

L'acier dans tous ses états

STÉPHANE GASTON^[1]

Après le cuivre, l'aluminium, la fonte, nous nous intéressons à l'acier, un matériau aux grandes capacités omniprésent dans notre quotidien.

mots-clés

lycée
professionnel,
lycée
technologique,
matériaux,
postbac, prébac

C'est vers le ^ve siècle de notre ère que les Celtes découvrent la transformation du fer en acier. Ils sont les premiers à réaliser des ustensiles et des armes forgés à partir d'un mélange de fer et d'acier. Ce nouveau métal sera appelé plus tard, vers le Moyen Âge, l'acier de Damas.

Dans les années 1720, le Français René-Antoine Ferchault de Réaumur (1683-1757) établit les principes de base de la sidérurgie moderne : il est notamment le premier à démontrer que l'acier contient du carbone.

Entre 1740 et 1750, un Anglais, Benjamin Huntsmann, réussit à obtenir pour la première fois de l'acier par fusion du fer, lui-même produit par affinage de la fonte, dans un creuset d'une capacité de 10 à 12 kg environ, chauffé au coke soufflé (agglomérat charbonneux obtenu par distillation de la houille). C'est l'origine de l'acier fondu.

Mais la véritable révolution fut sans conteste l'invention du convertisseur en 1855. C'est une sorte de cornue géante dont les parois intérieures sont en briques réfractaires et dans laquelle on affine la fonte en fusion, en faisant circuler un violent courant d'air au travers de celle-ci, la transformant ainsi directement en acier.

Vers la fin du ^{xix}e siècle, le développement de l'électricité a des répercussions sur l'élaboration de l'acier. Le four à arc électrique voit le jour, et, au début du ^{xx}e siècle, les hauts-fourneaux sont électrifiés. Plus tard encore apparaissent les fours

à induction qui remplaceront partout les vieux creusets.

Composition et propriétés

Les aciers étant des alliages de fer, leur densité est proche de celle de ce dernier (qui va de 7,32 à 7,86), suivant leur composition chimique et leurs traitements thermiques. Celle d'un acier inoxydable est typiquement un peu supérieure à 8 ; elle est par exemple d'environ 8,02 pour le type AISI 304 (X2CrNi18-10).

Ils ont un module de Young d'environ 210 000 MPa, indépendamment de leur composition. Les autres propriétés varient énormément en fonction de leur composition, du traitement thermomécanique et des traitements de surface auxquels ils ont été soumis.

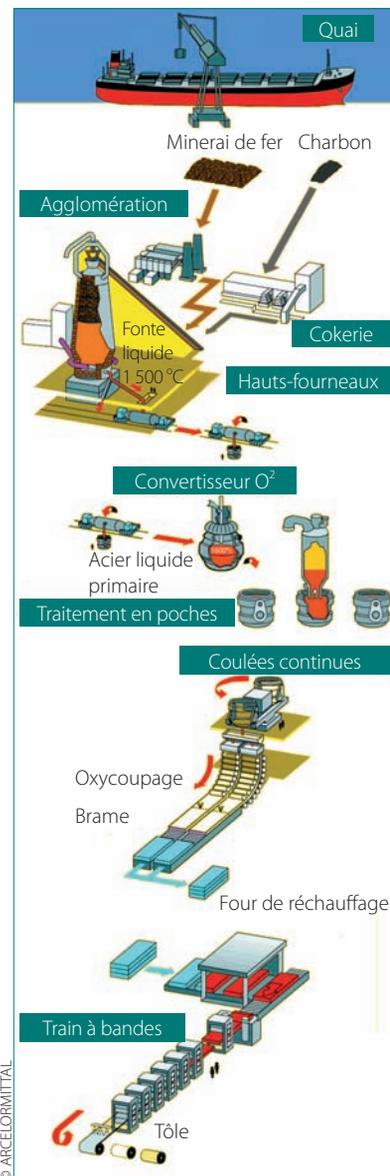
Les éléments chimiques présents dans l'acier peuvent être classés en trois catégories :

● **Les impuretés**

Originellement présentes dans les ingrédients de haut-fourneau, elles permettent l'élaboration de la fonte qui servira à fabriquer l'acier. Ce sont le soufre (S) et le phosphore (P) du coke, mais aussi le plomb (Pb) et l'étain (Sn) d'aciers de récupération ainsi que nombre d'autres éléments à bas point de fusion comme l'arsenic (As) ou l'antimoine (Sb).

● **Les éléments d'addition**

Ajoutés de manière intentionnelle, ils confèrent au matériau des propriétés de résistance à des sollicitations mécaniques ou à des agressions chimiques ou à une combinaison des deux. Les principaux sont le manga-



1 La production de l'acier en filière fonte

nèse (Mn), le chrome (Cr), le nickel (Ni) et le molybdène (Mo).

● **Les éléments d'accompagnement**

L'aciériste les utilise afin de maîtriser les diverses réactions physico-chimiques nécessaires à l'obtention en final

[1] Professeur de construction mécanique au lycée Denis-Papin de La Courneuve (93).



