

Soudage Lean 101 appliquée aux opérations de soudage. De quoi s'agit-il et comment cela peut-il aider l'industrie Viwek VAIDYA ¹, Ken PEARCE ²

¹ Mistras-Métaltec, Montréal, QC, Canada 514 712 2801 e-mail: viwek.vaidya@mistrasgroup.com,

² CWB Group- Industry Services, Milton, ON Canada 403 966 0477 e-mail: ken.pearce@cwbgroup.org

Résumé

Dans certaines situations de gestion au jour le jour, le premier réflexe est de cacher ou d'ignorer le problème, plutôt que de le corriger. Souvent, ceux qui créent des problèmes n'en sont souvent pas directement incommodés et ils adoptent donc à leur égard une attitude de laissez-faire. Ils ont tendance à prendre le désagrément comme allant de soi. Par exemple, le meulage excessif dans un atelier de travail est tenu pour acquis et souvent ne préoccupe plus personne. .

Pour les soudures bout à bout d'ensembles sensibles à la rupture, les réparations nombreuses sont prises pour acquis. Ceci provient du fait qu'un problème est un événement indésirable dans une organisation non-Kaizen. Pourtant, un problème est une opportunité d'amélioration. C'est là que Lean et Kaizen interviennent.

Après une brève revue des principes de l'allègement, c-à-d du Lean en anglais, on aborde ici les cinq principes Lean spécifiques appliqués aux opérations de soudage. Plusieurs exemples sont utilisés pour illustrer les principes du Lean et du contrôle des rejets appliqués aux opérations de soudage.

Mots-clefs: Lean, soudures d'angle, sursoudage, facteur de marche, Kaizen, ISO 3834

1. Introduction

1.1. Le Dr Edward Deming

La philosophie Lean a pris racine chez le Dr Edward Deming (1900-1993)¹, le célèbre statisticien qui a transformé le Japon en une puissance de fabrication de produits de qualité. Après son retour du Japon, il a formé le personnel de direction et les gestionnaires de Ford pour faire passer l'entreprise de déficitaire à très rentable, en 1982. L'introduction de la Ford Sable sur le marché à cette époque fut étroitement liée à ses interventions.

Les conseils de Deming ont été radicaux et simples dans leur clarté :

« La qualité n'est pas quelque chose que l'on peut appliquer sur un produit; elle doit faire partie de chaque étape du processus de fabrication. L'inspection finale ne suffit pas. Si la qualité ne fait pas partie intégrante de la fabrication, vous ne pourrez jamais l'introduire lors de l'inspection ».

« Les contremaîtres et les superviseurs jettent souvent le blâme sur le manque d'efficacité de la main d'œuvre. En fait, les travailleurs ne sont responsables que de 15 % des erreurs, et par conséquent, le système conçu par la direction est responsable de 85% des conséquences imprévues ».

La formule de Deming pour un système de gestion efficace traitait des gens et de leurs attitudes, de formation, de leadership et d'engagement. Elle concerne tous les niveaux, du plus haut niveau de la hiérarchie au personnel d'atelier.

Deming a prêché quatorze principes généraux pour un système de gestion efficace :

1. Créer la constance de l'objet vers l'amélioration du produit et du service, dans le but de devenir compétitif, de rester en affaires et de créer des emplois.
2. Adopter la nouvelle philosophie. Nous sommes dans une nouvelle ère économique. Les gestionnaires occidentaux doivent susciter les défis, connaître leurs responsabilités et faire preuve de leadership pour instaurer le changement.
3. Cesser de dépendre de l'inspection pour obtenir la qualité. Éliminer la nécessité d'une inspection poussée en intégrant la qualité dans le produit en premier lieu.
4. Mettre fin à la pratique de l'attribution des contrats sur la seule base du prix à payer. Au contraire, réduire au minimum le coût total. S'orienter vers un fournisseur unique pour chaque article, dans une relation à long terme empreinte de loyauté et de confiance.
5. Améliorer constamment et pour toujours le système de production et de services, afin d'améliorer la qualité et la productivité et donc diminuer les coûts.
6. Instaurer des activités de formation sur les lieux de travail.
7. Instaurer le leadership. Le but de la surveillance devrait être d'aider les gens et les machines à faire un meilleur travail. La supervision de la gestion a besoin de révision, ainsi que de la supervision des travailleurs de la production.
8. Chasser la peur, afin que chacun puisse travailler efficacement pour l'entreprise.
9. Faire tomber les barrières entre les départements. Les personnes qui travaillent dans les domaines de la recherche, de la conception, de la production et des ventes doivent travailler en équipe, afin de prévoir les problèmes de production et d'utilisation que pourrait rencontrer le produit ou le service.
10. Éliminer les slogans, les exhortations et les énoncés d'objectifs demandant aux travailleurs zéro défauts et de nouveaux niveaux de productivité. Ces exhortations ont pour seul effet de créer des rapports antagonistes, dans la mesure où la plupart des causes de mauvaise qualité et de faible productivité proviennent du système et se situent donc au-delà de ce que peut faire la main d'œuvre.
11. a. Éliminer les quotas au niveau de la fabrication. Les remplacer par le leadership.
b. Éliminer la gestion par objectifs. Éliminer la gestion par nombres et objectifs quantitatifs. À la place instaurer du leadership.
12. a. Éliminer les obstacles qui empêchent le simple travailleur d'être fier de son travail. La responsabilité des superviseurs doit être axée sur la qualité et non les nombres.
b. Éliminer les obstacles qui empêchent le personnel de gestion et d'ingénierie d'être fier de son travail. Cela signifie, entre autres, la suppression de l'évaluation annuelle ou au mérite et de la gestion par objectifs.
13. Instaurer un vigoureux programme d'éducation et de développement personnel.
14. Susciter la participation de tous les employés de l'entreprise en vue de réaliser la transformation. La transformation est le travail de tout le monde.

