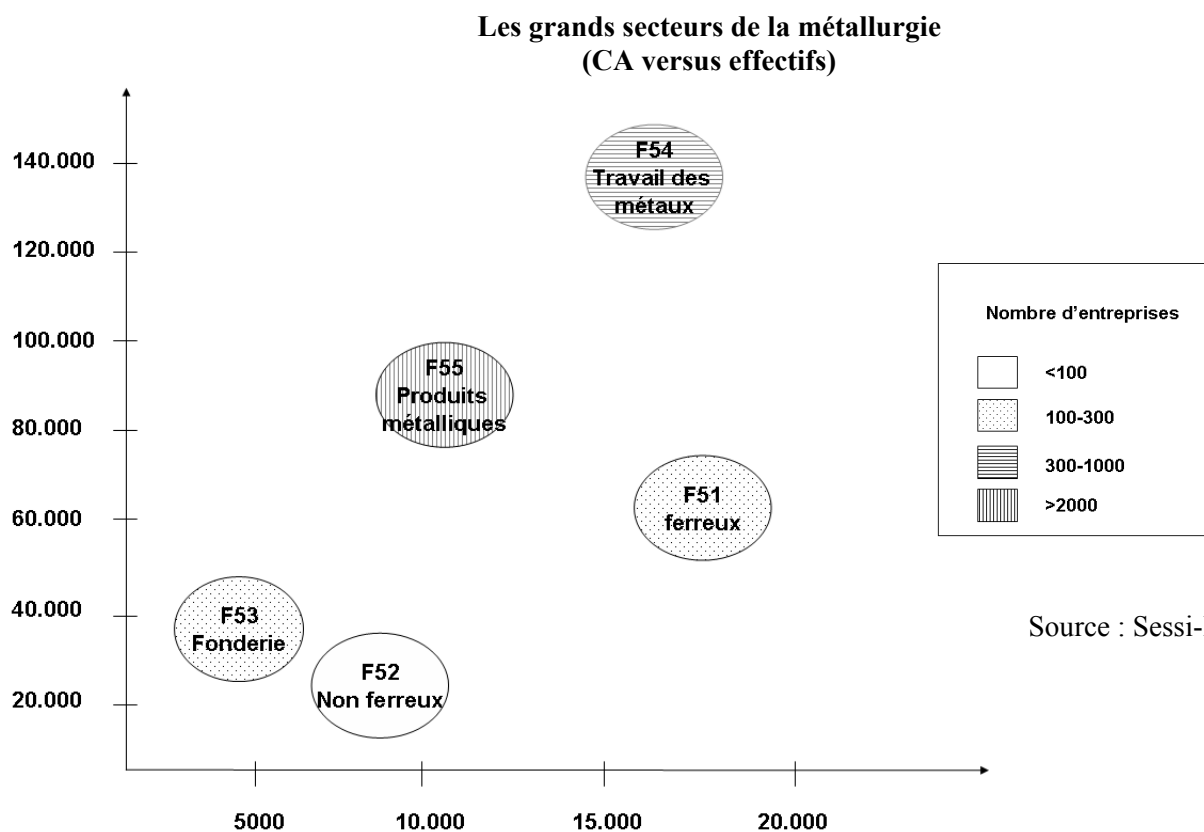
La métallurgie et le travail des métaux représentent en France près de 400 000 emplois, et tous les secteurs n'ont pas la même morphologie :

- En particulier le secteur des métaux non ferreux est un secteur concentré. Il compte moins de 100 entreprises de plus de 20 personnes en France.
- D'autres secteurs, comme la sidérurgie ou la fonderie, sont en voie de concentration. Les services industriels du travail des métaux et la fabrication de produits métalliques sont essentiellement composés d'un tissu de PME.

Afin d'estimer les enjeux liés à la filière métallurgique française, les grands secteurs qui la composent ont été hiérarchisés par chiffre d'affaires et effectifs employés.

En termes d'effectifs, les secteurs du **travail des métaux** et de la **fabrication des produits métalliques**, sont les plus importants. La **sidérurgie** et le **travail des métaux** sont les secteurs qui génèrent le plus de chiffre d'affaires.

Le graphique ci-après représente et compare les grands secteurs qui composent la **métallurgie et le travail des métaux**, selon des critères de **chiffre d'affaires et d'effectifs employés**. La couleur de la bulle indique la concentration du secteur, caractérisée par le nombre d'entreprises de plus de 20 personnes dans ce secteur :



Les différentes activités de la métallurgie et du travail des métaux ont été positionnées en désagrégeant les 5 grands secteurs en nomenclature NAF, selon les mêmes critères.

Cette approche a permis de ne retenir que les **secteurs réellement représentatifs en terme d'emplois et de marchés en France** :

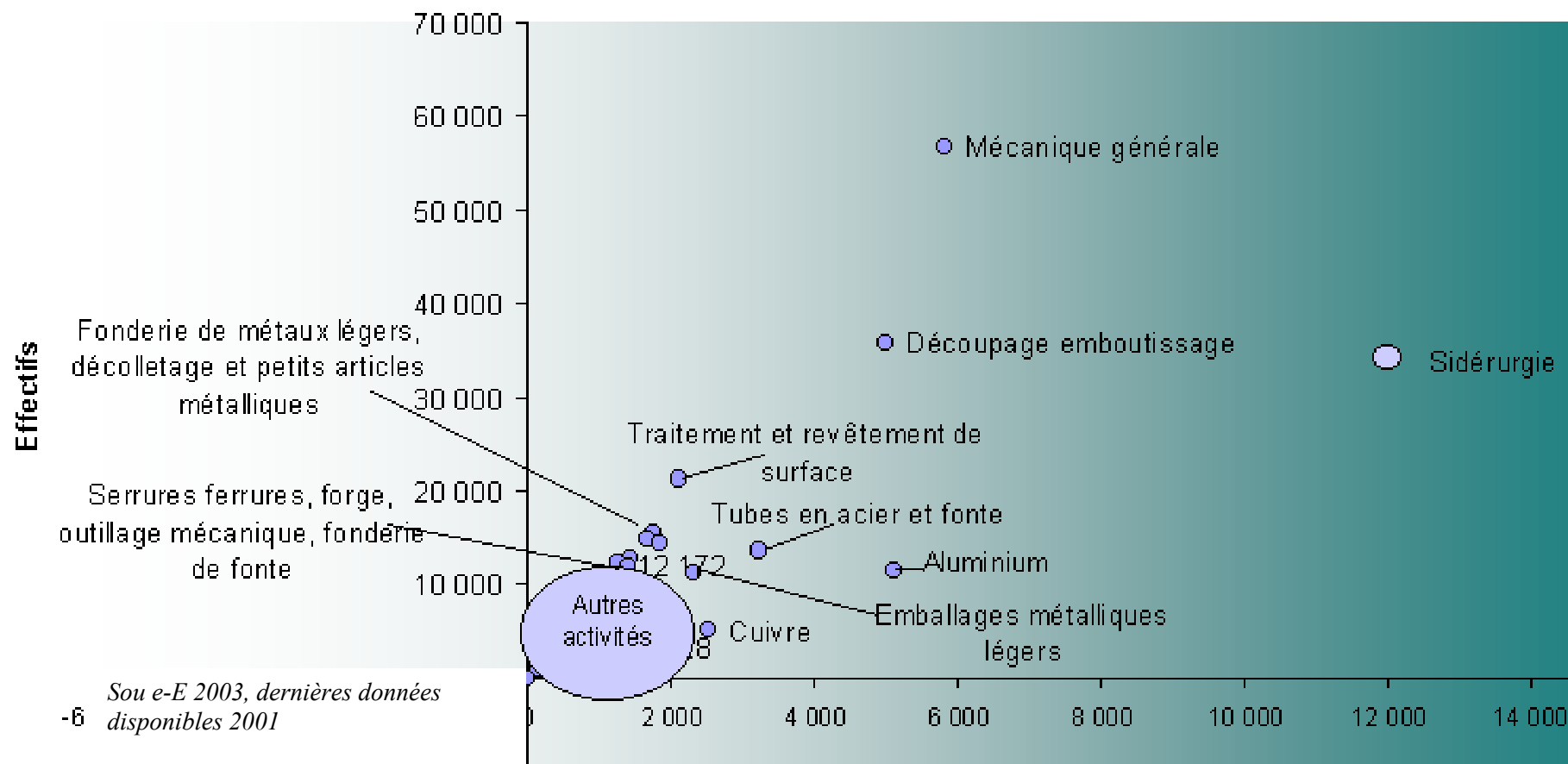
- la mécanique générale
- le découpage / emboutissage
- la sidérurgie
- l'aluminium
- le traitement et le revêtement de surface
- la fabrication de tubes en acier et en fonte
- la fonderie des ferreux et de non ferreux
- les emballages métalliques légers

Cependant cette approche ne prend pas en compte les grandes tendances d'innovations (métallurgie des poudres en particulier). on a donc complété les principaux codes NAF ayant un poids réel sur l'économie par les activités les plus innovantes qui sont identifiées par une **enquête par questionnaire** et des **entretiens avec les acteurs du secteur de la métallurgie et du travail des métaux**.

2 secteurs particulièrement innovants ont été identifiés :

- la métallurgie des poudres
- les ferroalliages

Les secteurs de la métallurgie à forts enjeux socioéconomiques



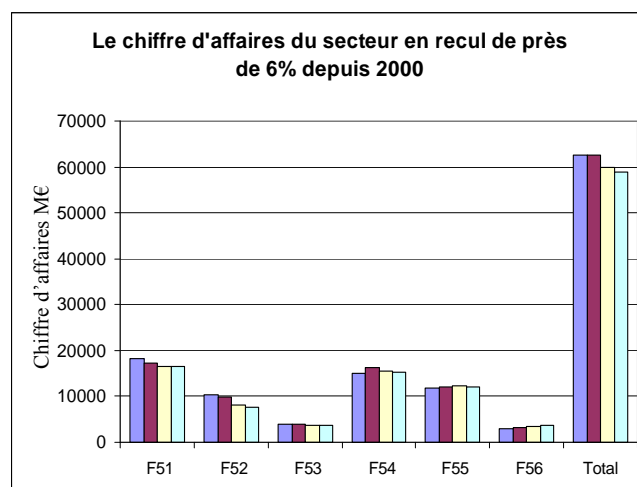
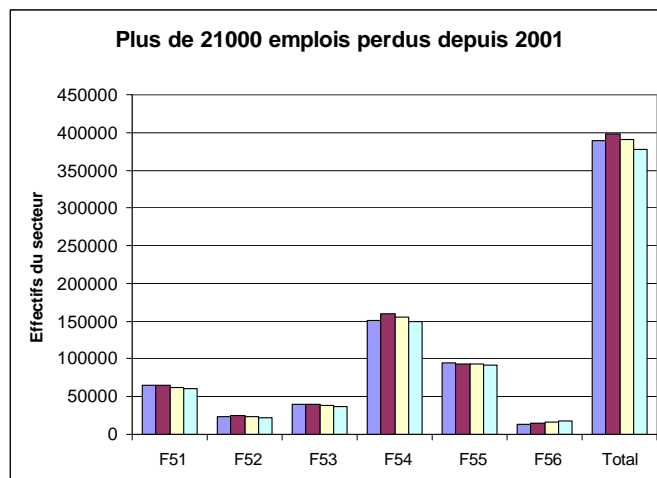
2. PRINCIPALES DONNÉES ÉCONOMIQUES DU SECTEUR EN FRANCE

La métallurgie et le travail des métaux ont connu une année 2003 particulièrement difficile. Pratiquement tous les secteurs sont concernés par ce recul.

En 2003, 12 500 emplois du secteur ont disparu (3% des effectifs) et le chiffre d'affaires est en recul de près de 2% (moins 1Md€ par rapport à 2002). La variation du chiffre d'affaires doit toutefois être analysée avec précaution car il existe un fort effet de cyclicité des prix.

Les secteurs de la métallurgie et du travail des métaux ont perdu dans leur ensemble 3.2% de leurs effectifs, soit 12 500 emplois en France :

- La **plus forte baisse** revient au secteur des **services industriels du travail des métaux**, dont la perte est supérieure à 5000 emplois.
- La **fonderie** enregistre la **plus forte perte** en variation, ses effectifs ayant diminué de plus de 6.5% en 2003.
- Tous les secteurs ont vu leur effectif diminuer à l'exception du secteur de la **récupération**, dont les effectifs ont augmenté de 2.3%. Toutefois, cette augmentation est très modeste et concerne moins de 400 emplois.
-



Le chiffre d'affaires du secteur a également connu un recul de près de 2%, supérieur à 1 Md €.

- Le secteur de la production des métaux non ferreux est plus particulièrement touché : son chiffre d'affaires est en recul de plus de 600 M€
- Les secteurs du plomb, du zinc et de l'étain ont perdu près d'1/3 de leurs effectifs et de leur chiffre d'affaires.
- Le chiffre d'affaires de la production d'aluminium est quant à lui en recul de près de 10%

Source : Sessi

Rappel des nomenclatures NES 114	
2000	F51 : sidérurgie et première transformation de l'acier
2001	F52 : production de métaux non ferreux
2002	F53 : fonderie
2003	F54 : services industriels du travail des métaux
	F55 : fabrication de produits métalliques
	F56 : récupération

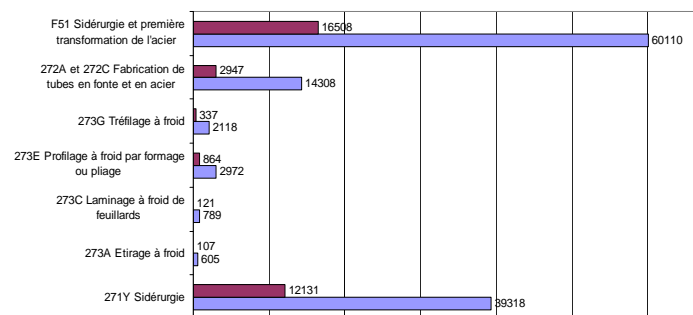
2.1. La sidérurgie et la première transformation de l'acier

Près de **2/3 des effectifs et du chiffre d'affaires du secteur est concentré dans la sidérurgie**, près d'1/4 dans la fabrication de tubes en fonte et en acier. Les autres sous-secteurs sont moins représentatifs en termes d'emplois et de chiffre d'affaires.

En 2003 la sidérurgie et la première transformation de l'acier ont connu une croissance économique faible en Europe. En France le chiffre d'affaires du secteur a progressé de seulement 0.2%, tandis que les effectifs sont en recul de 2.8% :

- Le chiffre d'affaires de la sidérurgie a progressé de 3% ; par contre les effectifs sont en recul de 2.1% soit près de 850 emplois perdus
- Le secteur de la fabrication de tubes en fonte et en acier est particulièrement touché puisqu'en recul de 7.5%, à la fois en chiffre d'affaires et en effectifs.

Répartition des effectifs et chiffres d'affaires du secteur de la sidérurgie et de la 1ère transformation de l'acier



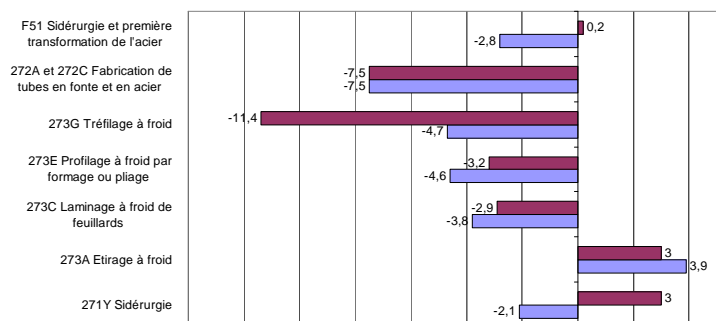
Les entreprises réalisent des **efforts importants de recherche** pour développer des produits à **fort contenu technique**. Selon Arcelor :

- 40% des aciers qui existeront dans 5 ans n'existent pas
- 40% des aciers qui existent actuellement n'existeront plus dans 5 ans.

L'acier est souvent **allié** à d'autres métaux, comme :

- le nickel et le chrome pour réaliser des aciers inoxydables
- le cobalt pour des aciers inoxydables ou des superalliages
- l'hafnium pour les superalliages
- le manganèse pour des applications dans la sidérurgie, la chimie et les piles
- le zirconium pour le nucléaire.

Variation des effectifs et chiffres d'affaires du secteur de la sidérurgie et de la 1ère transformation de l'acier



Source Sessi 2003

Effectifs
 Chiffre d'affaires

L'acier est un matériau qui répond aux exigences de **développement industriel durable**. Dans le cadre du développement d'importantes **réglementations environnementales**, les producteurs d'acier ont dû

s'impliquer davantage dans la préparation et la mise en place de la proposition de loi sur l'eau et de la Charte de l'environnement.

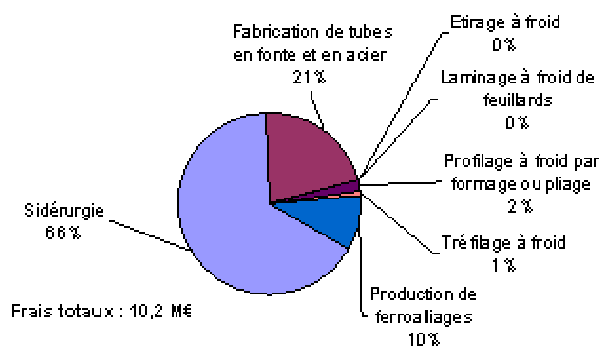
Les sidérurgistes européens ont aussi dû réagir à la directive sur la **taxation des produits énergétiques** et de l'électricité. La façon dont est traitée la question des **quotas d'émissions de gaz à effet de serre** conditionnera la **compétitivité de l'acier français** à un horizon relativement bref.

La **recherche et l'innovation ouvrent de nouvelles perspectives à l'acier**. Les programmes européens de coopération visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre sont une des grandes voies d'innovation du secteur.

Les sidérurgistes doivent **valoriser les atouts de l'acier** et tirer le meilleur parti de **l'intégration des filières industrielles**, de la conception du matériau à sa mise en œuvre **avec le client** afin de participer pleinement aux perspectives qu'ouvre le développement durable.

Il existe quelques Systèmes Productifs Locaux (SPL) recensés par la DATAR dont les activités concernent en partie la sidérurgie et la première transformation de l'acier, notamment Métaladour, Auvergne SPL, Mécatronique de la vallée de Montluçon, et Meuse Mécanique.

Répartition des frais de dépôts et de maintien de brevets, logiciels, marques et modèles



2.2. La métallurgie des non ferreux

Le secteur des non ferreux a perdu en 2003 plus de 1.100 emplois (près de 4.7% des effectifs) et son chiffre d'affaires, en recul de plus de 8%, concède 690 M€ :

- Le secteur est dominé par l'aluminium (activité de première transformation en particulier)
- Il a aussi dû intégrer en 2003 la fermeture de l'usine de **Noyelles-Godault**, puis celle de Pueller Europe à Longueville et des Laminoirs du Dauphiné à Domène, expliquant le recul d'un tiers des effectifs et du chiffre d'affaires du secteur du plomb-zinc-étain

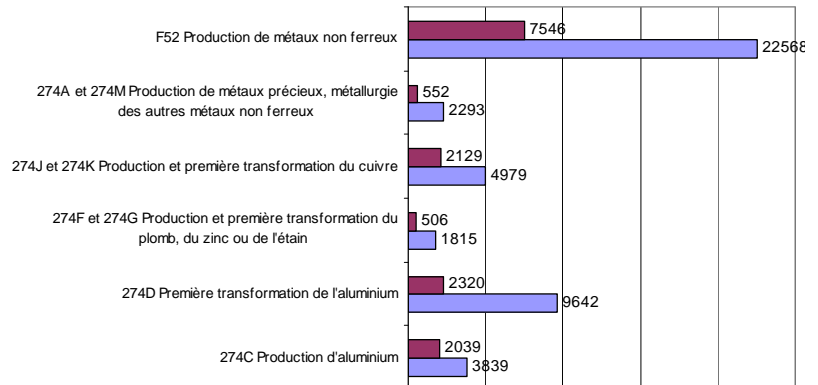
Les résultats du secteur intègrent ainsi les conséquences des cessations d'activité, qui s'ajoutent à une évolution de la demande peu satisfaisante dans de nombreux secteurs, le plus souvent accompagnée d'une baisse des prix de vente. L'OPA d'Alcan sur Pechiney a également contribué à modifier la donne du secteur

L'aluminium représente plus de la moitié du chiffre d'affaires du secteur et plus de ¾ des frais de dépôt et de maintien des brevets du secteur des non ferreux en France.

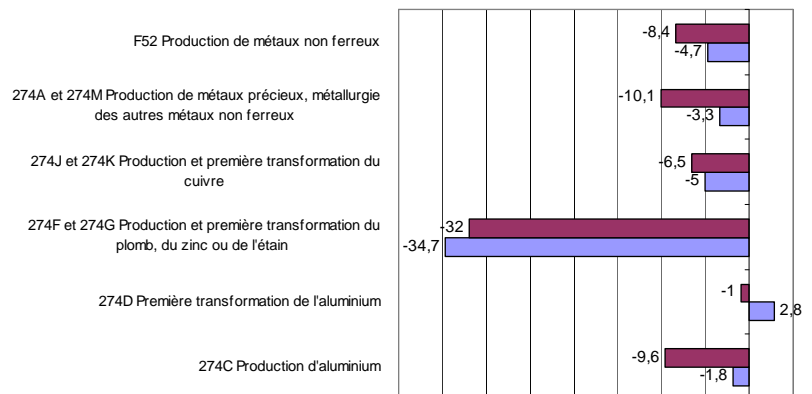
Le marché des métaux non ferreux est sensible aux mouvements conjoncturels, en particulier ceux des secteurs de l'électronique, de la construction et de l'automobile. L'aluminium possède en particulier un caractère fortement cyclique.

Il existe quelques Systèmes Productifs Locaux (SPL) recensés par la DATAR dont les activités concernent en partie la métallurgie des non ferreux, comme Métaladour et le Pôle de Chaudronnerie et de Maintenance de HAM.

Répartition des effectifs et chiffres d'affaires du secteur de la production de métaux non ferreux



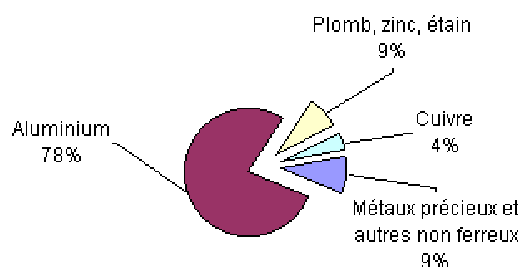
Variation des effectifs et chiffres d'affaires du secteur de la production de métaux non ferreux



Source Sessi 2003

Effectifs
 Chiffre d'affaires

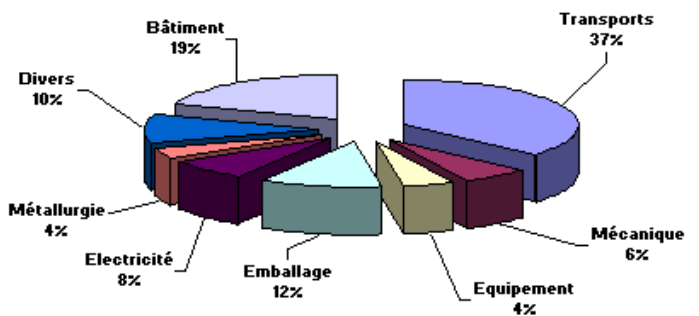
Répartition des frais de dépôts et maintien de brevets
 Total : 2,3 M€





L'industrie de l'aluminium

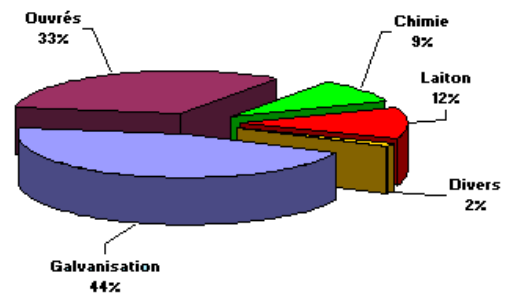
L'aluminium est un secteur majeur à soutenir. Le chiffre d'affaires réalisé en 2003 représente 4 359 M€. Le secteur comporte 39 entreprises pour plus de 13 000 emplois. Les grandes **voies d'innovation** concernent le recyclage et l'allègement. Les grands **défis** du secteur concernent la limitation des émissions de CO2 et la réduction de la consommation d'énergie.



