

Mémoire de stage de fin d'études :

Intégration d'une première cellule automatisée de soudage



Sujet réalisé par :

Julie OUDARD

Promotion ENSAM 2017-2020

julie.oudard@ensam.eu



Référent pédagogique :
Arnaud KREMER

arnaud.kremer@ensam.eu



40 boulevard de l'industrie
ZI Ecoflant
49000 Angers
0241272727

Tuteur industriel :
Tony PEYRACHE
Responsable d'exploitation
t.peyrache@bouzinac.fr



Référent apprentissage :
Jean-François COCHET

jf.cochet49@orange.fr

Introduction

Ce mémoire s'inscrit dans le cadre de la validation de mon diplôme d'ingénieur généraliste en alternance entre l'entreprise Bouzinac Industrie, l'école d'ingénieur ENSAM et le CFA ITII Pays de la Loire. L'objectif de ce document est de présenter le contenu de mon travail effectué dans le cadre de ma séquence de fin d'études intitulée « Intégration d'une première cellule automatisée de soudage ». Ce travail, qui s'est déroulé entre Avril 2019 et Juillet 2020, m'a permis de réaliser un projet de niveau ingénieur. Pour ce faire, je me suis appuyée sur les compétences acquises lors de ma formation sur des notions de savoir, savoir-être et savoir-faire ; et sur le soutien et les conseils de mon entreprise et de mes tuteurs.

Notice Bibliographique

ANNEE :	2020
N° du Stage de Fin d'Études (SFE) :	
CAMPUS DE RATTACHEMENT SFE :	ENSAM Angers
AUTEURS :	OUDARD Julie
TITRE :	Intégration d'une première cellule automatisée de soudage
ENCADREMENT DU SFE :	PEYRACHE Tony, Tuteur industriel KREMER Arnaud, Tuteur pédagogique COCHET Jean-François, Référent apprentissage
PARTENAIRE DU SFE :	Bouzinac Industrie
NOMBRE DE PAGES :	57
NOMBRE DE REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :	12
MOTS-CLES :	Robotisation, Soudure MIG, PME, Très petite série, Gestion de projet, Compétitivité, Conditions de travail, Polyvalence

RESUME :

Bouzinac Industrie souhaite investir dans un système automatisé de soudure pour gagner en compétitivité, en qualité de produits tout en améliorant les conditions de travail. Le défi principal de ce SFE est d'adapter un moyen de production orienté grande série pour une production de très petite série. Le choix s'est porté sur un robot de soudure, avec une facilité de programmation et de changement de série. Ma mission consiste à mettre en exécution le projet, de la phase d'état de l'art jusqu'à sa mise en service, en passant par la définition du besoin, le choix des partenaires, la recherche de subventions, l'implantation dans un milieu industriel, le management d'équipe...

Remerciements

Je souhaite remercier l'ensemble des personnes qui m'ont accompagnée lors de la réalisation de ce mémoire.

Tout d'abord, merci à mon tuteur Tony Peyrache ainsi que le directeur Jean Castillon pour m'avoir fait confiance et m'avoir accompagnée durant les trois années d'alternance au sein de Bouzinac Industrie.

Merci également aux membres de l'équipe projet du SFE : les opérateurs et responsables, qui se sont impliqués dans la démarche.

Merci à Aude Caillaud, responsable ENSAM de notre promotion d'alternants pour l'organisation de notre formation ainsi qu'à Fabien Thomas de l'ITII Pays de la Loire pour ses conseils pointus et pertinents.

Merci enfin à mon équipe tutorale, Arnaud Kremer et Jean-François Cochet pour leur accompagnement constant et toujours bienveillant lors de ces trois années d'alternance et plus particulièrement cette dernière année de SFE.