1.2. Dr. James Womack², Fondateur du Lean Enterprise Institute, Cambridge, MA

James Womack, PhD MIT, auteur de Lean Thinking et fondateur du Lean Enterprise Institute enseigne que:

« L'adoption de la conversion au Lean représente bien plus que de simples techniques. Il s'agit de modifier les mentalités pour déceler et supprimer le gaspillage. Tout comme le charpentier a besoin d'avoir une vue d'ensemble de ce qu'il doit construire pour bien utiliser son marteau, les penseurs Lean ont aussi besoin d'avoir une vue d'ensemble avant d'entreprendre une action Lean. Pour ce faire, il faut s'intéresser intensément aux buts à atteindre, au procédés et aux personnes concernés. »

1.3. Décodage de l'ADN du système de Production de Toyota

Kiichiro Toyoda³ (1894-1952) était un entrepreneur japonais et le fils de Sakichi Toyoda, fondateur de Toyoda Loom Works. Sa décision d'axer Toyoda Loom Works sur la fabrication automobile a débouché sur la création de Toyota Motor Corporation, le plus grand constructeur automobile mondial. Steve Spear et ses collègues résument le système de Production Toyota dans le *Harvard Business Review* comme suit⁴ :

Le système de Production Toyota est issu du fonctionnement de l'entreprise depuis plus de 50 ans et il n'a jamais fait l'objet de commentaires négatifs jusqu'à présent. Rendant l'implicite explicite, Toyota configure toutes ses opérations comme étant des méthodes expérimentales et il apprend l'approche scientifique à ses travailleurs. Chaque activité, connexion et séquence de production conçues conformément à ces règles doit comporter des moyens de surveillance qui signalent les problèmes immédiatement. Et, chez Toyota, c'est la réponse en continu à ces problèmes qui rend ce système, en apparence rigide, si souple et si capable de s'adapter aux situations changeantes.

La méthode Toyota repose sur 14 principes :

1. Baser les décisions du personnel de gestion sur une philosophie à long terme, même au détriment des objectifs à court terme
2. Créer des flux de processus continus afin de faire émerger les problèmes à la surface
3. Utiliser des systèmes actifs afin d'éviter la surproduction (systèmes juste à temps)
4. Équilibrer la charge de travail
5. Instaurer une culture permettant de s'arrêter pour résoudre les problèmes, en vue d'obtenir la bonne qualité dès le début (approche Kaizen)
6. Les tâches standardisées constituent les fondements de l'amélioration continue et de l'acquisition de l'autonomie des employés
7. Mettre en œuvre le contrôle visuel pour qu'aucun problème ne demeure caché.
8. N'utiliser que des technologies fiables et éprouvées qui peuvent être bénéfiques à votre personnel et à vos processus
9. Former des dirigeants qui comprennent parfaitement le travail, épousent la philosophie et l'enseignent aux autres
10. Former des personnes et des équipes exceptionnelles qui suivent votre philosophie d'entreprise (respect et travail d'équipe)
11. Respecter votre vaste réseau de partenaires et de fournisseurs en leur soumettant des défis et en les aidant à s'améliorer
12. Voir par vous-même afin de comprendre parfaitement la situation (genchi genbutsu)
13. Décider par consensus après mûre réflexion, examiner soigneusement toutes les options ; mettre en œuvre les décisions rapidement
14. Devenir une organisation en processus continu d'apprentissage grâce à une réflexion approfondie et à l'amélioration continue

1.4. Conditions préalables pour réussir un processus Lean appliqué aux opérations de soudage.

Comment les entreprises canadiennes de fabrication soudée traitent-elles leurs soudeurs dans leur milieu de travail ?

Si vous ne vous êtes jamais aventuré dans un atelier ou une usine de fabrication soudée, vous avez pu conclure que la plupart traitent leurs soudeurs comme de la main-d'œuvre bon marché, remplaçable ou de la marchandise. Parfois les soudeurs sont traités avec peu de considération et on les laisse travailler physiquement dans des milieux exigeants en raison d'un manque d'outillage et d'équipements de positionnement. La plupart du temps, les appareils de soudage sont en très mauvais état, l'éclairage de l'atelier est très médiocre, les aires de travail sont sombres, poussiéreuses et peu invitantes au travail. S'il existe des systèmes d'aspiration des fumées, ils sont pleins de poussière et la plupart du temps ne sont pas en action ! Certains gestionnaires ne perçoivent pas les soudeurs comme une valeur ajoutée à leurs opérations, mais les voient plutôt comme des créateurs de problèmes de soudage.

