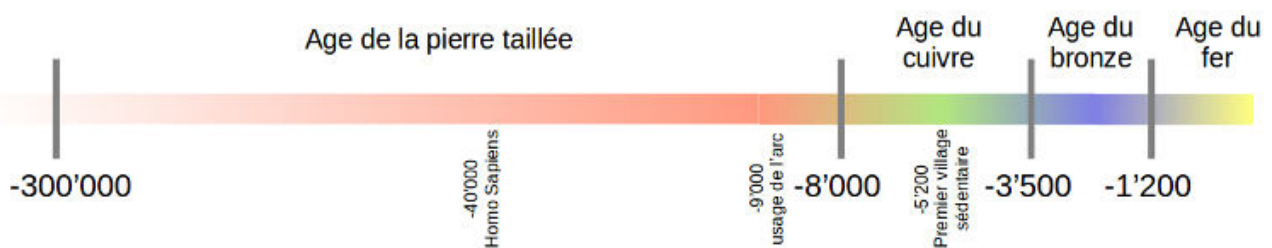


# L'acier, cet alliage "méconnu" !

*Vous connaissez tous ce nom "acier", tout au moins vous l'avez déjà entendu et à l'heure de la "high-tech", ce nom résonne comme un peu désuet. Mon propos est de montrer que l'acier, cet alliage est un "super matériaux" et que, sans lui, notre civilisation ne serait pas ce qu'elle est.*

## Revenons un petit peu en arrière

*Si l'on regarde l'évolution de notre espèce aux travers des âges, on constate que la matière utilisée par l'homme est un point de repère assez clair. Les matériaux ont rythmé notre évolution, par exemple le cuivre, le bronze et le fer sont des périodes qui jalonnent les changements techniques de nos sociétés. Il est à noter que ces évolutions dépendent également des lieux. C'est normal, les moyens de communications n'ont pas toujours été aussi efficaces que maintenant. Certaines régions sont passées de l'âge de la pierre à l'âge du fer autour de -3000 JC. Donc ce découpage en périodes distinctes n'est peut-être pas la meilleure vision des choses, mais c'est la plus répandue.*



*Le passage d'une période à une autre ne s'est pas fait brutalement, par exemple les objets en pierre taillée ont côtoyés les objets en cuivre ou en bronze.*

*L'âge de la [pierre taillée](#). Ce fut une longue période, en réalité peu définie, on utilise actuellement d'autres classements pour cette ère. C'est l'époque où l'humain a appris à façonner des objets, des outils et des décorations. Durée plusieurs centaines de milliers d'années.*

*Pour ceux qui sont intéressés, je vous conseille ce documentaire de 2014 d'Arte qui couvre*

*l'arrivée des hommes en Europe jusqu'au début de l'utilisation des métaux (durée 1h30)*

*L'âge du cuivre. Ce sont les premiers pas de l'homme pour utiliser les métaux (cuivre et or). Ces métaux malléables à froid ont permis de fabriquer des objets plus fins (plutôt de décoration) et de marquer une hiérarchie sociale d'autant que l'époque correspond au renforcement des groupes (villages) et de l'agriculture. Durée environ : 4'500 ans*

*L'âge du bronze. C'est le début de la métallurgie (on mélange deux éléments le cuivre et l'étain), il faut avoir des connaissances de cuissons (technique des fours) des matériaux et leur mélange (mines) pour obtenir des matériaux de qualité. On apprend à couler les matériaux et donc la reproduction d'objets ce qui permettra l'échange et le commerce. Durée environ : 2300 ans*

*L'âge du fer. On passe à la vitesse supérieure car bien que très répandu le fer demande des fours à haute température pour le fondre et faire un bon mélange. Nous n'utilisons pratiquement jamais le fer seul, il est toujours allié au minimum avec un peu de carbone. Il est difficile de savoir si nous sommes toujours dans l'âge du fer ou si nous avons changé de période, ce que l'on peut dire, c'est qu'à l'heure actuelle les matériaux les plus utilisés sont à base de fer. Durée environ : 3200 ans.*

