

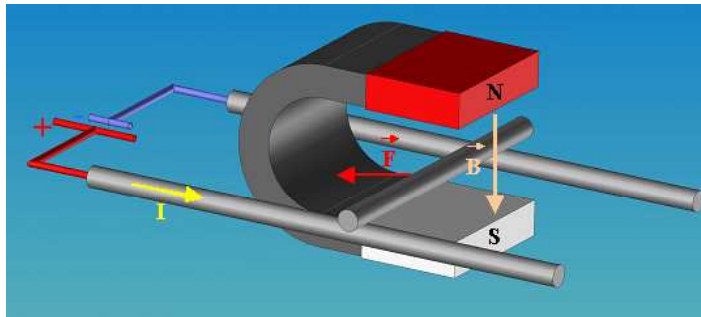
## ***Les problèmes de magnétisme rémanent sur tube pendant les opérations de soudage***

Le soudage par arc (électrode enrobée, MIG, MAG, TIG..) est couramment employé dans la fabrication et l'assemblage de tubes. Dans certain cas, ces opérations de soudage peuvent être rendues délicates, voir impossibles, s'il y a présence d'un magnétisme rémanent trop important. Nous allons tout d'abord chercher à expliquer le phénomène physique qui produit la déviation de l'arc et les problèmes que cela peut engendrer. Par la suite, nous présenterons différentes solutions pour atténuer ce phénomène.

### **I/ Explication du phénomène de déviation de l'arc**

Pourquoi l'arc est-il dévié ?

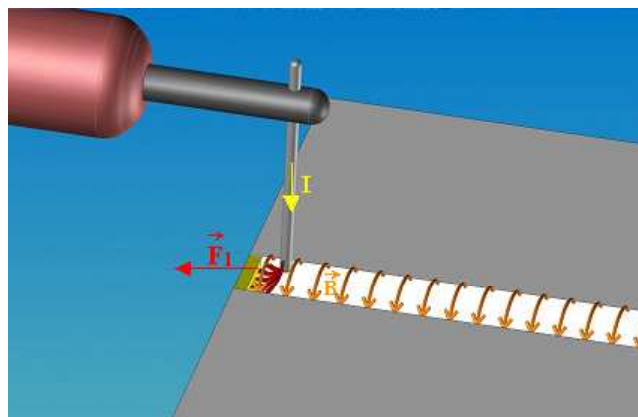
Pour réaliser une soudure par arc, il faut créer un faisceau d'électrons entre une électrode et les pièces à souder. Ce faisceau d'électrons peut alors s'apparenter à un conducteur facilement mobile dans l'espace parcouru par un courant. En présence d'une induction magnétique (B), le conducteur (faisceau d'électrons) va être soumis à une force (F) appelée Force de Laplace qui va le faire dévier.



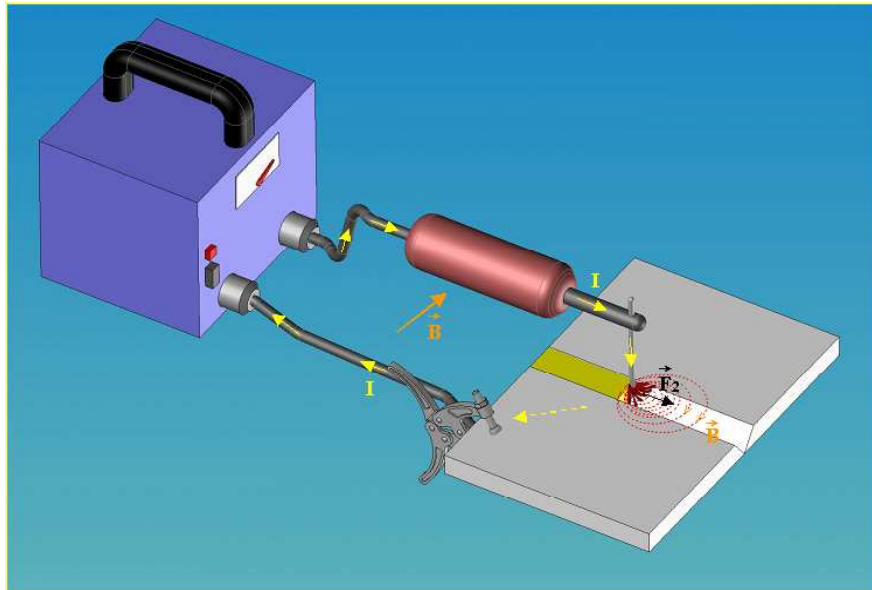
$$\vec{F} = \oint_c I \cdot d\vec{l} \wedge \vec{B}$$

