



TECHNIQUES  
DE L'INGÉNIEUR

LES FOCUS  
TECHNIQUES DE L'INGÉNIEUR



# LE SOUDAGE ET L'INDUSTRIE : ENTRE AUTOMATISATION ET RECHERCHE DE TALENTS

---

avril / 2023

# SOMMAIRE

<b>SOMMAIRE</b>	<b>2</b>
<b>INTRODUCTION</b>	<b>3</b>
<b>RÉINDUSTRIALISATION ET SOUDAGE 4.0</b>	<b>4</b>
▪ NOUVELLES PRATIQUES EN MATIÈRE DE SOUDAGE ET INDUSTRIE 4.0 : DES SOLUTIONS POUR ATTIRER DE NOUVEAUX TALENTS ?	4
▪ SOUDAGE ET COBOTIQUE : L'ALLIANCE ENTRE LE SAVOIR-FAIRE DU SOUDEUR ET LA SOUPLESSE DES ROBOTS COLLABORATIFS	6
▪ LA FABRICATION ADDITIVE PAR ARC-FIL, UNE TECHNOLOGIE DÉRIVÉE DU SOUDAGE QUI A LE VENT EN POUPE	8
▪ LA RÉINDUSTRIALISATION DE LA FRANCE NÉCESSITE DE FORMER 5 000 SOUDEURS SUPPLÉMENTAIRES PAR AN !	10
<b>POUR ALLER PLUS LOIN</b>	<b>14</b>
▪ LES USAGES DE L'ACIER DANS L'INDUSTRIE	14
▪ UNE FLAMME PROPRE À BASE D'HYDROGÈNE AFIN DE DÉCARBONER LA COMBUSTION	16
▪ LE MARCHÉ DE LA COBOTIQUE PROFITE DE LA CRISE ÉNERGÉTIQUE	18
▪ COMMENT APPRENDRE LES MÉTIERS MANUELS GRÂCE À LA RÉALITÉ VIRTUELLE ?	20

# INTRODUCTION

Métallurgie, énergie, construction navale, aéronautique... le soudage est un point commun de nombreux secteurs industriels. Le virage 4.0 en cours entraîne de nouvelles solutions et de nouvelles pratiques, allant dans le sens de l'automatisation. Parmi les outils d'automatisation mis en place dans l'industrie, la robotique collaborative, doit être perçue un moyen d'aide et non de remplacement. Elle met en valeur le précieux savoir-faire du soudeur et lui ajoute la compétence de roboticien, tout en réduisant les risques au poste de travail. Il n'est en effet pas question de remplacer les soudeurs, puisque leur savoir-faire manque à l'industrie !

Alors, comment attirer de nouveaux talents ? Nous avons interrogé Christophe Jouve, responsable robotique et intégrateurs chez Fronius France au sujet de ces nouvelles pratiques et notamment des avantages de la cobotique pour le soudage. Comme tous les secteurs industriels, ce domaine évolue et se prépare à l'arrivée de l'industrie 4.0. Ces nouvelles pratiques semblent être un atout pour attirer de nouveaux collaborateurs, fort de la double compétence de soudeur et de roboticien.

Ceci nous amène au soudage allié à la cobotique, où se rencontrent le savoir-faire du soudeur et la souplesse des robots collaboratifs. De tels exemples de technologies de cobotique étaient particulièrement bien représentées lors l'édition 2023 du salon Global Industrie. On a notamment pu voir des équipements capables de reproduire le mouvement du soudeur. Le savoir-faire du soudeur est ainsi placé au cœur de la symbiose entre l'homme et la machine ! Voyons pourquoi et comment le cobot est le compagnon idéal du soudeur 4.0.

Autre technologie susceptible d'attirer les compétences des soudeurs, la fabrication additive par arc-fil, dérivée du soudage. Cette technologie fait appel aux équipements standards du soudage à l'arc. Elle est donc théoriquement accessible à toute entreprise disposant d'un robot de soudage industriel ! nous vous proposons un rapide tour d'horizon de ce procédé.

Enfin, Jean-Marc Scolari, le gérant de Fronius France nous a accordé un entretien sur la réindustrialisation de la France. Et dans ce contexte 5 000 soudeurs supplémentaires devraient être formés par an. Dans l'hexagone, la réindustrialisation semble avoir démarré, avec un important hiatus en termes de ressources. Chaque année, ce sont entre 5 000 et 7 000 soudeurs et chaudronniers qui manquent à l'appel en France. Pour notre interlocuteur, les principaux leviers pour changer cet état de fait sont pourtant connus : formation, robotisation, investissements et attractivité de nos industries.

## RÉINDUSTRIALISATION ET SOUDAGE 4.0

# NOUVELLES PRATIQUES EN MATIÈRE DE SOUDAGE ET INDUSTRIE 4.0 : DES SOLUTIONS POUR ATTIRER DE NOUVEAUX TALENTS ?

*Comme tous les secteurs industriels, le monde du soudage évolue et se prépare à l'arrivée de l'industrie 4.0. Ces nouvelles pratiques semblent être un atout pour attirer de nouveaux collaborateurs ayant la double compétence de soudeur/roboticien.*

Nous avons interrogé Christophe Jouve, responsable robotique et intégrateurs chez Fronius France au sujet de ces nouvelles pratiques et notamment des avantages de la cobotique pour le soudage.

Fronius est un groupe familial autrichien proposant des solutions de soudage industrielles. Spécialiste reconnu des techniques de soudage, Fronius accompagne les industriels et fournit une multitude d'équipements dédiés au soudage manuel, robotisé et automatisé.

Christophe Jouve aide les clients de Fronius à développer des applications robotisées adaptées à leurs besoins.

**Techniques de l'ingénieur : L'industrie 4.0 impactera prochainement le monde du soudage. Comment Fronius se prépare-t-il à ce bouleversement ?**

**Christophe Jouve :** Fronius se prépare activement à l'arrivée du 4.0. Côté générateur, nous sommes prêts à fournir de la data et à intégrer tous les liens avec les serveurs et nous proposons déjà des solutions permettant de présenter les données aux utilisateurs. C'est particulièrement utile pour le suivi de la qualité de production.

Les générateurs de soudage modernes intègrent des bases de données exhaustives concernant la nature des

matériaux à souder, les fils et les gaz de soudage, ce qui permet de faciliter le choix des paramètres.

Mais il est d'ores et déjà possible d'aller plus loin : en production, l'enregistrement des paramètres utilisés pour obtenir tel ou tel cordon de soudure permet par exemple de corréliser la qualité de la soudure aux données des générateurs et donc de comprendre l'origine des problèmes afin de les corriger.

Si, dans 10 ans, ces pratiques seront courantes, peu de sociétés collectent actuellement les data des générateurs et les exploitent, car cela sous-entend de disposer de toute la structure informatique nécessaire. Fronius prépare donc le terrain et nous sommes déjà prêts à accompagner nos clients vers ces changements.

**Comment la cobotique est-elle utilisée pour les opérations de soudage ?**

En soudage, nous utilisons principalement les cobots pour leur simplicité de programmation et leur souplesse.