Dans la plupart des régions du Québec, les soudeurs sont mal payés, environ 12 à 15 \$/h (2012). Les entreprises sont réticentes à faire des dépenses pour leur formation, et lorsqu'elles doivent le faire, elles le font pour satisfaire à une exigence contractuelle, la direction étant impatiente d'avoir des résultats positifs aux essais de qualification. Dans la plupart des cas, elle ne pense pas à investir dans la formation afin d'atteindre cet objectif. Lorsque le soudeur échoue, il n'y a souvent aucun mécanisme de remontée de l'information afin de comprendre les raisons pour lesquelles le soudeur a échoué aux essais de qualification et ce qu'il faut changer pour qu'il réussisse. On peut lui permettre de recommencer, mais s'il échoue à nouveau, il est congédié. Ceci continue jusqu'à ce qu'un autre soudeur réussisse finalement les essais de qualification CWB ou AWS ou au moins un des procédés FCAW ou GMAW pour satisfaire aux exigences contractuelles. Bien sûr, il ne s'agit pas d'approche Lean. Il en résulte beaucoup de gaspillage d'efforts et de ressources au fil du temps.

Par ailleurs, les écoles de soudage échouent également à former leurs élèves dans le vrai sens du Lean ! Par exemple, dans la plupart des écoles, les étudiants peuvent avoir terminé un cours de soudeur-assembleur (1650 heures), mais les écoles n'ont jamais de budget pour réellement faire passer aux étudiants un essai de qualification aux rayons X des soudures et les préparer aux exigences du CWB. Après leurs études, les soudeurs doivent payer eux-mêmes pour passer leur examen de qualification de soudeur CWB qui est coûteux et jamais inclus dans le programme de formation de l'école. Ainsi, même après 1650 heures de formation, un soudeur peut travailler dans l'industrie depuis plus de 5 ans sans pour autant n'avoir jamais été qualifié conformément aux exigences du CWB ou de l'AWS, ratant ainsi la possibilité d'obtenir le Sceau rouge. Les écoles de soudage ne sont vraiment pas très responsables à cet égard et ne prennent pas au sérieux leurs responsabilités.

Dans les ateliers de fabrication soudée, les soudeurs et les monteurs sont traités comme quantité négligeable et tenus dans l'ignorance. La plupart des soudeurs-assembleurs ne sont pas informés de ce qu'ils fabriquent, étant donné que la direction ne pense pas qu'il est important de partager ces informations.

Maintenant arrêtons-nous pour réfléchir dans une optique Lean. Comparons cette situation à l'approche que Deming et Toyota préconisent à l'intention de la direction et des gestionnaires. Les deux systèmes prônent d'une part l'autonomie des employés grâce au partage des connaissances et d'autre part leur respect mutuel en renforçant l'esprit d'équipe.

Malheureusement, en raison de cette très forte disparité de traitement humain, dans nos ateliers de soudage, tout employé du niveau cadre intermédiaire, qui souhaiterait s'orienter vers le Lean au Canada ne peut réussir sauf si le président de l'entreprise est convaincu, s'implique, assume ses responsabilités et prend fait et cause pour l'entreprise, les employés et les opérations de soudage, en mettant les ressources nécessaires.

2. ISO/TR 3834-6: exigences de qualité pour le soudage par fusion des matériaux métalliques ⁵

Le chaînon manquant de la reconnaissance de l'importance du soudage exprimé ci-dessus est très bien couvert dans la mise en œuvre de la norme ISO 3834. Celle-ci reconnaît que l'efficacité du système de contrôle du soudage dépend dans une large mesure de l'implication de la haute direction et de son rôle dans l'évaluation continue de la performance et de la mise en œuvre d'actions lorsque des lacunes sont détectées. Le fait d'effectuer des examens de la gestion et des audits internes assure la participation de la haute direction dans le système de contrôle du soudage et permet l'évaluation continue des performances et l'introduction de mesures visant à combler les lacunes identifiées. Adopter une telle norme au Canada en plus de la CSA W47 ou la fusionner avec elle, pourrait fournir la visibilité nécessaire pour exposer le dilemme concernant la formation et la performance des soudeurs évoqué précédemment.

Le soudage est un procédé spécial dans la mesure où le résultat final peut ne pas être vérifiable par des essais. Conformément à l'enseignement de Deming, la qualité de la soudure fait partie intégrante de la fabrication du produit et non de l'inspection. Cela signifie que le soudage requiert normalement d'effectuer un contrôle continu ou de respecter des modes opératoires ou les deux. La norme ISO 3834 traite des exigences de qualité en soudage et a été préparé afin d'identifier ces contrôles et modes opératoires.

Étant donné que le soudage est un procédé spécial, la communauté internationale du soudage reconnaît l'importance du soudage et de ses processus de contrôle. Elle a également reconnu que peu de progrès peuvent être réalisés dans la qualité du soudage si le procédé de soudage n'est pas maîtrisé. Les membres du groupe de travail de l'ISO 3834, provenant du Royaume-Uni, d'Allemagne, d'Italie, du Canada, de Belgique, du Japon et de France, ont reconnu l'importance du contrôle des procédés et de l'implication de la haute direction dans la réussite des opérations de soudage. Ces contrôles figurent maintenant dans la version 2007 du rapport technique ISO 3834.