*La première chose que l'on constate, c'est la très longue période pour que l'homme parvienne à fabriquer des objets par la constitution d'un brut et de son façonnage. Toute la période de l'âge de la pierre taillée, l'humanité a seulement adapté des morceaux de matière, soit en modifiant leurs formes, soit en les assemblant ou encore une combinaison de ces techniques. C'est aussi la période où la maîtrise du feu et la connaissance des fours ont évolué. Dès que les techniques de façonnage de brut (âge du cuivre) sont apparues l'évolution technique s'est accélérée, car l'humain connaissait explicitement les deux éléments de base de la métallurgie : les minerais et le feu.*

## **L'âge du fer**

*Ce métal qui fut découvert il y a 3000 ans et qui n'a pas donné son nom à cette période, n'est pas le fer, mais l'**acier ou plus justement la fonte** ! (on verra plus loin la différence) Alors pourquoi*

*parle-t-on de fer ? Comme souvent dans l'histoire humaine, l'homme réussi, avec certainement une grande part de chance, à force de monter la température des fours, a obtenu un matériau très résistant. Ce qui est sûr, c'est que l'on ne sera jamais où et quand ce nouveau matériau est apparu la première fois. Mais de quoi parle-t-on ?*

*D'un morceau de matière au fond d'un four, un résidu en quelque sorte, et surprise ce résidu est dense, dur, solide, plus solide que ce que l'on connaît. Un survol de l'histoire des fours et des essais nous indique que la maîtrise de ce nouveau matériau a vraiment commencé autour du 10<sup>ème</sup> siècle avec l'utilisation du four dit "catalan". On atteignait pas encore la température de fusion du fer (environ 1500°C) mais une température d'environ 800°C. Cette température alliée avec une technique de couche de charbon de bois avec des cendres de charbon, permit d'obtenir une matière dure et malléable car les minerais n'étaient, et de loin, pas de l'oxyde de fer pur.*

*L'amélioration des fours pour obtenir des températures toujours plus élevées, continua et au cours du 13<sup>ème</sup> siècle il arriva qu'un liquide coulait au fond du four. Ce mélange liquide fût considéré comme un mauvais résultat, rien que son nom "fer gâté" montre bien que l'on ne comprit pas tout de suite que c'était la première étape pour obtenir un acier au sens actuel du terme. Les forgerons de l'époque voulaient un "fer malléable" pour fabriquer leurs objets. Donc un mélange non définit d'oxyde de fer avec les divers éléments du minerai, et en fait, c'est le minerai qui définissait la qualité de la matière obtenue.*

*La Wallonie fut probablement le lieu de la découverte cette méthode de fabrication du fer (en fait de l'acier) en deux étapes. Méthode encore appliquée aujourd'hui.*

*Fonte du minerai de fer et coulée en lingot (comme pour le bronze), le fameux "fer gâté", la désoxydation.*

*Reprise et affinage de ces lingots, la décarburation, obtention de "l'acier"*

*Il y a beaucoup de sous-divisions pour cet âge du fer, lors des périodes d'avancées, de percées des connaissances et savoir-faire. Pour [l'âge du fer](#), je vous laisse deux noms de repère, pour la partie européenne, sans les expliquer, à vous de rechercher dans les méandres d'internet. [Hallstatt](#), [La Tène](#).*

*Voici un [rapport-livre](#) (d'environ 500 pages, tout de même !) datant de 1880, présentant l'état des connaissances de l'époque, très intéressant. Petit conseil, finissez l'article avant*

de vous plonger dans le passé ☐ .

## Fer, fonte et acier de quoi parle-t-on ?

*Nous allons définir ces trois mots qui sont importants pour la bonne compréhension de l'article.*

### LE FER

*C'est un élément chimique au même titre que l'oxygène, l'hydrogène, l'hélium, le sodium ou l'uranium. C'est l'élément numéro 26 de la table périodique des éléments, rien de mieux qu'un tour sur [Wikipédia pour faire sa connaissance](#). À noter qu'il est très répandu sur terre et qu'on le trouve principalement sous forme d'oxyde de fer, le fer pur (natif) ne se trouve que dans les météorites. Il n'est pratiquement jamais utilisé seul, car ses caractéristiques mécaniques sont médiocres. **Mais mélangé avec une très petite quantité d'autres matières, il peut devenir un alliage impressionnant de tenue, de souplesse, de dureté, etc.***