S'il y a techniquement peu de différences entre un cobot et un robot. Un cobot possède des limitations de sécurité qui lui permettent de travailler à proximité des opérateurs. Or, en soudage à l'arc, ces limitations de sécurité sont particulièrement nécessaires, car les émissions UV des arcs électriques sont dangereuses pour les opérateurs.

Lorsqu'on couple cet aspect robotique/cobotique à des générateurs qui sont de plus en plus sophistiqués, il devient alors possible d'améliorer la reproductibilité des pièces et d'assurer des vitesses constantes.

**Dans quels cas utilise-t-on la cobotique ou la robotique pour le soudage ?** la fin de carrière.

La robotique existe depuis longtemps pour le soudage de pièces en grande série, alors que le soudage manuel est nécessaire pour les pièces unitaires ou non robotisables.

29/03/2023

Si la robotique est rentable pour les grosses productions, lorsque les temps de cycle et les quantités de pièces le justifient, la cobotique vient combler un manque en permettant de prendre en charge des séries de quelques centaines de pièces. Grâce à la cobotique et aux nouveaux outils pour le soudage, de nouvelles perspectives sont ainsi en train de s'ouvrir.

**Ces équipements modernes permettent-ils d'améliorer les conditions de travail des opérateurs ?**

Grâce à la cobotique, les opérateurs sont déchargés des tâches rébarbatives, tout en réduisant les risques de [TMS](#). Les « nouveaux » soudeurs ont ainsi une double compétence de soudeur/roboticien qui valorise leur travail.

D'une manière générale, au-delà de la cobotique et de l'aspect TMS, les conditions de travail se sont aussi grandement améliorées pour les soudeurs, qui ne sont plus seulement protégés des rayonnements UV. En effet, les équipements modernes apportent désormais une protection efficace des opérateurs vis-à-vis des fumées et des poussières et assurent un renouvellement de l'air.

Enfin, lorsqu'il s'agit de tâches non robotisables, les torches manuelles sont étudiées pour être les plus légères et maniables possibles.

**Les entreprises peuvent-elles miser sur ces pratiques nouvelles pour attirer de nouveaux talents ?**

Ces nouvelles façons de travailler apportent en effet d'autres perspectives pour la nouvelle génération de soudeurs qui pourra se dire qu'elle n'aura pas à passer sa vie accroupie par terre à souder dans des conditions difficiles. Les solutions robotiques et cobotiques apportent ainsi des ouvertures vers une façon physiquement moins éprouvante et moins rébarbative d'aborder le métier, et donc des perspectives d'évolution qui rassurent, notamment vis-à-vis de

# SOUDAGE ET COBOTIQUE : L'ALLIANCE ENTRE LE SAVOIR-FAIRE DU SOUDEUR ET LA SOUPLESSE DES ROBOTS COLLABORATIFS

*Le salon Global Industrie 2023\* vient de se terminer et les technologies de cobotique étaient particulièrement bien représentées cette année. Comme en 2022, vous avez notamment pu découvrir le cobot de soudage F/i cobot développé par Fronius et FTS Welding, un équipement capable de reproduire le mouvement du soudeur et qui place le savoir-faire du soudeur au cœur de la symbiose entre l'homme et la machine ! Découvrons pourquoi le cobot est le compagnon idéal du soudeur 4.0.*

Dans cet autre article consacré aux nouvelles pratiques en matière de soudage, Christophe Jouve, responsable robotique chez Fronius France, nous expliquait les avantages de la cobotique et des nouvelles technologies de générateurs pour la production et comment elles pouvaient contribuer à attirer de nouveaux collaborateurs. Nous verrons ici pourquoi la **robotique collaborative** doit être perçue comme un outil d'aide et non de remplacement, la place des cobots étant dans le box, aux côtés du soudeur-roboticien.

## **Soudeur et cobot : des compétences complémentaires pour les petites séries**

De l'avis de Christophe Jouve, si la cobotique permet d'améliorer considérablement les **conditions de travail** des soudeurs, en revanche les cobots ne remplaceront jamais les soudeurs, dont le **savoir-faire est indispensable**, notamment lorsqu'il s'agit de qualifier les **paramètres de soudage**.

*« Lorsqu'on est en cobotique, on a toujours besoin du savoir-faire du soudeur, peut-être même encore plus qu'en robotique, car les projets associant soudage et robotique*

*concernent la production de grandes séries de pièces.*

*Ce sont donc de gros projets, avec des phases de tests et pendant lesquels les soudeurs peuvent s'appuyer sur une équipe d'ingénieurs. Comme la cobotique concerne essentiellement les petites séries, elle s'adresse donc principalement aux sociétés de type PME qui ne disposent pas d'une telle infrastructure. Pour ces sociétés, les calculs de structure et les essais ne sont pas monnaie courante : c'est le soudeur qui décide comment il faut travailler, souvent à partir d'un plan, en respectant les règles de l'art. »*

## **L'exemple F/i cobot : un équipement capable de recréer le geste du soudeur !**

Pour qu'une solution cobotique soit efficace, elle doit ainsi permettre de reproduire la précision, la répétabilité et la dextérité du soudeur. C'est ce que propose Fronius avec sa solution de soudage robotisée appelée **F/i cobot**, créée en association avec FTS Welding.

La principale force de cette solution est la fonction Imite® qui permet, comme son nom l'indique, d'imiter le geste du soudeur et dont le fonctionnement est on ne peut plus simple.

L'opérateur commence tout d'abord par souder une première pièce, en utilisant la torche fixée au cobot, ce qui permet au cobot d'enregistrer les mouvements effectués. Une fois cette première soudure réalisée, le cobot est ainsi en mesure de reproduire le geste du soudeur sur les pièces suivantes !

D'après Christophe Jouve, le soudage par apprentissage

est une solution efficace, car elle repose sur le savoir-faire du soudeur : « *Quand un soudeur soude, il ne se pose jamais la question de savoir s'il se déplace exactement à 25 cm/min ou s'il est à 15 ou 17 mm de la pièce. Il soude, tout simplement, en vérifiant que la soudure correspond à ce qui est demandé. Comme en peinture, le soudage est un domaine qui nécessite un certain savoir-faire et souder de l'acier, de l'aluminium ou de l'inox, ce n'est pas la même chose.* »

En outre, le F/i cobot a un énorme avantage pour l'opérateur : il n'a pas besoin de disposer de notions de programmation, ce qui rend cette technologie accessible à n'importe quel soudeur, tout en lui laissant la possibilité de se concentrer sur les pièces à forte valeur ajoutée, les séries étant réalisées par le cobot qui devient un véritable assistant de production.

### **Cobotique et fabrication additive métallique : des technologies qui s'industrialisent**

Enfin, Christophe Jouve voit également une analogie entre la cobotique et la [fabrication additive métallique](#), une niche qui était, il y a encore quelques années, au stade du laboratoire et qui, petit à petit, se développe en rentrant dans l'industrie.