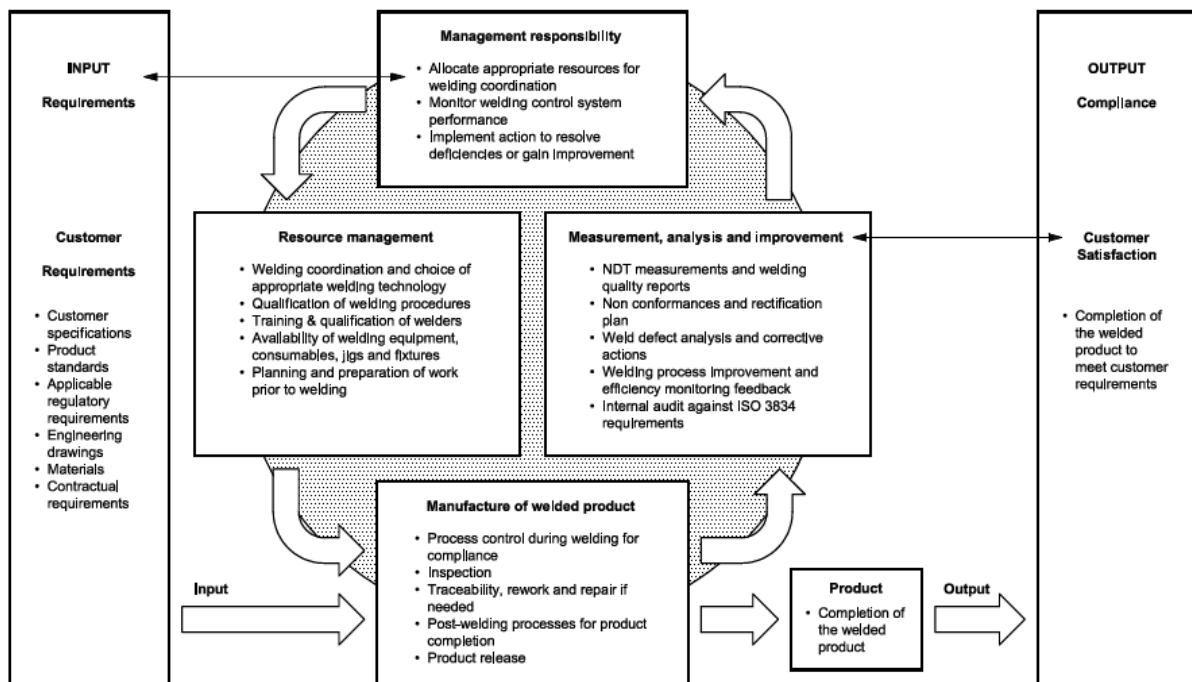


Figure 1: Original de la recommandation de Viwek Vaidya pour le système de contrôle du soudage en 2005 pour le groupe de travail de l'ISO 3834 et maintenant inclus dans l'ISO/TR 3834-6:2007(E)

3. ISO 9001 et ISO 3834

L'ISO 3834 n'est pas une norme de système de qualité destinée à remplacer l'ISO 9001, mais un outil utile supplémentaire à utiliser lorsque la norme ISO 9001 est appliquée par les fabricants, auquel cas ses exigences doivent figurer dans les certificats ou les documents. Cependant, l'ISO 3834 peut être utilisée indépendamment de l'ISO 9001. Étant donné que les rapports d'audit de l'ISO 3834 documentent les capacités de fabrication des usines auditées, les agents commerciaux des pays étrangers utilisent les listes pour identifier les ateliers de fabrication adéquatement qualifiés pour les marchés mondiaux dans divers pays

Étant donné que l'ISO 9001 ne fait pas mention d'exigences spécifiques concernant les activités de soudage, le rapport recommande l'utilisation de l'ISO 3834-2 (exigences de qualité détaillées et similaires aux exigences de la norme obsolète CSA Z299.1), de l'ISO 3834-3 (exigences de qualité standard) et l'ISO 3834-4 (exigences de qualité minimales) pour le choix du niveau de qualité requis exigé par la norme du produit. Pour les activités de soudage dans le cadre des systèmes de gestion de la qualité autres que ceux de l'ISO 9001 qui ne contiennent pas d'exigences spécifiques concernant les activités de soudage, on devrait utiliser les normes ISO 3834-2, ISO 3834-3 et ISO 3834-4.

4. Audits de soudage. L'approche Lean appliquée aux opérations de soudage

En 1993, Air Liquide Canada a reçu le mandat de réaliser un audit des opérations de soudage du Chantier naval de St John, où des frégates étaient fabriquées. L'audit a duré quatre jours et a fait appel à cinq auditeurs pour examiner les travaux de soudage sur le chantier. Lorsque les résultats ont été présentés dans une salle remplie de vice-présidents et d'ingénieurs, la question suivante a été posée:

Question: « Alors, qu'avez-vous vu comme problème sur le chantier ? »

Réponse: « Il est très facile à mettre en évidence. Il semble qu'on demande aux soudeurs d'effectuer des tâches de préparation avant de pouvoir commencer à souder en appuyant sur la gâchette de leur pistolet. Tous les matins, ils arrivent à 7h à leur poste de travail, mais aucun soudage ne commence avant 9h15, après la première pause.