*Voilà un morceau de minerai*

*de fer, remarquez la couleur de l'oxyde de fer (couleur "rouille"). Le fer retourne toujours à son état naturel, donc on peut le considérer comme un métal écologique !*

## LA FONTE ET L'ACIER

*C'est presque la même chose ! C'est un mélange de **fer** et de l'élément chimique bien connu, le **carbone**. Donc*

***FER + CARBONE = FONTE ou ACIER***

*Quelle différence entre la fonte et l'acier, c'est une différence artificielle : le pourcentage de carbone mélangé au fer et en plus cela dépend des auteurs. Mais dans les grandes lignes on sépare généralement comme suit :*

*fer avec plus de 0,02% et moins de 2% de carbone → acier*

*fer avec plus de 2% et moins de 6.7% de carbone → fonte*

*avec plus de 6.7% de carbone c'est un peu particulier et rarement utilisé tel quel.*

*La première remarque c'est que l'on utilise des matériaux ayant plus de 94% de fer, donc presque que du fer et les aciers sont encore plus "que du fer".*

*La fonte ("fer gâté") est utilisée sous deux formes, comme élément de sidérurgie comme le premier résultat pour en faire après affinage de l'acier. Où bien comme matière pour la coulée, pour des pièces de forme. Vous la retrouver dans les anciennes baignoires, les poêles, les griffes des pelles mécaniques, les bâtis de machines industrielles, etc. Je ne parlerais pas plus de la fonte bien que c'est une matière presque identique à l'acier, il faut limiter l'ennui ☐ !*

## L'acier

*Voilà vous avez compris que ce que l'on appelle, le fil de fer, le fer à béton, la ferraille etc ne sont que des aciers mais comme ils contiennent très peu de carbone on les considère comme du fer ..... mais ce sont des aciers !!! C'est comme pour l'âge du fer, l'âge de la fonte suivit de l'âge de l'acier serait une définition plus précise mais c'est vrai que le fer l'élément principal de l'acier. Cet alliage est plus qu'essentiel pour notre monde technique. A titre d'idée, pour le monde en 2015, il fût produit 45 tonnes d'acier à la seconde.*

## COMMENT FAIRE DE L'ACIER ?

*Nous allons juste effleurer les méthodes d'obtention de produit semi-finis en acier. La première chose c'est le gigantisme des installations qu'il faut avoir à l'esprit, 45tonnes/sec cela ne se fait pas dans sa cuisine surtout qu'il faut chauffer fort, plus de 1500°C !*

*Il y a deux filières pour obtenir de l'acier :*

*la filière minerai et la filière "récupération"*

*La filière minerai, c'est la filière traditionnelle*



### 1 la mine

*C'est un truc du genre, essayez de repérer les humains sur la photo pour se faire une idée de la taille du trou. Le minerai récupéré est transporté, souvent par rail, jusqu'à l'aciérie.*



## 2 le haut-fourneau



*Ça ressemble à cela. Le terme "haut" est lié à la température bien que la hauteur de l'ensemble peut atteindre les 90 mètres. Ces fours fonctionnent sans interruption pendant une quinzaine d'années, le coût d'un arrêt est prohibitif.*

*Le but, c'est de fondre le minerai afin de séparer le fer de l'oxygène. Pour cela on utilise du carbone (le coke) comme carburant et de l'air très chaud environ 1'200°C comme comburant. Comme la combustion s'effectue à 1'600°C, on doit refroidir l'extérieur du four par de l'eau. Le chargement du four s'effectue par le haut : le minerai et le coke. On récupère en continu du liquide (la fonte) par le bas. Il y a aussi "quelques" résidus gazeux (CO, CO2 essentiellement) et des résidus solides dénommés "laitiers" qui peuvent servir pour diverses utilisations (routes par exemple).*

*Remarque : pour certain spécialiste le haut-fourneau ne fait pas partie de l'aciérie et pour d'autres oui, donc c'est à choix !*

### 3 le convertisseur

*C'est également un four où l'on introduit de la fonte et obtiendra de l'acier en sortie. Pour cette transformation, il est nécessaire d'éliminer le carbone qui provient de du four précédent (eh oui, on chauffe avec un charbon, le coke c'est du carbone pur). La fonte provenant du haut-fourneau contient environ 4% de carbone. Rien de mieux que l'oxygène propulsé dans cette fonte liquide, l'oxygène se lie facilement avec le carbone. En fin de cycle, lorsque que*