« *La fabrication additive vient combler une partie de ce que faisait la fonderie auparavant, mais avec plus de souplesse. D'un autre côté, la cobotique vient combler une plage de petite et moyenne série qui n'était pas rentable en robotique et mobilisait beaucoup de personnel pour des opérations manuelles. Fronius reçoit régulièrement des demandes concernant des projets de fabrication additive comme de cobotique.* »

\* [Global industrie](#)

03/04/2023

# LA FABRICATION ADDITIVE PAR ARC-FIL, UNE TECHNOLOGIE DÉRIVÉE DU SOUDAGE QUI A LE VENT EN POUPE

*La fabrication additive par arc-fil ou WAAM est une technologie dérivée du soudage qui fait appel aux équipements standards du soudage à l'arc. Elle est donc théoriquement accessible à toute entreprise disposant d'un robot de soudage industriel ! Voici un rapide tour d'horizon du procédé WAAM.*

Dans un [précédent article](#) consacré au soudage et à la cobotique, nous avons évoqué l'analogie entre cobotique et [fabrication additive](#) (FA), car à l'instar de la cobotique, la FA sort peu à peu du laboratoire pour rentrer dans l'industrie, ce qui est en particulier le cas de la technologie WAAM.

## Qu'est-ce que le procédé WAAM ?

Le procédé WAAM est un procédé de fabrication additive métallique directement dérivé du soudage, qui consiste à générer un [arc électrique](#) entre un substrat et un fil métallique pour former un cordon.

Il y a peu de différences entre soudage robotisé et WAAM, puisqu'on retrouve les torches de soudage traditionnelles que l'on utilise dans l'industrie pour l'assemblage de pièces. Néanmoins, des améliorations technologiques développées pour le soudage permettent d'optimiser le procédé.

C'est notamment le cas de la technologie CMT, développée par Fronius. Nous avons demandé à Guillain Hardy, ingénieur-soudeur et chargé d'affaires chez Fronius International, de nous en expliquer le fonctionnement :

*« En WAAM, Fronius se distingue avec une technologie appelée CMT, pour Cold Metal Transfer. Cela consiste à générer un arc électrique très stable de façon à produire moins de projections lors de la phase de dépose et à limiter la quantité d'énergie apportée à la pièce. En CMT le fil avance et se rétracte mécaniquement environ 120 fois par*

*seconde, ce qui coupe l'arc électrique et limite l'apport de chaleur au fur et à mesure que le dépôt se forme. »*

Pour en savoir plus au sujet de la technologie CMT, nous vous invitons à visionner [cette vidéo](#).

## La fabrication additive WAAM a de nombreuses applications industrielles

La fabrication additive métallique est de plus en plus utilisée pour le reengineering et la reproduction de pièces qui n'existent plus. Ces technologies permettent ainsi de continuer à faire fonctionner des machines anciennes, en reproduisant des pièces traditionnellement réalisées en fonderie ou par d'autres procédés, avec des délais et coûts de fabrication réduits pour des pièces unitaires ou en petite série.

Par ailleurs, comme tout procédé de fabrication additive, son point fort est la flexibilité et il devient possible de fabriquer des pièces possédant des designs non accessibles par fonderie.

Pour gagner en productivité, il est également possible d'utiliser deux sources de courant et deux fils de soudage sur une même torche. C'est le cas du mode Twin de la technologie CMT, qui double la cadence de production et permet d'atteindre des taux de déposition de l'ordre de 10 kg/h.

En revanche, comme pour tout procédé de fabrication additive, une fois les pièces réalisées, un post-traitement par usinage reste nécessaire afin d'obtenir des pièces aux cotes voulues. Cet usinage robotisé peut être réalisé directement après l'étape de fabrication, en utilisant un second robot, ou dans certains cas, il peut même être envisagé de le mettre en œuvre directement lors du WAAM.

Voici un exemple d'une cellule bi-robots qui combine fabri-

cation additive et usinage in-process. La torche de soudage, fixée à un robot, dépose la matière sur une table rotative et en parallèle, un autre robot est utilisé pour usiner la face extérieure.

### L'exemple de Naval Group

L'application industrielle qui fait actuellement le plus parler d'elle concerne la production d'hélices de sous-marin et de bâtiments de surface, notamment par Naval Group.

Pour la réalisation d'hélices, la fabrication WAAM a ainsi de nombreux avantages par rapport au moulage :

- une bonne compacité de la matière ;
- pas de problèmes de criques[1] ;
- pas de retassures ou de particules de sable résiduelles provenant du moule ;
- une réduction des coûts et des délais de production, par rapport à la fonderie.

Par ailleurs, Naval Group semble croire en cette technologie et continue ses travaux d'innovation en l'adaptant à d'autres matériaux métalliques. Un projet européen concernant le développement de WAAM multimatériaux est d'ailleurs en cours, le projet [GRADE2XL](#), ayant pour objectif de développer le changement du métal d'apport en cours de production afin d'apporter localement des propriétés spécifiques (mécaniques, anticorrosion, résistance au frottement...). Cela permettrait ainsi de réserver les matériaux « nobles », donc plus chers à certaines zones spécifiques, et donc de réduire les coûts de fabrication.

### Applications en plasturgie : réalisation de moules

Le WAAM est particulièrement adapté à la fabrication de pièces complexes de grande dimension et notamment de moules pour le rotomoulage de pièces plastiques.

Fronius a par exemple travaillé avec VLM Robotics sur un projet de fabrication de cuves à vin par [rotomoulage](#). Ce type de pièce étant difficile à mettre en œuvre en chaudronnerie, notamment à cause de la présence de nervures sur la pièce, la fabrication WAAM apparaissait comme une solution idéale, surtout que l'usinage n'était pas nécessaire pour cette application.

### Une technologie qui a de l'avenir !

Selon Guillain Hardy, « *il est très difficile de faire réaliser des pièces forgées et matricées en Europe, car il reste peu de fournisseurs et le savoir-faire s'est perdu. Développer des cellules de fabrication additive WAAM pour réaliser des pièces de quelques grammes à plusieurs tonnes permet ainsi de trouver une alternative compétitive sur le sol européen.* »

Compte tenu de ses avantages, la technologie WAAM devrait donc continuer de s'imposer dans l'industrie, bien que la fabrication en grande série ne soit pas encore d'actualité : « *Pour le moment, le WAAM n'est pas encore au stade de la production en série et sert surtout à la réalisation de prototypes. De grands groupes comme Naval Group, SNCF, ALSTOM et EDF travaillent activement sur le sujet ainsi que de nombreuses universités et écoles d'ingénieurs. La formation se développe également, tout comme les aspects, certification et normalisation.* »

[1] Fissure superficielle dans une pièce métallique

# LA RÉINDUSTRIALISATION DE LA FRANCE NÉCESSITE DE FORMER 5 000 SOUDEURS SUPPLÉMENTAIRES PAR AN !

*Alors que la réindustrialisation de la France semble amorcée, les métiers de l'industrie sont plus que jamais en tension. Chaque année, ce sont entre 5 000 et 7 000 soudeurs et chaudronniers qui manquent à l'appel en France. Les principaux leviers pour changer cet état de fait sont pourtant connus : formation, robotisation, investissements et attractivité de nos industries.*

Dans [un autre article](#), nous avons évoqué comment les nouvelles pratiques en matière de soudage et industrie 4.0 pouvaient aider les industriels à attirer de nouveaux talents.

Nous avons cette fois demandé l'avis éclairé de Jean-Marc Scolari, gérant de Fronius France, concernant la [formation des soudeurs](#).