Source FEDEM, 2003

Les industries du zinc et cadmium

Les **marchés du zinc et du cadmium** sont menacés par les réglementations environnementales particulièrement contraignantes. 2 entreprises ont réalisé, en 2003, 316 M€ de chiffre d'affaires et représenté 1.146 emplois. Les grandes voies d'innovations concernent la **recherche de substituts** pour faire face au principal enjeu qu'est l'**environnement**.



Source FEDEM, 2003

L'industrie du cuivre

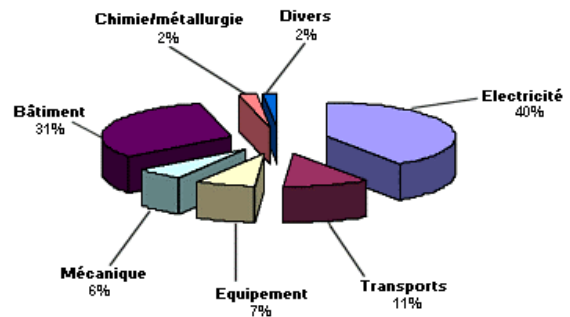
Le marché du cuivre et de ses alliages est très dépendant de la **demande en Chine, aux USA et au Japon**, stimulée par la conjoncture porteuse dans les secteurs de **l'électronique** et de la **construction**.

Le secteur compte en 2003 24 entreprises, soit 4.979 emplois pour un chiffre d'affaires de 2 129 M€.

Les alliages concernent principalement :

- le cuivre faiblement allié à de l'argent pour les moteurs électriques
- le chrome pour les revêtements
- le laiton : procédés de décolletage (usinage sur tour automatique), de matriçage (déformation à chaud par pressions instantanées dans une matrice), de montage, d'emboutissage
- le bronze : utilisé en fonderie, aptitude au montage, résistance à la corrosion et bonne conductibilité thermique

Les grandes voies d'innovation concernent les procédés visant à mieux protéger l'environnement. Les grands enjeux du secteur sont liés à l'impact sur l'environnement, en particulier sur les nappes phréatiques, les particules dans l'air ainsi que les particules d'arsenic, cadmium, mercure, nickel, plomb dans les gaz provenant de la fusion du minerai.



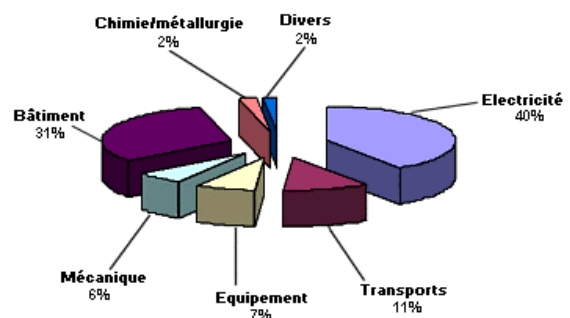
Source FEDEM, 2003

Les industries du plomb et de l'étain

Les secteurs du plomb et de l'étain sont des industries sinistrées.

12 entreprises ont réalisé un chiffre d'affaires de 105 M€ en 2003 pour 386 emplois.

Le secteur est sinistré et en sous capacité de production. Le bannissement progressif et continu du plomb de nombreuses applications renforce cette tendance.

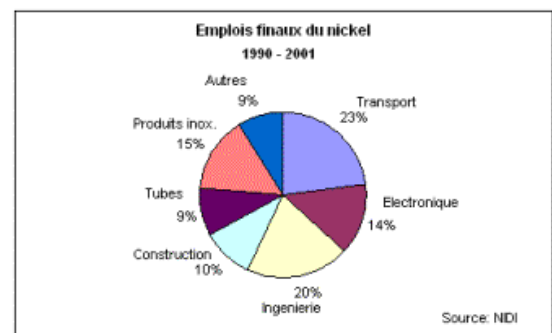


Source FEDEM, 2003

Les industries du nickel et des métaux stratégiques ou spéciaux

Les métaux stratégiques ou spéciaux sont concernés par des menaces fortes d'assèchement de l'offre qui entretiennent la spéculation et la volatilité des cours.

Le secteur du nickel concerne 9 entreprises en 2003 qui ont réalisé 743 M€ de chiffre d'affaires et employé 3994 personnes.



Les grandes voies d'innovation concernent l'augmentation de capacité de production, la substitution du minerai et l'amélioration des rendements, notamment par des systèmes de coulée. La réduction des coûts est également recherchée.

Les autres métaux dits stratégiques ou spéciaux trouvent leurs applications dans des domaines variés, mais de haute technologie. On peut notamment citer :

- **Antimoine** : ignifugeants, alliages, piles, semi conducteurs
- **Béryllium** : travail et recyclage des métaux, couches anti-UV, aéronautique et nucléaire
- **Bismuth** : systèmes d'extincteurs à eau, cosmétiques, fluoroscopique
- **Chrome** : aciers et superalliages principalement, mais aussi embellissement, protection, couverts, catalyseur pour la production de méthanol, peinture de camouflage, laser, bandes audio/vidéo
- **Cobalt** : aciers inoxydables et superalliages, source de rayons gamma, lame de rasoir de sécurité, aimant permanent, pot catalytique, pigment, météorologiste
- **Gallium** : futures diodes à lumière blanche
- **Germanium** : électronique, catalyse, prisme infrarouge, réflecteur de projecteur, transistor, diode, cellules solaires, dentisterie
- **Hafnium** : superalliages, sous-marins nucléaires, contrôle des réacteurs nucléaires, capteur de gaz dans des tubes à vide, moteur à réactions, outillage
- **Indium** : électronique, cellule solaire, soudure, palier de glissement, coussinets pour des moteurs de voitures de course, revêtement du verre, analyse du sang, des poumons
- **Manganèse** : sidérurgie, chimie, piles, acier: aigüillage, outillage, roulements, coffre-fort, soc de charrue, batterie, engrais, verre, pigment noir
- **Rhénium** : 6% du poids mais 80% du prix du superalliage CMXS-10 destiné aux aubes de turbines de réacteur d'avion
- **Sodium** : chimie, métallurgie, lampes à décharge, fluides échangeurs de chaleur
- **Terres rares** : fabrication de tubes cathodiques, de lasers, catalyseurs. Le Gadolinium en particulier a des applications concernant le refroidissement magnétique
- **Titane** : aéronautique, génie chimique, échangeur de chaleur, réacteur d'avion, broche/prothèse, pigment: peinture, papier, catalyseur de polymérisation
- **Tungstène** : outils de coupe et de forages, filaments, électrode de soudage, filaments à incandescence pour des lampes et des télévisions, chars, grenades, balles, tuyères de fusée, outils de coupe et de forage
- **Zirconium** : nucléaire, enveloppe pour combustible fissile, têtes de percussion, imitations de diamant, revêtements réfractaires, sondes à oxygène

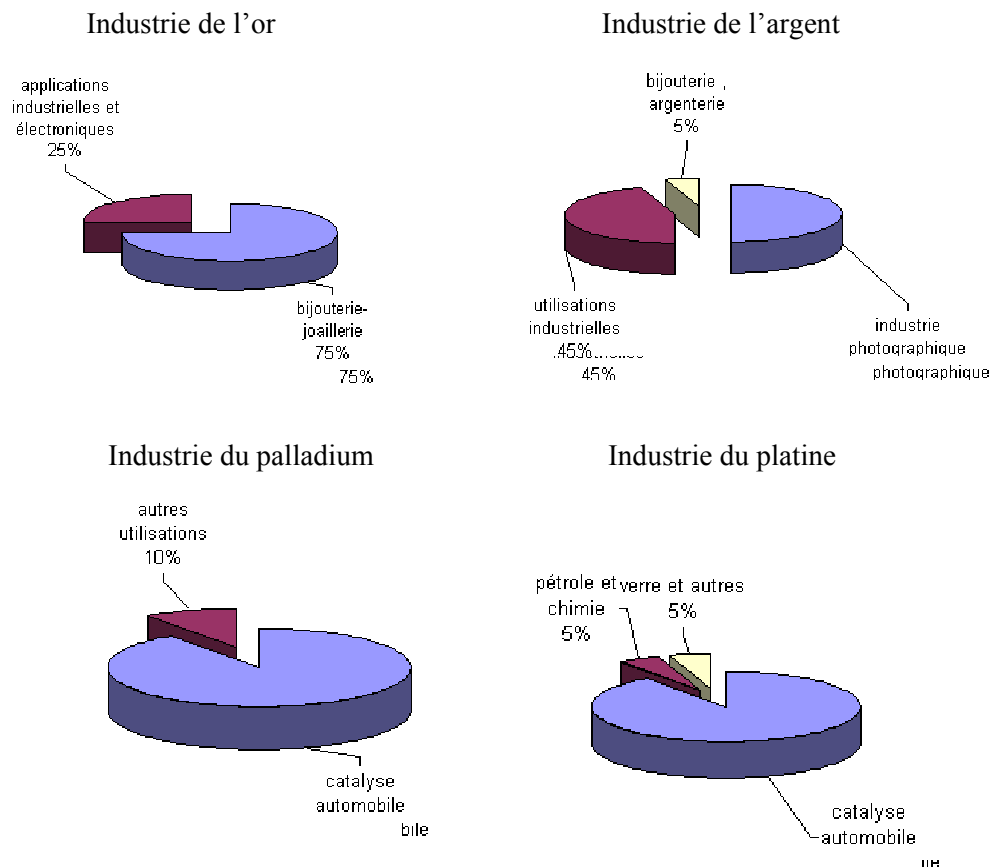
Les métaux précieux

La **demande de métaux précieux** est principalement tirée par l'industrie automobile et par les applications de catalyse :

- ¼ de l'or est utilisé pour des applications industrielles, principalement électroniques
- la moitié de l'argent est destiné à l'industrie photographique
- le Palladium est surtout utilisé pour la catalyse automobile
- le secteur automobile consomme la moitié du platine mondial.

Les innovations de procédé visant à la diminution de l'**impact environnemental**, les **nanomatériaux pour la catalyse**, et la recherche de **substituts** sont les grandes tendances actuelles.

Les **enjeux** concernent principalement la **sécurité de l'approvisionnement** et la **spéculation liée** à ces métaux.



Source Nodal Consultants, d'après FEDEM, 2003
Source FEDEM, 2003

2.3. La fonderie française

La fonderie française est au second rang européen mais rencontre des menaces liées notamment aux réglementations environnementales.

La fonderie de **métaux légers** emploie plus **d'un tiers de l'effectif du secteur** et réalise près de la **moitié du chiffre d'affaires**. Elle s'intéresse principalement à l'**aluminium** pour un marché de destination essentiellement automobile. **La fonderie de fonte** représente près **d'un tiers de l'activité du secteur**, en termes d'**effectifs** et de **chiffre d'affaires**.

Le secteur de la fonderie est cependant en **grande difficulté** puisqu'il a perdu plus de 6.5% de ses effectifs soit 2 500 emplois (comptabilisés uniquement parmi les entreprises de plus de 20 personnes) :

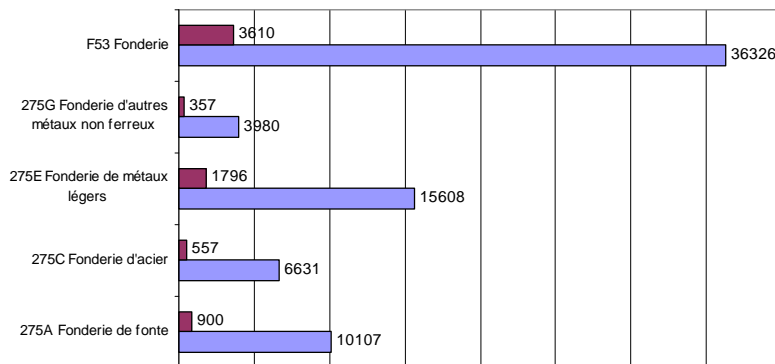
- La fonte et l'acier sont les plus touchés : leurs effectifs ont diminué respectivement de 10% et 8% en 2003
- La fonderie de métaux légers ou autres non ferreux résiste mieux mais enregistre néanmoins une perte

La fonderie est une industrie de biens intermédiaires située en amont de toutes les branches utilisatrices de pièces métalliques.

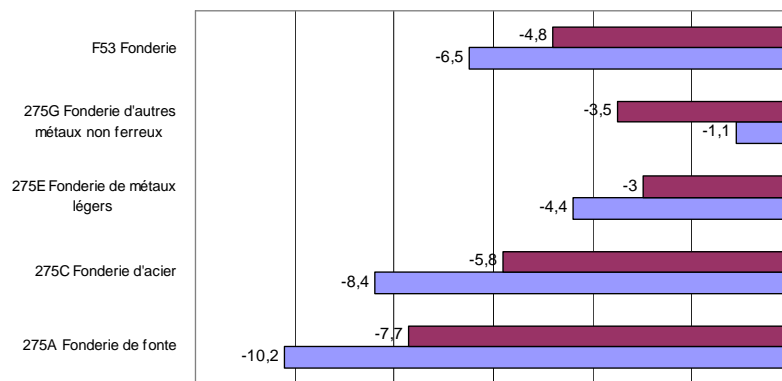
Les entreprises du secteur fabriquent des produits destinés à entrer dans la composition d'ensembles complexes : automobiles, matériels de manutention et de levage, équipements industriels ou encore construction aéronautique. Les pièces sont réalisées à la demande et selon les spécifications du client : c'est une industrie de sous-traitance.

A l'avenir les entreprises vont continuer à se restructurer **pour mieux s'adapter aux**

Répartition des effectifs et chiffres d'affaires du secteur de la fonderie



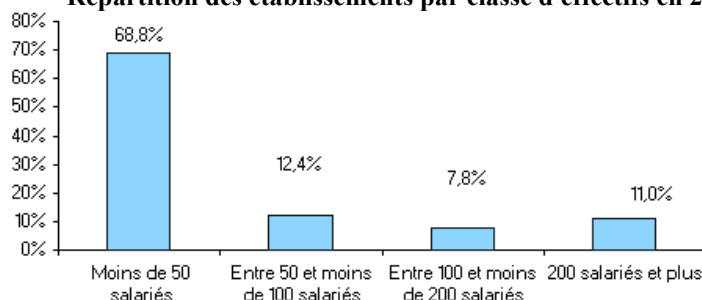
Variation des effectifs et chiffres d'affaires du secteur de la fonderie



Source Sessi 2003

Effectifs
 Chiffre d'affaires

Répartition des établissements par classe de effectifs en 2003



Source : Fondateurs de France

conditions du marché, notamment en **s'implantant à l'étranger** pour renforcer leur présence sur les lieux de production des donneurs d'ordre.

Des groupes se restructurent autour des secteurs clients, et des unités se créent ou reprennent des établissements de finition de pièces de fonte. D'une façon générale, l'activité de fonderie s'externalise de plus en plus dans la plupart des domaines de production industrielle, en particulier dans l'industrie automobile.

L'industrie française de la fonderie représente en 2003, en incluant les microentreprises de moins de 20 personnes, 5.1 milliards d'euros de chiffre d'affaires pour 510 établissements. Elle emploie plus de 48 000 personnes dans la branche, dont près de 40 000 travaillent directement à la production de pièces de fonderie.

La fonderie française se situe au **2ème rang européen et au 7ème rang des producteurs mondiaux** derrière **la Chine**, les **Etats-Unis**, la Russie, le Japon, l'Allemagne et l'Inde. Avec 2.5 millions de tonnes produites, elle occupe le 2ème rang européen dont elle représente 19% de la production totale.

On constate que la fonderie italienne est la 4e mondiale et la 1ère européenne en métaux non ferreux.

Principaux pays	Métaux ferreux (*)	Métaux non ferreux (*)	Total (*)
Chine (Rép.Populaire)	14 979	1 283	16 262
Etats-Unis	9 122	2 690	11 812
Russie (2001)	5 600	600	6 200
Japon	4 407	1 345	5 752
Allemagne	3 750	846	4 596
Inde	3 025	242	3 267
France	2 123	390	2 513
Brésil	1 823	140	1 963
Corée	1 641	73	1 714
Italie	1 461	980	2 441
Ukraine	943	31	974
Grande-Bretagne	886	206	1 092
Espagne	993	150	1 143
Canada (2001)	836	76	912
Turquie	877	45	922
Pologne	598	76	674
Monde	58 700	10 899	69 599
<i>U.E. (15 membres)</i>	<i>9 859</i>	<i>2 747</i>	<i>12 606</i>

Source : *Fondeurs de France, 2003*

(*) : en milliers de tonnes

Il existe quelques Systèmes Productifs Locaux (SPL) recensés par la DATAR dont les activités concernent en partie la fonderie comme Métaladour, Auvergne SPL Mécatronique de la vallée de Montluçon, Filière automobile du Grand Ouest, SPL Pôle Automobile.



2.4. Les services industriels du travail des métaux

Les services industriels du travail des métaux constituent un **secteur stratégique pour la France** qui est menacé par les **délocalisations** des donneurs d'ordres . Ce secteur comprend plusieurs activités, en particulier la forge, le découpage / emboutissage, la métallurgie des poudres, le traitement et revêtement des métaux, le décolletage et la mécanique générale.

- La **mécanique générale** représente près de 40% des effectifs et plus de 35% du chiffre d'affaires du secteur
- Le **découpage / emboutissage** et le **traitement et revêtement des métaux** sont les 2 autres principaux sous-secteurs

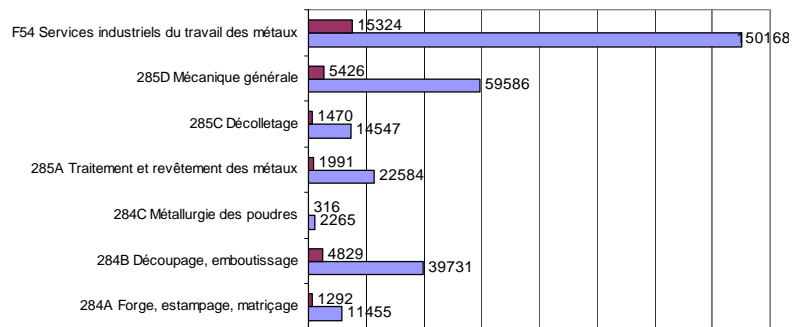
Le secteur a marqué un **repli en 2003** de près de **2% en chiffre d'affaires** et de 3.5% des effectifs, soit **5.000 emplois**

- La **mécanique générale** a perdu plus de 2.600 emplois en 2003
- Le secteur ayant subi la plus forte variation est la **métallurgie des poudres**, qui perd plus de 6.7% de ses effectifs mais qui paradoxalement a vu son chiffre d'affaires progresser de plus de 7% !
- Seul le **découpage / emboutissage** a connu une amélioration de son chiffre d'affaires en 2003

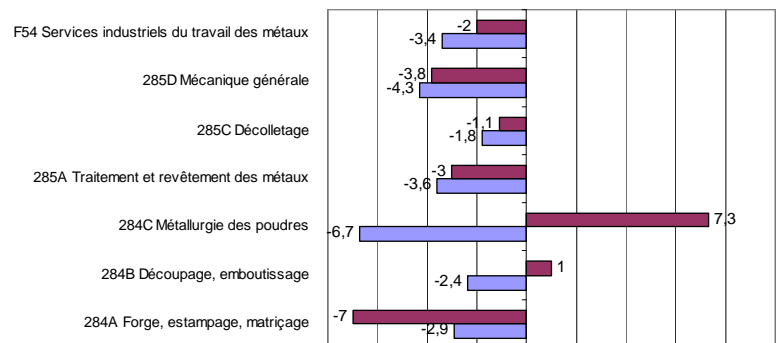
Ces activités sont essentiellement assurées par des **petites et moyennes entreprises**. Les 2/3 d'entre elles emploient moins de 50 personnes, et seulement 10% ont plus de 100 salariés. Le **client principal** de ces secteurs de sous-traitance est **l'industrie automobile**. Les industriels sont donc souvent **implantés à proximité des constructeurs et équipementiers**

Le secteur est **fortement dépendant de l'automobile et des équipementiers**. 2.270 entreprises emploient 141.000 personnes et réalisent un chiffre d'affaires de 16.3 Mds €. Le secteur reste **très atomisé** puisque 3% seulement des entreprises ont un effectif supérieur à 250 personnes.

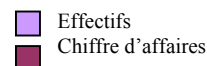
Répartition des effectifs et chiffres d'affaires des services industriels du travail des métaux



Variation des effectifs et chiffres d'affaires des services industriels du travail des métaux



Source Sessi 2003



Ce secteur doit faire face à de nombreux **défis, liés à leur activité de sous-traitance**. Les techniques favorisant un approvisionnement sur mesure des clients se généralisent comme la fabrication en flux tendu et la livraison en « juste à temps ». Les **relations avec les grands donneurs d'ordre** conduisent les entreprises à une double mutation. D'une part elles déploient une **politique d'alliance** avec des entreprises de métiers équivalents afin de répondre aux exigences d'une **taille critique** ; d'autre part elles recherchent des sous-traitants exerçant des métiers complémentaires afin de fournir des pièces de fonction ou même **des sous-ensembles**. On assiste ainsi à des regroupements dans des **systèmes productifs locaux**, permettant de **partager d'importants investissements rendus nécessaires pour conserver leur compétitivité et leur productivité**.

La **délocalisation des secteurs avals** (dans des pays émergents d'Europe centrale et orientale) est un nouveau défi pour ces entreprises qui ne manquent pas d'atouts (flexibilité, taux de valeur ajoutée, taux d'exportation). **Un salarié sur 5 est employé en région Rhône-Alpes**, première région française devant l'Ile-de-France.

Il existe de nombreux Systèmes Productifs Locaux recensés par la DATAR dont les activités concernent en partie le secteur des services industriels du travail des métaux comme Métaladour, Auvergne SPL Mécatronique de la vallée de Montluçon, Mécanique Monceau Le Creusot, Instruments de chirurgie de Nogent, Reiso 77, Mecanic Vallée, Filière Métallurgie au Vimeu, Pôle Hydraulique et Mécanique d'Albert, Mécapole du Bocage, District Industriel de la Vallée de l'Arve, Mécapole, SPL Eco-techniques en Savoie.

2.5. Le secteur de la fabrication de produits métalliques

Le secteur de la fabrication de produits métalliques est essentiellement un secteur de sous-traitance. La compétition avec d'autres matériaux est très forte.

Le secteur a représenté en France près de 100.000 emplois et plus de 12 Mds€ de chiffre d'affaires en 2003, parmi les entreprises de plus de 20 salariés :

- L'activité principale du secteur est la **fabrication d'emballages métalliques légers** qui se concentre dans les **filiales de grands groupes**. Il s'agit d'un **marché de proximité**, assez saisonnier, en relation avec **l'industrie alimentaire et de la boisson**
- Les sous secteurs de la **fabrication de serrures, ferrures et outillage mécanique** sont ensuite les plus importants du secteur.