Comme les auditeurs l'ont remarqué, les soudeurs passaient presque une heure à la mise en place et au réglage de leur pistolet de soudage, étant donné que chaque soudeur avait reçu son propre pistolet de soudage en vertu de la pratique courante sur le chantier. Il n'y avait aucun dispositif de monitoring mis en place pour signaler l'inefficacité. Dans la philosophie Toyota, un témoin rouge clignotant à chaque poste de travail aurait attiré l'attention sur le problème. Une organisation Lean aurait trouvé une solution rapide grâce à une intervention Kaizen⁷ ! Il n'est pas étonnant que le chantier naval de St-John ait fermé ses portes définitivement, peu après la fin des contrats de fabrication des frégates.

Le Kaizen⁷ est un processus intéressant à appliquer au soudage. Il produit, dans la plupart des cas, des résultats spectaculaires. En général, il ne nécessite pas de gros investissements. Il n'est pas un élément perturbateur. Il requiert cependant un engagement de toute l'organisation, y compris du président, du PDG ou du chef de la direction. La bonne nouvelle est que cela fonctionne ! C'est vraiment un voyage passionnant dans l'ingénierie humaine !

La raison de la mise en application de la norme ISO 3834 provient de ses liens avec le Lean appliqué aux principes du soudage. La norme recommande d'effectuer le monitoring du

processus de soudage. À travers le processus d'examen de la gestion, elle apporte une valeur ajoutée à deux domaines clés qui déterminent le succès :

- L'exigence d'utiliser le contrôle des processus pour surveiller le bain de fusion au niveau du soudeur
- La présentation des résultats de la performance du contrôle de processus à la haute direction. La direction doit veiller à résoudre les problèmes en allouant les ressources nécessaires et(ou) en effectuant des formations comme mesures correctives.

Il est bien entendu que, à moins que le Lean ne devienne obligatoire, il demeure pour les ateliers de fabrication un processus intéressant à avoir plutôt qu'un processus qu'ils doivent avoir. Par exemple, les exigences des poinçons S et U de l'ASME pour les appareils à pression obligent automatiquement les fabricants à se conformer aux normes ASME. La certification des entreprises en Divisions 1, 2 et 3 les oblige à se conformer à la norme CSA W47. Actuellement, il n'y a rien dans l'industrie canadienne pour mettre en place un environnement destiné à susciter un quelconque changement dans la façon dont fonctionne l'industrie de la fabrication soudée. Tant qu'il n'existera pas un environnement facilitant l'utilisation du Lean pour le soudage, cette approche très rentable restera en dormance. Idéalement, il devrait y avoir un lobby industriel qui incite les gouvernements fédéral ou provinciaux à fournir une sorte d'incitation fiscale au secteur de la fabrication pour appliquer le Lean. Ceci pourrait ouvrir de nouvelles portes, comme l'a reconnu « La carte routière technologique pour l'industrie canadienne du soudage et de l'assemblage 2006 - 2016 »⁸.

5. Évolution des audits en soudage chez Air Liquide

L'évolution des audits en soudage réalisés au sein d'Air Liquide au cours de la période 1993-2009 a donné lieu à de nombreuses publications et conférences. En commençant par l'audit du chantier naval de St John, qui a mis en évidence la nécessité de déterminer de manière objective le facteur de marche des travaux de soudage, des appareils ont été mis au point pour mesurer la productivité et des dispositifs ont été fabriqués pour faire un monitoring des paramètres de soudage, par le biais du programme CAP optima. Le programme a été étendu et mis en application dans le monde, en France, aux États-Unis, en Espagne, en Afrique du Sud et dans d'autres pays européens.

Un des clients dans le nord de la France a installé le système CAP Optima sur 80 postes de soudage. Les valeurs mesurées du facteur de marche des travaux de soudage étaient directement liées à la rémunération des soudeurs. Les soudeurs pouvaient voir les valeurs des facteurs de marche sur des écrans implantés à différents endroits dans l'usine. La raison pour laquelle ce programme a si bien fonctionné a été une fois de plus reliée au vif intérêt que le jeune PDG a manifesté dans la mise en œuvre et le succès du programme afin d'être compétitif sur le marché mondial. Clairement, il s'agit d'un bon exemple de la pensée novatrice et originale pour devenir plus concurrentiel sur la scène internationale !

6. Établissement de nouveaux paramètres de soudage Lean pour éviter les problèmes de fils qui s'emmêlent dans les dévidoirs

En dehors du mesurage des principaux paramètres de soudage illustré dans l'article du Welding Journal de l'AWS qui décrit l'approche Lean de Front End Loaders de New York, des études ont été entreprises en 2007 afin de mesurer les forces de dévidage du fil en soudage semi-automatique. Pendant le dépannage des robots à l'usine Komatsu à Montréal, le dévidage du fil a été identifié comme étant une variable importante. Des essais ont été entrepris pour réellement mesurer la force de dévidage du fil et pour déterminer la valeur au dessus de laquelle il fait des boucles et s'emmêle. Les résultats de cette étude ont été présentés au Welding Show 2008 et un article a été publié dans la revue le Fabricator en mars 2009¹⁰.