Jean-Marc Scolari est le gérant de Fronius France.

Il représente également le groupe soudage au sein de l'organisation EVOLIS et il est présent au conseil d'administration de [l'Institut de soudure](#).

Le groupe Fronius est spécialisé dans l'élaboration de nouvelles solutions destinées au contrôle et à la gestion de l'énergie, pour les chargeurs de batteries industrielles, les techniques de soudage et les onduleurs photovoltaïques.

**Techniques de l'ingénieur : La pénurie de soudeurs est-elle un frein à la réindustrialisation de la France ?**

**Jean-Marc Scolari** : La pénurie de soudeurs n'est pas nouvelle et cela fait plusieurs années que l'on recherche

entre 5 000 et 7 000 soudeurs et chaudronniers en France.

Avec Evolis et l'Institut de soudure, nous sollicitons ainsi les politiques sur la pénurie de soudeurs dans un contexte de réindustrialisation et de montée en puissance du nucléaire.

Nous leur disons : Vous vous projetez sur la construction de 6 nouveaux EPR, très bien, mais comment allons-nous faire, sachant qu'actuellement à Flamanville nous avons des soudeurs américains et qu'il faut des années pour former un soudeur habilité ?

Or, les certifications nécessaires pour travailler dans le nucléaire coûtent cher, entre 3 500 € et 5 000 €. Si, jusqu'à présent, ces formations étaient souvent financées par le compte CPF des soudeurs, les pouvoirs publics ont récemment décidé de changer les règles, c'est-à-dire en imposant que les jurys soient paritaires (50 % interne aux certificateurs, 50 % externe) alors que les examens de soudeurs sont réalisés par un seul inspecteur qualifié qui vérifie la qualité de la soudure.

Avec Evolis et l'Institut de soudure, nous avons fait part de cette aberration aux pouvoirs publics. Les incohérences de ce genre sont malheureusement fréquentes et freinent la réindustrialisation.

Par ailleurs, la guerre en Ukraine a également perturbé le secteur de l'armement. L'entreprise Nexter, le fabricant du célèbre canon César, s'est par exemple engagée à tripler sa production de munitions d'ici à 2025 et, en plus d'être confrontée à des problématiques d'approvisionnement en poudre, elle subit de fortes contraintes en ce qui concerne la main-d'œuvre nécessaire aux opérations de soudage.

### La robotique et la cobotique peuvent-elles aider à pallier cette pénurie ?

Quand on parle de réindustrialisation, il faut en effet parler de robotisation et plus généralement d'[automatisation des procédés](#). Chez Fronius, c'est un challenge qui nous tient à cœur et quand nous développons un équipement de production, nous cherchons à obtenir la machine la plus aboutie, donc la plus automatisée possible.

Néanmoins, la France est loin d'être le pays le plus robotisé, un pays comme l'Italie ayant un taux de robotisation par opérateur trois fois supérieur. Nous avons donc une marge de manœuvre importante, mais cela nécessite des investissements.

Or, les industriels français sont souvent frileux quant aux investissements et ont parfois tendance à restreindre leur capacité d'innovation, à cause de budgets trop figés. Cela les pénalise, car ils ne perçoivent pas toujours la plus-value qui leur permettrait d'aller conquérir des marchés plus rétributeurs et d'être plus attractifs lorsqu'ils se positionnent sur des appels d'offres.

Il ne faut cependant pas se leurrer : la robotique et la cobotique ne solutionnent pas tout et certaines applications sont difficilement robotisables, par exemple dans le secteur naval. Si certains de nos partenaires travaillent à l'élaboration de chariots de soudage sur rails, pilotés automatiquement, à l'heure actuelle, la construction d'un bateau c'est beaucoup de soudage manuel, dans des positions pas toujours confortables. Dans les faits, nous aurons donc toujours besoin de soudeurs !

### La formation de nouveaux soudeurs est-elle la clé ?

L'indépendance énergétique et l'armement sont des domaines stratégiques, régaliens qui nécessitent de disposer de ressources financières et humaines suffisantes. Il faudra nécessairement former de nouveaux soudeurs, ce qui prendra du temps, mais aussi ouvrir de nombreux centres de [formation en soudage](#), car les centres actuels ne suffiront pas. Or, la formation c'est la clé de la réindustrialisation.

Actuellement, les quelques dizaines d'ingénieurs-soudeurs qui sortent des écoles sont immédiatement captés par les grands donneurs d'ordres tels que EDF, Orano et Framatome.

Pour contourner la pénurie, certaines entreprises sont forcées de recruter des profils non techniques, par exemple des boulangers en reconversion, et de se charger de leur formation en interne !

Car les grands donneurs d'ordres n'attendent pas que les choses changent d'elles-mêmes. En réponse à l'abandon des pouvoirs publics concernant la formation aux métiers techniques, ils ont pris les devants et se sont concertés pour créer leurs propres écoles de formation en soudage. L'école [HEFAÏS](#), créée par EDF, Naval Group, Orano et CMN, accueille ainsi, depuis septembre 2022, des sessions de formation pour les salariés d'entreprise[1]. Mais ils ne sont pas les seuls, puisque les [Chantiers de l'Atlantique](#) et [Fives Nordon](#) ont pris des initiatives similaires.

### Comment attirer les jeunes vers les filières techniques ?

La pénurie de soudeurs et de main-d'œuvre technique vient de très loin. Depuis longtemps, quand un collégien dans le secondaire n'est pas orienté vers l'enseignement général, il le vit souvent comme un échec, car cela lui est présenté comme un échec.

Il y a bien les stages de 3e qui aident à faire découvrir le monde du travail, mais ce n'est pas suffisant, car cela se joue aussi au niveau de la formation des enseignants, qui bien souvent ne connaissent pas l'industrie et ont une vision erronée des ateliers de production.

Il faut promouvoir les métiers techniques, redonner de l'appétence pour l'industrie et montrer que l'industrie ce n'est pas Zola, surtout que les niveaux de rémunération sont en moyenne bien plus importants que dans le service.

Enfin, les industriels sont conscients, au regard des tensions observées sur le marché du travail, qu'ils doivent gagner en attractivité vis-à-vis des jeunes générations et ils sont prêts à faire les efforts nécessaires. Cela passe par

l'amélioration de l'équilibre entre vie professionnelle et vie personnelle, des conditions de travail, des salaires, mais aussi par une modernisation des outils de production afin de décarboner la production dans les usines.

*Les métiers du soudage vous intéressent et vous envisagez une formation ? Voici quelques liens pour vous aider dans vos recherches.*

- La fiche [formation de technicien EAPS](#)[2]
- La fiche [formation d'ingénieur IWE](#)[3]
- [Présentation des deux Écoles supérieures de spécialisations en soudage de l'institut de soudure](#)

[1] L'école sera ouverte aux personnes en recherche d'emploi en 2023

[2] Technicien Supérieur de l'École d'Adaptation aux Professions du Soudage (EAPS)

[3] Ingénieur International en Soudage (IWE)

30/03/2023



## POUR ALLER PLUS LOIN

# LES USAGES DE L'ACIER DANS L'INDUSTRIE

*La composition exacte d'un acier va avoir une influence fondamentale sur ses propriétés et sur l'usage qui en sera fait industriellement. Voyons quelques exemples.*

L'acier est un alliage de fer et de carbone. En cela [il diffère des autres alliages métalliques](#), constitués uniquement d'un mélange de métaux, l'un de ces derniers étant présent en quantité très majoritaire dans l'alliage. Les aciers contiennent donc une majorité de fer et un peu de carbone (2 % en général), mais également, dans des proportions très fines, d'autres types de métaux, ou encore des inclusions non métalliques. Ce sont ces éléments, présents en très petites quantités, qui déterminent, entre autres, les caractéristiques précises de l'acier obtenu, et l'usage industriel qui lui sera réservé.