Dans la pratique, la présence d'une induction magnétique dans la préparation du joint de soudure peut être liée à plusieurs raisons :

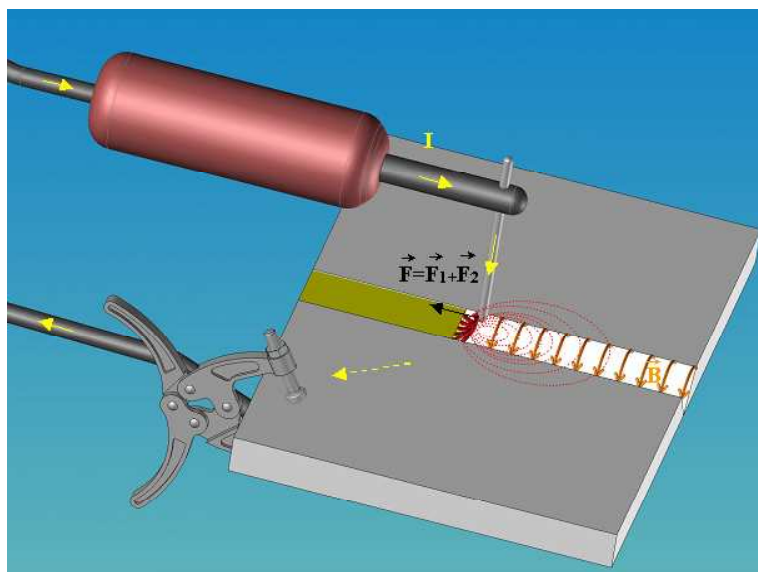
- Une première raison est la présence d'une induction rémanente due à une aimantation préalable de la matière constituant le tube (manutention magnétique, usinage en particulier à très haute vitesse, champ terrestre sur les très long tubes orientés nord-sud ...). Dans ce cas la configuration est tout à fait similaire à celle du dispositif expérimental, à la différence près que le conducteur mobile est remplacé par l'arc de soudage.



- La cause de la déformation de l'arc électrique peut être également due au courant de soudage lui-même. En effet, pour arriver au niveau de l'électrode, le courant de soudage doit parcourir un circuit électrique qui va lui-même générer un champ magnétique. Ce champ magnétique va se concentrer du côté de l'électrode qui se trouve à l'intérieur de la boucle formée par le circuit électrique. S'il y a présence de matière ferromagnétique tel que le cordon de soudure la concentration du champ va se retrouver amplifiée car cette matière va beaucoup mieux canaliser le champ que l'air. Du fait de cette dissymétrie, le faisceau d'électrons va se retrouver dévié vers l'extérieur de cette même boucle.



- Enfin la troisième raison est une sorte de combinaison des deux précédentes. Au fur et à mesure de l'avancement de la soudure et en fonction des matériaux utilisés, le courant va progressivement aimer son environnement (pièces, cordon de soudure). Même si les pièces sont parfaitement désaimantées à l'origine, une induction rémanente de plus en plus importante peut apparaître dans la préparation du joint de soudure non réalisé.



Plusieurs facteurs peuvent donc être à l'origine du phénomène de déviation de l'arc électrique, ce qui bien souvent rend l'analyse des causes relativement délicate. Le seul effet du courant de soudage ne joue généralement pas un rôle prépondérant mais sa combinaison avec un magnétisme rémanent initial trop important ou son rôle dans l'aimantation de la matière environnante peuvent conduire à des déviations importantes.

