

LES INDUSTRIES MÉTALLURGIQUES

La métallurgie est la science des matériaux qui étudie les métaux, leurs élaborations, leurs propriétés, leurs traitements. Par extension, on désigne ainsi l'industrie de la fabrication des métaux et des alliages, qui repose sur la maîtrise de cette science.

DÉFINITIONS



La définition de la métallurgie a largement évolué au cours du XIX^{ème} siècle. À partir des forgerons et leur accumulation de connaissances empiriques, la métallurgie est devenue au XIX^{ème} siècle une science et dans le contexte de la révolution industrielle (et dans l'inconscient collectif), devenue synonyme d'acier, de hauts fourneaux, de laminoirs, de tréfileries, pour devenir ensuite une activité industrielle intense qui se préoccupe aussi de solutions de pointe, d'alliages spéciaux pour l'aéronautique, l'électronique, le bâtiment, l'automobile, le nucléaire et d'innombrables autres usages.

Ainsi, la métallurgie, en 1840, se définit comme « la science qui apprend à connaître la manière de traiter les minerais qui sont fournis par l'exploitation des mines. L'exploitation et la métallurgie font partie des sciences mécaniques, et peuvent être réunies sous le nom de science des Mines, qui se subdivise ensuite en exploitation des

mines et en métallurgie. Le mineur extrait les minéraux par des procédés mécaniques; le métallurgiste les traite par une suite de procédés chimiques et mécaniques. Retirer par des procédés chimiques, exécutés en grand, de la manière la plus économique et avec le moins de perte possible, les parties utiles que renferment les minerais fournis par le mineur, tel est le problème de la métallurgie rationnelle (...) L'affaire principale du métallurgiste est toujours la connaissance de l'art de traiter les minerais; mais s'il veut s'élever au-dessus de la simple routine, il ne doit pas rester étranger à plusieurs autres sciences accessoires, surtout quand il veut se former à devenir administrateur ou directeur d'usines. Les mathématiques, la physique, la chimie, la minéralogie, l'exploitation des mines, l'architecture, l'aménagement des forêts, le dessin, la jurisprudence et les finances, sont des sciences à étudier, les unes dans toute leur étendue, les autres dans quelques-unes de leurs parties seulement ».



ACCEPTION MODERNE

Début XXI^{ème} siècle, dans une définition qui le distingue d'un pur physicien ou d'un pur chimiste et qui correspond à la réalité des laboratoires publics et industriels, « le métallurgiste, formé à la physique, à la chimie et à la mécanique, au minimum sait lire et utiliser un diagramme de phases (sans croire que celui-ci dit tout sur l'alliage), connaît l'existence et propriétés des défauts cristallins responsable de la plasticité et du transport de matière, ainsi que les fondements théoriques et pratiques de la rupture et de la corrosion : qui utilise ces compétences sur la face expérimentale ou sur la face théorique de la métallurgie, ou mieux, sur les deux; et qui possède une culture suffisamment large pour, connaissant la composition d'un alliage métallique, avoir déjà l'intuition des principales de ses propriétés ».

En raison de son passé plusieurs fois millénaire et de l'ampleur de ses applications, la métallurgie est parfois considérée comme une activité plus proche des arts et métiers que d'une activité scientifique rigoureuse. Empruntant à la physique, à la mécanique, à la chimie, et aux mathématiques, elle a contribué à créer la science des matériaux et elle continue à la nourrir d'exemples, de concepts, et de méthodes

expérimentales et théoriques. Le succès de la métallurgie tient en cinq mots : « l'abondance des métaux dans la croûte terrestre, leur grande malléabilité, la capacité qu'ils offrent de modifier leurs propriétés mécaniques par des traitements thermomécaniques, l'extraordinaire maîtrise des technologies associées ; enfin la conduction — électrique et thermique — caractéristique des métaux et alliages et le magnétisme de certains d'entre eux ».

Actuellement, le terme de « métallurgie » peut donc désigner :

l'industrie d'élaboration et de transformation des métaux :

métallurgie primaire, ou extractive : transformation des matériaux naturels (minerai) en métal ;

métallurgie secondaire : élaboration de matériaux utilisables par l'industrie, comprenant la réalisation d'alliages, les traitements thermomécaniques (laminage, trempe, revenu), la mise en forme en semi-produits (tôles, profilés. En langue française, le terme métallurgie extractive englobe les métallurgies primaires et secondaires. Pour les anglo-saxons, la métallurgie extractive ne concerne que la métallurgie primaire ;

la science étudiant les métaux (leurs propriétés,

leur transformation) : métallurgie physique, métallurgie mécanique.