Outre la composition exacte de l'acier, les conditions dans lesquelles va être obtenu l'alliage déterminent également ses propriétés : température, temps de préparation, obtention via un haut fourneau ou un arc électrique... Ce sont donc bien les ingrédients et la recette qui influent sur le [type d'acier obtenu](#).

Au niveau de l'industrie, l'acier est l'alliage métallique le plus utilisé : automobile, aéronautique, construction... Quelles sont les propriétés des alliages qui vont intéresser les industriels ?

En tout premier lieu, c'est l'[élasticité](#) qui fait de l'acier un matériau prisé par les industriels. L'élasticité est la capacité qu'a un matériau à retrouver sa forme d'origine, une fois qu'il n'est plus soumis à la force qui provoque la déformation. Cette propriété est très utile dans l'industrie automobile ou aéronautique par exemple. Aujourd'hui, les secteurs R et D développent des aciers à très haute limite d'élasticité pour ces secteurs. La [limite d'élasticité](#) est la limite à partir de laquelle un matériau va se déformer définitive-

ment, sans reprendre sa forme initiale. Elle définit donc les [contraintes limites qui peuvent être subies par un matériau](#), pour un usage précis.

Les contraintes exercées sur un alliage métallique vont entraîner sa déformation. Cette déformation peut être élastique, mais [elle peut également être plastique](#), si l'acier conserve de manière permanente une déformation, une fois que la contrainte cesse d'être appliquée. Cette propriété va être utilisée pour développer des aciers destinés aux secteurs de l'agroalimentaire ou de la pharmacie, par exemple.

Autre [propriété qui intéresse l'industrie](#), la résistance à la traction. Cette propriété permet aux aciers d'être très résistants aux contraintes de traction, notamment en ce qui concerne les risques de [rupture des matériaux lors de ces tractions](#). Cette propriété intéresse de nombreux secteurs industriels, aux premiers rangs desquels les industries de la construction et de l'automobile.

La [résistance à la corrosion](#) est l'apanage des aciers inoxydables. Ces derniers ont de nombreuses propriétés : ils peuvent être utilisés dans une large plage de températures, sont résistants aux produits chimiques et biologiques, faciles à nettoyer... ce qui en fait un alliage très utilisé dans les secteurs des technologies médicales ou de l'industrie agroalimentaire.

La ténacité, qui est la [capacité de l'acier à résister et à garder ses propriétés](#) pendant l'emboutissage, le pliage, et le redressage par exemple, représente une propriété qui explique en grande partie le succès industriel des aciers. Cette capacité à être usiné et travaillé industriellement est fondamentale, pour de nombreux secteurs industriels fabriquant des pièces métalliques extrêmement diversifiées.

Enfin, d'autres propriétés des aciers, considérées comme

secondaires par rapport à celles que nous venons d'évoquer, méritent d'être soulignées. La **résistance aux chocs** par exemple, qui permet aux aciers de résister à des charges dynamiques répétées, est très prisée pour certaines pièces développées dans l'industrie aéronautique par exemple.

La dureté de l'acier, c'est-à-dire la force à laquelle l'acier s'oppose lorsqu'il subit la force des matériaux plus durs que lui, et la soudabilité, qui est la capacité de créer des connexions permanentes par soudage, sont deux propriétés également fondamentales pour l'industrie. En effet, la **soudabilité** par exemple, va permettre l'usage des aciers pour la fabrication d'objets industriels composés de plusieurs pièces que l'on va ensuite souder, ce qui n'est possible que pour certains types d'alliages métalliques.

On constate donc que les multiples propriétés d'un alliage métallique comme l'acier, sont non seulement tributaires des conditions de fabrication de l'alliage, mais aussi et surtout de sa composition précise. Ces propriétés vont permettre d'orienter le matériau vers l'usage industriel le plus adapté.

28/04/2022

# UNE FLAMME PROPRE À BASE D'HYDROGÈNE AFIN DE DÉCARBONER LA COMBUSTION

*La start-up Bulane a développé une gamme d'électrolyseurs pour produire une flamme à très haute température, sans dégagement de CO<sub>2</sub>, à destination de l'industrie. Nicolas Jerez, le président et fondateur de l'entreprise, nous parle de sa technologie et de ses applications.*

Créée en 2009, la start-up [Bulane](#) est issue des incubateurs technologiques de la région Occitanie. Elle a développé une technologie permettant de produire une flamme à très haute température sans dégagement de CO<sub>2</sub> à destination de l'industrie. Le procédé fonctionne grâce à la combustion de l'[hydrogène](#), à partir de l'électrolyse de l'eau, et a été mis au point avec deux laboratoires de recherche : l'ICGM (Institut Charles Gerhardt Montpellier) et l'IMFT (Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse). Aujourd'hui, l'entreprise souhaite étendre sa technologie afin de décarboner les chaudières dans les bâtiments. Entretien avec Nicolas Jerez, le président et fondateur de Bulane.

**Techniques de l'Ingénieur : Quelle a été votre motivation au départ, avant de créer votre entreprise ?**

**Nicolas Jerez :** Nous sommes partis du constat qu'environ 80 % des émissions de [CO<sub>2</sub>](#) proviennent de la combustion de combustibles fossiles. Cette consommation se retrouve dans trois grands domaines : les transports, le bâtiment et l'industrie. Dans ce dernier secteur, les besoins en combustibles sont présents dans de nombreux procédés industriels : le soudage, le brasage, la finition des métaux, la fabrication de verre, la chauffe dans diverses entreprises agroalimentaires... Les principaux gaz de chauffe utilisés

sont le butane, le propane, l'acétylène et le gaz naturel. Or, ces gaz rejettent tous du CO<sub>2</sub>. Nous avons donc souhaité offrir une alternative aux industriels et développé une flamme propre à base d'hydrogène afin de décarboner la combustion.

**Comment fonctionne votre technologie ?**

Nous avons développé une technologie d'[électrolyse](#) de l'eau qui la particularité d'être destinée à alimenter des combustions. Comparée à des électrolyseurs standard, cette spécificité nous a obligés à innover. Le point le plus important de notre cahier des charges a été l'aspect sécuritaire de l'appareil. Sur le plan de la mécanique et de la fluïdique, notre système a été conçu pour éviter tout retour de flamme. Ensuite, un électrolyseur est à la base un équipement plutôt encombrant et lourd. Nous avons réalisé de gros efforts pour miniaturiser le nôtre.