### Les problèmes engendrés

La déviation de l'arc rend l'opération de soudage bien plus délicate à réaliser quand ce n'est pas tout simplement impossible (l'arc peut devenir totalement instable). Si la déviation reste faible, l'opérateur est capable d'ajuster en conséquence, mais ce n'est pas le cas si le soudage est réalisé de façon automatique ou semi-automatique. Dans tous les cas il y a généralement une perte de temps considérable et un risque au niveau de la qualité des soudures car les perturbations peuvent conduire à l'apparition de défauts.



Des valeurs d'induction rémanente à ne pas dépasser dans le joint de préparation sont généralement spécifiées pour permettre une soudure dans de bonnes conditions et assurer une bonne qualité. Par exemple, la norme AFNOR NF EN ISO 9934-1 qui traite des principes généraux d'un contrôle magnétoscopique indique une induction rémanente maxi de 3mT dans le cas d'un soudage hétérogène et de 6mT dans le cas d'un soudage homogène. En revanche, un simple contrôle de l'induction rémanente avant l'assemblage de deux tubes n'est pas suffisant, car comme nous l'avons vu précédemment, l'induction rémanente va pouvoir évoluer au cours de la réalisation de la soudure. Il existe des appareils de mesure tout particulièrement destinés à la mesure de l'induction rémanente



*Indicateur pour une évaluation rapide de la rémanence*



*Mesure de champ magnétique avec sonde plate pour un accès facile à l'intérieur du joint de soudure*

## II/ Revue des différentes solutions à apporter

Quelques règles simples peuvent permettre d'améliorer la situation mais il est bien souvent nécessaire de faire appel à des techniques et des moyens de désaimantation que nous allons décrire par la suite.

### Les règles à respecter

Les tubes se présentent généralement comme des éléments ferromagnétiques de grande longueur et de faible section qui ont la particularité de canaliser particulièrement bien le champ terrestre. Il sera donc plus judicieux d'orienter les tubes à assembler suivant une direction Est-Ouest pour minimiser le phénomène. Sur le même principe, lors d'un assemblage de multiples tubes, il vaut mieux commencer par souder les deux éléments centraux puis continuer l'assemblage aux extrémités. Finir par la soudure centrale reviendrait à vouloir assembler deux sous-ensembles de très grande longueur canalisant encore plus fortement le champ terrestre.

Le chemin parcouru par le courant de soudage peu être optimisé pour éviter au maximum les dissymétries au niveau du champ magnétique qu'il génère et pour limiter également son action d'aimantation de la matière. Cette optimisation est relativement délicate à réaliser car il est nécessaire de bien comprendre comment s'effectue la circulation des lignes de champ magnétique en fonction du chemin parcouru par le courant. Son action est également limitée car il est seulement possible d'agir sur le point de sortie du courant de la pièce (prise de masse), mais pas sur le point d'entrée (point de soudage).

Dans la mesure du possible, pour limiter le phénomène de déviation de l'arc, on préférera l'utilisation d'un courant de soudage alternatif. En effet, en alternatif, il y a apparition d'un courant induit (courants de Foucault) à l'intérieur de la matière qui va s'opposer à la cause qui lui a donné naissance. Le champ magnétique généré s'en retrouve réduit d'autant. De même, il est préférable d'utiliser une préparation de joint de soudure en "J" qui permet d'obtenir un entrefer de largeur presque constante sur toute sa profondeur. Lors de l'utilisation d'une géométrie en V, l'induction magnétique devient très importante en fond de préparation

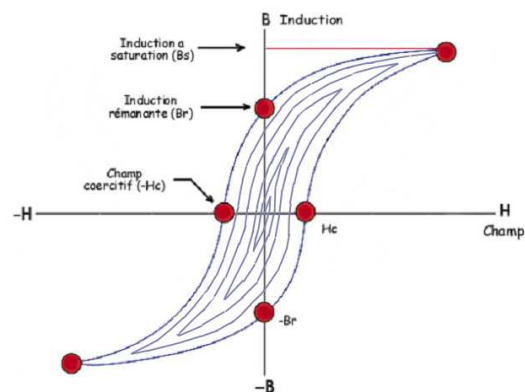
### Techniques et moyens de désaimantation