Le **tableau 1** indique la force de flambage de fils de différents diamètres. Cela signifie que tout obstacle au dévidage du fil dans le dévidoir créant une force supérieure à ces valeurs aura pour effet de créer de l'instabilité et finalement d'emmêler le fil !

Tableau 1. Forces de flambage de différents types et diamètres de fil

Diamètre et type de fil	Désignation	Force de flambage (lb)
0,035 po Aluminium	ER 4043	2,96–3,48
0,031 po Inox	ER 308LSi	8,76
0,045 po Aluminium	ER 5356	13,14–14,76
0,035 po Acier	ER 70S-6	21,12–28,82
0,045 po Acier	ER 70S-6	>50,00

Les résultats significatifs du Lean pour le dévidage du fil ont été les valeurs des forces nécessaires pour que le fil se dévide dans le dévidoir. Après de nombreux essais réalisés chez différents fabricants et avec différentes configurations de dévidage, on a découvert que la force maximale pour pousser le fil de sa sortie des galets d'entraînement jusqu'au pistolet de soudage devrait être inférieure à 4 lb. La force totale pour dévider le fil, de la bobine de fil jusqu'au pistolet, en passant par le dévidoir, avec les galets d'entraînement désengagés ne devrait être pas être supérieure à 12 lb.

7. Présentation du programme Soudage lean 101

Le programme Soudage Lean 101 fournit un aperçu complet d'audit des performances en soudage pour tous ceux qui souhaitent entreprendre une approche Lean en fabrication soudée.

Il est bien sûr difficile de savoir par où commencer, étant donné que le soudage est un procédé complexe. De plus, le soudage étant un *procédé spécial*, il requiert des contrôles de processus pour assurer la qualité finale de la soudure. En d'autres termes, la soudure terminée peut sembler correcte visuellement et ne montrer aucune non-conformité, mais elle peut cependant contenir des défauts qui ne peuvent être décelés que par des contrôles destructifs ou volumétriques supplémentaires. Pour contrôler correctement le soudage, il faut vérifier plusieurs paramètres de procédés. Par exemple, uniquement pour le soudage semi-automatique avec fil fusible (procédés tels que GMAW, FCAW et MCAW), il y a plus de 27 paramètres ! Pour n'en nommer que quelques-uns : choix du procédé de soudage, choix du type de joint et d'assemblage, épaisseur de la pièce, type de métaux de base et de métaux d'apport, dimension de soudure, séquence de répartition des passes et des couches, diamètre du fil, vitesse de dévidage, vitesse de soudage, courant et tension de soudage, polarité électrique, type de gaz de protection, débit de gaz, technique de soudage et avance, préchauffage, post-chauffage, température entre passes, support à l'envers, gougeage à l'envers, longueur libre de fil, taux de dépôt, apport de chaleur, déformations, etc. Pour bien faire, la plupart des soudeurs devraient avoir une formation adéquate avant d'effectuer des travaux de production et, dans la plupart des cas, avoir accès à des documents décrivant correctement les modes opératoires de soudage, notamment pour les aider à choisir les bonnes valeurs de paramètres. Donc, pour le soudage semi-automatique, quels sont les paramètres les plus importants, qui affectent la qualité et la productivité ?

Le programme Soudage Lean 101 examine les paramètres suivants pour analyse comparative:

1. Observer comment le soudeur soude, sa technique est-elle appropriée ?
2. Mesurer le gaspillage pendant l'opération de soudage en mesurant le sursoudage et la consommation de produits d'apport.

3. Mesurer les principaux paramètres de soudage comme la vitesse de soudage, la vitesse de dévidage du fil et le facteur de marche du soudage.
4. Mesurer la consommation de gaz et documenter les gaspillages observés
5. Mesurer la force pour le dévider le fil, la comparer aux valeurs de référence et la régler en conséquence.

Toutes les données sont utilisées pour calculer le coût réel du soudage par unité de longueur et ensuite définir les cibles par phases. Les calculs donnent des objectifs d'économies annuelles potentielles pour l'opération, sans investissement supplémentaire, pour commencer l'approche Lean. La diminution du gaspillage grâce à l'intervention Lean est de l'ordre de 5000\$ à 8000\$ par soudeur par an.

Un des exemples cité précédemment⁷ est à nouveau mentionné ici pour bien comprendre l'impact que peut avoir le Lean appliqué au soudage, grâce aux améliorations notables qu'il engendre.

On a demandé à treize soudeurs d'expérience, travaillant pour un fabricant de ponts en acier, d'effectuer des soudures d'angle de 12 pouces de long, de dimension 5/16 po, en utilisant le procédé FCAW avec un fil fourré de 1/16 po de diamètre, en position 2F. On a demandé aux soudeurs de réaliser ces essais à leur propre poste de travail, pour reproduire les paramètres de soudage utilisés en production.