2 L'électrode incandescente d'un four à arc électrique

d'un acier conforme à la spécification. Ce sont notamment l'aluminium, le silicium, le calcium...

Les procédés d'élaboration

● La filière fonte

Le minerai de fer additionné de coke

passant par un haut-fourneau produit de la fonte, qui, après élimination d'une partie des impuretés et du carbone qu'elle contient, donnera l'acier.

Pour cela, on utilise un convertisseur à oxygène qui va chauffer la fonte à 1 670 °C grâce à des tuyères qui insufflent de l'oxygène. Dans le

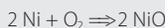
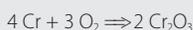
convertisseur, on insère 20 tonnes de ferrailles, par-dessus, 220 tonnes de fontes, et, après chauffage, on obtient environ 240 tonnes d'acier. Puis l'oxygène insufflé se combine avec le carbone pour former un gaz, l'oxyde de carbone, débarrassant ainsi la fonte d'une partie de son carbone 1.

Les inoxydables

Les aciers inoxydables sont présents dans d'innombrables objets de la vie quotidienne de tous les domaines : industrie mécanique, agroalimentaire, chimie, transports, médecine, chirurgie, etc.

Ce sont des aciers, alliages de fer et de carbone, auxquels on ajoute essentiellement du chrome qui, au-delà de 12 à 13 %, produit la résistance souhaitée à l'oxydation. Contrairement à ce que l'on croit généralement, ce métal est très réactif du point de vue chimique, et il est en particulier très... oxydable, mais son oxyde forme une véritable peau à la fois transparente et protectrice. Allié au fer et au nickel, il provoque la formation d'un composé de surface oxydé capable de ralentir ou même d'arrêter totalement la corrosion.

Le chrome et le nickel s'oxydent ainsi :



Le fer ne réagit pas avec le dioxygène, c'est donc le fer qui est rendu inoxydable et non l'acier véritablement **a**.

Pour être classé dans la catégorie inoxydable, un acier doit contenir au moins 12 % de chrome. Voici les aciers inoxydables les plus courants :

- X2CrNi18-10 (304L) : réalisation d'ouvrages toutes qualités

- X2CrNiMo17-12 (316L) : industries chimique, pharmaceutique, pétrolière, agroalimentaire **b**, milieu nautique...

- X8Cr17 (430) : électroménager, éviers...

- X6CrTi12 (409) : échappements automobiles, fourneaux...

Outre la résistance à la corrosion qui les caractérise, les aciers inoxydables possèdent une autre qualité déterminante : la résistance mécanique.

La plupart des aciers inoxydables utilisés sont conformes à des normes (analyse chimique en pourcentage pondéral) européennes (norme EN 10088 en particulier) ou américaines (normes de l'AISI), pour lesquelles L signifie *low carbon* (bas carbone), H *high carbon* (haut carbone) **c**.

D'autres normes existent, mais sont peu connues internationalement.



a Un lot de vis oxydées



b Un meuble de plonge

Afnor NF A 35573 (France)	EN 10027 (européenne)	AISI (États-Unis)	Composition										
			% C	% Mn	% P	% S	% Si	% Ni	% Cr	% Mo	Autres		
Z10CN18-09	X12CrNi18-09	302	0,12	2	0,04	0,03	1	6 à 8	16 à 18	—	—		
Z10CNF18-09	X12CrNi18-08	303	≤ 0,12	2	0,06	≥ 0,15	1	8 à 10	17 à 19	0,6	—		
Z6CN18-09	X5CrNi18-09 1.4301	304	0,07	2	0,04	0,03	1	8 à 10	17 à 19	—	—		
Z2CN18-10	X2CrNi18-09 1.4307	304 L	0,03	2	0,04	0,03	1	9 à 11	17 à 19	—	—		
Z8CN18-12	X5CrNi19-11 1.4303	305	0,1	2	0,04	0,03	1	11 à 13	17 à 19	—	—		
Z12CNS25-13	X7CrNi23-14	309	0,2	2	0,04	0,03	1	11 à 14	22 à 25	—	—		
Z12CNS25-20	X12CrNiSi25-20	310	0,15	2	0,04	0,03	1	18 à 21	23 à 26	—	—		
Z6CND17-11	X5CrNiMo18-10 1.4401	316	0,07	2	0,04	0,03	1	10 à 12,5	16 à 18	2 à 2,5	—		
Z2CND17-12	X2CrNiMo18-10 1.4404	316 L	0,03	2	0,04	0,03	1	10,5 à 13	16 à 18	2 à 2,5	—		
Z6CND17-12	X10CrNiMoTi18-10 1.4571	316 Ti	0,1	2	0,04	0,03	1	10,5 à 13	16 à 18	2 à 2,5	Ti : 5 C ; Ti : 0,6		
Z6CNT18-10	X10CrNiTi18-09 1.4541	321	0,12	2	0,04	0,03	1	10 à 12	17 à 19	—	—	Ti : 5 C ; Ti : 0,6	
Z6C13	X7Cr13 1.4003	403	0,08	1	0,04	0,03	1	—	11,5/13,5	—	—		
Z12C13	X10Cr13 1.4006	410	0,08/0,15	1	0,04	0,03	1	—	11,5/13,5	—	—		
Z12CF13	X12CrS13	416	0,08/0,15	1,5	0,06	≥ 0,15	1	0,5	12 à 14	0,15/0,6	—		
Z20C13	X20Cr13 1.4021	420	0,16-0,25	≤ 1,5	≤ 0,04	≤ 0,015	≤ 1	—	12	—	—		
Z30C13	X30Cr13	420 B	0,3	1	0,04	0,03	1	—	12 à 14	—	—		
Z15CN16-02	X22CrNi17 1.4057	431	0,1/0,2	1	0,04	0,03	1	1,5/3	15/17	—	—		
Z100CD17	X105CrMo17	440 C	1	1	—	—	—	—	17	—	—		
Z8C17	X8Cr17 1.4016	430	0,08	1	0,04	0,03	1	0,5	16/18	—	—		
Z10CF17	X12CrMoS17	430 F	0,12	1,5	0,06	≥ 0,15	1	0,5	16/18	0,2/0,6	—		