Les entreprises du secteur des produits métalliques sont présentes sur l'ensemble du territoire compte tenu de la grande diversité des produits métalliques regroupés dans ce secteur. Les zones à plus forte concentration sont les secteurs historiques de la sidérurgie, en particulier le Nord de la France.

Certaines régions demeurent spécialisées dans une production originale : la coutellerie en Auvergne (région de Thiers), les serrures et ferrures en Picardie et en Lorraine, les chaînes dans le Nord-Pas-de-Calais.

Le secteur des produits métalliques est très hétérogène et caractérisé par des unités de petite taille : près de 90% des entreprises emploient moins de 250 salariés. Cependant un tiers du chiffre d'affaires est concentré dans la trentaine d'entreprises de plus de 500 salariés, qui réalisent également près de 40% des exportations.

Les entreprises sont à proximité des donneurs d'ordres ou des secteurs clients comme l'automobile, l'aéronautique, l'agroalimentaire **ou le bâtiment**.

Répartition des effectifs et chiffres d'affaires du secteur de la fabrication de produits métalliques



Source Sessi 2003

Effectifs
 Chiffre d'affaires

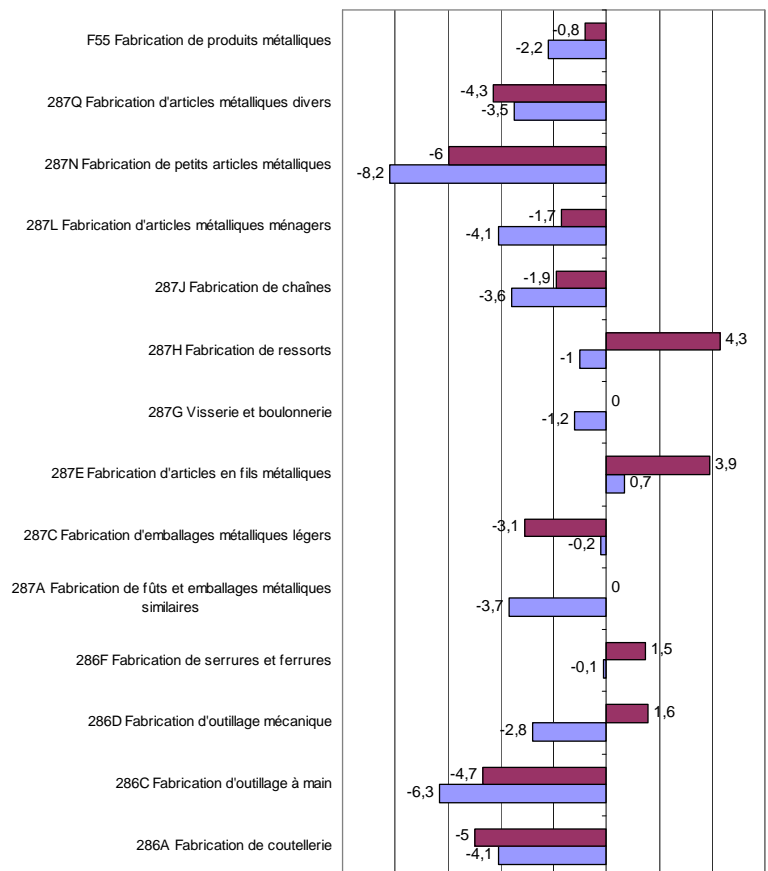
Le secteur a connu entre 2002 et 2003 un **recul de 0.8% de son chiffre d'affaires** et de plus de **2% de ses effectifs**, perdant ainsi plus de **2.000 emplois**

- **4 secteurs ont vu leur chiffre d'affaires progresser** : la fabrication de **ressorts**, les articles en **fils métalliques**, les **serrures et ferrures** et **l'outillage mécanique**
- Seul le secteur des **articles en fils métalliques** n'a **pas perdu d'emplois** entre 2002 et 2003

Il existe de très nombreux **Systèmes Productifs Locaux** recensés par la DATAR dont les activités concernent en partie le secteur des services industriels du travail des métaux, comme :

Métaladour, Auvergne SPL Mécatronique de la vallée de Montluçon, La coutellerie thiernoise, La Vallée des Alliages, Filière de la quincaillerie à Tinchebray, Mécanique Monceau Le Creusot, BREIZPACK emballage breton, Filière automobile du Grand Ouest, Packaging Valley, Instruments de chirurgie de Nogent, Microtechniques du grand Besançon, SPL Pôle Automobile, Reiso 77, Club Alliance Métaux du Bitterois, Meuse Mécanique, Mecanic Vallée, SPL Mécanique et Métallurgie de la Thiérache, Pôle de Chaudronnerie et de Maintenance de HAM, Filière Métallurgie au Vimeu, Pôle Hydraulique et Mécanique d'Albert, Mécapole du Bocage, District Industriel de la Vallée de l'Arve, Mécapole, SPL Eco-techniques en Savoie.

Variation des effectifs et chiffres d'affaires du secteur de la fabrication de produits métalliques



Source Sessi 2003

■ Effectifs
■ Chiffre d'affaires



2.6. Récupération

Près de 2/3 des ventes du secteur de la récupération concernent les matières métalliques. Le secteur de la récupération, composé principalement de PMI, réalise près d'1/4 de ses ventes à l'export.

La France reste en retrait par rapport à certains pays européens comme l'Allemagne ou les Pays-Bas.

Les **normes environnementales** et le **coût des matières premières** stimulent la **croissance** de l'activité. La récupération des matières métalliques et non métalliques continue à se développer, et le chiffre d'affaires a progressé de 4.6% en 2003 et les effectifs de 2.3%. Ils représentent cependant moins de 400 emplois créés parmi les entreprises de plus de 20 personnes.

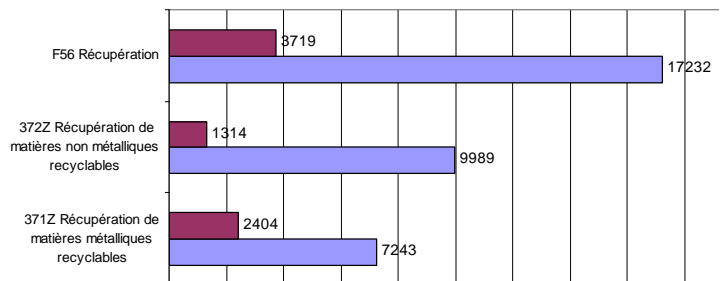
Principalement constitué de PMI, ce secteur est concentré dans 3 grandes régions : l'Ile-de-France, le Nord-Pas-de-Calais et Rhône-Alpes (40% des effectifs). Le secteur comporte 3.035 entreprises, soit 3.400 établissements, employant 17.232 personnes.

La récupération de **matières métalliques recyclables** représente 67% des ventes de l'ensemble de la récupération. Cependant la récupération de matières recyclables non métalliques, comme le papier / carton, participe de plus en plus à la valorisation des déchets.

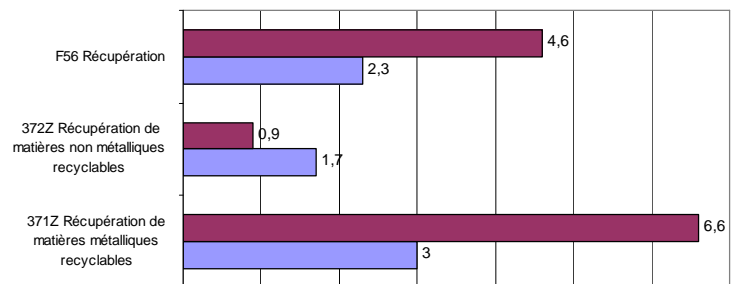
De nouveaux créneaux s'ouvrent aux récupérateurs avec la mise en œuvre des directives communautaires sur les véhicules hors d'usage et surtout sur les déchets de produits électriques et électroniques.

Le secteur représente un volume de 39 millions de tonnes par an transformées en matières premières de plein exercice pour un chiffre d'affaires annuel 3,7 milliards d'Euros. 20% du chiffre d'affaire se fait à l'export. Plus de 40 % des matières premières non énergétiques de l'industrie nationale sont issues du recyclage.

Répartition des effectifs et chiffres d'affaires du secteur de la récupération



Variation des effectifs et chiffres d'affaires du secteur de la récupération

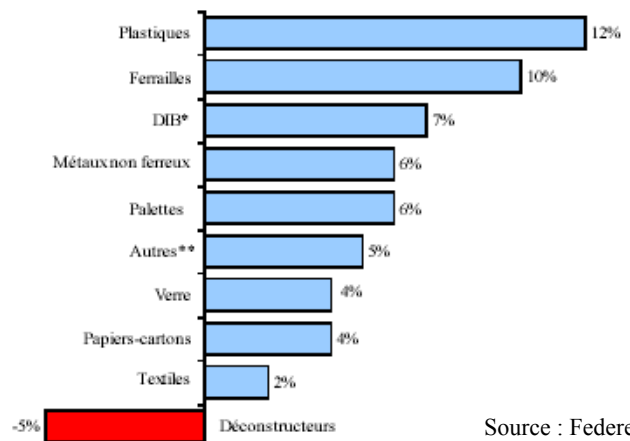


Source Sessi 2003

Effectifs
 Chiffre d'affaires

Evolution des volumes

au cours du premier trimestre 2004 : + 7 %



Source : Federec



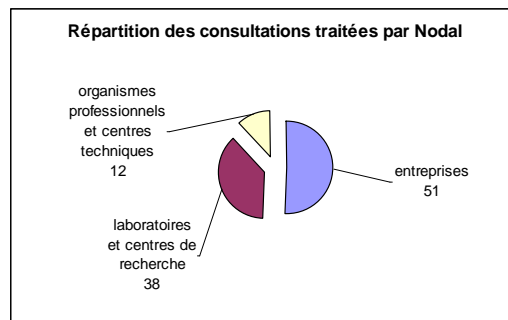
3. PANORAMA DE L'INNOVATION EN MÉTALLURGIE

3.1. Résultat des consultations

Nodal a consulté **101 acteurs de la métallurgie**, parmi les entreprises ou industriels, laboratoires et centres de recherche publics ou privés, et organismes professionnels ou centres techniques.

La **région Rhône-Alpes** est la région la plus représentée dans notre enquête, suivie par l'Ile-de-France. Près de la moitié des entreprises consultées sont en Rhône-Alpes ou en Ile-de-France.

Le tableau ci-dessous indique l'origine géographique des entreprises, laboratoires et R&D publique et privée et organismes professionnels ou centres techniques consultés.



Implantation géographique	Entreprises	R&D publique et privée	Organismes professionnels
Alsace	4,00%	2,60%	7,70%
Aquitaine	16,00%	2,60%	
Auvergne	10,00%		7,70%
Basse Normandie	2,00%		
Bourgogne	6,00%	2,60%	
Bretagne	2,00%	5,30%	7,70%
Centre	4,00%	2,60%	15,40%
Champagne Ardenne	10,00%		7,70%
Franche Comté	6,00%	2,60%	
Haute Normandie	6,00%	2,60%	
Ile de France	24,00%	10,50%	30,80%
Languedoc Roussillon	2,00%		
Lorraine	6,00%	10,50%	
Midi Pyrénées	10,00%		
Nord Pas de Calais	12,00%	5,30%	
Pays de la Loire	2,00%	7,90%	23,10%
Picardie	2,00%		15,40%
Poitou Charentes	4,00%	5,30%	
Provence Alpes Côte d'Azur	12,00%	5,30%	
Rhône Alpes	28,00%	34,20%	46,20%







Consultation Nodal de la métallurgie. Octobre 2004

Le **profil des industriels** consultés est représentatif de la composition du tissu industriel français, car toutes les tailles d'entreprises sont présentes :

- 2/3 des répondants emploient moins de 200 personnes
- La quasi-totalité des grands acteurs se sont mobilisés

Tous les **secteurs d'activité** ont été consultés :

- Dans notre enquête, le secteur des services industriels du travail des métaux est majoritairement constitué d'entreprises dont l'effectif est inférieur à 20 personnes, conformément à la réalité industrielle
- Les entreprises de la fonderie et les produits métalliques se sont moins mobilisées pour participer à notre enquête. Le temps que les PME peuvent accorder à ce type d'enquête est en effet généralement très court.



Secteur activité des répondants	Fréquence
F51 - sidérurgie et première transformation de l'acier	 15,2%
F52 - production et première transformation de métaux non ferreux	 26,1%
F53 - fonderie	 6,5%
F54 - Services industriels du travail des métaux	 39,1%
F55 - Produits métalliques	 8,7%
autre	 4,3%

Interrogés : 51 / Répondants : 46 Pourcentages calculés sur la base des répondants



Consultation Nodal de la métallurgie, Octobre 2004

Moins de la moitié des entreprises consultées travaillent en **partenariat avec des laboratoires ou des industriels** :

- 39% des entreprises interrogées déclarent travailler avec des organismes de recherche et 31% avec des partenaires industriels
- 86% des laboratoires publics et privés consultés déclarent travailler avec d'autres organismes de recherche et 84% avec des partenaires industriels





Votre entreprise a-t-elle travaillé avec des organismes de recherche ?	Fréquence
En France	 95,0%
A l'étranger	 55,0%

Interrogés : 51 / Répondants : 20 / Réponses : 30 Pourcentages calculés sur la base des répondants

Votre entreprise a-t-elle réalisé des partenariats de R&D avec d'autres industriels ?	Fréquence
En France	 75,0%
A l'étranger	 62,5%

Interrogés : 51 / Répondants : 16 / Réponses : 22 Pourcentages calculés sur la base des répondants

Consultation Nodal de la métallurgie, Octobre 2004

Votre laboratoire de recherche a-t-il travaillé avec d'autres organismes de recherche ?	Fréquence
En France	 97,1%
A l'étranger	 54,3%
<i>Interrogés : 38 / Répondants : 35 / Réponses : 53 Pourcentages calculés sur la base des répondants</i>	
Votre laboratoire de recherche a-t-il travaillé avec des industriels ?	Fréquence
En France	 100,0%
A l'étranger	 50,0%
<i>Interrogés : 38 / Répondants : 32 / Réponses : 48 Pourcentages calculés sur la base des répondants</i>	

Consultation Nodal de la métallurgie, Octobre 2004

Les **innovations de procédé** sont considérées comme **prioritaires** par tous les acteurs

- Les industriels citent 2 fois plus fréquemment les innovations de produits que les acteurs de la recherche publique
- A l'inverse, la recherche publique cite 2 fois plus fréquemment les innovations de matériau que les industriels

Selon leur secteur, les industriels de la métallurgie ne privilégient pas les mêmes **voies d'innovation** :

- Les **sidérurgistes** semblent privilégier le **recyclage**, le **traitement et la fonctionnalisation des surfaces**
- Les **industriels des métaux non ferreux** sont plus proches des thématiques d'**intégration** dans le produit final, la conception, modélisation, expérimentation élaboration de nouveaux matériaux ou alliages
- Les **industriels du travail des métaux** (services industriels) sont plus proches des thématiques de **mise en forme** et traitements associés, traitement et fonctionnalisation de surfaces, assemblage, usinage et traitements associés
- Les industriels des **produits métalliques** sont plus proches de **l'assemblage**, usinage et traitements associés, du traitement et de la fonctionnalisation de surfaces, du recyclage

Les **thématiques d'innovation** n'ont pas la même priorité selon le secteur d'application. Pour les industriels, certaines thématiques d'innovation montrent de fortes affinités avec des secteurs clients :

- Les produits métalliques avec conception, modélisation, expérimentation et le recyclage
- L'industrie mécanique de l'assemblage, usinage et traitements associés
- L'automobile de la mise en forme et des traitements associés
- L'aéronautique de l'intégration dans le produit final
- La métallurgie et le BTP du traitement et de la fonctionnalisation des surfaces.

Pour les **laboratoires de recherche**, les priorités sont :

- Les produits métalliques proches du traitement et fonctionnalisation de surfaces

- L'aéronautique de l'intégration dans le produit final
- La chimie de la conception, modélisation, expérimentation et du recyclage

3.2. Marchés et applications approfondis dans l'étude

Marchés d'application

A partir des résultats de la consultation et des entretiens d'experts, le Comité de Pilotage a identifié **13 secteurs utilisateurs prioritaires** pour débiter la **seconde phase de l'étude** :

- l'automobile
- l'aéronautique
- l'énergie
- le nucléaire
- l'industrie mécanique
- le ferroviaire
- la construction navale
- le BTP
- les équipements électriques / électroniques
- l'électroménager
- l'emballage
- la chimie
- l'armement.

Les attentes et les besoins de ces marchés sont approfondis dans le chapitre suivant.

Voies d'innovation

Les 7 grandes voies d'innovation qui ont été proposées dans le cahier des charges et complétées avec le Comité de Pilotage sont les suivantes:

- la conception, modélisation, expérimentation, élaboration de nouveaux matériaux ou alliages, poudres
- la mise en forme à froid et à chaud et les traitements associés
- l'assemblage, l'usinage
- le traitement et la fonctionnalisation de surfaces
- la caractérisation sur échantillon et en ligne, les propriétés d'aspect
- l'intégration dans le produit final
- la récupération, le recyclage, le tri, la valorisation des co-produits, la destruction.

4. LES DÉPÔTS DE BREVETS

Selon l'INPI, la région Ile-de-France concentre, en 2000, 73% des brevets déposés dans le secteur de la **métallurgie et des matériaux**. Ce résultat est lié à la très forte proportion de sièges sociaux en Ile de France. La seconde région française (Rhône Alpes) arrive loin derrière avec 23 brevets déposés en 2000. Il semble exister un réel problème de diffusion de l'innovation dans les régions, qui se répercute directement sur la compétitivité du tissu de PME.

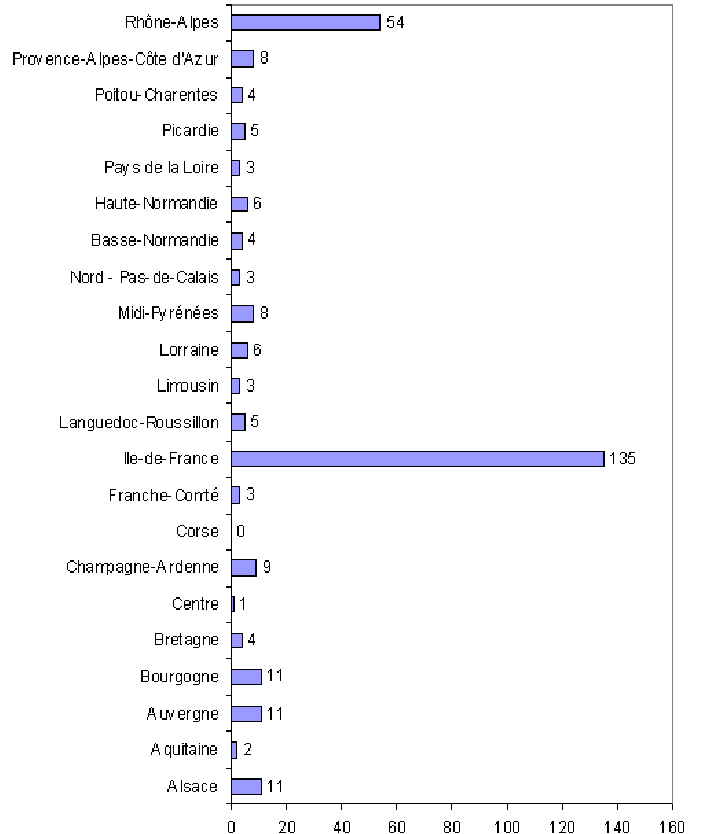
Le secteur du travail des matériaux fait apparaître une forte polarisation autour de la région Ile-de-France qui détient 45% des brevets déposés, mais aussi de la région Rhône Alpes avec 18% des dépôts. Aucune autre région n'a déposé plus de 4% des brevets.

7% des entreprises ont déposé plus de 10 brevets, ce qui représente près de 2/3 du nombre total de brevets. On remarque que moins de 1% des entreprises ont déposé plus de 100 brevets et détiennent près d'un tiers des brevets. Près de 3/4 des entreprises ont déposé 1 ou 2 brevets, soit 20% des brevets totaux.

La première entreprise (Sollac) détient 327 brevets, soit 1.8% de l'ensemble des brevets.

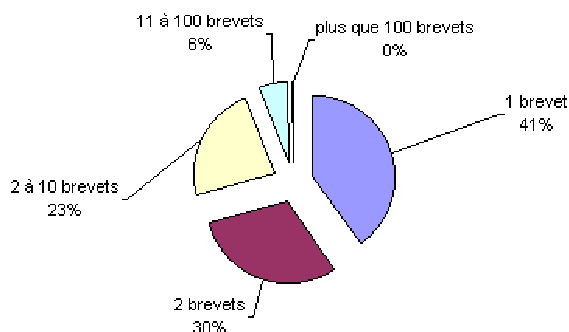
La seconde entreprise est Nippon Steel Corp. qui détient 1% des brevets avec 193 brevets, devant Pechiney Aluminium, l'Irsid, le CEA, Usinor (Arcelor).

Répartition régionale des brevets du domaine du travail des matériaux (2000)

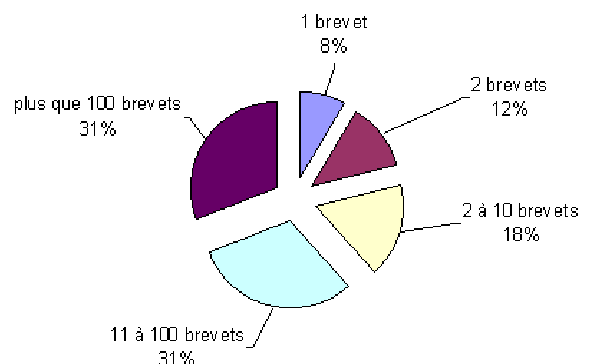


Source INPI, 2001

Répartition des 4429 entreprises ayant déposé des brevets par nombre de brevets



Répartition des 18157 brevets déposés



Source : Nodal Consultants d'après la base brevet FR pour les brevets C2* (code CIB Métallurgie) 1980 - 2004

5. ANALYSE PROSPECTIVE DE L'IMPACT DE LA RÉGLEMENTATION

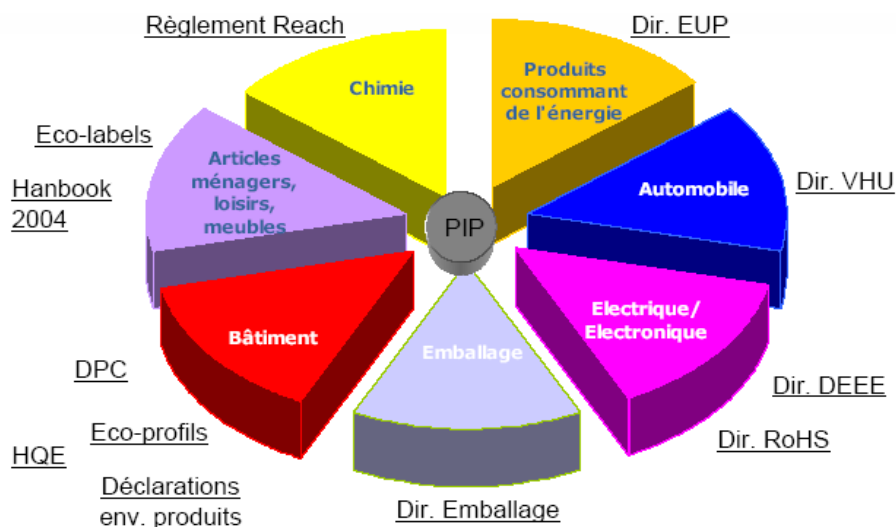
5.1. Contexte réglementaire

Les pressions réglementaires connaissent un renforcement en Europe, avec un rôle très important de la part de la Commission Européenne. Le mouvement s'accélère et de nouveaux textes sont en préparation, notamment dans le cadre du Plan d'Action en faveur des Ecotechnologies (PAET), approuvé en mars 2004.