*l'on a consommé assez de carbone, on aura de l'acier : du fer avec un tout petit peu de carbone ! En réalité, en sortie des convertisseurs, il y a encore trop de carbone dans cet acier (environ 2%), mais c'est la matière première de l'étape suivante: l'affinage.*

### 4 l'affinage et la mise en forme

*Bon l'acier en que vous avez en sortie du convertisseur n'est pas directement vendable, pour trois raisons, la nuance (le type d'acier) n'est très précis, trop de carbone et on n'a que de l'acier liquide ce qui n'est pas simple à vendre ! Il nous reste donc deux étapes avant sa commercialisation :*

*L'affinage : avec des fours électriques, des gaz (oxygène, argon, etc) et des produits d'ajout (chrome, manganèse, nickel, etc), on élabore la nuance d'acier souhaitée. (voir plus bas les*



types d'aciers)

La mise en forme : nos clients veulent des profilés, des plaques, des lingots, etc mais pas d'acier liquide ! Il reste donc à le mettre en forme. On réalise cela grâce à diverses machines, des laminoirs, des presses, des étireuses, des filières, etc. ...

5 le stock de semi-finis, prêt à la vente

Pas grand-chose à dire si ce n'est qu'il soit juste suffisant et pas trop grand. Je me souviens d'une période avant 2000, les délais de livraison pour certain acier était de plus de 10 mois ☐ !

Résumé de la filière minerais

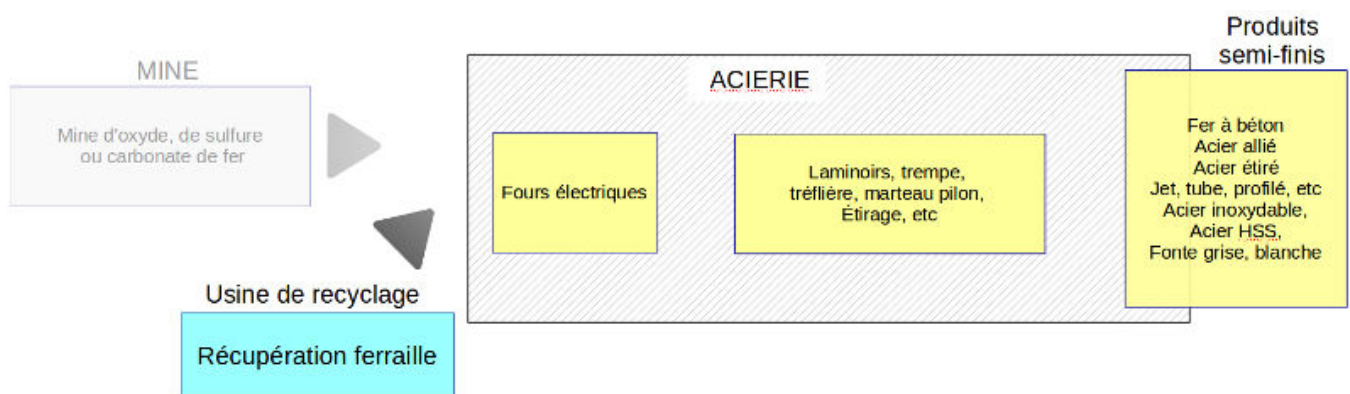
Pour visualiser cette fabrication, voici une petite vidéo (8'40)

Filière "récupération"

La "ferraille", acier très faiblement allié, généralement seulement avec du carbone peut-être facilement recyclé dans la filière minerais. Exemple de "ferraille"; les fers à béton, les poutrelles d'acier. Le problème c'est que de plus en plus ces éléments sont des aciers hautement élaborés, ce ne sont plus seulement des aciers au carbone. On trouve des fers à béton en acier inoxydable ou en acier galvanisé (recouvert de zinc) par exemple. Ce phénomène est encore plus marqué dans les aciers marins, automobiles ou dans l'industrie en général. Ceci pour dire, la récupération des aciers, contrairement à l'idée reçue, devient toujours plus complexe et demande toujours plus de température. Pour séparer les éléments entrant dans la composition d'un acier inoxydable, c'est à dire avec du chrome (point de fusion 1'900°C), un haut-fourneau (max 1'800°C) ou un convertisseur (1'600°C), n'arrivera pas à fondre ce chrome. Heureusement, on a des fours électriques (arcs, électrodes, etc) qui peuvent atteindre de très hautes températures (>3'000°C). Mais l'énergie électrique est une énergie chère.