C : Carbone ; Mn : Manganèse ; P : Phosphore ; S : Soufre ; Si : Silicium ; Ni : Nickel ; Cr : Chrome ; Mo : Molybdène ; Ti : Titane

c Le tableau d'équivalence des principales désignations d'acier inoxydable

● La filière électrique

On peut également produire de l'acier par recyclage, à partir de la récupération de l'acier des voitures, des bateaux et autres objets courants.

Cette filière offre l'avantage de consommer deux fois moins d'énergie que la filière fonte. On place la ferraille dans un four électrique dans lequel on plonge des électrodes qui permettent de fondre le métal **2**.

L'acier produit par chacune des deux filières est appelé *acier sauvage*. Il sera dirigé dans la station d'affinage pour être enrichi en éléments d'addition (aluminium, manganèse, silicium, etc.), et parfois du carbone en petite quantité pour renforcer les liaisons fer-carbone) selon sa destination. Les subtilités de mélanges permettent d'obtenir des nuances d'acier qui sont exprimées dans un diagramme appelé *diagramme fer-carbone*.

Les coulées continues donnent des produits élémentaires – *billettes* (longues poutres), *blooms* (longues poutres de grosses sections) et *brames* (longues et larges poutres). Ces éléments sont ensuite déformés et étirés en laminage à chaud **3** pour obtenir des poutrelles, des rails **4**, des fils, des plaques, des tôles d'environ 2 mm d'épaisseur. La section de ces produits semi-finis est en général supérieure à 2 500 mm².

Ensuite, l'étape du laminage à froid permet de réduire l'épaisseur des tôles à quelques dixièmes de millimètre **5** et de fabriquer des profilés avec une section préformée (en I, en H, en U...), des palplanches **6**, des câbles **7**...

Les différentes familles

Les aciers se classent en plusieurs familles **8** :

● Les aciers non alliés

De types S (d'usage général) ou E (utilisés en construction mécanique), ils ne conviennent pas aux traitements thermiques. Ils servent en structure métallique, construction automobile... et peuvent être assemblés ou soudés.



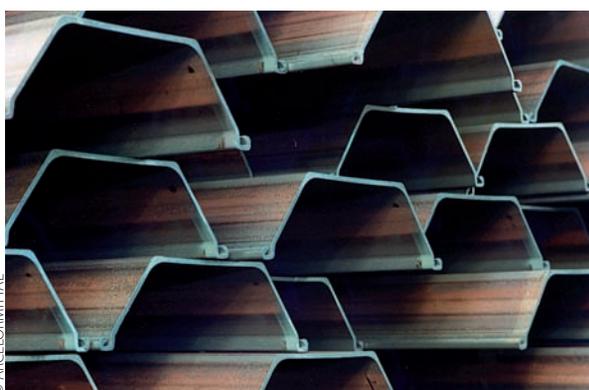
3 Une plaque laminée à chaud



4 Des produits semi-finis



5 Des bobines de tôle de 5/10



6 Des palplanches



7 Un câble tréfilé

Aciers non alliés d'usage général

S + R_e
E + R

ex. : S235
ex. : E295

Aciers faiblement alliés

% carbone × 100 + éléments d'alliage + % × facteur

ex. : 35NiCrMo16

Aciers fortement alliés

X + % carbone × 100 + éléments d'alliage + %

ex. : X10CrNi18-8

Éléments d'alliage	Facteur
Cr, Co, Mn, Ni, Si, W	4
Al, Be, Cu, Mo, Nb, Pb, Ta, Ti, V, Zr	10
Ce, N, P, S	100
B	1 000