Les exigences sont croissantes de la part des donneurs d'ordre, en particulier dans les secteurs de l'automobile, de l'aéronautique, et des équipements électriques et électroniques, pour établir une traçabilité plus rigoureuse des substances. Ces pressions constituent un nouveau challenge que les métallurgistes doivent relever.

Le contexte réglementaire européen qui se prépare est basé sur l'obligation des entreprises d'intégrer l'Environnement dès la conception d'un produit et de réduire son impact environnemental tout au long de son cycle de vie.

Cette prochaine réglementation européenne va concerner **tous les secteurs d'activités**, et impacter directement et indirectement la **métallurgie**. Nous indiquons ci dessous les principales directives pouvant concerner la métallurgie :



Source : Anvar

Directive DEEE et RoHS

Concerne le secteur des Equipements Electriques et Electroniques (EEE). Pour ce secteur, **la Directive DEEE** (Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques) a pour objectif d'améliorer la recyclabilité des produits afin de réduire les coûts de traitement. Ceci implique une bonne connaissance des filières et des substances à traiter spécifiquement.

En ce qui concerne **la Directive RoHS** (Restriction sur l'usage de certaines substances dangereuses), elle prévoit le bannissement de 6 substances, d'où pour les entreprises la nécessité de maîtriser totalement la composition du produit et de trouver des alternatives technologiques durables.

Directive EuP

La Directive EuP (**Energy using Products**) concerne l'obligation des entreprises à intégrer **l'éco-conception** dans la conception des produits, et permettra ainsi la réduction progressive et permanente des impacts environnementaux.

Directive VHU

Dans le secteur automobile, **la Directive VHU 2000/53/CE** (Véhicules Hors d'Usage) concerne la gestion des véhicules en fin de vie.

Elle préconise l'interdiction de l'utilisation de 4 métaux lourds que sont le **Cr VI** (Chrome VI), le **Pb** (Plomb), **Cd** (Cadmium) et le **Hg** (Mercure), et l'obligation de **traçabilité** : différents moyens existent mais une véritable difficulté d'harmonisation persiste.

L'entrée en vigueur officielle de cette directive européenne date du 1er juillet 2003, mais son application a pris du retard du fait de la diversité des interprétations nationales, et des révisions régulières de son champ d'application.

Quant à la **Directive 3R** (Reusability, Recyclability, Recoverability = Réutilisation, Recyclabilité, Valorisation) qui est en cours de discussion, elle intéresse une conception des véhicules en vue du recyclage. Elle impose un objectif de taux de recyclabilité de 85% (dont 5% de valorisation) en 2006, et de 95% (dont 10% de valorisation) en 2015.

Mais, cette réglementation connaît des limites du fait de l'interprétation laissée à chaque Etat membre, de l'absence pour l'instant de cadre légal ; d'où la nécessité d'anticiper les prochaines contraintes d'homologation.

Directive Reach

L'élaboration de la nouvelle stratégie de l'Union européenne relative à l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des produits chimiques (REACH) répond à des objectifs ambitieux : développement durable, protection de la santé et de l'environnement, préservation et renforcement de la compétitivité de l'industrie chimique.

Le principe prévu est celui de l'enregistrement obligatoire auprès de la future Agence européenne des produits chimiques, des substances chimiques à partir d'une production ou d'une importation supérieure à 1 tonne par an.

L'impact sur les métallurgistes est indirect, mais non mesuré précisément. Selon l'UIC, un changement d'huile de laminage peut entraîner une **perte de productivité majeure** dans la fabrication d'acier plat.

Directive sur le permis CO2

Le système européen de réduction des émissions de CO₂, entré en vigueur le 3 janvier 2005, risque de nuire à la compétitivité des sidérurgistes européens selon l'Usine Nouvelle. Prolongement du protocole de Kyoto signé en 1997, la directive européenne fixe des quotas d'émission pour les grandes entreprises de l'énergie et de l'industrie lourde.

En pratique, chaque industriel des 21 pays concernés se voit imposer un seuil maximum d'émission. S'il ne le respecte pas, il peut racheter des droits, via le système d'échanges entre industriels, ou payer une amende de 40€ par tonne supplémentaire (100€ après 2007). Dans tous les cas c'est un surcoût qui place les entreprises européennes en mauvaise position face à leurs concurrentes américaines (les Etats-Unis n'ont pas ratifié le protocole de Kyoto) et aux producteurs des pays émergents, notamment la Chine et l'Inde, en l'absence de réduction des émissions.

Transposition de la directive IPPC

La directive IPPC (Integrated Pollution Prevention and Control, n°96/61/CE du 24 septembre 1996), relative à la prévention et à la réduction intégrées de la pollution, est largement inspirée du modèle français. Elle impose en particulier le recours aux **meilleures technologies disponibles** à un **coût économiquement acceptable** : les BATNEEC (Best available technologies not entailing excessive costs).

Directive Solvant

Cette directive relative à la réduction des émissions de composés organiques volatils dues à l'utilisation de solvants organiques dans certaines activités et installations (99/13/CE) promulguée en 1999, fixe des valeurs limites à l'émission pour les activités et les installations concernées. Sa transcription a été intégrée sous forme de modification de l'arrêté du 2 février 1998. La date principale d'entrée en vigueur retenue par le gouvernement français est le 30 octobre 2005.

Directive sur les plafonds nationaux d'émissions (NEC)

Cette directive (01/81/CE) relative à des plafonds nationaux d'émissions (National Emissions Ceilings - NEC) a été promulguée en 2001. Elle vise à limiter les émissions des polluants acidifiants, eutrophisants et précurseurs de l'ozone troposphérique et fixe des plafonds nationaux d'émissions pour 4 polluants atmosphériques : NO_x, SO₂, COV et NH₃. Les États membres doivent respecter ces plafonds à partir de

2010 et doivent élaborer, avant le 1er octobre 2002, des programmes de réduction progressive des émissions.

Le **programme CAFE** (Clean Air for Europe) a pour objectif de mettre au point une politique stratégique intégrée à long terme telle que prévue par le 6^e Programme d'Action pour l'Environnement de la Commission. Le programme CAFE constitue certainement l'un des plus ambitieux programmes mis en œuvre au niveau européen en matière d'amélioration de la qualité de l'air. Son originalité est d'appréhender la problématique qualité de l'air de façon globale, en totale transparence, en s'appuyant sur des résultats scientifiques solides, en intégrant le maximum de partenaires et d'acteurs, en réservant une large part à la collaboration internationale (CEE-UN par exemple).

Le plan national sécurité environnement

Le Plan national santé environnement vise à répondre aux interrogations des Français sur les **conséquences sanitaires à court et moyen terme** de l'exposition à certaines pollutions de leur environnement. Il doit répondre à 3 objectifs : garantir un air et boire une eau de bonne qualité, prévenir les pathologies d'origine environnementale et notamment les cancers, mieux informer le public et protéger les populations sensibles. La métallurgie est en particulier concernée par les objectifs visant à limiter les émissions de polluants, par exemple le plomb, cadmium, les COV, NOx, soufre, CO2, ozone.

5.2. Les conséquences de ce contexte réglementaire

L'écoconception au service des exigences environnementales

De cette réglementation européenne, il résulte la notion de **responsabilité élargie du producteur** qui l'oblige à justifier ses choix de conception, à documenter ses décisions, à mesurer la performance environnementale de ses produits (indices de recyclabilité, ...), et à communiquer et à informer les utilisateurs / consommateurs.

Plus généralement, les enjeux liés à la réglementation s'inscrivent dans une **prise de conscience collective** que l'on peut illustrer à travers les notions d'éco-citoyenneté, des achats publics éco-responsables, et de la Charte de l'Environnement.

L'éco-conception est une démarche préventive multi-étapes (ensemble du cycle de vie du produit), multi-critères (prise en compte de l'ensemble des impacts environnementaux), qui favorise la prise en compte des exigences environnementales dans la conception de produits et services. C'est une composante du management qui répond à la norme internationale ISO 14062.

La substitution du chrome VI

Selon Yves Megoz (CTDEC), la substitution du chrome VI (chrome hexavalent) est une demande qui prend de plus en plus d'importance dans les traitement de surface, en particulier dans le domaine automobile où la réglementation européenne s'impose.

Son remplacement est une contrainte forte :

- sur le plan technique, parce que les meilleures solutions de protection anticorrosion l'utilisaient jusqu'à présent.
- les spécifications de tenue à la corrosion, ne seront pas revues à la baisse dans le domaine automobile, au contraire
- sur le plan économique, parce les solutions techniques qui permettent de répondre à son remplacement sont plus complexes et risquent d'avoir une incidence sur les coûts.

La substitution du chrome VI dans l'automobile, est une conséquence de la directive européenne VHU. Outre le chrome VI, cette directive précise que « les Etats membres veillent à ce que les matériaux et éléments constitutifs des véhicules mis sur le marché après le 1er juillet 2003 ne contiennent pas de **plomb**, de **mercure**, ou de **cadmium**, dans les autres cas que ceux énumérés dans la directive et dans les conditions qui y sont précisées ».

Pour remplacer le chrome VI dans le cadre des protections anti-corrosion, certains revêtements ont été mis au point et vont se développer progressivement. Il s'agit des revêtements électrolytiques, chromatations, revêtements de zinc métal, revêtements de zinc lamellaire et des peintures à base de zinc. Avec le remplacement du chrome VI, l'aspect des pièces traitées est très différent en particulier leur couleur. En revanche, si on arrive à améliorer la tenue à la corrosion, la technicité des nouveaux traitements pose un problème de prix des pièces.

Il existe deux autres grandes familles de traitements répondant aux exigences de substitution du chrome VI : l'oxynitrocarburation et les dépôts sous vide et plasma. Les traitements thermochimiques de nitrocarburation et d'oxynitrocarburation enrichissent la surface des métaux ferreux principalement avec de l'azote et également avec un peu de carbone. Ces procédés permettent d'améliorer la résistance à l'usure de l'acier, sa résistance à la corrosion, ainsi que sa tenue à la fatigue. Mais il ne faut pas perdre de vue qu'ils peuvent entraîner une modification de certaines caractéristiques des matériaux (caractéristiques mécaniques, dimensionnelles, etc...).

L'essor de procédés réduisant les émissions de CO2

Cette recherche exploratoire est prévue sur cinq ans, et devrait, outre les principaux leaders (Arcelor, Corus et ThyssenKrupp) réunir 40 organisations industrielles, instituts de recherche et universités dans un projet à 40 millions d'Euros. Elle vise à déterminer quelle sera la technologie de rupture qui, d'ici 20 ans peut être, permettra de réduire drastiquement les émissions de CO2 pour produire de l'acier.

ULCOS (Ultra Low CO2 Steelmaking) transforme une menace, le changement climatique, (prise très au sérieux par la profession) en un challenge pour les sidérurgistes.

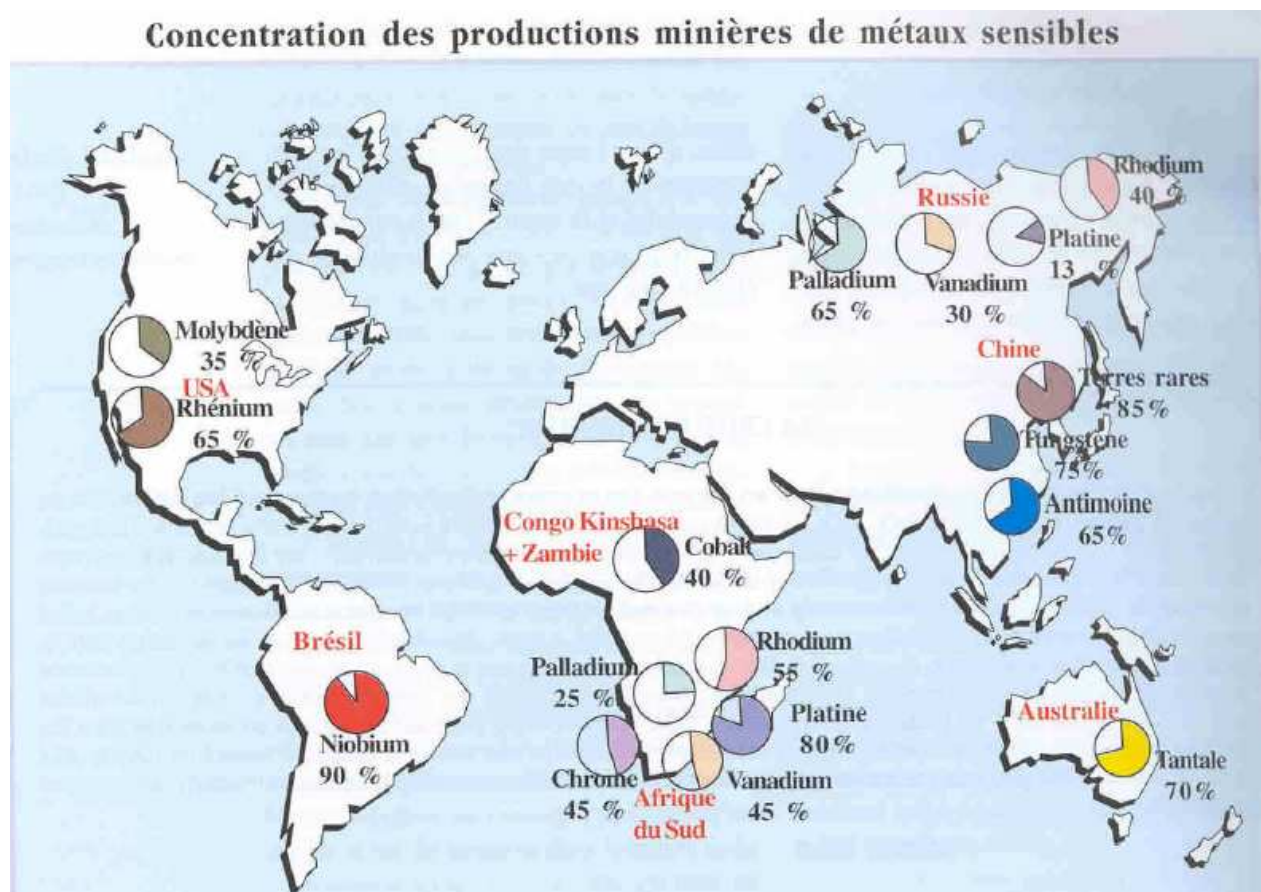
5.3. Le recyclage, source d'appoint à l'approvisionnement de matières premières

Selon le BRGM, le recyclage des matériaux est une préoccupation économique, énergétique et sociétale majeure qui doit faire l'objet d'une complète reconsidération stratégique.

Le recyclage permet d'une part une **amélioration du bilan environnemental**, mais permet également de se protéger contre **un risque important de dépendance au métal**.

La carte ci dessous, reprise dans l'atlas (document séparé), présente les principales concentrations des productions minières de métaux sensibles. Il existe donc un risque de dépendance et d'assèchement pour ces métaux.

Le développement d'une filière de recyclage est une façon de lever cette menace. En effet la miniaturisation des composants et le nombre de métaux « high tech » expliquent que le recyclage des produits NTIC demeure très partiel, selon C. Hocquard (BRGM). Les produits NTIC, dont la durée de vie est souvent inférieure à 3 ans renfermeraient une trentaine de métaux différents, qui ne sont aujourd'hui pas valorisés.



Source : DGEMP

Une prospective des crises structurelles potentielles a été réalisée par C. Hocquard du BRGM :

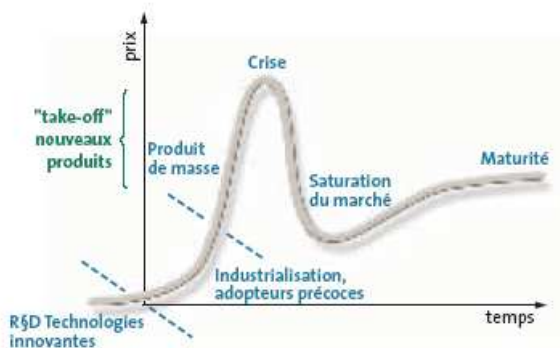


Fig. 4 : Métaux high-tech : mécanisme de crise structurelle liée à une innovation technologique

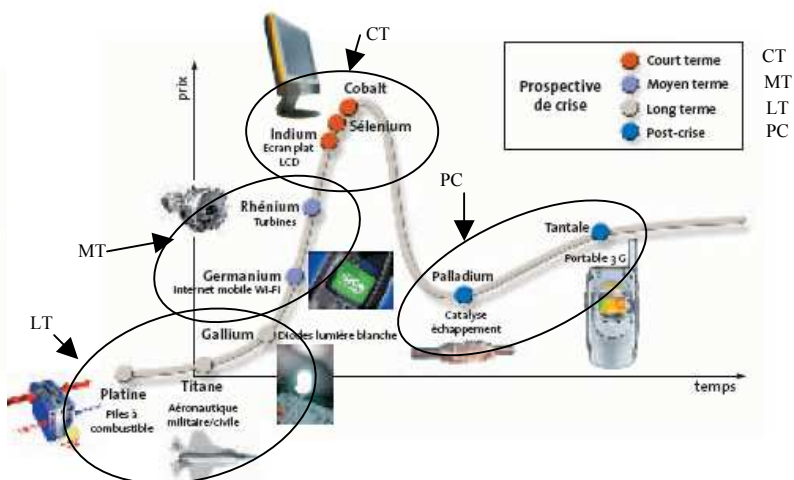


Fig. 5 : Prospective de crises potentielles à court, moyen et long termes
 Fig. 5: The economic forecast for potential crises in the short, intermediate and long term.
 Source : BRGM - C. Hocquard, 2004

« A court terme : les crises en cours concernent le sélénium (verres spéciaux), le cobalt (batteries rechargeables NiMH et Li-ion), et surtout l'indium (écrans plats LCD) qui est passé de 70 à 700 USD/kg en un an... Elles pourront demain concerner le germanium (développement de la vision infra-rouge et de composants électroniques Si-Ge ("siggy") très haute fréquence pour les applications mobiles Internet et GPS), puis éventuellement le rhénium (la reprise du secteur aéronautique est attendue pour 2006).

A moyen terme, vers 2010 : les besoins importants pourront concerner le gallium (d'abord pour les lasers "blu-ray" des DVD haute définition, mais aussi et surtout pour la diode à "vraie" lumière blanche, qui contribuera à une considérable économie d'énergie électrique, tout en sonnant le glas des lampes à filament de tungstène). On pense aussi au gadolinium pour le cas où la technologie de la "réfrigération magnétique" verrait le jour.

A long terme, vers 2020 : on peut envisager de très fortes demandes pour le titane (en cas de succès du nouveau procédé de fabrication en cours de tests) et aussi pour le platine (véhicules à piles à combustible à membrane échangeuse de proton de type PEM). »

CHAPITRE 3

**ATTENTES ET BESOINS DES INDUSTRIES
MÉTALLURGISTES EN RELATION AVEC LES
DONNEURS D'ORDRE**

1. ANALYSE SECTORIELLE

1.1. Le secteur automobile

L'automobile est le principal débouché de la métallurgie et du travail des métaux

Atouts et opportunités

- De grands constructeurs et équipementiers sont présents en France
- Les étapes de conception et de mise en forme sont réalisées en France
- Le tissu français de PME est compétent : fonderie de pointe, mécanique de précision
- Le recyclage est un atout particulier de la métallurgie : les blocs moteur en alliage d'aluminium sont à 100% du recyclage fin de vie
- Les fortes compétences nationales en machines spéciales existent, elles devraient être mieux exploitées en métallurgie
- Les directives réglementaires concernant le recyclage des VHU et les DEEE sont sources d'innovation et plus facilement applicables pour les matériaux métalliques
- L'évolution vers la voiture propre et économe, dont le marché est estimé à 20 – 45 Mds € en 2010 (Prédit), est un défi pour la métallurgie
- Les niches de nouveaux matériaux métalliques (mousses, CMM) sont à soutenir
- L'assemblage pourrait être une opportunité pour les métaux, avec une attention particulière portée au risque de corrosion galvanique
- L'assistance au développement géographique des industriels permettrait de suivre les grands donneurs d'ordre pour faire de la co-conception

Handicaps et menaces

- L'industrie de la machine outil est en déclin.
- L'attrait est faible pour les carrières de la sous-traitance métallurgique
- La délocalisation des donneurs d'ordre est un risque majeur car la métallurgie est très dépendante de ce secteur (10 Mds € de CA et 85 000 emplois métallurgiques)
- La concurrence est très intense avec les autres matériaux (plastiques, composites)
- Les dispositifs destinés à favoriser les partenariats ne sont pas toujours bien adaptés en France : trop complexes pour les sous traitants, pas assez réactifs pour les grands industriels et équipementiers
- Des compétences fortes en machines outils existent en Allemagne. ainsi qu'en hydroformage et mise en forme

1.2. Le secteur aéronautique

Le secteur aéronautique, source de défis technologiques ambitieux, pourrait dynamiser l'industrie métallurgique française

Atouts et opportunités

- De grands donneurs d'ordre du secteur sont présents en France
- Le tissu de PME possède des compétences pointues
- Les compétences des métallurgistes français sont fortes en alliages légers base aluminium, base titane, inox haute performance, aciers spéciaux à hautes performances, superalliages à base nickel ou cobalt,
- Les produits ont un haut niveau de qualité et de valeur ajoutée
- La réduction de la consommation énergétique et de l'impact environnemental, l'allègement, la réduction des coûts de production et de maintien en conditions opérationnelles sont des challenges que les constructeurs de cellules doivent relever
- L'amélioration du rendement énergétique et la maîtrise des matériaux hautes températures sont des perspectives intéressantes mais à moindre enjeu pour les motoristes
- Le recyclage représente une opportunité mineure dans la mesure où la mise en œuvre d'une voilure ne représente que 10% de la matière coulée et laminée. La quantité restante doit pouvoir être recyclée en toute sécurité dans la filière.

Handicaps et menaces

- Les projets et appels d'offre en métallurgie sont parfois lourds à réaliser en France et disparaissent (RNMP, COCOMAT)
- Les fournisseurs d'aluminium sont souvent confinés dans des parties restreintes dans les grands programmes européens
- La concurrence des composites est une menace majeure qui reste encore limitée uniquement à cause des coûts
- L'industrie de la fixation aéronautique est menacée par les nouveaux procédés d'assemblage comme le soudage
- Les réglementations environnementales pénalisent fortement la filière métallurgique (REACH, COV, Cr VI) : les risques de délocalisation des outils de production ou de choix d'une filière non métallique sont réels

1.3. Le secteur du BTP

Le secteur du BTP servirait de vitrine technologique à la métallurgie française pour des opportunités liées à la maintenance et à l'efficacité énergétique

Atouts et opportunités

- Le BTP est un débouché important de l'acier
- L'aluminium connaît une forte croissance dans ce secteur (la part de marché de la fenêtre aluminium est passée de 8% à 13% entre 2001 et 2003)
- L'accès possible au parc existant pour une activité de maintenance (isolation thermique) est une grande voie de développement
- Le projet de « bâtiment économe » (PREBAT) est une opportunité de développement de matériaux et technologies visant à optimiser l'efficacité énergétique. Les économies atteindraient 7 Mds€ par an
- Des ouvrages comme le Viaduc de Millau (18.000 T d'acier) servent de vitrine technologique de l'innovation française. Une action est possible sur l'image de la métallurgie

Handicaps et menaces

- Les coûts de maintenance liés à la corrosion des aciers sont mieux maîtrisés car des progrès ont été réalisés dans les alliages et les revêtements
- Les pays nordiques sont avancés sur ces programmes
- Le coût des matières premières favorise la substitution des métaux par d'autres matériaux
- La concurrence des autres matériaux est très agressive.