Table des matières

Introduction.....	1
Notice Bibliographique.....	2
Remerciements	3
1. Présentation de l'entreprise.....	6
1.1. Son marché, ses produits, sa stratégie.....	6
1.2. Son outil de production.....	7
1.3. Ses salariés.....	8
1.4. Mon implication au sein de cette organisation.....	9
2. Contexte et problématique du SFE	9
2.1. Une volonté de modernisation	9
2.2. Des conditions de travail difficiles en soudure.....	10
2.3. Une opportunité de fiabilisation de la qualité et de la productivité.....	10
2.4. Problématique et enjeux.....	11
3. Indicateurs du projet	11
3.1. Taux d'absentéisme du secteur soudure	12
3.2. Taux de non-conformités du secteur soudure	13
3.3. Taux de charge du secteur soudure	14
3.4. Regard critique sur les indicateurs.....	15
4. Méthodologie de travail.....	16
5. Respect des délais annoncés.....	17
6. Avant-projet	18
6.1. Etat de l'art.....	18
6.2. Mise en place d'une équipe projet.....	19
6.3. Définition du cahier des charges.....	20
7. Choix d'un partenaire.....	21
7.1. Appel d'offres.....	21
7.2. Etude des propositions.....	22
7.3. Choix d'une solution.....	25
7.4. Caractérisation technique de la solution retenue.....	27
8. Ajustements nécessaires de la solution à l'environnement Bouzinac	28
8.1. Personnalisation de la solution	28
8.2. Outillage	30
8.3. Choix d'une implantation	31
8.4. Optimisation de l'aspiration des fumées de soudage.....	34

8.5.	Formation des opérateurs.....	35
8.6.	Préparation des phases de tests	36
9.	Méthode de financement.....	37
10.	Finalisation du projet.....	40
11.	Prise de recul sur le projet de SFE	41
11.1.	Du point de vue organisationnel et technique.....	41
11.2.	Du point de vue des sciences sociales.....	41
11.3.	Mes enseignements tirés de ce SFE	42
	Conclusion	43
	Annexes	44
	Annexe 1 : Cahier des charges – Projet d’automatisation d’un processus de soudage de roues.....	44
	Annexe 2 : Description technique des générateurs Fronius TPS 400i et TPS 500i	47
	Annexe 3 : Partie « Descriptif de la solution proposée » de l’offre finale de FTS Welding.....	48
	Annexe 4 : Quelques exemples de QMOS.....	50
	Annexe 5 : Vue de dessus de l’implantation définitive de la cellule robotisée.....	51
	Annexe 6 : Extrait du Document Unique d’Évaluation des Risques - section soudure	52
	Annexe 7 : Lettre d’acceptation de Subvention « Soudage + sûr » fournie par la Carsat.....	54
	Lexique	55
	Bibliographie.....	56

Un lexique est disponible en fin de document. Il regroupe les termes techniques qui n’auraient pas été explicités dans le corps du texte ou qui reviennent à plusieurs reprises. Les mots disponibles dans le lexique se trouvent en *italique souligné* dans le corps du texte.

1. Présentation de l'entreprise

1.1. Son marché, ses produits, sa stratégie

Bouzinac Industrie est une PME de 21 salariés implantée à Angers qui existe depuis 1925. Cette société fabrique des roues en acier pour des secteurs d'activité spécifiques représentés sur la figure 1 tels que le Génie Civil, l'agricole, la manutention, le métro... L'entreprise travaille pour tous les secteurs d'activité excepté le véhicule léger (automobile). Ce marché de production représente 70% du chiffre d'affaires annuel. A cela s'ajoute une partie négoce de roues acier et aluminium pour le secteur poids lourds. Le négoce représente les 30% restants du chiffre d'affaires. Malgré sa petite taille, Bouzinac Industrie est le plus grand organisme français capable de répondre à une telle diversité de modèles de roues.

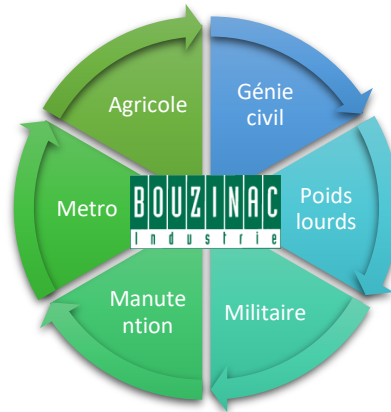


Figure 1 - Secteurs d'activité de l'entreprise

Les produits sont d'une grande variété, avec des roues allant d'un diamètre de 8 pouces (env. 20cm) à 57 pouces (env. 145cm), comme vous pouvez le voir sur la figure 2.