8 Les différentes familles d'acier et leur principale désignation

Aciers à très haute résistance	Aciers à moyenne résistance		Aciers à plus faible résistance
1 800 Mpa < R	1 300 Mpa < R < 1 500 Mpa	900 Mpa < R < 1 200 Mpa	R < 900 Mpa
Aciers faiblement alliés refondus E-35 NCD 16 E-40 CDV 12	Aciers à durcissement mécanique par écrouissage Z12 CN 17.07 et Z10 CNT 18.10 (inox austénitique) XC65 (acier au carbone)	Aciers faiblement alliés traités (trempe + revenu) 35 CD 4, 15 CDV 6, 30 NCD 16, 35 NCD 16, 40 CDV 12, 35 NC 6	État recuit ou hypertrempé
Aciers fortement alliés de type maraging à durcissement structural E-Z2 NKD 18		Aciers fortement alliés de type inoxydable martensitique à durcissement structural Marval X 12 15-5 PH, 13-8 MO	Aciers faiblement alliés de type inoxydable austénitique et austéno-ferritique Z2 CN 18.10 Z10 CNT 18.10 Z12 CN 17.07 Z2 CNDM 22.05
Aciers ressort 45 SCD 6 Z12 CN 18.10		Aciers fortement alliés de type inoxydable martensitique Z8 CND 17.04 Z15 CND 17.03 Z30 C 13	Aciers au carbone XC 48, XC 65

9 Le classement des aciers en fonction de leur niveau de résistance

● **Les aciers faiblement alliés**

Ne contenant aucun élément d'addition dépassant 5 % en masse, ils sont utilisés pour des applications nécessitant une haute résistance. Par rapport aux aciers non alliés, ils permettent la trempe de pièces épaisses et une amélioration des caractéristiques du matériau.

Un exemple de désignation normalisée est donné en **8** : 35NiCrMo16. Le premier chiffre, 35, représente le pourcentage de carbone multiplié par 100 ; cet acier contient donc 0,35 % de carbone. Les lettres, les éléments d'addition, nickel, chrome et molybdène. Les chiffres suivants expriment les pourcentages respectifs des éléments d'addition multipliés par un facteur dépendant de leur nature ; cet acier comprend 4 % de nickel (4 × facteur 4 = 16), ainsi que du chrome et du molybdène, mais en faible teneur.

● **Les aciers fortement alliés**

Destinés à des usages bien spécifiques, ils contiennent au moins un élément d'addition dépassant les 5 % en masse. On y trouve des aciers à outils, réfractaires, *maraging* (très haute résistance, utilisés dans l'aéronautique), Hadfield (très grande résistance à l'usure), à roulements...

Parmi les aciers fortement alliés, on distingue les aciers inoxydables (lire en encadré), qui offrent une très bonne résistance à la corrosion. Ils sont à base de chrome ou de nickel-chrome.

On peut classer ces aciers en fonction de leur niveau de résistance **9**.

Les éléments d'addition

Selon les propriétés désirées, on peut ajouter ou enlever des éléments d'alliage :

● **Le bore**

Renforçant la cohésion des joints de grains, on en ajoute parfois en faible teneur (quelques centaines de parties par million en masse).

● **Le soufre**

Fragilisant l'acier, par précipitation de sulfures aux joints de grains, on l'enlève lors de l'élaboration de l'alliage d'acier.

● **Le nickel et le chrome**

Protégeant de la corrosion en venant former une couche passive, ils sont présents dans les aciers dits inoxydables.

Il y en a bien d'autres : le magnésium, l'aluminium, le silicium, le titane, le manganèse, le cobalt, le zinc, l'yttrium...

Les traitements de surface

Les traitements de surface sont nombreux et visent à renforcer, en surface, l'alliage d'acier en fonction de son utilisation.

Le traitement thermomécanique associe un traitement thermique – un cycle chauffage-refroidissement (trempe, revenu...) – à un traitement mécanique – une déformation provoquant de l'écrouissage (laminage, forgeage, tréfilage...).

Un second traitement de surface peut être appliqué, qui consiste à modifier la composition chimique ou la structure d'une couche extérieure d'acier. Cela peut être :

- une réaction en phase liquide (chromatation, carburation, nituration en bain de sel, galvanisation, parkérisation...);
- une réaction en phase gazeuse (nituration en phase liquide) ;
- une projection d'ions (implantation ionique) ;
- un recouvrement (peinture, émail).

D'HIER...

La dame de fer

Il y a 120 ans, en mai 1889, la tour Eiffel ouvrait ses portes au public, quelques jours après l'inauguration de l'Exposition universelle dont elle était la vedette incontestée et l'attraction la plus spectaculaire.

« La Tour est l'œuvre principale de M. Eiffel, et apparaît comme un symbole de force et de difficultés vaincues », écrira Gustave Eiffel lui-même, en toute modestie, dans sa *Biographie scientifique et industrielle*. Elle est aussi au centre de tous les débats architecturaux et artistiques.

L'idée de construire une tour de 300 mètres agite les esprits européens et américains depuis les années 1830. C'est pour célébrer à la fois le centenaire de la Révolution française et les vertus de l'industrie que l'idée va se concrétiser à l'occasion de l'Exposition universelle.