Tableau 2: Résultats d'essais de soudage réalisés par des soudeurs d'expérience dans un atelier de fabrication ⁷

Team	Sample number	Required size (inches)	Wire feed speed (in/min)	Technique Push/pull	Welding speed (in/min)	% over welding	Visual evaluation Acc./Rej.	Penetration evaluation Acc./Rej.	Global evaluation Acc./Rej.
Night	1	5/16	235	45 push 15-30	11.8	-20	Acc.	Acc.	Rej.
Night	2	5/16	212	40 push 0-5	7.9	10	Acc.	Acc.	Acc.
Night	3	5/16	236	40 push 0-5	9.5	68	Acc.	Rej.	Rej.
Night	4	5/16	220	40 push 15	10.6	40	Acc.	Rej.	Rej.
Night	5	5/16	211	40 push 0	10.9	-10	Acc.	Acc.	Rej.
Day	6	5/16	222	40 push 0-10	10.1	40	Acc.	Rej.	Rej.
Day	7	5/16	259	35 push 5	9.2	44	Acc.	Rej.	Rej.
Day	8	5/16	302	40-45 push 5	9.6	68	Acc.	Rej.	Rej.
Day	9	5/16	219	45 push 15	7.6	20	Rej.	Rej.	Rej.
Day	10	5/16	241	45 push 0-5	7.2	44	Acc.	Rej.	Rej.
Day	11	5/16	200	45-50 push 10	10.0	-10	Acc.	Acc.	Rej.
Day	12	5/16	210	45 push 15	7.2	44	Acc.	Rej.	Rej.
Day	13	5/16	210	45 push 25	6.4	44	Acc.	Rej.	Rej.
			Average		Average	Average	Accept	Rej.	Rej.
1/16" diameter FCAW wire, 100% CO2			229		8.8	29.4%	12	9	12

- La vitesse de dévidage moyenne a été mesurée à 229 po/min. Après douze mois de monitoring et de formation, on a pu atteindre une vitesse moyenne de dévidage du fil de 350 po/min.
- Tous les treize soudeurs ont utilisé une mauvaise technique de soudage. Plusieurs années auparavant, les soudeurs avaient été transférés d'un atelier de soudage GMAW (procédé pour lequel il est recommandé de souder en poussant) à un atelier de soudage FCAW (procédé pour lequel la technique de soudage en tirant donne les meilleurs résultats).
- La qualité des résultats a été désastreuse ! Douze des treize soudeurs n'ont pas réussi à effectuer des soudures conformes à la spécification requise et neuf des treize soudeurs n'ont pas réussi à effectuer des profondeurs de pénétration

acceptables ! Par la suite le fait de changer de technique et d'augmenter la vitesse de dévidage a permis de résoudre les problèmes de pénétration.

- On a observé que la vitesse de soudage était de 8,8 po/min. Cette valeur est voisine de la moitié de la vitesse de soudage optimisée pour effectuer des soudures d'angle de 5/16 po avec le procédé de soudage à l'arc avec fil fourré (FCAW). Après douze mois de monitoring, la vitesse de soudage moyenne a augmenté pour passer à 14 po/min.
- Chez un autre fabricant utilisant les procédés de soudage SAW et FCAW, l'exécution de soudures critiques conformément au code AWS concernant les ponts a montré des taux de rejet effroyables sur les soudures bout à bout et les soudures d'angle d'assemblages de 1 à 2 po d'épaisseur. Les taux de rejet étaient inacceptables et résultaient d'un manque de formation, d'une mauvaise planification, d'un mauvais choix de préparation et de plusieurs machines portatives SAW peu performantes.
- 9 soudures sur 10 des assemblages bout à bout de 1 po d'épaisseur et de 10 pieds de longueur, réalisées avec le procédé SAW ont été rejetées soit un taux de rejet de 90 % et un taux de rejet linéaire de 18,7 %.
- 11 soudures sur 30 des assemblages bout à bout de 1 po d'épaisseur et de longueur comprise entre 6 et 12 pieds de longueur, réalisées avec le procédé SAW ont été rejetées soit un taux de rejet de 36 % et un taux de rejet linéaire de 5 %.
- 22 soudures sur 33 des assemblages bout à bout de 2 po d'épaisseur, réalisées avec le procédé SAW ont été rejetées soit un taux de rejet de 66 % et un taux de rejet linéaire de 9,2 %.
- 11 soudures sur 43 des assemblages bout à bout de 1,5 po d'épaisseur, réalisées avec le procédé SAW ont été rejetées soit un taux de rejet de 25,6 % et un taux de rejet linéaire de 6,3 %.

Certaines zones réparées ont été réparées à nouveau, dans certains cas jusqu'à quatre fois car il y avait un manque de contrôle et de formation des soudeurs ainsi que des modes opératoires de réparation non optimisés car effectuées avec le procédé FCAW. En effet, le procédé FCAW utilisé pour effectuer des réparations donne généralement des résultats médiocres en raison des risques d'emprisonnement du laitier lors du soudage. Une mauvaise qualité similaire a été observée récemment dans le cas d'autres contrats concernant des ponts; par conséquent, il semble qu'il ne s'agit pas d'incidents isolés.