Figure 2 – Quelques visuels des produits, de gauche à droite : Manutention, Poids lourds, Génie civil, Agricole

Le principal métier de production de Bouzinac Industrie consiste à assembler une jante à un voile suivant les cotations techniques du client. L'ensemble jante et voile forme la roue. La jante correspond à la partie tubulaire de la roue. Le voile correspond à la pièce qui fait le lien avec le moyeu du véhicule (voir figure 3). Un voile peut être un disque s'il est plan, ou un embouti s'il est déformé par emboutissage.



Figure 3 – Roue = Jante + Voile

A l'exception de quelques clients importants pour qui Bouzinac Industrie produit plusieurs centaines de pièces par an, la production s'oriente vers de la très petite série (moins de 10 pièces) et vers une grande diversité de clients. Sur l'année 2019, 333 clients différents ont passé commande pour au moins une roue. De cette manière, Bouzinac Industrie n'est pas dépendante d'un nombre limité de

clients. La mise en production d'une pièce fait toujours suite à une demande client. Du fait de la variabilité des produits, l'entreprise ne produit jamais pour mettre en stock. Les axes stratégiques de développement se caractérisent par une réactivité, et une adaptabilité aux demandes variées des clients tout en assurant un délai de livraison optimum de cinq jours ouvrés pour les petites quantités.

Le chiffre d'affaires annuel s'élève à 4,53 millions d'euros, pour 8100 roues produites en 2019. Bouzinac Industrie a une volonté stratégique d'investissement annuel dans l'amélioration des moyens de production. Sur l'année 2020, environ 300 000€ seront investis dans l'outil de production ; soit 6% du chiffre d'affaires de 2019.

1.2. Son outil de production

L'atelier se compose d'un pôle Emboutissage, d'un pôle Usinage, d'un pôle Soudure et d'un pôle Traitement de surface et Peinture (Figure 4).