Contrairement à ce que l'on pourrait croire, Gustave Eiffel est d'abord réticent. Lorsque deux de ses ingénieurs, Maurice Koechlin et Émile Nouguier, lui présentent en 1884 un projet de grand pylône métallique, il ne manifeste pas beaucoup d'intérêt. Ce n'est qu'après avoir vu les embellissements dessinés par Stephen Sauvestre, architecte, qu'il s'enthousiasme et reprend l'idée à son compte.

Au même moment, l'architecte Jules Bourdais lance l'idée d'une « tour-soleil » en maçonnerie, à la fois phare monumental pour la capitale et sanatorium dont l'altitude est censée procurer un air plus pur aux malades.

Le débat est acharné entre ingénieurs et architectes, entre deux conceptions de la construction. Le concours d'architecture de l'Exposition, publié le 1^{er} mai 1886, donne finalement raison aux partisans de Gustave Eiffel, puisqu'il stipule que « les concurrents devront étudier la possibilité d'élever sur le Champ-de-Mars une tour en fer à base carrée, de 125 mètres de côté à la base et de 300 mètres de hauteur ». Les réponses sont extrêmement diverses : certains placent la tour à cheval sur le pont des Invalides, d'autres l'insèrent dans le réseau de galeries d'exposition. C'est finalement Gustave Eiffel qui remporte le marché de la construction de la tour, qu'il finance presque totalement en contrepartie de la jouissance de l'exploitation de l'édifice pendant vingt ans.



© RMN (MUSÉE DORSAY) / HERVÉ LEWANDOWSKI

■ La tour Eiffel en construction

... À AUJOURD'HUI

La mémoire des formes

Parmi les alliages métalliques, il arrive de rencontrer des familles aux propriétés surprenantes, notamment les alliages à mémoire de forme (AMF). Le premier d'entre eux fut découvert par hasard dans les années 1930. Alliage d'or et de cadmium, il n'eut jamais d'application. Deux grandes familles d'AMF coexistent à l'heure actuelle : les NiTi (nickel-titane, les plus utilisés) et les alliages à base de cuivre, comme les CuAlBe (cuivre-aluminium-béryllium) ou les CuAlNi (cuivre-aluminium-nickel).

La transformation martensitique

Pour comprendre les propriétés des AMF, revenons un instant sur celles des aciers classiques. Il existe en effet dans les aciers deux phases solides (entre autres !) communément appelées austénite (à haute température) et martensite (à basse température). Elles sont de structures cristallines différentes, et l'on peut passer de l'une à l'autre par une transformation dite martensitique. Cette transformation est displacive (c'est-à-dire obtenue par un mouvement coopératif des atomes et non par diffusion, donc quasi instantanée) et consiste essentiellement en un cisaillement. Dans les aciers, la transformation martensitique, souvent obtenue lors d'une trempe, s'accompagne d'une augmentation du volume de la maille cristalline et est donc difficilement réversible. À l'inverse, dans un AMF, la transformation peut avoir lieu sans changement de volume (ou presque), ce qui permet la transformation inverse (martensite vers austénite) **a**. Grâce à ces deux transformations, directe et inverse, obtenues par une variation de l'effort appliqué et/ou de la température (variations de 20 °C autour de l'ambiante), on obtient deux propriétés étonnantes : l'effet mémoire simple sens et la superélasticité.

L'effet mémoire simple sens

Un AMF déformé à basse température est capable de retrouver sa forme initiale au chauffage ou d'exercer un effort si l'on bloque la déformation durant le chauffage. Dans ce cas, l'alliage à basse température est constitué de martensite dont les orientations de variantes sont équiprobables. Les efforts extérieurs exercés vont alors favoriser les variantes les mieux orientées, provoquant une déformation permanente. Au chauffage, comme il n'existe qu'une phase-mère austénite, l'AMF retrouve sa forme initiale **b**.

La superélasticité

Les AMF ont également la propriété de se déformer fortement de façon réversible et/ou d'exercer des efforts quasi constants sur une large plage de déformation (entre 3 et 10 % contre 0,2 % pour un acier

en élasticité classique). C'est la superélasticité (ou pseudoélasticité). Elle est due au fait que, le matériau étant initialement austénitique, sous charge, après une élasticité classique de l'austénite, la transformation austénite vers martensite a lieu, créant uniquement les variantes bien orientées par rapport aux efforts. Cette transformation s'inverse à la décharge, permettant un retour à déformation nulle **c**.

Les applications

Avec un prix au kilogramme compris entre 5 et 20 dollars (contre 1 \$ pour les aciers laminés à chaud environ) et un module de Young de 70 000 MPa (pour les NiTi), l'utilisation des AMF reste confinée à des niches industrielles.

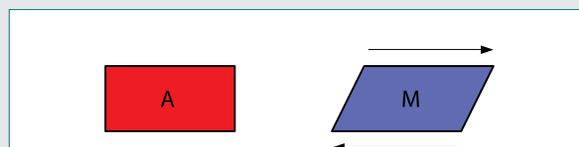
Les plus gros volumes sont destinés aux applications biomédicales : les fils d'orthodontie, les stents **d**, les agrafes chirurgicales sont par exemple réalisés dans ces matériaux pour leur propriété d'exercer un effort quasi constant sur une large plage de déformation. Les outils endodontiques (outils rotatifs souples) **e** utilisent quant à eux les capacités de grandes déformations réversibles.