Le plus petit de notre gamme Dyomix ne pèse qu'une trentaine de kg pour une puissance de 2 400 W et se déplace sur des roulettes. Cette compacité nous a demandé de repousser les limites technologiques dans différents domaines que sont les matériaux, la fluïdique et la thermodynamique afin de faire passer beaucoup de puissance dans peu d'encombrement. Enfin, un dernier élément porte sur le rendement de notre technologie qui peut dépasser 90 % selon l'usage, alors qu'il est plutôt situé autour de 70 % généralement pour un électrolyseur standard. Cette performance a pu être atteinte grâce à la mise au point d'une cogénération thermique à l'intérieur de l'appareil. Cette chaleur récupérée peut ainsi être mise à disposition de nos clients et représente jusqu'à 20 % du rendement

global.

### À qui commercialisez-vous vos appareils ?

Depuis 2015, nous commercialisons une première gamme d'appareils dans le domaine du chalumeau pour des applications industrielles de soudage. Nous avons vendu plus de 1 200 électrolyseurs pour une puissance totale électrique installée d'environ 4 MW. Ce volume représente plusieurs dizaines de milliers de tonnes de CO<sub>2</sub> économisés. Depuis un an, nous étendons notre technologie à d'autres procédés industriels. Par exemple, nous travaillons avec certains industriels pour remplacer les gaz de chauffe utilisés en distillation par de l'hydrogène. Les applications potentielles de notre technologie sont très importantes. Tous les jours, des milliers de brûleurs consomment des énergies fossiles et l'hydrogène peut être efficace pour les décarboner.

**Certes, la combustion de l'hydrogène n'émet pas de CO<sub>2</sub>, mais cela implique également que l'électricité soit décarbonée.**

Évidemment, nous travaillons avec des offres électriques vertes de façon à garantir une combustion finale décarbonée. D'une manière plus globale, nous ciblons uniquement des procédés de production qui ne sont pas électrifiables, c'est-à-dire là où on ne peut pas remplacer la flamme par une résistance électrique. L'hydrogène est le seul gaz qui, lorsqu'il brûle, ne dégage pas de CO<sub>2</sub>. L'avantage de notre technologie est que ce gaz est produit localement, sans stockage et sans transport. On peut dire qu'avec notre technologie, nous procédons à une électrification du procédé de combustion. Il faut savoir que la combustion de l'hydrogène est très performante, et permet d'atteindre des températures supérieures à 2 800 degrés.

**Votre technologie peut-elle avoir d'autres applications ?**

Depuis plus d'un an, nous travaillons également à la décarbonation de l'énergie de chauffage dans les bâtiments. Nous souhaitons connecter nos électrolyseurs miniaturisés à des chaudières afin d'intégrer l'hydrogène dans la combustion finale. Ce projet s'appelle LP2H pour Local Power

to Heat et nous avons déjà fait la démonstration de notre concept sur le plan expérimental. Il est lauréat du concours d'innovations i-Nov 2020 du SGPI (Secrétariat général pour l'investissement) et de l'Ademe et nous a permis d'obtenir un soutien financé du Programme d'Investissements d'Avenir (PIA). Là encore, le marché potentiel est très important et l'hydrogène peut jouer un rôle majeur pour décarboner massivement les bâtiments.

*Crédit photo Une : Bulane*

18/10/2021

# LE MARCHÉ DE LA COBOTIQUE PROFITE DE LA CRISE ÉNERGÉTIQUE

*La hausse des prix de l'énergie, des matières premières et la rareté des composants électroniques ont des impacts sur de nombreux secteurs d'activité. Paradoxalement, la demande de robots industriels n'a jamais été aussi forte. Pour les industriels, l'automatisation permet d'améliorer leur productivité et rentabilité.*

Dans le monde, près de 300 entreprises ne connaissent pas la crise. Spécialisées dans la production de robots industriels, elles se trouvent dans un marché très dynamique. C'est la principale conclusion du « World Robotics Report 2022 » publié récemment par la Fédération Internationale de la Robotique (IFR).

Selon son étude, un demi-million de robots dits de service ont été installés dans les usines en 2021, un record que les experts n'avaient pas prévu. Ils tablaient sur une augmentation de 50 000 machines de plus qu'en 2020, soit 430 000, il s'en est finalement vendu 517 000, soit un taux de croissance de 31 % entre 2020 et 2021 !

Et en France, le marché de la **robotique** n'est pas en reste puisque l'Hexagone se classe troisième du classement en Europe en 2021 en ce qui concerne les installations annuelles et le stock opérationnel, après l'Italie et l'Allemagne.

En effet, en 2021, les installations de robots ont augmenté de 11 % pour atteindre 5 945 unités. Le stock opérationnel de robots en France a été calculé à 49 312 unités, soit une augmentation de 10 % par rapport à l'année précédente.

Le bon classement de la France s'explique notamment par le fait que l'hexagone est moins touché par la crise énergétique que l'Allemagne en particulier.

Les ventes de **robots médicaux** ont augmenté de 23 % pour

atteindre 14 823 unités. La majorité d'entre eux sont des robots chirurgicaux, suivis par les robots de rééducation et de thérapie non invasive, tandis que la part des robots de diagnostic est encore comparativement faible.

Mais c'est surtout la demande de robots de nettoyage professionnel qui a fortement augmenté (+31 %) avec plus de 12 600 unités vendues. La principale application de ce groupe est le nettoyage des sols. Les robots de désinfection qui pulvérisent des fluides désinfectants ou utilisent des rayons ultraviolets pour détruire les virus ont également connu une forte croissance de la demande depuis le début de la pandémie de Covid-19.

La robotique joue un rôle important dans la **numérisation de l'agriculture** avec plus de 8 000 unités (+6 %) vendues en 2021. Les robots sont bien implantés dans la traite des vaches, assistés par des robots nettoyeurs d'étables et des robots d'alimentation. Les robots pour la culture des plantes n'en sont encore qu'à leurs débuts.

*« L'accélération de l'automatisation robotique est bien réelle. À la suite de la pandémie et la rupture des chaînes d'approvisionnement qui s'en est suivie, de plus en plus d'entreprises ont considéré rapatrier leurs outils de production en Europe », constate Cyril Griotier, directeur commercial France chez OnRobot, une entreprise danoise spécialisée dans la cobotique.*

*« De nombreuses industries recherchent l'efficacité et la productivité. En automatisant leurs lignes de production, les PME/PMI vont générer beaucoup moins de rebuts et améliorer leur rentabilité. La cobotique permet de garder cet esprit très flexible de l'outil de production. C'est un peu le graal de l'industrie : réagir rapidement à un événement ou à une crise. C'est le cas actuellement avec la hausse*

*très forte des coûts de l'énergie »*, explique Cyril Griotier.

Pour ce spécialiste, *« la cobotique permet aussi de répondre à la pénurie de main-d'œuvre pour des tâches qui sont dures (dans la manutention en particulier) et peu valorisantes, mais aussi dans des métiers où les industriels manquent de personnels qualifiés comme des tourneurs-fraiseurs. Enfin, un projet cobot ne nécessite pas de très fortes compétences d'un point de vue opérationnel à la différence d'un projet de robotique industrielle qui nécessite de solides compétences »*.

