



Ramollir les aciers pour augmenter leur **résilience** : les phénomènes de trempe et de recuit

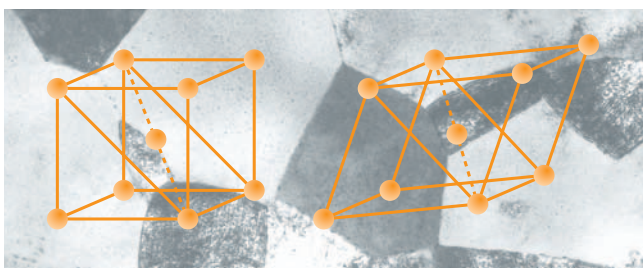
Pour durcir leurs épées, les métallurgistes de Damas savaient, au Moyen Âge, qu'il était favorable de les «recuire». Le recuit et la trempe, deux techniques proches, consistent à **porter le métal à une température où il se ramollit**, plus précisément où il change de constitution cristallographique, **puis à le refroidir pour qu'il prenne une conformation plus dure**. La légende raconte qu'après avoir chauffé leurs épées en acier, les forgerons de Damas les plongeaient dans le ventre d'esclaves pour les refroidir...

La structure obtenue par la trempe soudaine et, par conséquent, les caractéristiques mécaniques de l'acier,

sont nettement différentes de celles de l'état d'équilibre résultant d'un refroidissement lent.

Cette technique de recuit est également utilisée en informatique : pour trouver le chemin de longueur minimale reliant plusieurs centaines de points, par exemple la tournée d'un voyageur de commerce, on perturbe un chemin obtenu en augmentant la longueur de certains trajets, puis on recalcule à partir de cette nouvelle configuration un chemin total de longueur inférieure. On obtient ainsi une longueur de chemin que l'on compare à celle dont on est parti. Si elle est inférieure, on recommence la procédure à partir de ce chemin. **Là aussi, on désorganise le système pour l'améliorer.**

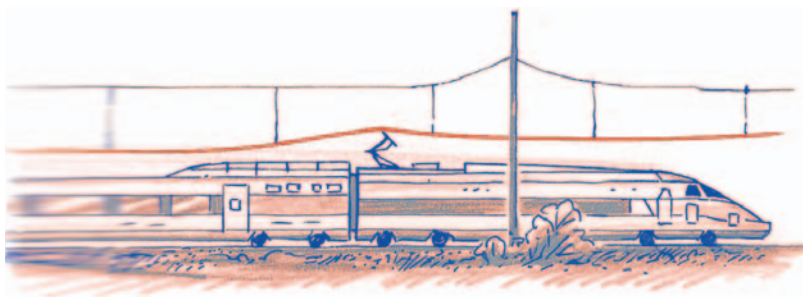
Résiliences



Les alliages à mémoire de formes plient, mais ne rompent pas

Découverts dans les années 1960, les alliages à mémoire de forme, par exemple, ceux de nickel et de titane, ont **une résilience intrinsèque**. Ils se déforment réversiblement sous le seul effet de la température. Leur secret consiste en une transition de phase de la maille cristalline, qui passe d'une forme cubique, dite austénitique, à une autre parallélépipédique, dite martensitique, quand la température diminue. **C'est la première forme qui est mémorisée**. Toute transformation mécanique de l'alliage sous sa forme martensitique est réversible : il suffit de le chauffer pour que ses cristaux reprennent leur forme initiale cubique. Plus encore, cette transition

de phase dote les alliages de propriétés de superélasticité, c'est-à-dire qu'ils supportent de façon réversible des déformations mécaniques importantes, de l'ordre de cinq pour cent. La contrainte appliquée est répartie dans la transformation des cristaux cubiques : **l'alliage ne rompt pas**. Enfin, lorsqu'on imprime à un de ces alliages en phase martensitique une forme donnée que l'on maintient pendant 20 ou 30 cycles de chauffage et de refroidissement, on oriente les défauts cristallins : la forme martensitique est alors aussi mémorisée. Au final, grâce à leurs multiples propriétés, les alliages à mémoire «se relèvent indemnes» des diverses contraintes que l'on peut leur infliger.



Une petite imperfection renforce la résistance d'un dispositif mécanique

Au Japon, les caténaires vendues par les industriels français s'usaient très vite, beaucoup plus vite qu'en France. D'où venait la résilience des caténaires françaises? Les experts étaient perplexes, jusqu'au jour où l'un d'entre eux observa la pose des pylônes portant les fils le long des rails. Le mystère s'expliqua alors par le perfectionnisme des ouvriers japonais. En France, les pylônes étaient posés avec un certain laxisme, distants d'environ cent mètres. Au Japon, cette distance était exactement mesurée. Du fait de cette régularité, un système d'ondes stationnaires de grande amplitude s'établissait et le frottement résultant

des déplacements du câble conducteur usait beaucoup les caténaires. Le défaut du dispositif était sa perfection, la solution du problème, un petit dérèglement qui empêchait l'établissement des ondes stationnaires.

La régularité temporelle peut être aussi néfaste que la régularité spatiale. On sait que les troupes ne doivent pas défiler au pas sur des ponts, sinon les vibrations induites par les chocs périodiques et simultanés risquent de le faire s'écrouler. Le pont d'Angers se serait écroulé à cause de cette synchronisation intempestive de la marche d'un régiment. La résilience est meilleure avec la désynchronisation, il faut mettre de l'imperfection pour augmenter la résilience.

Résilience

MESSAGES INDIVIDUELS	MESSAGES + CODES	MESSAGES TRANSMIS
00	000	000 BON 011 BON
01	011	001 MAUVAIS 101 BON
10	101	010 MAUVAIS 110 BON
11	110	100 MAUVAIS 111 MAUVAIS

Une fragilisation du système élimine les risques d'erreur

Le mathématicien Hamming devait faire ses calculs sur un des premiers ordinateurs... et comme il travaillait pendant le week-end, toute erreur de transmission de ses données était fatale : elle mettait l'ordinateur en panne et Hamming devait attendre le retour de l'équipe de maintenance. Comment améliorer la transmission? Il eut l'idée de dépister les erreurs en allongeant la longueur de ses messages en chiffres binaires (constitués d'une série de 0 et de 1).

Cette action est paradoxale, car l'erreur de transmission sur chaque lettre étant constante, plus le message est long, plus il y a de risques qu'un chiffre soit erroné. Ce que Hamming avait découvert, c'est qu'en ajoutant

un bit dit «de parité» à son message, il pouvait détecter une erreur de transmission. Pour un message de deux chiffres binaires, qui peut être 00, 01, 10, 11, Hamming ajoute un troisième chiffre égal à la parité du nombre de zéros (0 quand le nombre de zéros est pair ou nul, 1 quand ce nombre est impair) et obtient 000, 011, 101 et 110. Seuls les nombres appartenant à cette liste sont bons, c'est-à-dire permis. S'il y a une erreur de transmission, par exemple si 01 se transforme en 11, le chiffre transmis sera 111 et comme il ne fait pas partie de la bonne liste, il dénotera une erreur de transmission : grâce au bit supplémentaire redondant, Hamming pouvait vérifier son message pour qu'il ne bloque pas la machine et augmentait ainsi la résilience.