Quelques autres utilisations peuvent être citées dans l'aéronautique et le spatial, par exemple les manchons d'accouplement de tubes d'avion (avec des efforts jusqu'à 50 fois supérieurs au frettage classique et une sensibilité moins grande aux variations de température) **f** ou les actionneurs de déploiement de panneaux solaires de satellites, ces deux dernières applications utilisant l'effet mémoire simple sens.

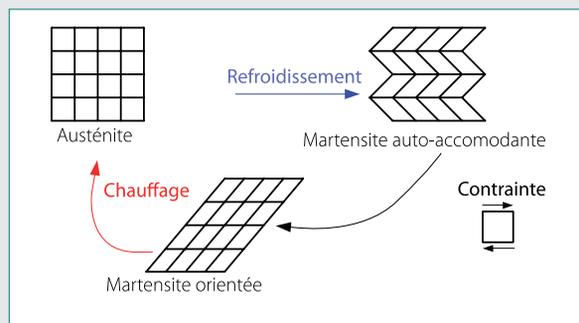
Quelques artistes ont également utilisé les AMF dans leurs œuvres, dont les plus connues sont sans doute les sculptures mobiles d'Étienne Krähenbühl.

Karine Lavernhe-Taillard

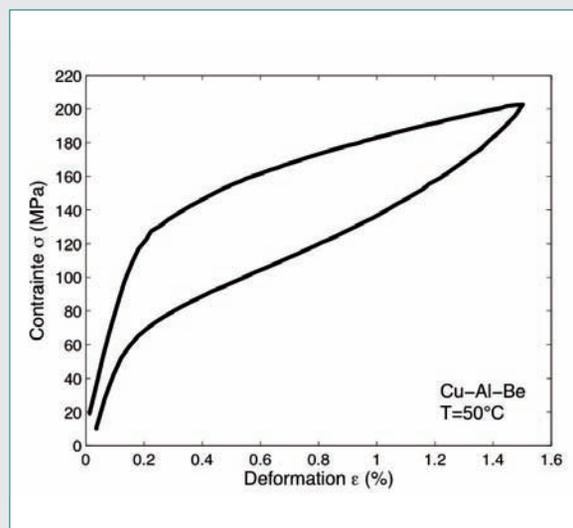
Professeur agrégé au département génie mécanique de l'ENS de Cachan (94), docteur en mécanique, auteur d'une thèse, Étude du comportement thermomécanique des alliages à mémoire de forme sous sollicitations multiaxiales complexes, disponible à l'adresse suivante : www.lmt.ens-cachan.fr/lavernhe
Courriel : karine.lavernhe@dgm.ens-cachan.fr



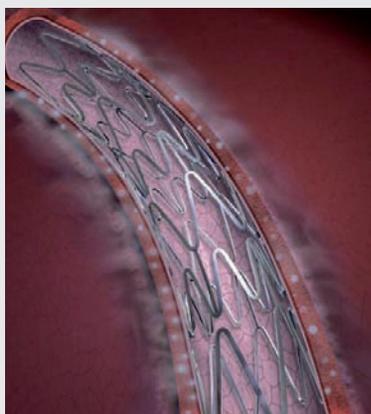
a La transformation martensitique



b Le principe de l'effet mémoire simple sens



c La superélasticité



d Un stent en NiTi. Sous l'effet de la chaleur du corps, le stent placé dans une artère s'élargit et vient soutenir celle-ci



e Des outils endodontiques, outils rotatifs souples utilisés pour les traitements canaux



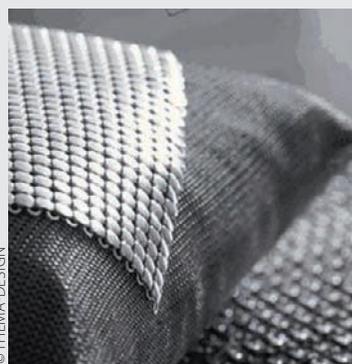
f Des manchons en NiTiNb (nickel-titane-niobium) pour l'aéronautique, ici pour accoupler des tubes de titane

La maille a toujours la cotte

Utilisée pour les armures des chevaliers au Moyen Âge, la cotte de mailles investit aujourd'hui l'univers de la décoration. Ce matériau aux multiples facettes séduit architectes et designers, qui n'hésitent pas à l'utiliser de manière très surprenante **a**. Cette matière souple, qui peut être transparente, sophistiquée ou brutaliste et jouer sur de nombreux registres ouvre aux créateurs un large champ d'expression **b**.

Mais la fonction première des cottes de mailles, c'est de résister aux outils tranchants, et c'est pourquoi elles connaissent également les faveurs des fabricants d'équipements de protection (les gants et tabliers d'abattoir, par exemple), pour lesquels leurs hautes performances mécaniques sont un gage de longévité.