1.4. Le transport ferroviaire

La maintenance du transport ferroviaire est un défi à relever pour l'industrie métallurgique

Atouts et opportunités

- La métallurgie française dispose de compétences sur la plupart des technologies de pointe à maîtriser, aussi bien pour le matériel roulant que pour les voies
- Les techniques de soudage (laser, hybride et friction stir welding) sont maîtrisées par les métallurgistes français
- De bonnes compétences existent en cintrage et assemblage pour le matériel (Alstom, Faiveley)
- La fiabilité et la disponibilité des équipements ferroviaires sont des grandes voies d'amélioration
- Les enjeux du TGV de nouvelle génération à très haute vitesse semblent être à horizon très lointain
- Les composites à matrice métallique sont une opportunité potentielle pour la métallurgie
- L'allègement est une opportunité de développement pour la métallurgie, en particulier pour satisfaire aux exigences de transport à haute fréquence (métro)

Handicaps et menaces

- Les matériaux métalliques entraînent d'importants coûts de maintenance

- Les technologies sont maîtrisées mais il manque le « bon sens » en phase de conception selon la SNCF
- L'analyse en ligne à grande vitesse de la santé métallurgique des rails est peu développée
- Certains pays comme le Japon sont très avancés technologiquement, en particulier sur le soudage
- Les composites sont une alternative aux métaux qui se banalise

1.5. Le nucléaire

La maîtrise du comportement des métaux dans le domaine des 850 – 1000°C, dans des conditions sévères de corrosion, est stratégique pour le nucléaire

Atouts et opportunités

- L'industrie métallurgique et mécanique française possède des compétences fortes sur les techniques de pointe
- Le secteur a un rôle moteur pour l'innovation métallurgique, porté notamment par le CEA. De nombreuses technologies, issues du nucléaire, en particulier des technologies d'assemblage, pourraient être exploitées par les métallurgistes français
- Les réacteurs de 3ème génération (EPR) sont un défi à très fort enjeu dont les débouchés industriels apparaîtront dès 2010. La 4ème génération nécessite un gros effort, notamment dans les matériaux haute température pour un retour sur investissement de 20 ans. La 5ème génération de réacteurs à sels fondus de thorium est un défi colossal pour les matériaux, en particulier pour les métaux et leurs revêtements
- Un risque grave de lacune est cité pour les réacteurs de 4ème génération, cependant des turbiniéristes français semblent capables de relever les défis des hautes températures.
- A plus court terme, la maîtrise des performances des matériaux à haute température dans des conditions sévères de corrosion est primordiale, ainsi que l'assemblage et la mise en forme
- Des échanges entre les sidérurgistes, leurs grands clients et le CEA seraient efficaces sur des projets concrets
- Le soutien du programme européen Euratom HTR pourrait être renforcé d'un point de vue national
- Le traitement et le stockage des déchets constituent des opportunités stratégiques à exploiter.

Handicaps et menaces

- Il existe peu de synergies entre les métallurgistes et les industriels du secteur nucléaire en France alors qu'au Japon ces pratiques sont très développées. Les coordinations sont peu encouragées en France.
- La France accuse un retard important en forgeage (grosses pièces)
- La chaudronnerie, de pointe pour ce secteur, doit faire face à une réduction de ses marchés, de même que les machines spéciales
- Les spécialistes de la maîtrise du comportement des métaux sous irradiation sur de longues années ont disparu
- Le Japon pourrait avoir une avancée technologique forte et un avantage concurrentiel majeur en forgeage

1.6. Les équipements électriques et électroniques

La réglementation sur les équipements électriques et électroniques est une opportunité forte de développement pour l'industrie métallurgique

Atouts et opportunités

- Les applications sont multiples et incluent les câbles, la connectique, les revêtements, la fonderie et la tôlerie
- La réglementation concernant les DEEE et leur recyclage pourrait être une opportunité de développement d'une nouvelle filière industrielle incluant des compétences en métallurgie
- L'écoconception est une voie de développement à saisir
- Le secteur de l'électronique est une niche d'opportunités ponctuelles telles que : la diffusion et/ou les couches barrières dans les nouvelles brasures, le comportement à la corrosion (flux), le vieillissement, la diffusivité thermique, les métaux alternatifs (Sn, In), les nouveaux assemblages...

Handicaps et menaces

- La France est en retard pour la mise en place d'une filière de récupération des déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE)
- Les méthodes de tri sont pour l'instant peu efficaces et très coûteuses
- Les réglementations (REACH, RoHS, DEEE) ne font pas l'objet d'études d'impact préalables et pénalisent fortement la filière.

1.7. L'armement

Les dépenses du secteur de l'armement pour le maintien en conditions opérationnelles des matériels sont de plusieurs Mds € et peuvent être réduites fortement par des innovations en métallurgie

Atouts et opportunités

- Les compétences techniques sont fortes en France
- La réduction des coûts de maintien en conditions opérationnelles est une priorité de la DGA (Délégation Générale pour l'Armement)

Handicaps et menaces

- Les dépenses de maintenance sont très importantes en raison de la corrosion des matériaux métalliques
- L'abandon de pratiques de formation comme le compagnonnage a entraîné une baisse du niveau de qualification de la main d'oeuvre
- Les PME innovantes et performantes sont de plus en plus difficiles à trouver

1.8. La mécanique

Le secteur de la mécanique, très handicapé réglementairement, est menacé par la délocalisation des donneurs d'ordre

Atouts et opportunités

- Les compétences françaises en technologies de pointe existent
- Beaucoup d'organismes français sont impliqués : Cetim, CTDEC, Institut de Soudure, Cetiatic, Cticm
- La France est un des leaders dans le système normatif
- La maîtrise de la corrosion et de la durabilité est stratégique, de même que l'amélioration de la résistance au frottement et à l'usure
- Le respect de l'environnement est vital, en particulier pour les industriels du traitement de surface
- **L'assistance au développement à l'international** des industriels permettrait de suivre les grands donneurs d'ordres, notamment dans les PECO, en Inde et en Chine.
- Les défis du recyclage pourraient pousser les industries mécaniques à innover (recyclage des non ferreux à fort enjeu, écoconception amont)

Handicaps et menaces

- La taxe professionnelle est plus particulièrement pesante que dans les autres pays européens pour les industriels français de la mécanique
- La pression financière des donneurs d'ordre est intense
- Les PME de la mécanique ont le sentiment d'être « abandonnées » et peu soutenues par les pouvoirs publics
- Beaucoup de directives européennes ne sont pas évaluées avant leur mise en place et sont alors très pénalisantes (REACH, COV, POP, directive machines)
- La contrefaçon prend de l'ampleur (l'accident du Concorde est la dramatique conséquence du détachement d'une pièce contrefaite du DC10 de Continental Airlines)
- Les métiers sont de moins en moins attractifs pour les jeunes.

1.9. L'énergie

Une rupture technologique et environnementale majeure peut être réalisée dans le secteur de l'énergie en s'appuyant sur des compétences françaises

Atouts et opportunités

- La France possède des spécialistes des matériaux haute température et des compétences fortes sur les pièces en superalliages pour turbines à gaz

- La recherche publique est performante (pile à combustible et filière hydrogène) avec notamment le CEA et le réseau PACO
- De grands groupes clients finals dans les transports sont présents en France
- La pile à combustible et le développement de la filière hydrogène créeraient des emplois pérennes dans les métiers de l'automobile, de l'énergie et des matériaux. Le marché mondial est estimé à 120 Mds € en 2020 (rapport Beffa) mais ne concerne que partiellement la métallurgie
- Les aciers et alliages à haute résistance à la corrosion et en température (850°C) ont de belles perspectives, dans l'exploitation pétrolière à grande profondeur et le traitement des déchets
- Le développement d'une filière commune multimatériaux / chimie pourrait être une opportunité pour les métallurgistes
- Les panneaux solaires en cuivre chromisé représentent un vaste champ d'innovation pour les métallurgistes, notamment dans le domaine des traitements de surface et des multimatériaux

Handicaps et menaces

- Le secteur de l'énergie n'est pas un débouché majeur de la filière métallurgique
- La France n'est peut-être pas la mieux placée pour les aciers inox 9/12% Cr des tubulures, chaudières et boulonnerie
- La France est en retard dans les technologies de membranes actuellement contrôlées par les chimistes étrangers (DuPont de Nemours) et nécessaires pour réaliser la pile à combustible et développer la filière hydrogène.
- La concurrence avec les nouveaux matériaux est très forte
- Les composites semblent prendre le pas sur le métal
- Le manque le soutien d'industriels français autour des technologies de membranes renforce le retard de la France dans le domaine des PAC
- L'Etat français semble moins soutenir les programmes sur les matériaux hautes températures pour turbines ou échangeurs que d'autres pays européens

1.10. La chimie

Le secteur de la chimie présente des opportunités ciblées d'innovation technologique rentable pour la métallurgie

Atouts et opportunités

- Certains organismes aident efficacement les PME à rechercher des partenariats : ARAMM, Cetim (BaikowskiChimie)
- Il existe un besoin stratégique de maîtriser la corrosion et la durabilité au moyen de multimatériaux, sources d'innovation pour les métallurgistes
- La multifonctionnalisation des surfaces représente un large potentiel d'innovation pour les métallurgistes.

Handicaps et menaces

- Les réacteurs chimiques sont des produits à faible valeur ajoutée
- Il est très difficile de rentabiliser une innovation dans ce secteur
- D'autres matériaux concurrencent les métaux, par exemple les polymères et les composites

1.11. La construction navale

Le secteur de la construction navale, tiré par les besoins de l'industrie des matières premières (énergies fossiles, grains, vrac,...), attend des innovations incrémentales en métallurgie

Atouts et opportunités

- La filière de la découpe est forte en France
- L'offre française se positionne davantage sur le haut de gamme (alliages d'aluminium, composites)
- L'exploration pétrolière fait émerger des besoins en navires résistants à de basses températures
- Des opportunités existent pour la durabilité, l'allègement et la maîtrise de la corrosion sur ce marché devenu petit pour la métallurgie
- La demande est forte pour les revêtements « antifouling » et d'une manière plus générale, les traitements de surface satisfaisant aux normes environnementales

Handicaps et menaces

- Les filières de mise en forme et d'assemblage sont encore peu automatisées et coûteuses
- L'étape de redressage est très coûteuse
- Le chiffre d'affaires de la construction navale en France a reculé de 17% entre 2002 et 2003
- Certains pays comme le Japon ou la Corée sont largement leader dans ce secteur.

1.12. L'emballage

La réduction des épaisseurs, des coûts de production et l'amélioration de la filière de recyclage sont stratégiques pour l'emballage

Atouts et opportunités

- 60% des emballages métalliques légers sont recyclés en France, contre moins de 10% pour des systèmes de type « Tetrapak »
- Les innovations de forme sont une grande opportunité pour les emballages métalliques sous contrainte d'allègement et de maîtrise des coûts. Les ouvertures faciles (comme les systèmes easy peel) sont aussi très importants. D'importants progrès peuvent être faits en conception et simulation numérique
- La réduction des délais de fabrication (et des coûts) est un besoin prioritaire. Le prototypage rapide pourrait répondre à ces attentes. D'autres opportunités existent, pour la décoration par exemple

- L'amélioration de certaines performances est recherchée. Certaines sont stratégiques, comme la réduction de l'épaisseur, ou prioritaires, comme la maîtrise de la corrosion et de la durabilité.
- Dans une moindre mesure des besoins existent autour du vernis, du contact alimentaire, de l'aspect holographique, de produits plus durs et plus malléables.

Handicaps et menaces

- La forme cylindrique n'est pas vendeuse : un effort sur l'image est nécessaire
- la France possède des faiblesses en formation concernant la simulation numérique (il existe des leaders britanniques autour de British Steel)
- Les Allemands sont très bien placés pour les technologies de décoration
- La concurrence avec les autres matériaux, en particulier les matières plastiques, est très forte
- Les taxes liées à la mise en place d'une consigne sur les emballages non réutilisables (Allemagne) a entraîné une baisse des ventes à l'export. Une opportunité serait le développement d'un système efficace de récupération des boîtes.

1.13. L'électroménager

La réduction des coûts est prioritaire pour le secteur de l'électroménager

Atouts et opportunités

- L'électroménager représente près de 3% de l'acier consommé en Europe
- Les compétences en aciers laminés à froid, aciers galvanisés et aciers composites sont fortes en France
- La réduction des coûts est prioritaire pour que le secteur de l'électroménager conserve sa compétitivité
- Certaines améliorations de performances sont recherchées : l'esthétique (planéité, brillance, toucher, design), la résistance à la corrosion, au feu ou au froid.

Handicaps et menaces

- Les prix de revient sont élevés alors qu'il y a une forte pression sur les prix de vente. Le chiffre d'affaires a chuté de près de 3% entre 2002 et 2003
- Les réglementations (REACH, RoHS, DEEE) ne font pas l'objet d'études d'impact préalables et pénalisent fortement la filière
- La concurrence est très forte avec les pays à bas coûts.

2. SYNTHÈSE DES BESOINS DES INDUSTRIELS

Les membres du Comité de Pilotage ont identifié plus de 40 besoins fonctionnels dans les 13 marchés applicatifs retenus lors de la première phase.

L'importance de l'enjeu est indiquée par une échelle à 3 niveaux :

- **Besoin stratégique** +++ : Les besoins concernent l'ensemble d'une filière économique ou plusieurs acteurs majeurs et ne sont pas satisfaits. Leur satisfaction permettrait le maintien de la compétitivité d'un secteur d'un point de vue international
- **Besoin prioritaire** ++ : Les besoins concernent des segments importants d'une filière et ne sont pas satisfaits de façon correcte. Leur satisfaction permettrait à une ou plusieurs entreprises d'avoir un avantage concurrentiel sur le marché
- **Besoin plus limité** + : Le besoin est spécifique à une entreprise ou un segment, les enjeux sont plus faibles ou le besoin est déjà relativement bien satisfait

Les **besoins fonctionnels** identifiés ont été regroupés en 8 familles:

- Assembler
- Maîtriser la durabilité, les propriétés mécaniques, la corrosion
- Réduire les coûts de maintien en conditions opérationnelles
- Alléger ou réduire l'épaisseur
- Ecoconception, impact sociétal, maîtrise du cycle de vie
- Réduire les coûts de production
- Tenir aux hautes températures
- Améliorer d'autres performances (résister au frottement, à l'usure,...)

2.1. L'assemblage

L'assemblage est un besoin stratégique pour les secteurs de l'automobile, de l'aéronautique et du nucléaire

Selon EADS, l'assemblage est l'enjeu prioritaire pour le **secteur aéronautique** en France. L'assemblage concerne principalement les structures métalliques d'avions ou d'hélicoptères, de fusées et de satellites. La présence de chaînes de montage en France dans ces activités rend l'assemblage stratégique, et des projets impliquant les industriels de la fixation aéronautique sont à développer. On estime le marché mondial de la fixation aéronautique à 1.7 Mds € (source DFI, 2003).

Pour les cellules, les métaux à assembler sont principalement en alliages légers base aluminium, base titane ou en inox haut de gamme. Pour les moteurs, les classes de matériaux utilisés dépendent des températures de fonctionnement : les motoristes utilisent des alliages titane de l'ambiante à 550°C, des bases nickel au delà de 550°C. Les alliages de cobalt sont réservés aux chambres de combustion où les températures peuvent atteindre 2000°C

L'assemblage est stratégique dans le **secteur automobile** car c'est un moyen d'alléger les structures et de réduire l'impact environnemental d'un véhicule. L'assemblage concerne plusieurs types de matériaux,

métalliques et non métalliques, de tailles et de formes variées. Le choix d'un mode de soudage adapté peut notamment permettre de réduire les coûts (maîtrise de l'usure d'électrodes), l'impact environnemental (fluides et émissions gazeuses) et alléger le véhicule (suppression de la fixation mécanique). Cependant le risque de corrosion galvanique doit être particulièrement étudié

Dans le **secteur nucléaire** l'assemblage permet d'assurer l'étanchéité des pièces en maîtrisant la corrosion et l'état de surface. La concurrence internationale est très forte : le Japon en particulier est un concurrent très sérieux. Des projets innovants avec Arcelor, Snecma, Renault, Principia pourraient être envisagés.

L'assemblage est prioritaire dans le secteur de la **construction navale**. En effet, l'étape de redressage (10% des coûts de la structure de la coque selon CMN) pourrait être largement réduite si le procédé d'assemblage (soudage) était optimisé. La flexibilité de l'étape de soudage pourrait aussi être améliorée.

2.2. Maîtrise de la durabilité, des propriétés mécaniques et de la corrosion

La maîtrise de la durabilité des matériaux métalliques, de leurs propriétés mécaniques et en particulier la corrosion est un besoin stratégique pour de nombreux secteurs

La maîtrise de la corrosion et de la durabilité, très empirique actuellement, est un besoin du secteur aéronautique (EADS) et de la construction navale (Chantiers de l'Atlantique). Des constructeurs de cellule en aéronautique (EADS) ont des besoins de maîtrise de la corrosion et de la durabilité pour les alliages légers et les inox haut de gamme. Le secteur de la construction navale a besoin d'améliorer la tenue à la fatigue pour mieux maîtriser la durabilité et allonger la durée de vie des navires.

La maîtrise de la corrosion peut notamment passer par une compétence renforcée en simulation de la corrosion. Des technologies innovantes d'assemblage peuvent également réduire l'apparition de corrosion (soudage « friction stir welding » en particulier pour les alliages légers).

Il n'existe cependant que peu de coordination entre les métallurgistes et les industriels des secteurs aéronautique, construction navale, automobile et nucléaire pourtant confrontés à ces mêmes problèmes. La création d'un réseau sur la simulation de corrosion pourrait être envisagée pour favoriser ces synergies.

L'amélioration des qualités de surface, en particulier pour résister à la corrosion, est prioritaire pour le secteur nucléaire (Framatome) pour des raisons de sécurité et de sûreté. Certains accidents de tuyauterie ont pour origine un problème de corrosion. Certaines technologies innovantes en forgeage ou assemblage peuvent avoir un intérêt potentiel.

Dans les secteurs ferroviaire et de l'armement (SNCF, DGA), la corrosion est à l'origine de coûts de maintenance très élevés et entraîne la baisse de disponibilité du parc roulant. Des technologies d'assemblage peuvent limiter la corrosion et remplir simultanément d'autres fonctions comme l'allègement et la maintenance. Enfin des technologies de contrôle de santé de structure peuvent également être envisagées.

Les lacunes actuelles résulteraient d'un manque de collaboration et de partenariat entre secteurs, car il existe des compétences en France pour d'autres secteurs comme le nucléaire, la chimie, l'énergie (extraction pétrolière), et cela aussi bien dans les laboratoires universitaires que chez les sidérurgistes.

2.3. La réduction des coûts de maintien en conditions opérationnelles

La réduction des coûts de maintien en conditions opérationnelles (MCO) est importante pour le ferroviaire, l'armement, le BTP et la mécanique

Le marché de la maintenance immobilière estime à 17.5 Mds € et 23.3 Mds € celle de l'industrie en 2010 (Source: BIPE/AFIM).

La SNCF estime des coûts de MCO à 1.8 Mds €. Par exemple, « les soudures doivent être vérifiées pratiquement tous les 3 ans ». La fiabilité et la disponibilité, les tests en fatigue sont des voies d'amélioration possibles. La conception peut aussi être améliorée, en particulier par pour les personnels de bureau d'étude par la formation continue ou par une meilleure connaissance du « terrain », afin d'éviter de souder des pièces en traction par exemple.

La DGA estime que les coûts de MCO atteignent plusieurs Mds € par an et se fixe comme objectif récurrent de les réduire de 30%. Les coûts de MCO du matériel aéronautique représentait en 2004 un volume de 1,01 Md € (source : Sénat)

Le secteur du BTP pourrait accéder à un vaste marché de la maintenance du parc existant (isolation thermique, sonore) sous réserve de réduire les épaisseurs des matériaux à performances et coûts égaux (voir CSTB).

Enfin, l'industrie mécanique pourrait maîtriser les coûts de maintenance en particulier pour améliorer la disponibilité des équipements (source : ADEPA)

Plusieurs techniques pourraient être envisagées, notamment dans les grandes voies suivantes :

- le contrôle de santé prédictif
- l'intégration d'électronique ou d'informatique dans les produits, machines et procédés
- les matériaux intelligents intégrant des systèmes embarqués
- les procédés de contrôle non destructif

2.4. L'allègement et la réduction de l'épaisseur

L'allègement ou la réduction d'épaisseur est une fonction stratégique pour l'automobile, l'aéronautique et l'emballage

L'allègement est une fonction stratégique pour les secteurs aéronautiques et automobiles, sous réserve de maîtrise des coûts et de performances. La réduction de masse permet une diminution de la consommation de carburant et une meilleure maîtrise de l'impact environnemental. Par ailleurs, remplacer 250 à 300 kg de métal par 100 kg de matériaux composites économise 8% du carburant d'une automobile (source Cité des Sciences). En aéronautique, c'est un objectif stratégique sous réserve de le satisfaire à coût constant (Snecma, EADS) car la consommation de carburant représente environ 30% du coût de l'heure de vol (source: Aéronautique, Rhône-Alpes).

Le secteur de la construction navale (Alstom) prend en compte le coût d'usage dans la formulation de son prix de vente : l'allègement de masse entraîne la baisse de la consommation de carburant et génère un avantage concurrentiel

Plusieurs technologies permettent d'envisager un allègement:

- La conception de nouvelles nuances d'alliages via la simulation numérique qui nécessitent d'enrichir les bases de données en particulier pour les éléments d'alliages rares, par une collaboration européenne
- La simulation numérique des procédés pour alléger en conservant les performances (dispersion des propriétés) : il y a cependant une carence en modèles métallurgiques à intégrer dans les codes existants
- Les plastiques (automobile), les composites (aéronautique) et autres matériaux
- Les nouvelles techniques d'assemblage permettant de supprimer la fixation mécanique traditionnelle (soudage, collage)
- L'utilisation de l'électronique permettant de répondre aussi à la maîtrise des coûts de maintien en conditions opérationnelles.

2.5. Ecoconception, impact sociétal, maîtrise du cycle de vie

Le respect de l'environnement et le recyclage sont stratégiques pour les secteurs automobile et les EEE

Selon l'Ademe les enjeux prioritaires du recyclage pour la métallurgie sont liés à la DEEE (et VHU) et concernent les métaux non ferreux, en particulier les métaux précieux :

La DEEE, mise en place depuis Août 2004, a pour objectif le recyclage de 4kg/an/hab des 1.5 MT de DEEE émis annuellement à partir du 13/8/2006. Les techniques de séparation et de valorisation sont des grandes voies d'amélioration.