Les industriels comprennent mieux l'écosystème et savent ce qu'est un robot et un cobot. Il s'agit maintenant d'automatiser *« plus de tâches en programmant le robot de façon à ce qu'il ne soit qu'un périphérique d'une application ou d'une fonctionnalité : chargement de machines, packaging (concept de Pick and place désignant l'opération qui consiste à retirer de la marchandise d'un emplacement pour la placer à un autre endroit) »*, souligne Cyril Griotier.

C'est dans ce but que OnRobot s'apprête à commercialiser D : PLOY, la première plate-forme logicielle automatisée et centrée sur les applications. Cette plate-forme permettra le déploiement automatisé de ces applications collaboratives, afin de créer, d'exécuter, de surveiller et de redéployer les différents cobots depuis un seul et même environnement en ligne. Les délais de configuration peuvent alors être réduits jusqu'à 90 %.

15/11/2022

# COMMENT APPRENDRE LES MÉTIERS MANUELS GRÂCE À LA RÉALITÉ VIRTUELLE ?

*L'entreprise Mimbus propose des formations pour les métiers manuels en utilisant la réalité virtuelle et la réalité augmentée. Laurent Da Dalto, fondateur et directeur de l'entreprise, revient sur le fonctionnement de cette nouvelle méthode de formation, qui fait évoluer la pédagogie.*

Laurent Da Dalto est le fondateur et directeur de l'entreprise Mimbus, qui conçoit des mondes immersifs pour former aux métiers manuels. Les outils pédagogiques se basent sur la réalité virtuelle et la [réalité augmentée](#) pour former à une vingtaine de métiers tels que soudeur, électricien, menuisier, etc. Ces dispositifs sont destinés à remplir trois objectifs : sensibiliser le public aux métiers manuels en leur faisant essayer les professions lors de salons par exemple, faire tester virtuellement les métiers afin de détecter les talents et recruter, et enfin, former les apprenants à ces métiers.

Laurent Da Dalto est également auteur de ressources documentaires chez Techniques de l'Ingénieur à propos des environnements virtuels pour la formation : [WOOD-ED TABLE : environnement virtuel pour la formation au geste du menuisier](#) et [CS WAVE : la réalité virtuelle pour la formation au soudage](#). Entretien.

## **Techniques de l'Ingénieur : Pourquoi vous êtes-vous concentré sur les métiers manuels ?**

**Laurent Da Dalto :** En 2001, j'ai rencontré un professeur de l'AFPA [Agence nationale pour la [formation professionnelle des adultes](#), NDLR] qui m'a fait comprendre qu'il y avait une pénurie des talents dans les métiers manuels. Il y a du travail, mais pas assez de candidats car les métiers manuels souffrent d'une mauvaise réputation. Ils sont asso-

ciés à des environnements chauds, bruyants, fatigants, et sont présentés uniquement comme des voies secondaires, si les élèves n'arrivent pas à faire mieux. Les nouvelles technologies, et particulièrement la réalité virtuelle, permettent d'attirer de nouveaux profils et de montrer réellement en quoi consistent ces métiers. Avec la RV et la RA, on peut facilement transposer quelqu'un dans un chantier et lui faire ressentir la réalité de ces métiers.

## **Comment créez-vous vos formations ?**

Nous travaillons avec des experts de chaque métier. D'abord, nous rencontrons des formateurs de chaque métier pour comprendre à quels endroits les environnements virtuels pourraient être utiles. Pour prendre l'exemple du métier de soudeur, nous avons vu que le point le plus important sur lequel travailler était le positionnement corporel et la régularité des gestes, donc nous nous sommes concentrés là-dessus. Ainsi, nous avons travaillé les paramètres au millimètre près et fait appel à des ingénieurs, des développeurs, des psychopédagogues pour créer la formation. Ensuite, nous réalisons des tests progressifs, des expérimentations avec les élèves puis nous réévaluons la formation tous les 6 mois – 1 an pour opérer des ajustements si besoin.

## **Comment prenez-vous en compte l'environnement parfois difficile de certains métiers comme la chaleur, le bruit, les efforts physiques ?**

Le bruit peut être reproduit facilement, en revanche ce qui est plus dérangent dans l'apprentissage de métiers manuels via le numérique, c'est l'absence de toucher. On utilise des artifices pour compenser avec les autres sens.

Par exemple, on peut intégrer des [vibrations](#) ou des informations visuelles : du texte en rouge, l'impossibilité d'attraper un objet s'il est trop lourd etc.

### **Quels sont les éléments favorables à la mise en place d'une formation virtuelle ?**

Plusieurs paramètres entrent en jeu pour déterminer si le passage par le virtuel peut être préconisé. Nos technologies sont utiles pour former aux métiers dangereux, comme les menuisiers ou charpentiers qui utilisent des machines très risquées, ou pour les métiers qui ont lieu dans des environnements à risque. Mais aussi lorsqu'il est impossible de mettre en pratique un métier au cours de la formation. Par exemple, pour un laveur de glace sur les tours de la Défense, le virtuel permet de le mettre en situation et de vérifier s'il n'a pas peur. Enfin, un autre paramètre est le prix. Pour une formation de peintre, il existe des peintures automobiles très chères et qui ont un fort impact écologique. Pareillement, pour être soudeur, beaucoup de matière première est utilisée à perte durant la formation, uniquement pour l'apprentissage. Le virtuel permet d'éviter d'acheter des machines et des matières non nécessaires.

### **Quelle place donner aux apprentissages en réel par rapport aux apprentissages virtuels ?**

Certains préféreraient tout transposer en virtuel mais je pense que l'apprentissage en réel reste nécessaire, il faut donc trouver la balance entre les deux. Pour donner un exemple, dans un CFA qui forme les opérateurs sur une ligne de production, j'ai pu voir qu'ils avaient le matériel pour réaliser des formations virtuellement, mais également une chaîne de fabrication physique. La clé vient aussi du formateur. Avec le numérique, le travail du formateur évolue et le pilotage de la formation est individualisé. Les formateurs ne sont plus forcément des experts de la discipline, mais plutôt des pédagogues. Un professeur de soudage n'a pas nécessairement besoin d'être lui-même soudeur pour bien former.

### **Quels sont les avantages à ce type de formation ?**

Le virtuel permet de diviser au moins par deux le temps de formation. Les outils permettent de se concentrer sur l'apprentissage actif, ce qui fonctionne bien sur la nouvelle génération. A mon sens, il faudrait même intégrer ces outils très tôt, notamment pour orienter les jeunes vers les métiers manuels lorsqu'ils sont prédisposés à ces professions et pas intéressés par les apprentissages théoriques. Cependant, il ne faut pas oublier que la RV reste un outil, elle ne fait pas tout.

### **Que reste-t-il encore à améliorer ?**

L'inconvénient aujourd'hui réside dans le matériel qui n'est pas encore parfaitement adapté : il est trop lourd et trop cher pour être développé en masse. Même si les prix baissent, il faut quand même un certain budget pour acheter les casques de réalité virtuelle et les ordinateurs adaptés. En outre, il faut apprendre à utiliser ces outils.