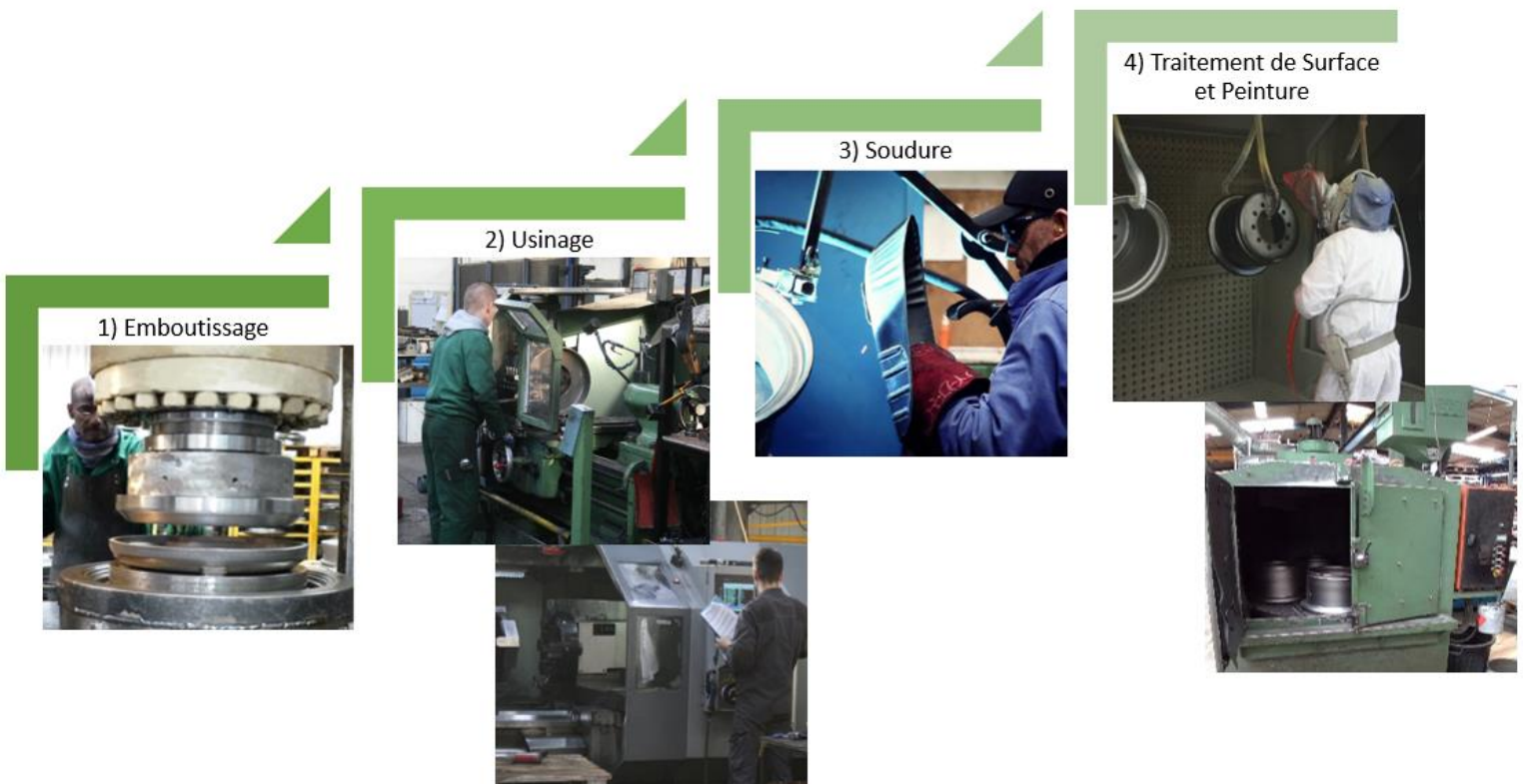


Figure 4 – Pôles de production de l'atelier

Les outils de production, notamment en Usinage et en Soudure sont principalement des machines conventionnelles, c'est-à-dire à réglage manuel. En effet, lorsque les changements de séries et les nouveaux produits sont très fréquents, il est souvent plus rapide de régler à la main un tour conventionnel plutôt que de créer un programme sur un tour numérique.

La suite du travail se concentre sur le pôle soudure de l'atelier. Nous allons donc voir en détail la composition d'un poste de travail dans ce pôle.

Voici un aperçu d'un poste de travail de soudure semi-automatisé utilisé actuellement :