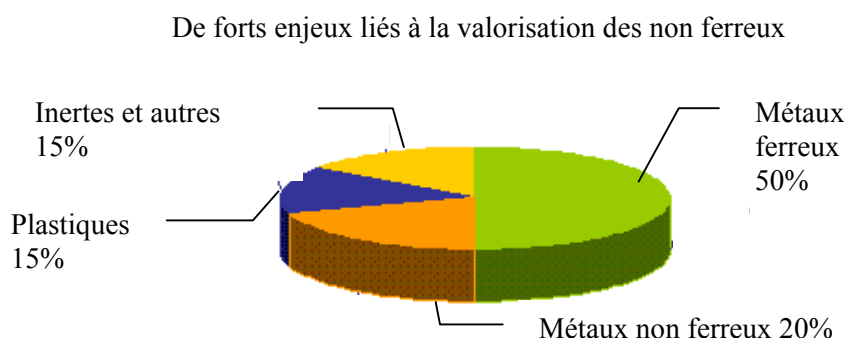
Le secteur automobile est particulièrement concerné par l'application de la directive VHU et doit développer l'écoconception des véhicules et faciliter leur recyclage en réduisant le taux de déchet ultime à 5% en 2015 (Source: Sénat)

Pour **CFF Recycling** l'obligation de recycler les VHU et les déchets EEE « offre une voie de diversification progressive » (Les Échos, 4/1/05). Il existe une opportunité d'alliance avec des recycleurs de plastique pour réaliser du recyclage multiforme selon l'Ademe. L'essentiel des prestations de services sera réalisé auprès des particuliers et des collectivités locales en raison de la délocalisation des grands clients industriels dans les pays d'Europe de l'Est et d'Asie **selon CFF Recycling**.

Une **analyse prospective de l'impact de la réglementation** est présentée dans le chapitre 2. Elle met en avant le potentiel représenté par des méthodes et techniques comme l'écoconception, la maîtrise du cycle de vie des matériaux qui permettent de **réduire l'impact sociétal**.

2.6. La réduction des coûts

La réduction des coûts est stratégique pour le secteur automobile et prioritaire pour l'industrie aéronautique



La réduction des coûts globaux d'un véhicule (automobile ou aéronautique) et de sa maintenance est un enjeu majeur. Le coût des matériaux et des procédés de fabrication sont tirés vers le bas. En effet le coût des matériaux est l'une des limites aux objectifs de réduction de masse et d'amélioration de performances, et la simulation des procédés pourrait améliorer la fiabilité des pièces.

Les coûts de maintenance doivent être maîtrisés et l'utilisation de l'électronique est une voie d'innovation permettant également l'allègement.

L'enjeu est stratégique pour le secteur automobile : les donneurs d'ordre, pour rester compétitifs, doivent délocaliser dans les pays d'Europe de l'Est et d'Asie (CFF Recycling).

La réduction des coûts est prioritaire pour l'industrie mécanique mais les contraintes sont essentiellement réglementaires. Certains coûts sont à l'origine de distorsion de concurrence pour l'industrie mécanique française :

- La taxe professionnelle de l'ordre de 55% du résultat net des entreprises du secteur (source : FIM)
- La rigidité des 35h est particulièrement handicapante selon les dirigeants de PME
- les contraintes réglementaires, comme REACH, dont l'impact n'a pas été pris en compte préalablement.

Des pistes de solution apparaissent dans la « relocalisation » auprès des grands donneurs d'ordre, en particulier les fonderies auprès des industriels de l'automobile, et dans l'assistance à l'internationalisation (P. Mataix, CEO Europe).

2.7. L'amélioration d'autres performances

L'amélioration des performances est prioritaire pour les secteurs de la transformation thermique et des transports

Le secteur de la **transformation thermique de l'énergie** (nucléaire, thermique, motoriste) est fortement demandeur d'améliorations de performances concernant les **matériaux**. L'augmentation des températures de fonctionnement est recherchée dans les moteurs (Snecma) et donc la performance des matériaux, en terme de conservation des propriétés sur une durée longue. Les notions de « reproductibilité des propriétés » et de « durabilité des matériaux » vont de pair avec la nécessité de concevoir les pièces sans surdimensionnement, en assurant une sécurité optimale.

Dans les **transports (aéronautique, automobile ferroviaire, construction navale)** l'amélioration des performances passe en priorité par une meilleure maîtrise de leur dispersion assurant ainsi leur reproductibilité (EADS, Snecma). La reproductibilité des propriétés issues de modes d'élaboration comme le forgeage ou le moulage, et leur combinaison avec des matériaux organiques, sandwich ou complexes est recherchée. Pour l'aéronautique les principales performances recherchées concernent la fatigue, le vieillissement, la tenue à la rupture, la fissuration, la corrosion,...

La simulation numérique des procédés semble être une technologie permettant d'améliorer la performance des matériaux par une maîtrise de la dispersion de leurs propriétés. La simulation s'est concentrée beaucoup sur la thermique et la thermomécanique et est actuellement freinée par la carence en modèles métallurgiques.

3. MARCHÉS, APPLICATIONS STRATÉGIQUES ET NICHES PÉRENNES

Le Comité de Pilotage a identifié 11 secteurs dans lesquels il existe des besoins stratégiques pouvant être satisfaits par des innovations technologiques en métallurgie :

	Fonction économique	Fonction de contrainte	Fonctions techniques						
	Réduire les coûts de production	Ecoconception, impact social, maîtrise du cycle de vie	Assemble	Maîtriser la durabilité, les propriétés mécaniques, la corrosion	Réduire les coûts de MCO	Alléger ou réduire l'épaisseur	Tenir aux hautes températures	Améliorer d'autres performances	
									Détail
Automobile	+++	+++	+++	+++	+	+++		+	
Industrie mécanique	++	++		+++	++	+		+++	Frottement et usure
Aéronautique	++	+	+++	+++	+	+++	++	++	
Énergie				+++	+		+++	++	
Emballage	+++	+++	+	++	++	+++		++	(*)
Nucléaire		+++	+++	++			+++	++	
Construction navale	++	++	++	+++	++	++		+	
Ferroviaire				++	+++	+++		+	
Électronique		+++		+				+	
Armement		+			+++	+		+	
BTP	++	++		+	++	+		+	
Chimie				+++	+			+	
Electroménager	++	++		+					

+ Besoin mineur ++ Besoin prioritaire +++ Besoin stratégique

* : contact alimentaire, vernis, ouverture facile, conception et élaboration d'emballage

Source : Nodal Consultants, entretiens seconde phase et modifications du Comité de Pilotage

3.1. Hiérarchisation des besoins par leurs enjeux économiques

Le Comité de Pilotage a également hiérarchisé les 13 secteurs étudiés, en utilisant 2 critères. La valeur du chiffre d'affaires réalisé par les 9 sous-secteurs de la métallurgie les plus importants dans les 13 secteurs utilisateurs étudiés et le taux de croissance du secteur utilisateur. L'estimation du chiffre d'affaires directement réalisé par les entreprises de la métallurgie et du travail des métaux dans les différents secteurs applicatifs est indiquée ci-dessous.

	Enjeux CA (M€) en	Taux de croissance du secteur 2002-2003 (*)
Automobile	11400	+1.1%
BTP	5500	Bâtiment : -0.4% TP : +3.6%
Industrie mécanique	4700	+0.4%
Emballage	1900	-2.5%
Énergie	1850	+3.5%
Aéronautique	1650	+1.6%
Électronique	370	-7.4%
Electroménager	360	-2.9%
Chimie	230	+1.2%
Nucléaire	< 200	-2.9%
Armement	< 200	nd
Construction navale	< 200	-17%
Ferroviaire	< 200	-10.8%

(1) Source : Nodal Consultants (*) Source : Sessi-EAE 2003

3.2. Sélection des marchés, applications et niches pérennes

Le Comité de Pilotage a retenu pour la troisième phase de l'étude les secteurs à plus forts enjeux et ayant des besoins fonctionnels stratégiques que des innovations dans la métallurgie pourraient satisfaire :

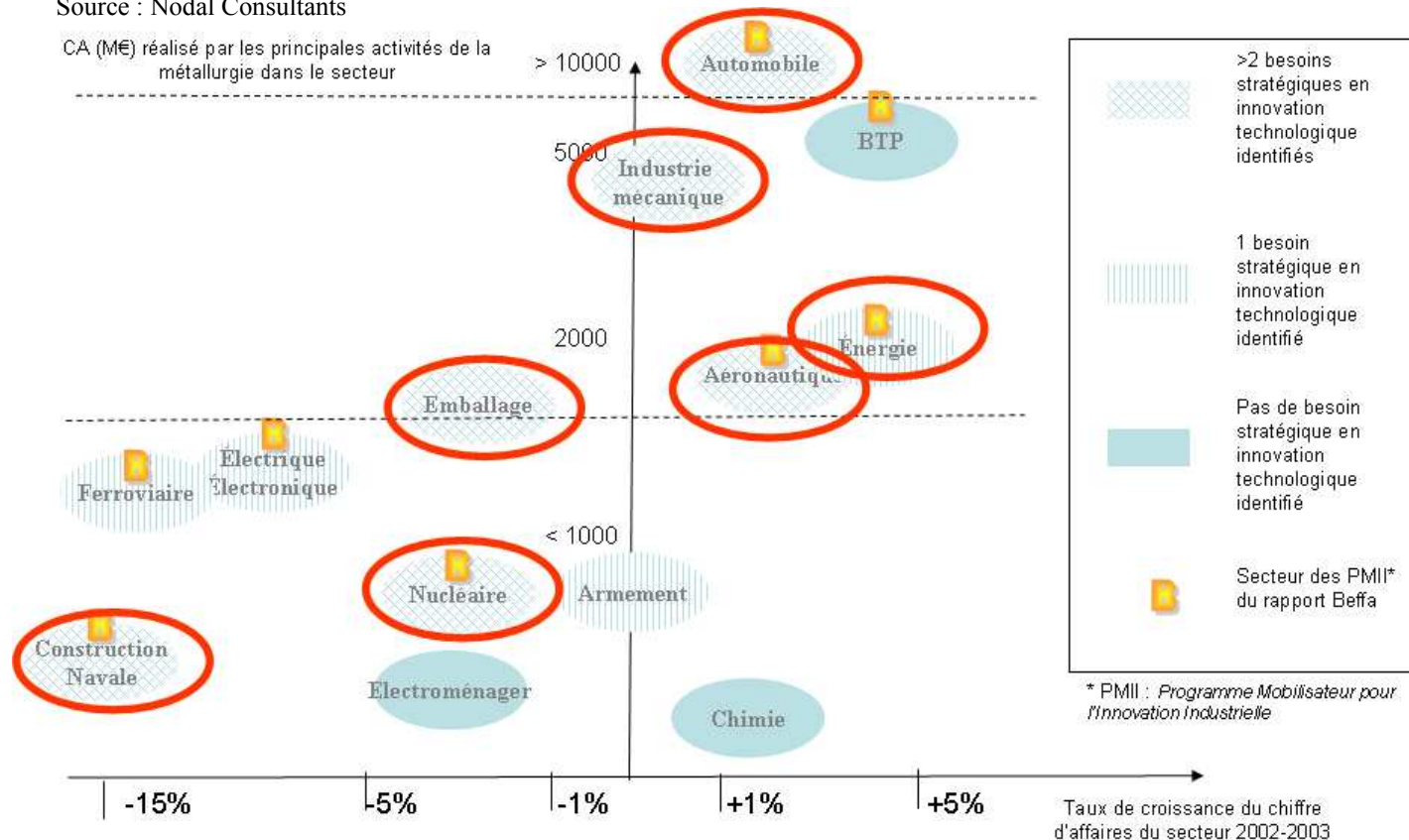
- Les 13 secteurs sont présentés sur le tableau ci-dessous selon la valeur du chiffre d'affaires réalisé par les principaux sous secteurs de la métallurgie et du travail des métaux, et selon le taux de croissance du secteur.
- Le nombre de besoins fonctionnels stratégiques identifiés est indiqué par un code couleur.
- Les secteurs ayant fait l'objet d'un projet de PMII (programme Mobilisateur pour l'Innovation Industrielle) dans le rapport Beffa et faisant intervenir des compétences en métallurgie ou travail des métaux sont représentés par un « B ».

Le champ de la phase 3 est ainsi délimité à 7 marchés applicatifs prioritaires et 7 thèmes de besoins fonctionnels stratégiques :

- les 7 marchés applicatifs dans lesquels des besoins stratégiques en innovation technologique sont identifiés : automobile, industrie mécanique, aéronautique, énergie, emballage, nucléaire et construction navale
- les 7 thèmes de besoins fonctionnels associés, qui se déclinent en 5 fonctions : assembler ; maîtriser la durabilité, les propriétés mécaniques, la corrosion ; alléger ou réduire l'épaisseur ; tenir aux hautes températures ; résister aux frottements et à l'usure et 2 fonctions de contrainte : écoconception, impact sociétal, maîtrise du cycle de vie ; réduire les coûts de production.

Positionnement des marchés applicatifs de la métallurgie et sélection des priorités

Source : Nodal Consultants



	Fonction économique		Fonction de contrainte		Fonctions techniques				Améliorer d'autres performances	
	Réduire les coûts de production	Ecoconception, impact sociétal, maîtrise du cycle de vie	Assembler	Maîtriser la durabilité, les propriétés mécaniques, la corrosion	Réduire les coûts de MCO	Alléger ou réduire l'épaisseur	Tenir aux hautes températures	Détail		
Automobile	+++	+++	+++	+++	+	+++		+		
Industrie mécanique	++	++		+++	++	+		+++	Frottement et usure	
Aéronautique	++	+	+++	+++	+	+++	++	++		
Énergie				+++	+		+++	++		
Emballage	+++	+++	+	++	++	+++		++	(*)	
Nucléaire		+++	+++	++			+++	++		
Construction navale	++	++	++	+++	++	++		+		

+ Besoin mineur ++ Besoin prioritaire +++ Besoin stratégique

* : contact alimentaire, vernis, ouverture facile, conception et élaboration d'emballage

Source : Nodal Consultants, entretiens seconde phase et modifications du Comité de Pilotage

CHAPITRE 4

SAVOIR-FAIRE FRANÇAIS EN INNOVATION ET

POSITIONNEMENT INTERNATIONAL

1. CARTOGRAPHIE NATIONALE ET INTERNATIONALE DU SAVOIR-FAIRE FRANÇAIS

Un **atlas et un annuaire de l'innovation métallurgique** (documents séparés) ont été réalisés qui constituent un panorama instantané de l'offre d'innovation française et internationale.

L'atlas permet de détecter des pôles de compétitivité, en France, en Europe et dans le monde :

- les pôles industriels et de recherche pour chacun des grands secteurs de la métallurgie, en France, dans l'Union Européenne et dans le monde
- les principaux SPL (systèmes productifs locaux) français de la métallurgie
- la localisation des principaux centres de compétences en R&D

L'annuaire présente une liste de plusieurs centaines d'acteurs innovants ou relais potentiels de l'innovation :

- industriels de la métallurgie présents en France
- laboratoires français publics et privés en métallurgie
- organismes professionnels et centres techniques
- leaders mondiaux de l'industrie et de la recherche.

2. SYNTHÈSE DES ATOUS ET HANDICAPS DE L'OFFRE TECHNOLOGIQUE NATIONALE

2.1. Une science pluridisciplinaire

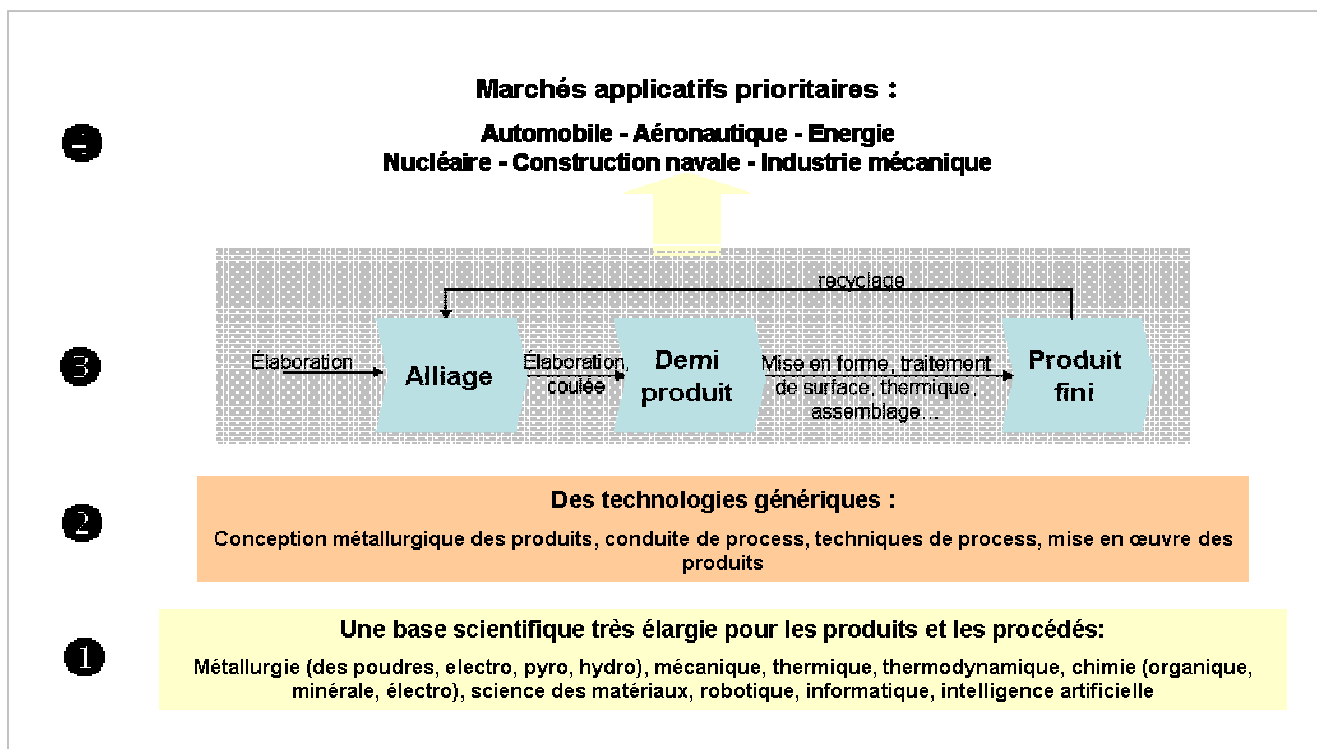
La métallurgie fait appel à des **bases scientifiques** et à des **technologies pluridisciplinaires**.

La **base scientifique** (1) nécessaire pour la maîtrise des produits et procédés est très élargie, faisant appel à des compétences en métallurgie (métallurgie des poudres, électrométallurgie, pyrométallurgie ou hydrométallurgie), mais aussi à des compétences dans de nombreux domaines connexes comme la mécanique, la thermique, la thermodynamique, la chimie, la science des matériaux, la robotique, l'informatique ou encore l'intelligence artificielle.

Cette base scientifique très élargie permet d'alimenter la métallurgie en **technologies génériques** (2) que sont la conception métallurgique des produits, la conduite d'un procédé, les différentes techniques de process, la mise en œuvre des produits par exemple.

Ces technologies génériques représentent les technologies fondamentales permettant aux métallurgistes de maîtriser leur **cœur de métier** (3), qui va de l'élaboration d'un alliage jusqu'au recyclage d'un produit fini, en prenant en compte tous les procédés intermédiaires (coulée, mise en forme, traitement de surface, mise en œuvre, assemblage notamment).

L'association de la base scientifique (1), des technologies génériques (2) et du cœur de métier (3) des métallurgistes permet de satisfaire la demande (4), en particulier pour les marchés applicatifs prioritaires.



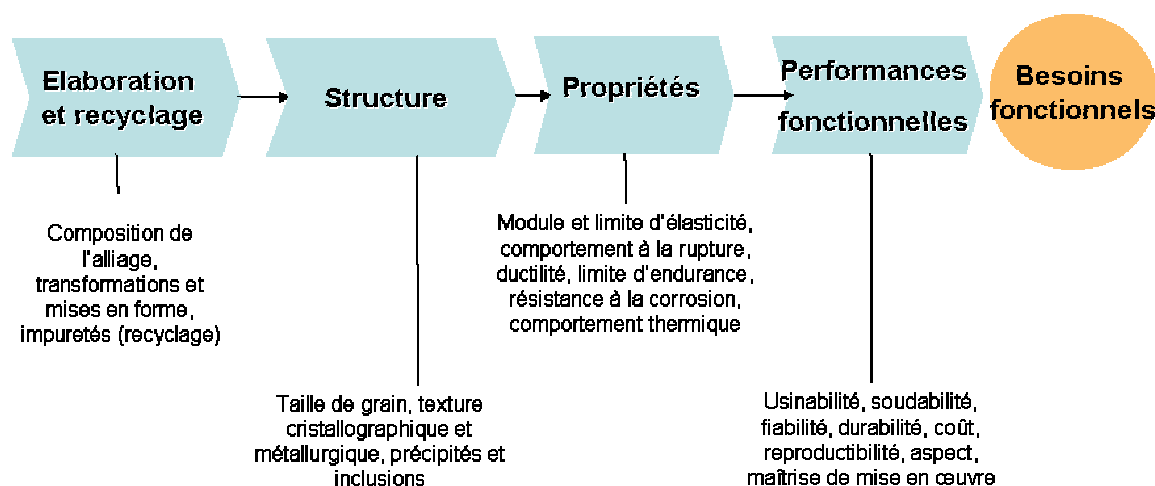
La métallurgie est une **science non achevée** qui manque de modèles de compréhension des mécanismes et de données expérimentales.

Des zones encore mal comprises subsistent ouvrant de **larges possibilités de progrès**.

Certains phénomènes touchant la structure intime de la métallurgie sont aujourd'hui très mal compris, voire non expliqués, et sont décrits de façon très empirique, par exemple les mécanismes de **recristallisation**, le rôle de l'**hydrogène**, la connaissance des **frottements et de l'usure** ou la **structure cristalline**.

De nombreuses **données expérimentales** manquent aujourd'hui, par exemple les constantes thermodynamiques, les cinétiques de transformation, les relations entre microstructure et propriétés mécaniques (par exemple : limite d'écoulement) ou encore les lois de fatigue.

La métallurgie et la recherche en métallurgie doivent **englober 4 domaines complémentaires** : l'élaboration et le recyclage, les structures, les propriétés et les performances fonctionnelles.



En effet, une modification de la composition d'un alliage lors de l'élaboration peut entraîner une variation de sa structure cristalline, et modifier ses propriétés (température de fusion modifiée par exemple). La soudabilité du produit final peut s'en trouver profondément dégradée.

2.2. Atouts et opportunités

- La France compte des **chercheurs de très haut niveau** dans la quasi-totalité des sciences de la métallurgie, avec des apports reconnus pour la production et la diffusion de connaissances (recherche fondamentale, recherche de base finalisée) et la formation par la recherche (masters, thèses). Les experts de la recherche publique ont toutefois une disponibilité et une connaissance du contexte industriel insuffisamment encouragées, développées et reconnues dans les domaines de l'innovation technologique procédés et produits.
- La pertinence et la qualité de la **recherche de base à finalité industrielle** sont cruciales, tout comme sa proximité avec la **recherche fondamentale « ouverte »** (locaux, personnes, réseaux régionaux). Il faudrait admettre qu'un thème de recherche à finalité industrielle consacre systématiquement une part de ses ressources ou de son budget à **enrichir la connaissance de base**.