Par leur constitution, elles sont incombustibles – un classement M0 qui leur ouvre les portes des lieux soumis à une réglementation stricte. Réalisées dans un acier inoxydable particulièrement résistant à la corrosion, le X2CrNiMo17-12 (316L), elles trouvent leur place en extérieur, en milieu humide ou agressif.



a Des cottes de mailles utilisées comme tissus



b La robe de mariée en cotte de mailles et broderie de la collection automne-hiver 2008-2009 de Givenchy

Autres opérations

De nombreuses techniques de formage ou d'enlèvement de matière existent, notamment :

- Le formage à froid **10**

- Le pliage

À la presse ou à la molette, il ne présente pas de difficulté particulière sur les aciers.

- L'emboutissage

Il nécessite des machines deux fois plus puissantes que celles qui servent pour l'acier doux. La pression exercée par les serre-flans doit être suffisante pour éviter les plissements, mais pas trop forte, pour éviter les déchirures.

- Le repoussage

Il ne pose pas de problème particulier, les précautions à prendre étant les mêmes que pour l'emboutissage.

- Le soudage **11**

L'acier est très apprécié pour ses propriétés de soudage. L'acier est dit homogène quand les deux pièces soudées, ainsi que le métal d'apport du joint, ont des compositions chimiques identiques ou voisines, et hétérogène dans les autres cas.

Toutes les sources de chaleur peuvent être utilisées : chimique (flammes), lumineuse (laser), électrique ou mécanique.

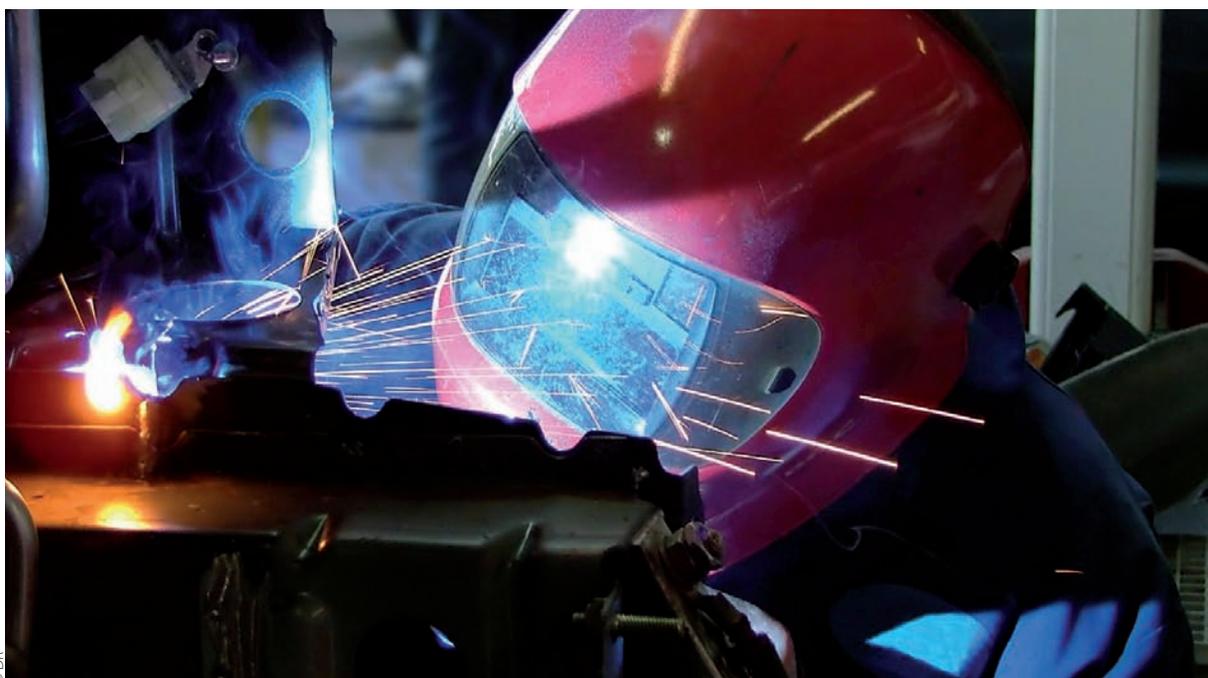
Quelques exemples d'applications

L'acier est omniprésent, et sous des formes parfois inattendues.

On le trouve dans presque tous les domaines : équipements publics (rails, signalisation), industries chimique, pharmaceutique et nucléaire (cuves, réacteurs, tuyauteries), agroalimentaire (conditionnement, meubles, ustensiles de cuisine), bâtiment (armatures **12**, charpentes, ferronnerie, quincaillerie), moyens de transport (automobile, aéronautique, ferroviaire **13**, aérospatial), médical (instruments et appareils), composants mécaniques (visserie, ressorts,



10 Le formage à froid de feuilles d'acier



11 Le soudage de l'acier

câbles, roulements, engrenages), électroménager (machines à laver **14**), outillage grand public (marteaux, burins) et de coupe (fraises, forets, porte-plaquette).

Dans l'industrie automobile, on utilise la *tôle sandwich* en insérant un film plastique très fin entre deux feuilles de tôle **15**.