Cette filière “récupération” peut englober la “ferraille de récupération” et/ou le minerai (qui peu le plus, peu le moins). Elle est donc constituée de fours électriques et parfois au gaz ou vieux pneus, tous combustibles qui permet d’atteindre de hautes températures. Chacun de ces fours est spécialisé dans un domaine. Il est à noter que ces types de four se trouvent dans la filaire minerai, plus traditionnelle, pour l’élaboration des aciers fortement alliés, ils sont utilisés pour l’affinage et le typage des aciers.

J’espère que vous comprenez maintenant le sens des guillemets pour la filière “récupération”. Cette récupération, selon les derniers que j’ai retrouvés (sujet à discussion), serait d’environ 15%, pas bien élevé, mais pensez que le fer retrouve naturellement son état antérieur. L’acier d’une vieille voiture accidentée dans un précipice par exemple, disparaîtra assez rapidement, ce qui ne sera pas le cas d’une voiture moderne (diversité des matériaux), et je ne parle pas d’une voiture électrique ou la taille des batteries posent le problème du recyclage.



## Les types d’aciers

Il y en a des milliers, donc pas question de les passer en revue, nous allons juste survoler quelques catégories. Pour ce faire je vais utiliser les normes européennes pour la désignation des aciers. Énormément de pays produisent de l’acier et chacun, pour diverses raisons souvent de protectionnisme, utilisent sa propre désignation (USA, Inde, Chine, Japon, etc. ...). Les pays européens ont pour leur part deux types de désignation : la nomenclature numérique ou la nomenclature symbolique.

Quelques sites qui présentent ces désignations : [Wiki](#), [Tableau comparaison](#), [Exemple](#)

[catalogue](#), ...

Je ne vous parlerais que de la nomenclature symbolique ([norme NF EN 10027-1](#)) et encore je ne prendrais que la **symbolique par la composition chimique**. Pour information l'autre nomenclature symbolique, trie les aciers selon leur utilisation et caractéristiques mécaniques. L'intérêt de la nomenclature symbolique chimique est de montrer l'extraordinaire complexité de l'élaboration des aciers et quelque part l'empirisme lié à la métallurgie, encore à l'heure actuelle. Nous sommes incapables de prévoir ce que sera un mélange de produits (d'éléments chimiques), nous n'avons aucun modèle théorique générique qui prédit que si vous mettez 1% de carbone dans du fer pur vous obtenez un alliage qui ne correspond en rien aux éléments de départ ! Le seul moyen : ESSAYEZ !

On définit trois catégories aciers, notez ce qui est amusant, c'est que l'on parle d'acier allié alors qu'un acier est déjà à la base un alliage de fer et de carbone, donc c'est un alliage allié ! □

- ◆ acier non allié
- ◆ acier faiblement allié
- ◆ acier fortement allié

## ACIER NON ALLIÉ

C'est donc à priori un mélange de fer et de carbone uniquement, on considère que le pourcentage de carbone ne devrait pas excéder 1%. Il peut y avoir des traces d'autres éléments (manganèse, etc..).

Ce sont ces aciers que vous retrouvez en poutrelle, fer à béton, en profilé, etc. On les utilise également pour les [traitements thermiques](#). L'idée ; avoir une matière pas trop difficile à travailler puis suite à son façonnage, on effectue des traitements pour améliorer localement ou globalement la performance mécanique des objets. Les ressorts sont souvent fabriqués en acier non allié.

[Remarque](#) : un traitement thermique consiste généralement à chauffer un objet (ou une partie d'objet) de maintenir un peu une haute température puis de refroidir l'objet. Les éléments principaux définissant un traitement thermique sont : l'ambiance, les températures, le temps et bien évidemment les matériaux.