Dans les cas où les simples règles précédentes ne donnent pas satisfaction, il est possible de faire appel à des moyens de désaimantation. Plusieurs solutions sont envisageables en fonction des besoins et des contraintes :

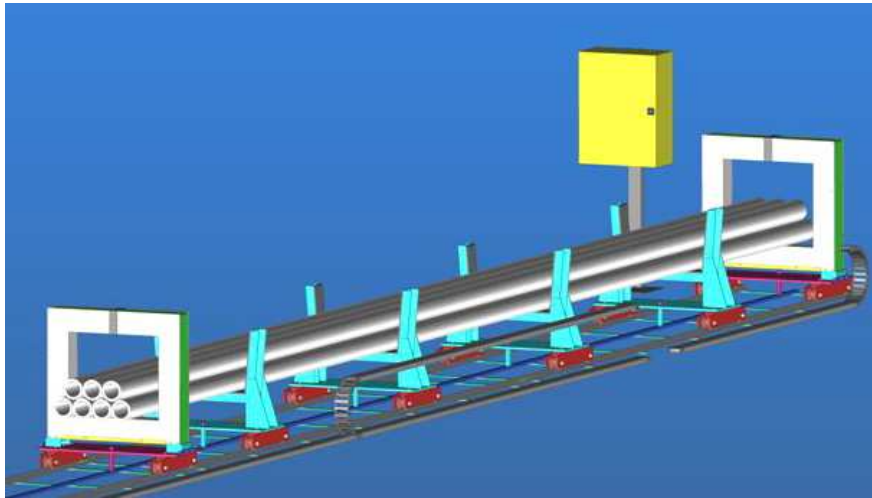
#### *désaimantation préalable des tubes par décroissance de champ (avant soudure).*

Cette technique cherche à faire décroître l'induction rémanente dans la pièce en soumettant celle-ci à un cycle alternatif de champ magnétique progressivement décroissant.

Le champ magnétique le plus souvent créé par un ou plusieurs bobinages alimentés avec un courant alternatif. La décroissance du champ magnétique est en général liée à la décroissance du courant, mais pour des petites pièces, il est également possible de faire



décroître le champ magnétique par éloignement de la pièce du centre du bobinage. La fréquence d'inversion du cycle peut être lente ( < 1 inversion par seconde) pour démagnétiser la matière à cœur ou bien rapide (en général 50 inversions par seconde – réseau EDF ) mais dans ce cas la désaimantation est uniquement superficielle (effet de peau)

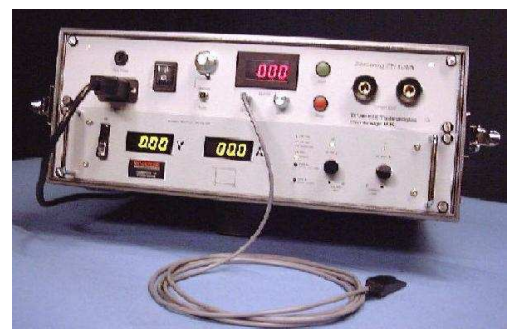
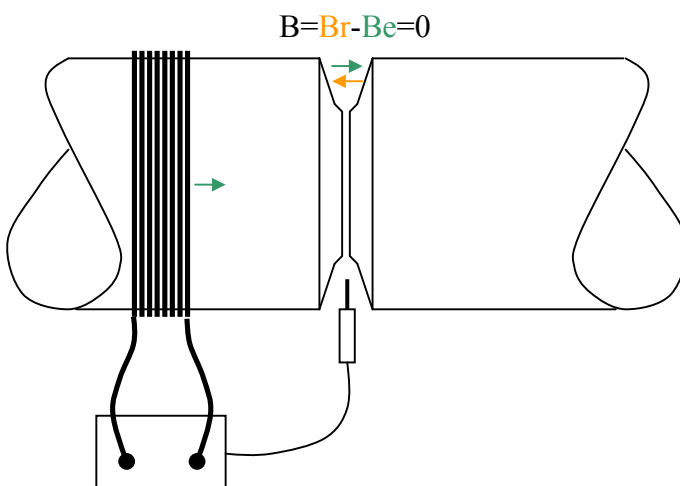


Pour assurer une bonne désaimantation d'un tube, il faut être en mesure de soumettre l'ensemble de celui-ci à un champ magnétique initial 3 à 4 fois supérieur au champ coercitif de la matière. Dans le cas de tubes de grande longueur, l'opération nécessite rapidement une puissance très importante ce qui rend cette technique très délicate à utiliser sur chantier lors d'un problème ponctuel de soudage. Elle est en revanche mieux adaptée à une désaimantation sur le lieu de production des tubes.