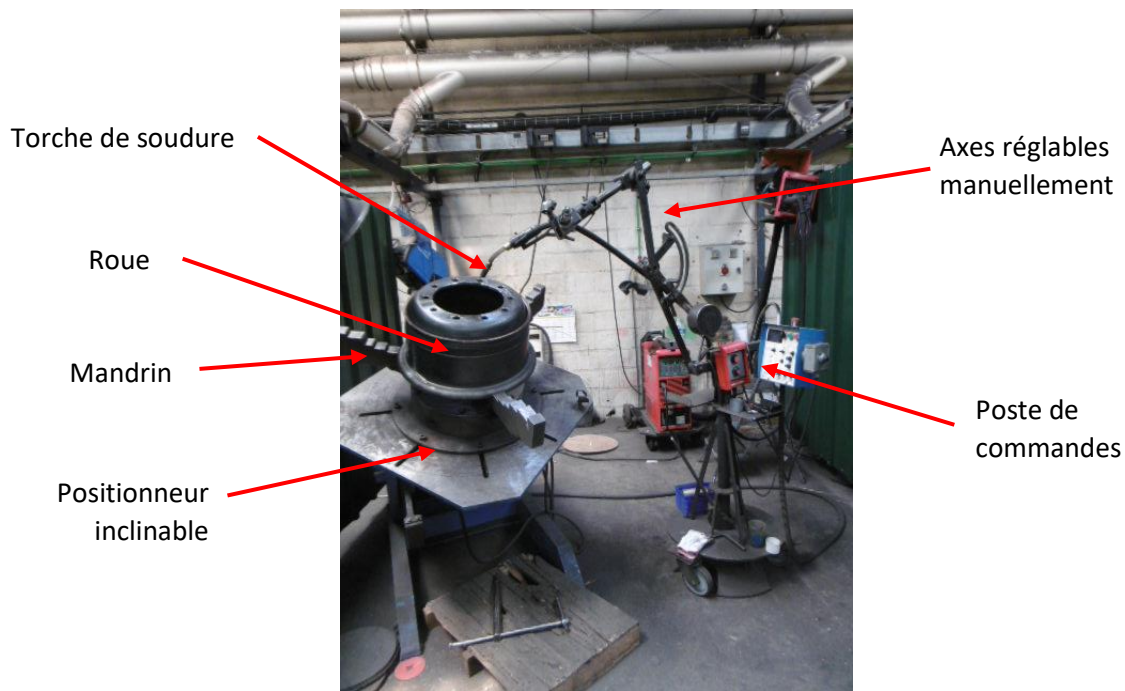


Figure 5–Etat actuel des postes de travail en soudure

On les nomme « semi-automatique » car l'opérateur doit positionner la roue sur le mandrin, incliner l'ensemble, positionner la torche de soudure et paramétrer la machine. Ensuite, il amorce la soudure et la mise en rotation de la roue via le positionneur qui tourne sur lui-même. Durant l'étape de soudure, l'opérateur effectue un contrôle visuel de la trajectoire. Il peut rectifier la trajectoire en temps réel si besoin, à l'aide des molettes situées sur les axes réglables.

1.3. Ses salariés

L'entreprise compte sept employés des services supports et douze salariés en atelier, répartis suivant l'organigramme présenté en figure 5. Le dirigeant ne fait pas partie des employés, il a le statut de président. L'entreprise emploie également en permanence quelques intérimaires en fonction des besoins des différents pôles.

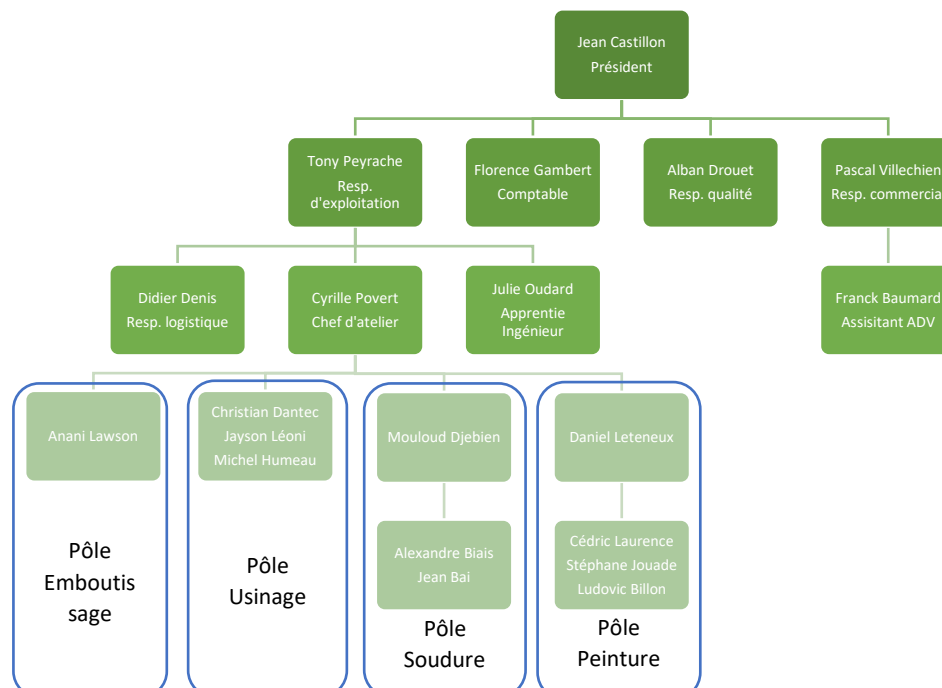


Figure 6 – Organigramme de Bouzinac Industrie

1.4. Mon implication au sein de cette organisation

Mon travail au sein de l'entreprise se concentre dans les bureaux Méthodes et Production de la partie fabrication de roues spécifiques. Il se répartit en deux missions :

- Tout d'abord à une échelle de court terme je seconde mon tuteur, responsable de production de la société, sur tous les travaux du quotidien (la réponse aux clients, la création et la proposition de produits sur mesure, le lancement en production, la gestion des aléas...)
- Je participe également à des projets plus long terme tel que des projets d'amélioration continue de l'atelier, d'intégration de nouvelles machines, d'introduction d'un nouveau logiciel...