### **Selon vous, comment la pédagogie devrait évoluer ?**

Je pense que la pédagogie de demain sera davantage individualisée et connectée. Elle pourrait passer par le téléphone portable car c'est maintenant une expansion de nous-même, et favoriser l'auto-apprentissage à travers des vidéos, des applis ou les réseaux sociaux. Dans ce cas, la place du professeur ou du formateur changerait totalement. Il serait davantage un animateur pédagogique chargé de s'assurer de la progression de l'apprentissage et de l'accès vers des débouchés.

*Propos recueillis par Alexandra Vépierre*

Retrouvez les ressources documentaires [WOOD-ED TABLE : environnement virtuel pour la formation au geste du menuisier](#) et [CS WAVE : la réalité virtuelle pour la formation au soudage écrites](#) par Laurent Da Dalto.

27/11/2020

# Gagnez du temps et sécurisez vos projets en utilisant une source actualisée et fiable



RÉDIGÉE ET VALIDÉE  
PAR DES EXPERTS



MISE À JOUR  
PERMANENTE



100 % COMPATIBLE  
SUR TOUS SUPPORTS  
NUMÉRIQUES



SERVICES INCLUS  
DANS CHAQUE OFFRE

- > + de 340 000 utilisateurs chaque mois
- > + de 10 000 articles de référence et fiches pratiques
- > Des Quiz interactifs pour valider la compréhension 

## SERVICES ET OUTILS PRATIQUES



### Questions aux experts\*

Les meilleurs experts techniques et scientifiques vous répondent



### Articles Découverte

La possibilité de consulter des articles en dehors de votre offre



### Dictionnaire technique multilingue

45 000 termes en français, anglais, espagnol et allemand



### Archives

Technologies anciennes et versions antérieures des articles



### Info parution

Recevez par email toutes les nouveautés de vos ressources documentaires

\*Questions aux experts est un service réservé aux entreprises, non proposé dans les offres écoles, universités ou pour tout autre organisme de formation.

## Les offres Techniques de l'Ingénieur

### INNOVATION

- Éco-conception et innovation responsable
- Nanosciences et nanotechnologies
- Innovations technologiques
- Management et ingénierie de l'innovation
- Smart city – Ville intelligente

### MATÉRIAUX

- Bois et papiers
- Verres et céramiques
- Textiles
- Corrosion – Vieillessement
- Études et propriétés des métaux
- Mise en forme des métaux et fonderie
- Matériaux fonctionnels. Matériaux biosourcés
- Traitements des métaux
- Élaboration et recyclage des métaux
- Plastiques et composites

### MÉCANIQUE

- Frottement, usure et lubrification
- Fonctions et composants mécaniques
- Travail des matériaux – Assemblage
- Machines hydrauliques, aérodynamiques et thermiques
- Fabrication additive – Impression 3D

### ENVIRONNEMENT – SÉCURITÉ

- Sécurité et gestion des risques
- Environnement
- Génie écologique
- Technologies de l'eau
- Bruit et vibrations
- Métier : Responsable risque chimique
- Métier : Responsable environnement

### ÉNERGIES

- Hydrogène
- Ressources énergétiques et stockage
- Froid industriel
- Physique énergétique
- Thermique industrielle
- Génie nucléaire
- Conversion de l'énergie électrique
- Réseaux électriques et applications

### GÉNIE INDUSTRIEL

- Industrie du futur
- Management industriel
- Conception et production
- Logistique
- Métier : Responsable qualité
- Emballages
- Maintenance
- Traçabilité
- Métier : Responsable bureau d'étude / conception

### ÉLECTRONIQUE – PHOTONIQUE

- Électronique
- Technologies radars et applications
- Optique – Photonique

### TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION

- Sécurité des systèmes d'information
- Réseaux Télécommunications
- Le traitement du signal et ses applications
- Technologies logicielles – Architectures des systèmes
- Sécurité des systèmes d'information

### AUTOMATIQUE – ROBOTIQUE

- Automatique et ingénierie système
- Robotique

### INGÉNIERIE DES TRANSPORTS

- Véhicule et mobilité du futur
- Systèmes aéronautiques et spatiaux
- Systèmes ferroviaires
- Transport fluvial et maritime

### MESURES – ANALYSES

- Instrumentation et méthodes de mesure
- Mesures et tests électroniques
- Mesures mécaniques et dimensionnelles
- Qualité et sécurité au laboratoire
- Mesures physiques
- Techniques d'analyse
- Contrôle non destructif

### PROCÉDÉS CHIMIE – BIO – AGRO

- Formulation
- Bioprocédés et bioproductions
- Chimie verte
- Opérations unitaires. Génie de la réaction chimique
- Agroalimentaire

### SCIENCES FONDAMENTALES

- Mathématiques
- Physique Chimie
- Constantes physico-chimiques
- Caractérisation et propriétés de la matière

### BIOMÉDICAL – PHARMA

- Technologies biomédicales
- Médicaments et produits pharmaceutiques

### CONSTRUCTION ET TRAVAUX PUBLICS

- Droit et organisation générale de la construction
- La construction responsable
- Les superstructures du bâtiment
- Le second œuvre et l'équipement du bâtiment
- Vieillessement, pathologies et réhabilitation du bâtiment
- Travaux publics et infrastructures
- Mécanique des sols et géotechnique
- Préparer la construction
- L'enveloppe du bâtiment
- Le second œuvre et les lots techniques

## OFFRE



### Travail des matériaux - Assemblage

Usinage, soudage, formage: toutes les techniques de travail et d'assemblage des matériaux!  
Ref : TIP153WEB

## PRÉSENTATION

Un panorama détaillé des différents principes, procédés et machines d'**usinage des métaux et autres matériaux comme les plastiques, les composites ou le bois**,  
Formage, découpage, profilage: toutes **les techniques de travail des matériaux en feuilles**,  
**Des plus classiques** (collage, agrafage, rivetage et sertissage) **aux plus modernes** comme le soudage par faisceau d'électrons ou par laser, **tous les procédés d'assemblage**.

## VOTRE COMMANDE :

Référence	Titre de l'ouvrage	Prix unitaire H.T	Qté	Prix total H.T
TIP153WEB	Travail des matériaux - Assemblage	<b>1 670 €</b>	1	<b>1 670 €</b>
Total H.T en €				<b>1 670 €</b>
T.V.A : 5,5%				<b>91,85 €</b>
Total TTC en €				<b>1 761,85 €</b>

## VOS COORDONNÉES :

Civilité  M.  Mme

Prénom \_\_\_\_\_

Nom \_\_\_\_\_

Fonction \_\_\_\_\_

E-mail \_\_\_\_\_

Raison sociale \_\_\_\_\_

Adresse \_\_\_\_\_

Code postal \_\_\_\_\_

Ville \_\_\_\_\_

Pays \_\_\_\_\_

Date :

Signature et cachet obligatoire

## CONDITIONS GÉNÉRALES DE VENTE

Conditions générales de vente détaillées sur simple demande ou sur [www.technique-ingenieur.fr](http://www.technique-ingenieur.fr)

Si vous n'êtes pas totalement satisfait, vous disposeriez d'un délai de 15 jours à compter de la réception de l'ouvrage pour le retourner à vos frais par voie postale. Livraison sous 30 jours maximum.