- Les **centres techniques** doivent accentuer leur relation avec la recherche et anticiper les besoins des PME (car les PME ont besoin de réactivité et ne peuvent assumer des programmes de R&D) en augmentant par exemple leur implication dans le montage de thèses avec accès à leurs moyens techniques. Ils pourraient compléter leur dispositif par une approche inspirée du commercial : prospecter, aller au contact des entreprises, leur proposer des voies d'études ciblées et adaptées, et les aider à clarifier le paysage académique de la recherche française. Les centres techniques pourraient être **l'interface entre recherche et industrie**, les freins à ces transferts seront identifiés.
- Il faudrait également soutenir les **formations généralistes** solides enseignant la « métallurgie de base ». L'enseignement pour la métallurgie « pointue » passerait par des formations doctorantes ou internes à l'entreprise. D'autre part la **reconnaissance d'un statut d'expert** dans l'entreprise et le développement de passerelles favorisant la mobilité entreprise / université renforcerait l'attractivité des carrières dans la métallurgie.
- Le **développement des réseaux universitaires** permettrait aussi d'améliorer la visibilité des formations (doubles diplômes EPFL, Louvain, Aix-La-Chapelle, MIT, Stanford...)
- Le modèle de transfert de technologie Allemand est efficace (Fraunhofer) et pourrait être transposé en France.

2.3. Handicaps et menaces

- La principale faiblesse de l'offre technologique française est de **ne pas savoir industrialiser une technologie**, faire la jonction du laboratoire à l'industrie et **valoriser les technologies**
- On constate une **perte de culture métallurgique** (matériaux) dans les **entreprises utilisatrices** : la mobilité interne élevée et les départs en retraite entraînent une baisse du nombre d'experts. Ces ingénieurs moins spécialisés se limitent dans les cahiers des charges des pièces métalliques à des spécifications mécaniques (secteurs aéronautique, automobile et mécanique notamment)
- Certains champs scientifiques associant technologies de mise en œuvre et métallurgie avancée sont peu développés en France, tels que la métallurgie du soudage (l'Institut de soudure est très aval et applicatif et ne réalise pas de recherche matériaux). Il est cependant faux de dire que le champ scientifique est vide en France. Le rapport François déplorait la **non-mise en synergie des diverses disciplines** pour prétendre à des avancées percutantes. Cela reste vrai, mais moins qu'en 1999. Il y a un contexte peut-être plus technique que scientifique avec les activités de l'Institut de Soudure, et ce qui a été fait pour le nucléaire (Le Creusot, EDF, Framatome). Il y a des travaux en France actuellement (Mines d'Albi, IUT de Nîmes et de Dijon, ENISE St Etienne). des clusters se forment (timidement ?). Le constat actuel est que la **métallurgie est mal intégrée dans la compréhension et la modélisation du process, et que l'on ne sait pas jusqu'à quel degré il est indispensable d'aller**. Il est certain qu'une **volonté forte d'unir les efforts sur le plan national obligerait à fédérer les énergies et ferait aller de l'avant**, jusqu'à la conception d'alliages dérivés, adaptés au soudage, comme cela a été fait dans le passé pour l'adaptation à la Fonderie.
- La **mobilité dans les deux sens des personnes entre l'université et l'industrie** permet un transfert de technologie efficace mais est pourtant très faible et peu encouragée. Il existe aussi un fort **cloisonnement** entre les différentes disciplines utiles à la métallurgie : mécanique, corrosion, thermique, chimie entre autres
- Le **renouvellement des compétences universitaires** lié aux départs à la retraite est jugé très préoccupant, en particulier dans certaines zones (Grenoble) ou écoles (ENSMP, ECP).

CHAPITRE 5 MOYENS EXISTANTS POUR
FAVORISER ET SOUTENIR L'INNOVATION EN
MÉTALLURGIE

1. STRUCTURES DE SOUTIEN À L'INNOVATION

Les structures de soutien à l'innovation en métallurgie sont détaillées dans le document complémentaire « Annuaire de l'innovation métallurgique en France ».

Ce document détaille en particulier les **laboratoires et industriels « offreurs » de technologie**, et les **organismes et centres techniques industriels (CTI)**, maillons indispensables dans la chaîne de transfert des technologies, et la valorisation des innovations.

D'autres structures plus généralistes apportent leur soutien à l'innovation, ce sont en particulier :

- des structures européennes, en particulier la Commission Européenne
- des structures nationales, comme le réseau national matériaux et procédés, Oséo-Anvar, des centres techniques présentés dans l'annuaire
- des organismes ou centres techniques régionaux, des laboratoires et industriels qui peuvent être partenaires d'innovation, et référencés dans l'annuaire.

2. MOYENS TECHNOLOGIQUES D'INNOVATION

2.1. Démarche et priorités

Une liste de plus de 70 technologies ou thèmes a été identifiée, permettant de répondre aux besoins identifiés en phase 2 pour les marchés prioritaires.

A partir des entretiens d'experts, Nodal a évalué l'attrait que représentent ces technologies, et les atouts de la France pour mettre en œuvre ces technologies :

- l'attrait d'une technologie est évalué selon la taille du marché industriel accessible à la technologie concernée, le stade de développement de la technologie et une évaluation de l'enjeu associé (impact environnemental majeur, leadership international par exemple)
- les atouts de la France concernant ces technologies sont évalués par le positionnement sur la scène internationale (leader / suiveur) et les compétences et ressources industrielles, universitaires et des centres techniques disponibles

Le Comité de Pilotage a hiérarchisé les 70 technologies selon les enjeux associés, afin de retenir une liste de technologies et thèmes prioritaires, classés selon 2 catégories :

- les **technologies à forts enjeux industriels** permettant d'atteindre des marchés à **forts volumes**. Ces technologies ou thèmes sont à un stade de maturité « pré industrielle » (stade de croissance), les enjeux industriels, environnementaux, économiques ou sociétaux associés sont très forts. La France doit se positionner sur ces thématiques
- les technologies **plus émergentes mais de rupture** dont les applications industrielles sont plus limitées à l'heure actuelle. Ces technologies ou thèmes sont moins matures et les enjeux semblent plus faibles à court ou moyen terme. Cependant ils pourraient constituer à un horizon plus lointain un potentiel plus important.

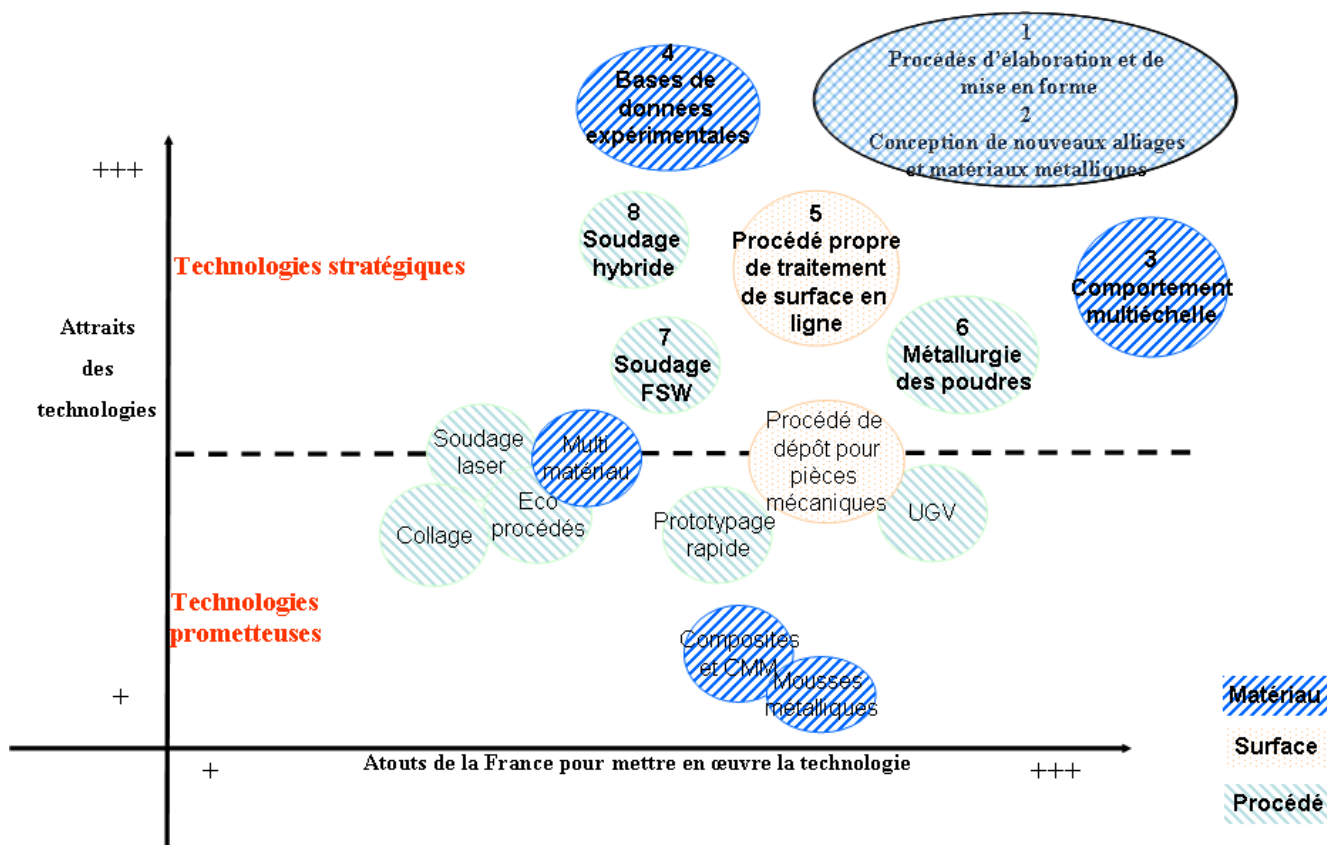
8 thèmes ou technologies stratégiques en matériaux ont été identifiés, procédés et surfaces qui répondent aux besoins exprimés par les industriels les procédés d'élaboration et de transformation des métaux, cœur de métier des métallurgistes

- Les technologies suivantes ont été retenues : la conception de **nouveaux alliages et matériaux métalliques**, le **comportement multiéchelle** et les **bases de données expérimentales**
- des technologies ou thèmes stratégiques sont apparus dans le domaine des procédés, en particulier : les **procédés d'élaboration et de mise en forme « cœur de métier »**, des procédés d'assemblage comme le **soudage hybride** et le **soudage FSW** et les procédés de **métallurgie des poudres**
- d'autres technologies ou thèmes stratégiques dans le domaine des surfaces ont été identifiées, en particulier les **procédés propres de traitement de surface en ligne**

9 autres technologies en assemblage, production, transformation et environnement sont prometteuses à plus long terme :

- 3 thèmes ou technologies d'assemblage de champ d'application limité en raison de fortes contraintes techniques : le soudage **laser**, le **collage** sans COV et l'assemblage direct de **multimatériau**.
- 2 technologies émergentes de production de nouveaux matériaux dont l'industrialisation est encore marginale : les composites et en particulier les **composites à matrice métallique (CMM)**, les **mousses métalliques**
- 2 autres technologies de transformation maîtrisées, en croissance et à applications limitées : l'usinage à grande ou très grande vitesse (**UGV** ou **UTGV**), le **prototypage rapide**

- Une famille de technologies liées au respect de l'environnement et/ou du recyclage : les **écoprocédés**, de l'amont vers l'aval (analyse de cycle de vie, écoconception, gestion des ressources, gestion des déchets, recyclage, réduction de l'émission de COV, tri sélectif multimatériau et valorisation) et les **procédés de dépôt** pour pièces mécaniques, en substitution aux métaux lourds



④ Les procédés d'élaboration et de transformation des métaux

Les procédés d'élaboration et de transformation des métaux constituent le cœur de métier des métallurgistes.
 La maîtrise de ces procédés, de leurs savoir faire et leurs améliorations sont à la base de la compétitivité des métallurgistes français.

Il existe des lacunes en modèles métallurgiques fondamentaux et des données expérimentales associées, en particulier pour la formation de textures et la recristallisation. Les thermodynamiciens, mécaniciens des fluides, métallurgistes, thermiciens et modélisateurs sont toujours trop peu associés et peu habitués à travailler ensemble.

L'attrait pour cette thématique est très fort, puisque la compétitivité des métallurgistes est en jeu. Des optimisations de procédés industriels peuvent permettre de réaliser d'importantes réductions de coûts et d'impact environnemental.

Les atouts des métallurgistes français dans ce domaine sont très forts, en particulier dans le domaine spécifique de la modélisation et de la simulation numérique des procédés d'élaboration et de transformation des métaux. Plusieurs exemples permettent d'illustrer cette compétence.

Cas Arcelor



Cas Eramet



Cas Alcan



@ La conception de nouveaux alliages et matériaux métalliques

La conception de nouveaux alliages et matériaux métalliques est une technologie stratégique « évidente » pour de grands domaines d'application, à la base d'innovations récentes et attendues dans les prochaines années

La conception de nouveaux alliages et matériaux métalliques est une technologie stratégique « évidente » mais qui mérite une attention particulière. Ainsi 70% des références d'alliages d'aluminium structuraux et états métallurgiques sont-elles nouvelles sur l'Airbus A380. Cette technologie est à la base d'innovations récentes et attendues dans les prochaines années pour de nombreux domaines d'application hors certaines commodités.

Elle s'appuie en amont sur des travaux du CNRS et des Universités en chimie des matériaux et mécanique des matériaux notamment, et la modélisation multi échelle des matériaux. La **mise en œuvre combinée** de cette technologie sera un puissant levier pour l'innovation dans le domaine de l'aéronautique et des transports.

Pour les **aciers spéciaux**, il existe des besoins et des débuts de réalisation sont confirmés, par exemple :

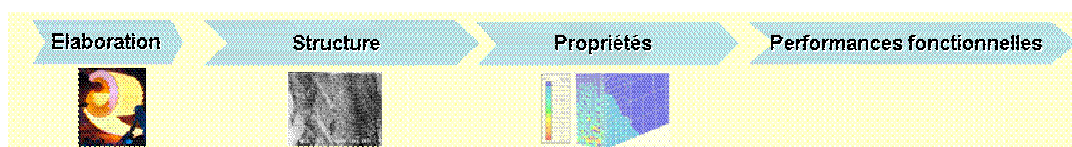
- les aciers martensitiques à très hautes caractéristiques pour l'aéronautique, durcis soit par le carbone soit par phases intermétalliques, selon 2 familles se développant en parallèle inox ou non (en vue de l'allègement)
- les nouveaux aciers martensitiques pour la production d'énergie en vue de compatibilité avec des températures plus élevées,..... aciers d'outillages martensitiques pour meilleure tenue à chaud (outils de forge ou de moulage des alliages d'Al), les super-austénitiques etc....

Pour les **alliages de titane**, des nuances nouvelles à haute résistance se développent pour l'aéronautique, mais ce sont plutôt les Russes qui restent aujourd'hui leaders.

Un des **verrous actuels** concerne la réalisation de pièces massives selon des compositions conçues à l'origine pour des produits minces: aciers de traitement thermique, aciers duplex, super-austénitiques, alliages de nickel, d'aluminium, de titane.

③ Le comportement multi échelle

Le comportement multi échelle (en particulier la simulation et la modélisation multi échelle) couple les échelles « micro » et « macro » pour établir une relation entre structure et propriétés.



Des verrous sont à lever dans cette thématique, car les disciplines (mécanique, thermique, thermodynamique, chimie, mathématiques) sont encore trop cloisonnées. D'autre part, on constate que les lois de comportement et les modèles de métallurgie à l'échelle du grain sont encore mal connus.

Les enjeux sont cependant immenses et concernent tous les secteurs pour tous les besoins fonctionnels identifiés. Cette thématique est encore émergente et représente un très fort potentiel industriel pour la métallurgie, qui peut être concrétisé par des compétences françaises particulièrement robustes. Elles sont notamment très importantes en modélisation et simulation numérique. On peut cependant regretter une valorisation industrielle trop peu développée.

Cette thématique pourrait concerner de façon prioritaire la satisfaction du besoin « tenue aux hautes températures » pour les secteurs du nucléaire, de l'énergie et de l'aéronautique.

④ **Les bases de données expérimentales**

La simulation et la modélisation ne peuvent se développer sans un travail de fond de collecte et de partage de données expérimentales dans tous les domaines scientifiques connexes à la métallurgie.

L'absence de coordination internationale et de partage sur certaines données comme les constantes thermodynamiques, les cinétiques de transformation, les lois de fatigue et les interfaces rend le développement de ces bases de données expérimentales particulièrement difficile.

L'attrait est néanmoins particulièrement stratégique car sans ce « carburant », la modélisation et la simulation numérique n'ont pas de sens et n'auront pas de débouché industriel concret.

De plus la France est particulièrement bien positionnée dans le domaine de la modélisation et la simulation numérique, et a un rôle de leader dans l'édition de logiciels qu'il convient de renforcer.

Cette thématique est transversale, et alimenterait tous les besoins identifiés pour tous les marchés prioritaires retenus. Toutefois le développement de ces bases de données nécessite la mobilisation de moyens importants, tant humain que financier.

L'élaboration de bases de données expérimentales nécessite du travail expérimental et des connaissances approfondies en métallurgie, mais également en modélisation et informatique, en techniques de mesure. Les aspects innovants pour les bases de données expérimentales concernent en particulier les méthodes d'acquisition (ab initio, etc.) et de traitement ou mise en œuvre informatique des données. Par exemple, certaines méthodes de mesures à haute température ont été développées en métallurgie des poudres pour prédire la réalisation de pièces aux cotes. D'autres restent sans doute à mettre au point.

④ **Les procédés propres de traitement de surface en ligne**

La mise au point de procédés propres de traitement de surface en ligne sera vraisemblablement incontournable face aux contraintes réglementaires futures (REACH). Elle constitue par ailleurs une rupture technologique majeure pour les secteurs de masse, comme l'automobile, le BTP et, dans une moindre mesure, pour l'aéronautique.

Plusieurs technologies existent dans ce domaine, et on retiendra tout particulièrement :

- le PVD (Physical Vapor Deposition) : technique de dépôt par condensation de la vapeur métallique à la surface de la pièce, dans une gamme de température de 100 à 550°C.
- le CVD (Chemical Vapor Deposition) : dépôt par réaction chimique de la vapeur métallique avec la surface de la pièce à revêtir à des températures de 900 à 1 100 °C.
- le PACVD (Plasma Assisted CVD) : CVD assisté par plasma pour dissocier le gaz actif à plus basse température, de l'ordre de 500 °C.

Les défis actuels sont le franchissement du cap de l'industrialisation et la réduction du surcoût pour adapter la technologie à la production de masse.

Ces technologies sont des voies possibles à la substitution au chrome hexavalent. Leur potentiel d'industrialisation est très prometteur (marchés de masse automobile et BTP, marché à haute valeur ajoutée de l'aéronautique). La France dispose de sérieux atouts dans ce domaine, avec des industriels et des universitaires reconnus. On peut notamment citer Grenoble (laboratoire de thermodynamique et traitement de surface, université d'électrochimie), Nancy et Dijon, Mézières (pour la corrosion de l'acier).

Le soutien d'un projet industriel associant des métallurgistes, des spécialistes du revêtement et un client final du domaine automobile, BTP ou aéronautique permettrait de satisfaire certains besoins fonctionnels identifiés en phase 2, notamment :

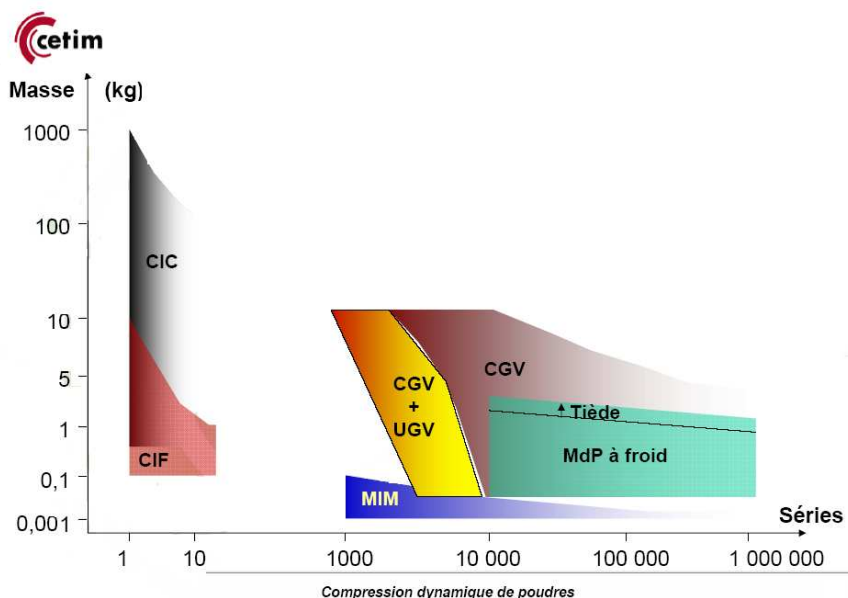
- réduire les coûts
- respecter l'environnement
- maîtriser la corrosion ou la durabilité.

@ La métallurgie des poudres

La thématique de la métallurgie des poudres regroupe des technologies permettant de relever notamment les défis des hautes températures, des structures complexes et de l'allègement. La métallurgie des poudres comprend la compaction des poudres puis le frittage (également appelé consolidation). C'est un procédé permettant d'élaborer un matériau solide à partir de poudres métalliques sans passer par la fusion mais mettant en œuvre des techniques thermiques et/ou mécaniques.

Plusieurs procédés d'élaboration en métallurgie des poudres sont utilisés aujourd'hui. La **mécanosynthèse et la compaction isostatique à chaud** sont particulièrement porteurs :

- la **compaction isostatique à chaud** permettant de réaliser des grandes pièces (plusieurs tonnes) avec des tolérances « au plus près des cotes », à **très forte valeur ajoutée**, pour les secteurs de l'aéronautique ou du nucléaire. La technique du CIC consiste à appliquer une pression élevée, environ 100 MPa, à une température près du point de fusion et pendant un certain temps, sur des matières métalliques encapsulées. Des étapes d'usinage et éventuellement de traitement thermique sont ensuite nécessaires à l'obtention des pièces finales.
- la **compression à froid et frittage**, technologie plus mature, permettant de réaliser des pièces en petites séries
- la **mécanosynthèse**, procédé mécanique permettant l'obtention de poudres constituées du matériau souhaité dont la caractéristique essentielle par rapport aux autres procédés plus classique est son aspect **nanosstructural**.
- le **MIM (Metal Injection Molding)** qui permet de réaliser des petites pièces de géométrie complexe en grandes séries, en particulier dans les domaines de l'horlogerie, lunetterie, automobile et connectique. La technologie du MIM est une **technologie hybride**, faisant appel à des technologies d'injection utilisées en **plasturgie**, et au frittage sans compression, emprunté à la métallurgie des poudres
- la **compression dynamique ou compression grande vitesse (CGV)** est une **technologie émergente et pré industrielle**. Le procédé est une forme de compression uniaxiale en matrice, qui diffère du procédé classique par la façon dont la force de pressage est appliquée (adiabatique). La CGV permet d'améliorer la densité et la précision des pièces, de réduire le retour élastique à



Source : Innovméca d'après Cetim - 2005

l'éjection et de modifier favorablement les conditions de frittage ainsi que les microstructures finales des pièces (Source : Bulletin du Cercle des Métaux, Mars 2005).

Le graphique ci-avant positionne les principales technologies de mise en forme en métallurgie des poudres, selon la masse des pièces et la taille des séries obtenues.

La métallurgie des poudres, en particulier par compaction isostatique à chaud, serait une des voies envisagées pour élaborer un matériau permettant de répondre au cahier des charges très technique du projet Euratom HTR. L'autre option étudiée aujourd'hui consiste à placer un échangeur avant la turbine. Un gap de 100°C reste aujourd'hui à franchir pour atteindre les 850°C. La connaissance actuelle de la modélisation des contraintes (corrosion, irradiation, oxydation) à haute température est de plus extrêmement faible, et les données expérimentales très lacunaires.