Sur les appareils à pression ASME, le taux de rejet des soudures bout à bout de 2 à 4 po d'épaisseur, réalisées avec le procédé SAW, est inférieur à 0,5 % par pouce linéaire et c'est le procédé SMAW qu'on choisit généralement pour effectuer les réparations. De cette manière, les zones réparées passent l'inspection du premier coup !

Le processus de Soudage Lean 101 est simple à mettre en œuvre en cours de travail grâce à la supervision de l'atelier et des soudeurs. Le point important est axé sur la mise en œuvre des modifications requises concernant les personnes : le personnel de supervision de l'atelier et les soudeurs. Une fois que le processus est lancé, cela peut prendre jusqu'à neuf mois pour le mener à bien, car il concerne les changements dans la façon de travailler et la modification des vieilles habitudes, des choses qui sont difficiles à changer, l'humain étant ce qu'il est.

8. Conclusions

1. Les recommandations de la Carte routière technologique pour soutenir l'industrie par le déploiement de nombreuses initiatives technologiques en soudage doivent être mises en application pour rendre l'industrie canadienne du soudage plus efficace.
2. L'application du Lean aux opérations de soudage est une méthodologie valable, cependant la haute direction doit s'impliquer pour faire de cette possibilité une réalité.
3. L'adoption de normes de type ISO 3834 au Canada peut créer l'environnement nécessaire pour mettre en action le Lean dans la fabrication au niveau mondial. Les PDG

et chefs de la direction auront à s'impliquer dans le processus d'examen de la gestion. Les soudeurs se sentiront plus reconnus et bénéficieront de meilleures conditions de travail.

4. Industrie Canada, par l'intermédiaire du programme PARI, doit jouer un rôle majeur pour aider à développer des outils Lean supplémentaires pour faire avancer le processus.
5. Les organismes de soudage et leurs membres doivent faire pression sur les gouvernements fédéral et provinciaux pour offrir des incitatifs fiscaux ayant trait à l'application de la méthodologie Lean en vue d'améliorer la productivité en soudage au Canada.
6. Les outils d'évaluation des opérations de soudage telles que Soudage Lean 101, audits CAP, audits POP, Value Optimiser, Maxweld, Nextweld, ont besoin d'une plus grande visibilité et d'un soutien financier par l'intermédiaire du PARI et d'autres sources de financement provinciales.

9. Remerciements

L'auteur tient à remercier Air Liquide Canada et Omniweld Solutions Intégrées pour l'autorisation d'utiliser des données et des publications d'audits CAP. Il tient à remercier aussi les entreprises Elco d'avoir développé un banc d'essai avec des cellules de charge pour mesurer les forces de dévidage du fil et les données concernant le flambage du fil. Serge Brulé chez Omniweld a effectué les mesures de forces pour dévider le fil dans différentes configurations pour déterminer les paramètres Lean. L'auteur tient à remercier Ken Pearce et Martin Daignault au CWB pour les discussions sur les défis visant à développer et mettre en œuvre des audits de productivité tels que Value Optimiser et Jean Pierre Dubé Ing. pour des discussions sur le Lean et le Six Sigma pour produire des pièces de qualité plus rapidement et moins chères.

1. Dr. Edward Deming: http://en.wikipedia.org/wiki/W._Edwards_Deming
2. Dr. James Womack: http://en.wikipedia.org/wiki/James_P._Womack
3. Kiichiro Toyoda : http://en.wikipedia.org/wiki/Kiichiro_Toyoda
4. Steve Spear & al: <http://hbr.org/1999/09/decoding-the-dna-of-the-toyota-production-system/ar/1>
5. ISO/TR 3834-6:2007: Quality requirements for fusion welding of metallic materials
6. Chris Smallbone avec WTIA (Welding Technology Institute of Australia) : Benefits of ISO 3834 in Australia <http://www.wtia.com.au/pdf/TGN-3834-FULL%20SET.pdf>
7. Viwek Vaidya et Andy McCartney: Applying Kaizen to welding operations <http://www.omniweld.ca/PDF/Applying%20Kaizen%20to%20Welding%20Operations.pdf>
8. A Road Map for Canadian Welding and Joining Industry 2006 - 2016: [http://www.ic.gc.ca/eic/site/trm-crt.nsf/vwapj/welding_joining_highlight-soudage_assemblage_points_eng.pdf/\\$FILE/welding_joining_highlight-soudage_assemblage_points_eng.pdf](http://www.ic.gc.ca/eic/site/trm-crt.nsf/vwapj/welding_joining_highlight-soudage_assemblage_points_eng.pdf/$FILE/welding_joining_highlight-soudage_assemblage_points_eng.pdf)
9. Viwek Vaidya et Bryan George: Applying Lean to welding Operations <http://files.aws.org/wj/2007/wj0407-32.pdf>
10. Viwek Vaidya et Ed Cooper - March 2009 : Smooth wire feeding, smooth welding - Questioning wire-dispensing practices produces big payoffs <http://www.thefabricator.com/article/arcwelding/smooth-wire-feeding-smooth-welding>
Xfbxcfbf