HISTOIRE PRÉHISTOIRE ET ANTIQUITÉ

Le métal a été dans un premier temps travaillé comme de la pierre. Les premiers métaux reconnus par l'homme comme différents de la pierre, le cuivre et l'or, ont été trouvés dans la nature à l'état de métal et non de minerai. Parmi ces métaux natifs, le plus anciennement utilisé et travaillé (en Anatolie au VII^e millénaire av. J.-C.) est le cuivre natif. Notons que le nom du cuivre dérive de terme grec adjectif kyprios, c'est-à-dire, relatif ou en rapport à l'île de Chypre, célèbre dans l'Antiquité gréco-romaine pour ses gisements de cuivre. L'adjectif pouvait s'appliquer à tous types de productions de cuivre martelée ou de bronze, originaires de Chypre. Pour certains étymologistes, le mot « cuivre » signifierait d'abord un alliage, un « bronze de Chypre », île des mines de cuivre dans l'Antiquité, avant de s'appliquer à la matière métallique pure. Néanmoins les Romains, qui avaient hérité de la connaissance étrusque de la métallurgie, et qui connaissaient les ressources anciennes en cuivre natif de l'île ont ainsi qualifié le pur

métal rouge du nom de l'île, dédié à la déesse Vénus/Aphrodite. Les hommes commencèrent donc probablement par travailler le cuivre natif (c'est-à-dire, présent naturellement sous forme métallique) par martelage, et on peut supposer qu'ils s'aperçurent qu'il était plus facile de le travailler lorsqu'il était chauffé (phénomène de recuit : élimination des dislocations par la restauration et éventuellement recristallisation). Puis, en chauffant de plus en plus, ils s'aperçurent qu'il fondait et que l'on pouvait donc le mouler. Ceci constitua l'Âge du cuivre, vers -4000.

Une riche collection d'objets en or datant du Ve millénaire av. J.-C. a été découverte à Varna (Bulgarie) et, par ailleurs, quelques rares objets du Ve millénaire av. J.-C. également, en fer natif probablement météoritique, ont été mis au jour en Iran.

Le premier alliage fut le bronze (alliage de cuivre et d'étain). L'âge du bronze s'étend d'environ -2500 à -1000. Le cuivre natif étant rare, les hommes travaillèrent alors des minerais de plus en plus pauvres en cuivre natif, et ils s'aperçurent probablement que les faire chauffer, permettait non seulement d'extraire des minerais le cuivre par fusion, mais aussi de « transformer » le minerai en métal (réduction); c'est sans doute ainsi que sont nés les bas fourneaux, vers -1200.

Vers -1000 commença l'âge du fer mais c'est à partir du second Âge du fer qu'une industrie sidérurgique se développe véritablement en Europe⁷. Le fer fondant à beaucoup plus haute température que le cuivre (1 535 °C contre 1 084 °C), on superposa couches de charbon de bois et couches de minerai de fer afin d'atteindre sa température de fusion. La réduction du minerai dans les bas fourneaux était imparfaite et



donnait naissance à un bloc d'aspect spongieux (le massive ou la loupe) que l'on martelait pour le débarrasser de ses impuretés. Pendant longtemps, les archéologues ont estimé que les premiers à utiliser le fer furent les Hittites. Puis on a estimé que la métallurgie du fer était née en Syrie du nord, sur les piémonts du Taurus dans une région susceptible de fournir du minerai et des forêts (pour le charbon nécessaire à la production du fer)⁸. Des travaux récents mais encore discutés font remonter la toute première métallurgie du fer entre la fin du III^e et du I^{er} millénaire av. J.-C. en Afrique.

En Amérique, avant l'arrivée des Européens, les amérindiens ont développé une métallurgie de divers métaux (or, cuivre, argent, étain, et même du platine, inconnu des Européens), mais n'ont jamais travaillé le fer à de rares exceptions près (les Inuits ont ainsi travaillé le fer météorique).

Dans toute la suite de l'antiquité, seuls quelques métaux furent utilisés et pour certains, seulement travaillés. N'étaient connus que sept métaux : l'or, le mercure, le plomb, l'argent, le fer, le cuivre et l'étain. De la découverte des premiers métaux (l'or et le cuivre), jusqu'à la fin du XVII^e siècle, seulement douze métaux et métalloïdes furent découverts. Quatre d'entre eux, l'arsenic (XIII^e siècle), l'antimoine (1560), le zinc, et le bismuth (1595), furent découverts aux XIII^e–XIV^e

siècles. Le prochain métal découvert sera le cobalt en 1735 puis le bismuth en 1750. Actuellement, on en compte 82.