Précisons que 25 % des nouveaux aciers ont été mis au point ces cinq dernières années ; c'est dire si l'acier reste compétitif et en recherche constante de progrès (lire les encadrés « La maille a toujours la cotte » et « Les aciers à mémoire

de forme »). En trente ans, la canette en acier a perdu 40 % de son poids tout en conservant sa solidité, et, si Gustave Eiffel avait construit sa tour (lire en encadré) de nos jours, elle pèserait de deux à trois fois moins lourd.

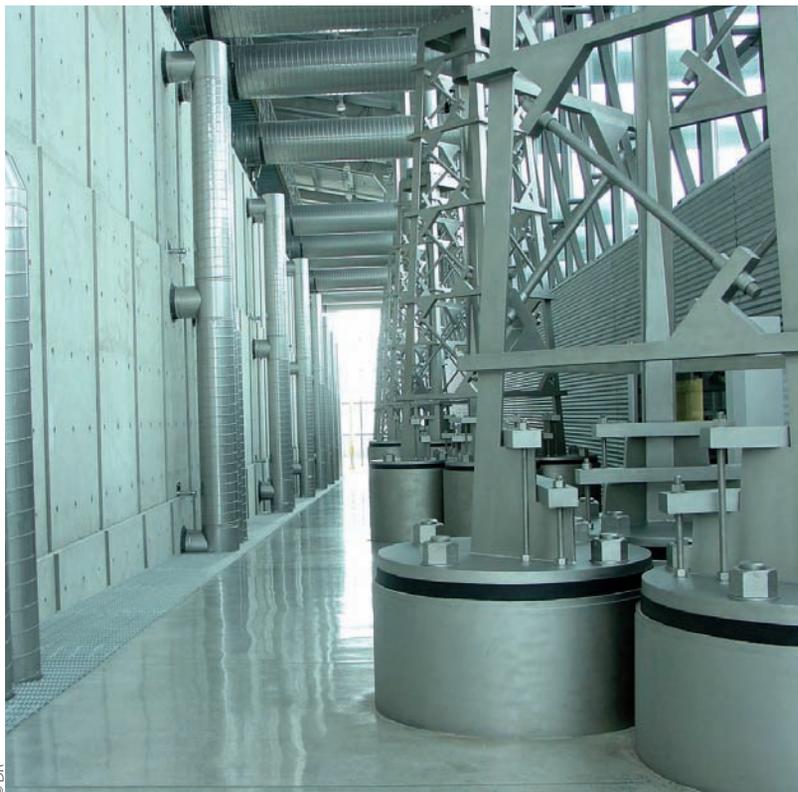
Le recyclage

L'acier est recyclable ; déjà dans l'Antiquité, les Romains récupéraient de vieilles armes pour en faire de nouvelles. C'est même le matériau le plus recyclé au monde, car le plus facile à séparer des autres matériaux : à

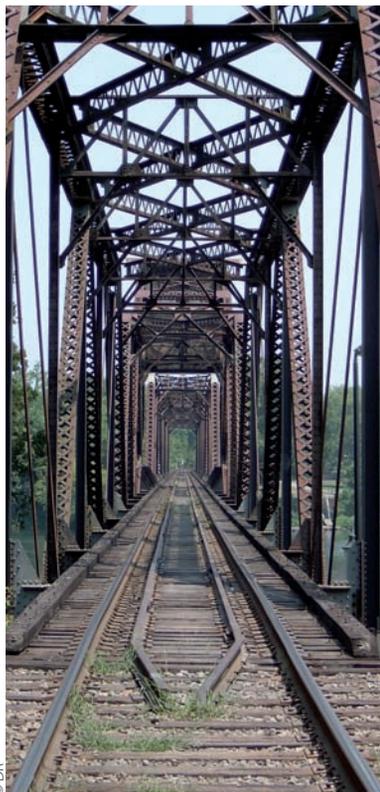
45 %, il est produit à partir d'acier usagé récupéré. Les aciéries électriques assurent un recyclage intégral, puisque leur approvisionnement est composé à 100 % de ferrailles recyclées.

Ce sont 64 % des emballages ménagers en acier consommés qui sont récupérés et recyclés chaque année **16 17**, et ce taux est en progression constante.

Recyclé ne veut pas dire second choix : les aciers utilisés pour les *boosters* de la fusée Ariane ou pour les ronds à béton de l'Arche de la Défense proviennent du recyclage ! ■



12 Un bâtiment avec structure en poutres d'acier et gaines en tubes d'acier



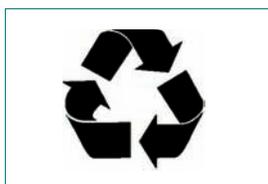
13 Un pont et une voie ferrée en poutres d'acier



14 Une cuve de machine à laver en acier inoxydable



15 Des éléments de carrosserie de voiture



16 Le logo qui signifie qu'un produit ou un emballage est partiellement ou totalement recyclable



17 Le logo « acier recyclable » qui indique la qualité magnétique de l'acier