Dans tous les cas, une désaimantation préalable des tubes n'empêchera pas que ceux-ci peuvent se ré-aimanter (usinage, manutention magnétique, courant de soudage, champ terrestre ...) et devenir à nouveau délicats à souder.

*Application d'un champ inverse pendant soudage (neutralisation du champ magnétique).*

Cette technique vise à annuler l'induction magnétique dans le joint pendant l'opération de soudage en appliquant une induction magnétique externe ( $B_e$ ) inverse à l'induction rémanente déjà présente ( $B_r$ ). Il n'y a alors plus de problème de soufflage d'arc, mais le tube n'est pas désaimanté. Pour réaliser cette opération, il est nécessaire d'asservir le courant d'alimentation du bobinage à la mesure du champ dans le joint de soudure.



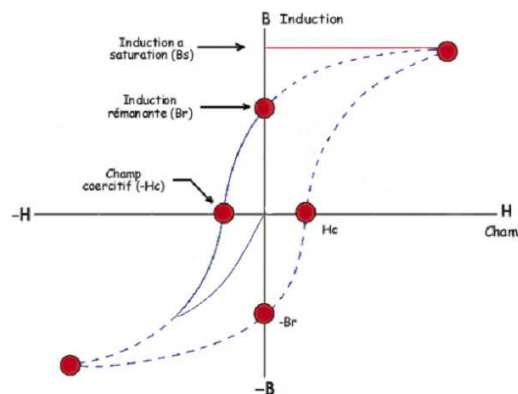
*Appareil pour mesurer et annuler automatiquement l'induction magnétique dans le joint de soudure*



Cette solution est très efficace et nécessite seulement l'utilisation d'un champ magnétique de faible puissance ( $\approx$  champ coercitif HC). De plus elle peut facilement s'adapter s'il y a des variations de l'induction rémanente sur la circonférence du tube (variation liée à l'aimantation initiale ou à la modification de l'aimantation par les courants de soudage). Cependant, elle reste très délicate à réaliser concrètement car le matériel utilisé doit rester en place pendant le soudage ce qui est très contraignant d'un point de vue de la mise en œuvre (problèmes d'accessibilité, problèmes thermiques ...).

### *Désaimantation locale par application d'un champ magnétique inverse avant soudage.*

Cette technique cherche à annuler localement (dans la zone de soudure) l'induction magnétique en appliquant un champ magnétique inverse juste suffisant pour que lors de la suppression de ce champ l'induction retombe à zéro (point central du cycle d'hystérésis). Bien entendu, il est très difficile de connaître à l'avance le cycle d'hystérésis de la matière et donc de déterminer la valeur du champ magnétique inverse à appliquer, mais en procédant à quelques essais successifs, on arrive rapidement à trouver la valeur qui convient.



Cette technique est simple de mise en œuvre et utilise un système beaucoup moins puissant que si l'on souhaite désaimanter la globalité d'un tube. En revanche, la nécessité d'essais successifs pour trouver le bon compromis, la rend difficile à automatiser. Cette solution est donc particulièrement bien adaptée à un problème de désaimantation sur chantier. Dans bien des cas, elle peut être utilisée uniquement avant la soudure du tube et enlevée définitivement pendant l'opération de soudure. Cependant, si le magnétisme dans le joint de soudure est fortement influencé par les courants de soudage, il faudra procéder en plusieurs étapes successives et utiliser un matériel beaucoup plus spécifique (nécessité de pouvoir enlever et remettre le bobinage sur un tube en cours de soudage).