MOYEN ÂGE

L'utilisation de moulins à eau pour assurer le soufflage permit d'atteindre de plus hautes températures. C'est ainsi que vers 1450, on réalisa la première coulée de fonte avec un haut-fourneau.

LES TEMPS MODERNES

La sidérurgie connaît son plus fort développement à la fin du XVIII^e siècle, ce qui permit la révolution industrielle. La production en masse d'acier permit la réalisation de machines à vapeur et donc, le pompage des eaux dans les mines.

DE NOS JOURS

De nombreuses recherches se font davantage sur les traitements appliqués aux métaux que sur la préparation de ceux-ci, notamment sans passer par des hauts-fourneaux. Par exemple, d'un point de vue biomédical, le titane est employé en biothérapie. Des traitements chimiques ou physiques comme le sablage permettent de le rendre histocompatible et font de lui le métal de référence pour les prothèses osseuses.



LES ACTIVITÉS

La métallurgie recouvre un éventail d'activités industrielles :

- ~ l'extraction du minerai et sa première transformation (minéralurgie),
- ~ le recyclage des métaux ;
- ~ la fonderie (hauts-fourneaux et affinage) ;
- ~ la fabrication de produits bruts (tôles, poutrelles, etc.) par les laminoirs ;
- ~ la transformation des produits bruts en produits semi-finis ;
- ~ la fabrication de matériel et de produits finis pour l'industrie, le bâtiment et le transport.

TROIS SPÉCIALITÉS

L'industrie de la métallurgie s'est organisée en trois spécialités principales. Chacune demande une spécialisation différente des deux autres. Il y a, d'une part, la métallurgie du fer et, d'autre part, celle des métaux non ferreux, lesquels se divisent en métaux précieux, comme l'or, et non précieux, comme l'aluminium :

- ~ la production d'acier et des alliages ferreux (sidérurgie) ;
- ~ la production des métaux non ferreux et non précieux ;
- ~ la production des métaux précieux.

L'AVENIR DE LA MÉTALLURGIE

De nombreux centres de décision (recherche et fabrication) de la métallurgie sont devenus internationaux au fil du temps. L'éloignement géographique et intellectuel entre les centres de décision, de fabrication et de recherche qui en résulte, fait que bien souvent la compétence de la métallurgie se perd en Europe, tant en recherche qu'en activité industrielle : un effort universitaire qui s'émiette, un enseignement qui s'affaïsse, des jeunes chercheurs et ingénieurs qui font défaut.

TECHNIQUES

FONTE PLEINE À LA CIRE PERDUE

La fonte pleine à la cire perdue est une technique issue du Proche-Orient antique.

Tout d'abord, on réalise en cire la forme exacte de ce qu'on veut obtenir par la suite. On réalise cette forme sans noyau interne, tout en prévoyant des conduits d'évents. Sur cette forme, on applique un lait d'argile, pour en prendre très précisément l'empreinte. Les couches successives d'argile sont de plus en plus chargées en dégraissant végétal afin de résister à de fortes températures. Une fois l'argile sèche, on pratique ensuite, un décirage en faisant chauffer doucement l'ensemble pour évacuer toute la cire.



Si cette opération n'est pas bien pratiquée, les résidus de cire pouvant entrer en contact avec le métal en fusion risquent de faire exploser le moule. Une fois le moule refroidi et vide, on verse le métal en fusion par l'attaque du moule. Il suffira ensuite de casser le moule en terre cuite pour récupérer la forme. Cette pièce devra être retravaillée (enlèvement des éventails, polissage, reprise à froid, etc.) pour obtenir la forme finale.

FONTE EN CREUX À LA CIRE PERDUE

La fonte en creux à la cire perdue est une technique issue du Proche-Orient antique. La technique est la même que la fonte pleine à la cire perdue, mais la forme en cire est, cette fois-ci, formée autour d'un noyau. De plus, lors de la formation de la chape d'argile, il faut prévoir des clous distanciateurs pour maintenir le noyau lorsque la cire est évacuée.