## ACIER FAIBLEMENT ALLIÉ

*Aucun élément autre que le fer (le carbone reste dans la fourchette 0,02%-1.2%) ne doit avoir une teneur supérieure à 5% (plus limitatif pour le manganèse max 1%). On cherche par l'ajout des divers éléments (nickel, manganèse, silicium, aluminium, chrome, magnésium, plomb, béryllium, zinc, etc.) à améliorer les caractéristiques des aciers. Une meilleure tenue à la corrosion, une ténacité plus élevée, une résistance à la flexion plus élevée, etc. Dans ce type d'aciers on trouve par exemple les aciers à roulement à billes ou les aciers pour la soudure. Certains de ces aciers peuvent être également améliorés par traitement après façonnage.*

## ACIER FORTEMENT ALLIÉ

*Ce sont des aciers (mélange fer-carbone) augmentés d'autres éléments dans des proportions conséquentes. Prenons les plus connus que sont les aciers inoxydables. Leur composition est complexe car vous trouverez du fer, du carbone (là rien de nouveau) du chrome (plus de 10.5% pour avoir le "titre" d'acier inoxydable), du nickel au minimum. Dans ces aciers fortement alliés vous trouverez aussi les aciers à outil, c'est à dire les matériaux de base pour la construction des outils qui pressent, coupent, forment les objets en acier. La quantité de types d'acier est vraiment énorme et je ne pense pas qu'une personne arrive à les appréhender tous.*

## Pourquoi est-il si méconnu ?

*Parce qu'il est présent partout dans notre environnement, nous ne le voyons plus ! Il est connu depuis plus d'un millier d'années, il fait partie de notre vie. Lorsque on trouve un nouveau matériau, qui a une caractéristique meilleure que lui, c'est une révolution. On parle tout de suite de "super matériau", un des exemples emblématiques : le titane. Attention le titane est un matériau fantastique, mais souvent si on le compare (caractéristiques physiques) à un acier, il perd de sa superbe. Il est différent et ses caractéristiques mécaniques très intéressantes, sont parfois meilleures que l'acier, mais une caractéristique ne fait pas LA solution.*

*L'acier restera longtemps le fer de lance de notre société □ ).*

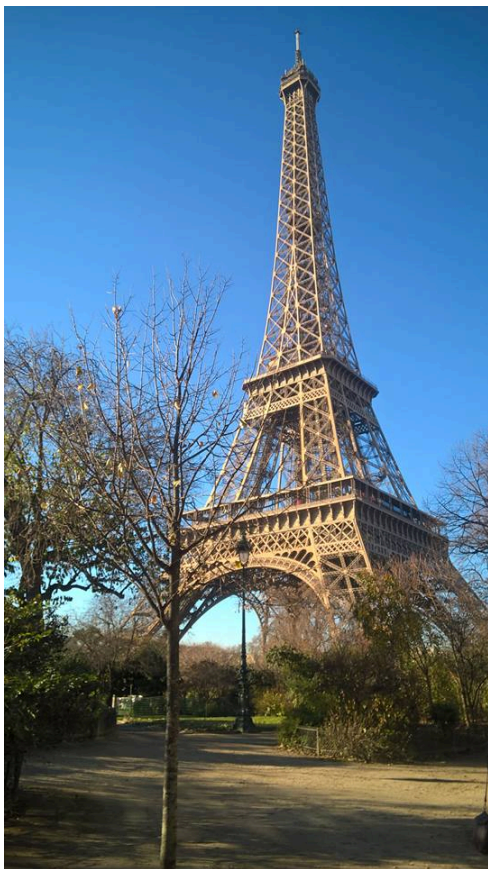
*Il est vrai que l'on devrait parler des aciers plutôt que d'acier, car un fil de fer n'a rien voir avec un acier à outil si l'on compare leurs caractéristiques physiques.*

## Le fer c'est seulement avec du carbone ?

*Non ! Le fer peut s'allier avec d'autres éléments sans de carbone, par exemple les ferro-nickel et les ferro-tungstène, etc . "Ferro" (fer en latin) avec d'autre élément. Exemple d'utilisation pour les ferro-tungstène (de 2 à 80% de tungstène) : plaquette de coupe, trépan de forage, outils d'usure, filament lampe incandescente, etc*

## Conclusion

*Regardez autour de vous et retrouvez ce formidable matériau qu'est l'acier, vous serez surpris de son omniprésence.*



*Et là, c'est*

*une maille de fer !*