Il y a cependant une **idée forte à retenir** : certains projets impliquent l'étude de plusieurs options, mais il est souvent **nécessaire de passer à des essais en vraie grandeur pour des pièces vitales**. Les budgets sont très élevés et empêchent les industriels de se lancer seuls, sur fonds propres, dans des recherches incertaines à horizon de production 2025. En particulier **le nucléaire** est un enjeu fort pour les entreprises françaises qui doit être **pris en considération au plan national**.

D'autre part il existe des applications à forts enjeux pour des pièces mécaniques soumises à d'importantes contraintes, comme les engrenages ou les transmissions, en particulier pour les marchés de l'automobile, de l'aéronautique ou de l'énergie.

⑦ **Le soudage « friction stir welding » (FSW)**

Le soudage par friction rotative se déroule en phase semi solide, sans apport chimique. Il ne provoque ni vides ni fissures, mais nécessite un outillage spécifique.

La friction de l'outil sur les pièces provoque un ramollissement de la matière qui entre dans une phase pâteuse. L'outil pénètre alors dans le plan de joint, à l'interface entre les pièces à souder et mélange intimement les matières des deux pièces par une opération combinée de forgeage et d'extrusion du métal.

L'outillage nécessaire est cependant très spécifique et ne permet de réaliser l'opération que sur des surfaces de forme spécifique.

Le procédé FSW permet une très haute qualité de soudage pour les alliages d'aluminium et des essais sont en cours pour le plomb, le titane, le magnésium et le cuivre. La France dispose de solides compétences en Lorraine, mais les leaders sont les Anglais (The Welding Institute, Cambridge) et les Allemands qui disposent de compétences uniques en machines outils.

Cette technologie d'assemblage permet indirectement de mieux maîtriser la corrosion et la durabilité des pièces, et s'applique particulièrement bien aux marchés aéronautique, ferroviaire et de la construction navale. Les leaders sur ces marchés sont respectivement les Américains, les Japonais et les Norvégiens.

⑧ **Le soudage hybride**

Le soudage hybride consiste à combiner dans une zone d'élaboration commune un faisceau laser avec un arc électrique conventionnel (TIG ou MIG/MAG). La synergie résultante des deux procédés de soudage favorise la stabilité de l'arc, augmente la vitesse de soudage et les tolérances d'accostage, ainsi que l'amélioration de la qualité du cordon de soudure.

La soudabilité des alliages n'est cependant que partiellement maîtrisée.

La technologie de soudage hybride permet d'envisager des gains de productivité significatifs et un allègement possible (de façon indirecte).

La France est en retard par rapport à l'Allemagne, les USA, le Japon. En effet, les compétences françaises existent sur tous les maillons nécessaires (métallurgie, mécanique, informatique) mais il y a de profondes lacunes en robotique. « Le parc des robots installés dans l'industrie manufacturière française s'établissait, en 2003, à 26.137 unités, contre 50.043 en Italie et 112.700 en Allemagne » (*Herman Verbrugge, responsable du groupe robotique du Sympap, source : Les Echos, mars 2005*).

2.3. Les technologies et thèmes prometteurs

Les membres du Comité de Pilotage ont également retenu des technologies et thèmes d'enjeux *a priori* moins importants, plus émergents ou prometteur potentiellement à plus long terme :

Des technologies d'**assemblage** dont le champ d'application est plus limité en raison de fortes contraintes techniques méritent une attention particulière :

- le **soudage laser** est prometteur, en particulier en Allemagne, mais il existe un frein lié à la difficulté du positionnement du faisceau et de l'accostage
- le **collage** sans COV se développe mais des réticences subsistent, liées à la faible productivité du procédé (immobilisation nécessaire des pièces assemblées). Il existe cependant de belles opportunités liées à l'assemblage multimatériel par collage
- l'**assemblage multimatériel** est un moyen de faire émerger sur des applications spécifiques des matériaux nouveaux **non viables seuls** (intermétalliques, MMC, amorphes par exemple) en les associant à un alliage traditionnel. Tout doit rester ouvert comme procédé : co-laminage, co-forgeage, dépôts soudure, laser, plasma, placages (explosion, CIC).

Des technologies de **production de nouveaux matériaux** dont l'industrialisation est encore marginale devraient faire l'objet d'un soutien particulier :

- les **composites** et les **composites à matrice métallique** (CMM) se développent pour des applications à haute valeur ajoutée comme l'aéronautique ou l'énergie, mais le matériau est très difficilement transformable. L'usinage des CMM, leur mise en œuvre, l'application de procédé de fonderie est particulièrement délicat et décourageant aujourd'hui
- les **mousses métalliques** émergent mais très peu d'applications sont aujourd'hui envisagées. On constate même un abandon de la technologie par des industriels comme Renault, malgré des propriétés très intéressantes d'allègement, d'isolation thermique ou phonique, et de coût

Des technologies de **transformation** maîtrisées, en croissance et à applications limitées pourraient s'avérer très porteuses :

- l'**UGV** (usinage grande vitesse) ou l'**UTGV** (usinage très grande vitesse) permettent d'améliorer les performances techniques (qualité des surfaces fonctionnelles) et économiques (productivité) de l'usinage. Ils nécessitent néanmoins des investissements relativement lourds qui sont encore trop souvent prohibitifs
- enfin le **prototypage rapide** permet d'importantes réductions des temps de développement et des coûts.

Une famille de technologies liées au **respect de l'environnement et/ou du recyclage** est aussi à soutenir :

- les **technologies de tri sélectif, spécifiques au recyclage** (signature électromagnétique, tri laser...) encore peu développées, à l'instar des filières de recyclage. L'enjeu associé est cependant sociétal et motiverait la mise en place d'une **filière de recyclage multimatérial** et la promotion de l'**écoconception**. La sélectivité de ces technologies de tri doit atteindre celle de la nuance de l'alliage pour apporter une forte valeur ajoutée. D'une façon plus générale, les **écoprocédés**, de l'amont vers l'aval (analyse de cycle de vie, écoconception, gestion des ressources, gestion des déchets, recyclage, réduction de l'émission de COV, tri sélectif multimatérial et valorisation) sont particulièrement porteurs
- une famille de technologies respectueuses de l'environnement de **dépôt pour pièces mécaniques** est à promouvoir. La substitution au chrome hexavalent et aux métaux lourds de façon plus générale est en effet un enjeu environnemental majeur.

3. L'ADÉQUATION DES TECHNOLOGIES AUX BESOINS DES INDUSTRIELS

Les technologies et thèmes identifiés permettent de répondre aux besoins des industriels. Ces technologies et thèmes représentent des **potentiels de marchés importants** et doivent être **soutenus prioritairement**. Le tableau ci-après présente les besoins fonctionnels et les marchés prioritaires retenus par les membres du Comité de Pilotage. Les cases marquées en bleu indiquent les besoins identifiés comme stratégiques.

Technologies et thèmes stratégiques / premier niveau de priorité

	Assembler	Maîtriser la durabilité, les propriétés mécaniques, la corrosion	Résister aux frottements et à l'usure	Alléger ou réduire l'épaisseur	Tenir aux hautes températures	Réduire les coûts de production	Ecoconception, impact sociétal, développement durable, maîtrise du cycle de vie
Aéronautique	①②③④ ⑦⑧	①②③④⑤		②③④			
Automobile	①②③④ ⑦⑧			②③④		①②③④	①②③④⑤
Nucléaire	①②③④ ⑦⑧				②③④⑤		
Industrie mécanique		①②③④⑤	③④⑤				
Construction navale		①②③④⑤					
Énergie					②③④⑤		
Emballage							①②③④⑤

- ① procédés d'élaboration
- ② Conception nouveaux alliages et matériaux métalliques
- ③ Modélisation multi échelle
- ④ Bases de données expérimentales
- ⑤ Procédé de traitement de surface propre en ligne, et à froid
- ⑥ Métallurgie des poudres
- ⑦ Soudage FSW
- ⑧ Soudage hybride

Source : Nodal Consultants

Technologies et thèmes stratégiques / second niveau de priorité

	Assembler	Maîtriser la durabilité, les propriétés mécaniques, la corrosion	Résister aux frottements et à l'usure	Alléger ou réduire l'épaisseur	Tenir aux hautes températures	Réduire les coûts de production	Ecoconception, impact sociétal, développement durable, maîtrise du cycle de vie
Aéronautique					②③④⑤	①②③④	①②③④⑤
Automobile		①②③④⑤					
Nucléaire		①②③④⑤					①②③④⑤
Industrie mécanique				②③④		①②③④	①②③④⑤
Construction navale				②③④		①②③④	①②③④⑤
Énergie		①②③④⑤					
Emballage	①②③④ ⑦⑧	①②③④⑤		②③④		①②③④	

- ① procédés d'élaboration
- ② Conception nouveaux alliages et matériaux métalliques
- ③ Modélisation multi échelle
- ④ Bases de données expérimentales
- ⑤ Procédé de traitement de surface propre en ligne, et à froid
- ⑥ Métallurgie des poudres
- ⑦ Soudage FSW
- ⑧ Soudage hybride

Source : Nodal Consultants

SYNTHÈSE ET RECOMMANDATIONS

1. PRÉLIMINAIRE

La métallurgie et le travail des métaux couvrent un champ très vaste (diversité des matériaux concernés, des procédés et technologies d'élaboration et de mise en œuvre, et des domaines d'applications), et concernent 5 grands secteurs aux morphologies spécifiques :

- la sidérurgie et la première transformation de l'acier
- la production et la première transformation de métaux non ferreux
- la fonderie
- les services industriels du travail des métaux
- les produits métalliques

L'importance stratégique nationale de la métallurgie est considérable. En effet ce secteur industriel englobe en France 45.000 entreprises (en majorité des PME de moins de 50 personnes) et emploie directement 400 000 personnes. Il concerne 35% des preneurs d'ordre et 20% des donneurs d'ordre et représente 1.800.000 emplois directs ou indirects, dont 220.000 ingénieurs et cadres.

Le contexte national et international de la métallurgie est en profonde évolution. Parmi les facteurs négatifs ou les menaces, on peut citer notamment :

- une concentration et une mondialisation des métiers de la métallurgie et un renforcement du contexte concurrentiel. On constate notamment l'apparition de groupes multinationaux spécialisés très puissants (exemple Timet pour le titane), le développement d'une concurrence des pays à bas coûts de main d'œuvre (Chine, Inde, Egypte) ainsi que l'apparition de nouveaux entrants sur le marché mondial (Brésil, Australie, Russie)
- le développement des matériaux de substitution (polymères et composites) et la résistance – ou le retour – des matériaux traditionnels (bois, verre)
- les tensions sur les flux d'approvisionnement, compensé en partie par le développement du recyclage
- la plus grande prise en compte des contraintes HSE et le renforcement des réglementations en matière de toxicité des produits, de l'amélioration des conditions de travail, notamment dans les pays occidentaux.

Les effets de ces différents facteurs se traduisent notamment au niveau national par :

- la diminution progressive, voire la possible disparition de secteurs entiers d'activité
- d'importantes pertes d'emplois dans la métallurgie (environ 80.000 emplois perdus entre 1989 et 2003)
- des avantages concurrentiels qui tendent à s'estomper
- un certain désintérêt des jeunes pour les métiers de la métallurgie, et le risque de non renouvellement des compétences
- l'étiollement de grands laboratoires de recherche en métallurgie qui renforce le manque de visibilité internationale

Les industriels clients ont pourtant manifestés des besoins que la métallurgie et le travail des métaux peuvent satisfaire. Il existe de réelles opportunités à saisir, et il est indispensable de mettre en place une stratégie de développement axée sur l'innovation, pour permettre la rentabilité à moyen et long terme des métiers de la métallurgie et renforcer ainsi leur compétitivité.

2. RECOMMANDATIONS

A partir des trois premières phases de l'étude qui confrontent l'offre technologique aux besoins et attentes du marché, les membres du Comité de Pilotage ont pu établir des propositions de recommandations ayant pour objectif général de soutenir la filière nationale de la métallurgie et du travail des métaux, et qui visent plus particulièrement à :

- améliorer la compétitivité de la filière métallurgie
- conquérir de nouveaux marchés de croissance
- stimuler la démarche d'innovation dans la filière métallurgie
- favoriser les partenariats industriels clients/fournisseurs
- améliorer la visibilité des compétences
- attirer, conserver et renouveler les compétences dans la filière métallurgie
- améliorer l'image du secteur de la métallurgie

Pour atteindre ces objectifs, Il est proposé la **mise en œuvre des huit recommandations suivantes**, qui sont détaillées ci-après :

- utiliser judicieusement les dispositifs de soutien et de financement régionaux, nationaux et européens existants
- créer un site web recensant les acteurs de l'innovation en métallurgie pour améliorer la visibilité des compétences et l'image du secteur, et encourager les partenariats
- diffuser un guide pratique d'innovation pour stimuler la démarche d'innovation dans la filière métallurgie, en particulier pour les PME
- mettre en œuvre un plan de formation pour conserver et développer les compétences françaises en métallurgie et développer une visibilité internationale
- engager des actions de promotion auprès des institutions nationales européennes pour que la métallurgie soit davantage associée aux PCRD
- soutenir des actions de communication sur la métallurgie pour revaloriser l'image de la filière et attirer davantage de jeunes diplômés
- saisir les opportunités de développement à l'international dans les pays émergents à forte croissance
- mettre à contribution les chercheurs, ingénieurs et experts techniques en fin de carrière pour assurer la transmission des compétences en métallurgie

2.1. Utiliser judicieusement les dispositifs de soutien et de financement régionaux, nationaux et européens existants

Les objectifs de cette proposition sont d'améliorer la compétitivité de la filière métallurgie, de favoriser les projets innovants en métallurgie par une approche marchés et de stimuler l'innovation par des actions coopératives.

Il est recommandé d'identifier et de faire la promotion auprès des acteurs de la métallurgie des outils et organismes nationaux et européens existants, en particulier :

- Réseau National Matériaux et Procédés (ANR)
- Pôles d'excellence et de compétitivité, Systèmes Productifs Locaux (SPL)
- Future Agence de l'Innovation Industrielle
- Plateformes technologiques européennes
- Oséo-Anvar, centres techniques industriels impliqués en matériaux (Cetim, CTIF, CTICM, Cetiati, IS)

Il est également recommandé de pérenniser l'action d'agences locales comme l'ARAMM, les CriTT et le CNRT matériaux, très actives dans le domaine de la métallurgie et des matériaux, grâce à un soutien accru de la DGE

Ces actions de promotion pourraient être réalisées l'organisation de séminaires et rencontres et des opérations de communication.

Il serait souhaitable d'améliorer la coordination et la mise en réseau de l'ensemble des dispositifs régionaux, nationaux et européens, dont l'imbrication est très complexe et laisse souvent perplexe les innovateurs qui ne sont pas suffisamment placés au centre de ces aides.

Quelques pistes de réflexion sont à étudier : comment coordonner les projets matériaux dans les futurs pôles de compétitivité et d'excellence ? Comment permettre aux donneurs d'ordre en aéronautique spatial et systèmes embarqués en Midi-Pyrénées et Aquitaine de nouer des partenariats avec des métallurgistes en région Lorraine, par exemple sur un projet de soudage FSW ?

2.2. Créer un site web recensant les acteurs de l'innovation en métallurgie

La création d'un site web recensant les acteurs de l'innovation en métallurgie doit permettre aux acteurs de la filière métallurgie de mieux se connaître, de se rencontrer plus facilement et de nouer davantage de partenariats, en exploitant l'annuaire de l'innovation en métallurgie. Il permettrait le recensement des acteurs et compétences originales dans une optique de partenariat.

L'annuaire de l'innovation (acteurs, marchés, produits et technologies) dans la métallurgie sera mis en ligne sur un site web interactif et modifiable directement par les acteurs recensés, et éventuellement lié ou intégré au site de la SF2M.

Les acteurs de la métallurgie, le CETIM et la SF2M (si intéressé) pourraient participer à sa mise en place. La réalisation du site internet pourrait être confiée à un cabinet conseil, l'hébergement pourrait être assuré par la SF2M ou un autre serveur et administrateur, la mise à jour par les acteurs concernés. Il est nécessaire d'identifier un sponsor puis de préparer un avant projet, définir un cahier des charges et le présenter à des hébergeurs potentiels, en s'inspirant d'une proposition faite par l'ARAMM.

2.3. Diffuser un guide pratique d'innovation pour stimuler la démarche d'innovation dans la filière métallurgie

La diffusion d'un guide pratique d'innovation doit permettre de stimuler la démarche concrète d'innovation au sein de la filière métallurgie en particulier auprès des PME.

Il est recommandé d'élaborer un outil d'auto-diagnostic d'innovation pour les dirigeants de PME et responsables de laboratoires de la métallurgie, intégrant une méthode de réflexion et d'action et un guide des aides disponibles et des informations spécifiques utiles à la pratique de l'innovation dans la métallurgie.

La réalisation de ces outils pourrait être confiée à un prestataire, en collaboration avec Oseo-Anvar, et financée par Oseo-Anvar.

Les CCI, Drire, DGE et CriTT pourraient diffuser le guide d'innovation pour la métallurgie auprès des patrons de PME, en collaboration avec Oseo-Anvar. Une publication par le DGE serait envisageable.

2.4. Mettre en œuvre un plan de formation pour conserver et développer les compétences françaises et améliorer leur visibilité internationale

La mise en œuvre d'un plan de formation permettrait de conserver et développer les compétences françaises dans la filière métallurgie et améliorer leur visibilité internationale (export, marché, partenariats).

On propose de définir un plan pour la formation en métallurgie. Pour cela, il serait opportun de :

- Identifier les besoins qualitatifs et quantitatifs des industriels en formation auprès des fédérations professionnelles
- Créer un « groupement des écoles en matériaux / métallurgie » rassemblant les principales formations identifiées dans l'annuaire de l'innovation dans la métallurgie pour bénéficier d'une masse critique nécessaire à leur visibilité internationale (comme le GEA pour l'aéronautique)
- Proposer à la CE, dans le cadre des actions de coordination du PCRD, des partenariats et des mises en réseau avec les grandes universités européennes et internationales leaders en matériaux et métallurgie, et identifiées dans l'annuaire pour des programmes de coopération universitaires communautaires.

Des pistes de réflexion apparaissent à ce stade, il serait notamment important de réfléchir à la façon de :

- Promouvoir auprès des entreprises de métallurgie et leurs donneurs d'ordre le soutien technique et financier de « modules métallurgie », en particulier au travers des contacts industriels des écoles.
- Promouvoir une offre de formation continue des ingénieurs et techniciens, notamment technique, dans les CTI ou les universités et écoles (Cnam par exemple) ; mais aussi en innovation, propriété intellectuelle, intelligence économique, veille technologique, analyse fonctionnelle et écoconception, par les Drire et les CCI, pour les PME. Le Ministère de l'Éducation Nationale et de la Recherche pourrait prendre en charge cette proposition d'action, en collaboration avec Oseo-Anvar et la DGE.

2.5. Engager des actions de promotion auprès des institutions nationales européennes pour que la métallurgie soit davantage prise en compte dans les PCRD

L'objectif de cette proposition de recommandation est de promouvoir la prise en compte explicite de la métallurgie dans les PCRD, y compris dans les thématiques hors NMP.

Un groupe technique national en métallurgie à caractère transversal, pourrait être créé en s'inspirant de celui mis en place pour la plateforme chimie. Il serait composé de :

- représentants français de la plateforme acier

- représentants français des acteurs et utilisateurs de l'acier
- représentants institutionnels concernés

L'action est urgente, car elle doit s'articuler avec le calendrier du 7^e PCRD (fin 2005 au plus tard)

Le groupe technique national pourrait s'assurer de la prise en compte par la plateforme, des thèmes et technologies prioritaires identifiés par la présente étude.

2.6. Soutenir des actions de communication sur la métallurgie pour revaloriser l'image de la filière et attirer davantage de jeunes diplômés

L'objectif de cette proposition est de revaloriser l'image de la métallurgie dans le public et chez les professionnels pour conserver et développer les compétences (experts, élèves et étudiants)

Des actions sont à définir afin de revaloriser à l'échelle européenne l'image de la métallurgie, actuellement qualifiée de « low/middle tech », polluante, bruyante et vieillissante.

Il faut pour cela mettre en avant (et s'appuyer sur) les concepts de développement durable, d'innovation technologique, de recyclage, d'environnement et d'écoconception, par une communication adaptée et ciblée.

Par ailleurs la métallurgie peut être valorisée en communiquant sur les applications finales dont l'image est très valorisante, par exemple l'aéronautique et le spatial, l'automobile, les grands ouvrages (Viaduc de Millau) plutôt que sur le matériau lui-même.

Les grands métallurgistes européens (de la plateforme acier notamment), les grands donneurs d'ordre européens et les écoles ayant une formation en métallurgie pourraient s'associer pour mettre en œuvre un plan de communication à l'échelle européenne.

2.7. Saisir les opportunités de développement à l'international dans les pays émergents à forte croissance

Cette proposition de recommandation a pour objectifs d'améliorer la compétitivité des industries par l'innovation technologique, de maîtriser les délocalisations, de profiter de la forte croissance dans les pays émergents, et de renforcer l'attractivité de la France.

La publication d'un guide de développement à l'international au profit des PME françaises de la filière métallurgie, permettrait d'identifier des opportunités spécifiques en terme de marchés et de partenariats dans les pays émergents (Chine, Brésil, Inde, PECO).

Ce guide pratique serait particulièrement destiné aux PME de la fonderie, du travail des métaux et des produits métalliques, particulièrement sensibles aux délocalisations de leurs donneurs d'ordre (dans une large part du secteur automobile).

Il vise également à répondre aux exigences des grands donneurs d'ordre vis-à-vis de leur sous-traitant, par une démarche de développement sur les marchés extérieurs.

Des acteurs comme UBIFrance, COFACE, AFII, CCI et DGE pourraient prendre en charge cette proposition de recommandation, assistés par un prestataire. Il apparaît nécessaire de lancer une étude financée par la DGE dont l'objectif est de quantifier les évolutions et de donner une indication sur les

tendances (échéance de 10 ans) de la croissance dans les pays émergents, en collectant notamment des données quantitatives (COFACE, UBIFrance).

2.8. Mettre à contribution les chercheurs, ingénieurs et experts techniques en fin de carrière pour assurer la transmission des compétences en métallurgie

L'objectif de cette recommandation est d'assurer la pérennité des compétences techniques pour améliorer la compétitivité industrielle.

On recommande d'encourager le statut de « senior expert », sur le modèle de l'initiative du Cercle des Métaux pour assurer la transmission des connaissances sur une période transitoire.

Enfin, on propose de généraliser l'initiative du Cercle des Métaux à d'autres régions par leur accès aux écoles techniciens et ingénieurs, par leur rôle de tuteur des apprentis et des jeunes ouvriers et techniciens et dans la formation continue.

D'autres pistes de réflexion pourraient être approfondies :

- Le transfert des connaissances et des compétences pourrait être amélioré en facilitant la mobilité dans les deux sens des chercheurs entre l'entreprise et la recherche publique et s'inscrire dans la loi d'orientation de la recherche
- La carrière d'expert technique doit être revalorisée dans les entreprises et dans les écoles pour éviter les pertes de connaissances techniques
- Mettre à plat et faire évoluer dans un sens plus flexible le dispositif permettant le travail des retraités.



DIRECTION GÉNÉRALE DES ENTREPRISES