FONTE À LA CIRE PERDUE SUR NÉGATIF

Pour cette technique, on fabrique d'abord un modèle en argile de l'œuvre qu'on veut obtenir en métal. On forme ensuite, un moule par-dessus avant de récupérer le modèle en ouvrant ce moule. On en nappe l'intérieur de cire liquide (par application au pinceau par exemple) ou de cire appliquée aux doigts. On

place alors le noyau (maintenu par des clous distanciateurs) dans le moule avant de le refermer. Le moule est chauffé pour évacuer la cire, puis, le métal y est coulé. Une fois l'ensemble refroidi, on récupère l'objet fini avant de le retravailler, si nécessaire.

On peut découper le modèle original en plusieurs morceaux qui seront ensuite, fondus à part si l'œuvre est trop grande pour être travaillée d'un seul coup.

EMBOUTISSAGE

L'emboutissage met en forme une tôle par déformation plastique à chaud.

Cette technique se pratique, dans l'Antiquité proche-orientale, à l'aide d'un marteau couvert d'une pièce de cuir. Le lingot de métal plat est travaillé par percussion jusqu'à obtention de la forme désirée.

GRANULATION

La granulation est une technique de décoration de l'orfèvrerie étrusque. On coupe d'abord un fil de métal en petits éléments, qu'on dépose sur un support très chaud. Ils vont alors se rétracter et former des petites billes. On fixe ces petites billes par un adhésif (sel cuivre, colle de farine, peau de poisson, etc.) et auto-adhésion.

FONTE EN MOULE SEGMENTÉ

Cette technique est une technique propre aux bronziers chinois. On la retrouve importée au Japon.

On réalise l'exacte réplique du vase que l'on veut réaliser en bronze, mais en argile, forme et détails compris. On laisse sécher ou on cuit le vase d'argile, sur lequel on dépose des bandes d'argile fraîche pour prendre la forme globale et les motifs. Une fois sèches, on enlève ces bandes, obtenant ainsi, des sections indépendantes de vase, qu'on cuit ensuite. On ponce le vase-modèle en argile pour obtenir un noyau de forme plus petite et vierge de décor lisse. Sur ce noyau, on place les sections d'argile cuites avec un système d'espacement, de canaux de coulée et de canaux d'évents. Une fois le bronze coulé et refroidi, on casse les parties en argile avec un maillet. On reprend les détails à froid et on ajoute des éléments coulés séparément si nécessaire. Avec cette technique, on peut choisir d'incruster des éléments métalliques en plaçant des feuilles de métal, de cuivre rouge par exemple, dans les rainures des segments de moule. Au contact du bronze en fusion, le métal va fondre et s'unir à lui.

Métiers, pénibilité et santé au travail, impacts sanitaires, environnementaux et climatiques
Les métiers de la métallurgie sont plus dangereux et pénibles que la moyenne. Des maladies professionnelles spécifiques y sont liées, connues depuis l'Antiquité gréco-romaine au moins, dont par exemple le saturnisme induit par la métallurgie du plomb et de l'argent, et l'hydrargisme induit par la production et le travail du mercure.

En France, l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) a confirmé en 2018 que les métiers spécialisés de la métallurgie (mais derrière ceux du bâtiment et de la construction spécialisée) sont parmi les plus touchés par les cancers dits « professionnels » (plus de 11 000 cas de cancer des bronches, cancer des voies urinaires, du sein, du rein, du larynx, du sinus, du Côlon, du rectum, de la peau (hors mélanome), du système nerveux central, hémopathies lymphoïdes matures, leucémies myéloïdes diagnostiqués de 2001 à 2016).

C'est ce que montre à nouveau une étude conduite dans le cadre du Plan Cancer (2014-2019) par le réseau national de vigilance et de prévention des pathologies professionnelles (Rnv3p), étude présentée au 35e congrès de médecine et santé (5 juin 2018, à Marseille). En France pour ces cancers déclarés au début du XXIe siècle, l'amiante est incriminé dans 42 % des cas, loin devant les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP, incriminés dans 6,5 % des cas»).

L'industrie métallurgique est avec les cimenteries l'activité industrielle la plus consommatrice d'énergie et pour cette raison aussi très émettrices de certains gaz à effet de serre.

Depuis l'antiquité, c'est aussi une source importante de pollution de l'eau, de l'air et des sols par les métaux et métalloïdes, y compris sous forme de nanoparticules, qui une fois dans l'air peuvent avoir un rôle préoccupant de catalyseur susceptible de perturber la chimie de l'atmosphère.