Mon observation initiale puis ma participation à des projets d'intégration de nouveaux outils me permet aujourd'hui de devenir pilote du projet d'automatisation de la soudure sur une première cellule.

2. Contexte et problématique du SFE

Voici à titre introductif un diagramme SWOT (tableau 1) du contexte de ce SFE consacré à l'automatisation d'un poste de soudure. L'intégralité des points évoqués vont être précisés dans les paragraphes à suivre.

	Positif	Négatif
Origine interne	<p>Forces :</p> <p>Volonté de modernisation</p> <p>Volonté d'investissement dans l'outil de production</p>	<p>Faiblesses :</p> <p>Conditions de travail rudes</p> <p>Une démission en 2019</p> <p>Une retraite prévue pour 2021</p>
Origine externe	<p>Opportunités :</p> <p>Meilleur contrôle de la qualité</p> <p>Augmentation de la production</p>	<p>Menaces :</p> <p>Pénurie de main d'œuvre en soudure</p>

Tableau 1 – Diagramme SWOT du contexte du SFE

2.1. Une volonté de modernisation

Tout d'abord, il existe depuis quelques années un mouvement global de l'industrie vers la robotisation. A l'origine, la robotisation concernait les grosses lignes de production standards. Désormais on observe un déploiement des robots dans des industries de plus petite taille et ayant une production différenciée, comme le souligne cet article de l'Usine nouvelle [1] ; ou encore ce MOOC dédié aux projets de robotisation à destination des PME [2]. L'entreprise a donc une volonté stratégique de rester à la pointe de la technologie en matière de procédés de fabrication et de rester compétitive sur le

marché. Plusieurs études du cabinet BCG confirment l'idée que le maintien de sa compétitivité passe nécessairement par de l'automatisation, y compris pour des petites entreprises [3], [4].

De plus, la direction de Bouzinac Industrie investit annuellement pour la modernisation de l'entreprise. En moyenne sur les trois dernières années, 3,5% du chiffre d'affaires a été réinvesti dans des machines, de l'outillage, un ERP... Le tableau qui suit précise le pourcentage du chiffre d'affaires alloué à l'investissement pour les trois dernières années :

Année	2017	2018	2019
Chiffre d'affaires (CA)	4 971 k€	5 188 k€	4 532 k€
Valeurs des entrées en immobilisation	34 k€	283 k€	51 k€
Pourcentage d'investissement en fonction du CA	0,7 %	5,5 %	1,1 %

Tableau 2 – Récapitulatif de la part de chiffre d'affaires réinvesti annuellement

C'est donc dans un contexte courant de recherche des axes d'améliorations prioritaires de l'atelier, que c'est initié mon SFE.

2.2. Des conditions de travail difficiles en soudure

L'un des quatre grands pôles de production de l'atelier est la soudure. Le choix s'est porté cette année vers ce secteur pour plusieurs raisons. D'une part, les métiers de la soudure sont des métiers en tension dans l'industrie. Il est de plus en plus difficile de recruter dans ce secteur, face à la pénurie de main d'œuvre qualifiée. Une étude de l'Onisep montre que le métier de soudeur fait partie des dix métiers les plus en tension dans l'industrie [5]. Plus particulièrement chez Bouzinac industrie, le chef du secteur soudure qui occupe ce poste depuis plus de quinze ans, va partir à la retraite dans deux ans. Nous avons recruté un soudeur dans la perspective d'assurer la continuité du poste. Mais celui-ci a donné sa démission en fin d'année 2019. Nous risquons donc une perte de compétences et un manque de personnel sur ce poste.

D'autre part, le manque de main d'œuvre dans ce secteur d'activité s'explique par des conditions de travail difficiles. En effet, les risques sont multiples : brûlures, coups d'arc (*brûlure de l'œil à la suite d'une exposition directe à une lumière de soudure*), exposition aux fumées de soudage cancérigènes...

La sécurisation et l'amélioration des conditions de travail à ce poste devrait naturellement faciliter les recrutements à venir et éviter les démissions. C'est donc une priorité stratégique.

2.3. Une opportunité de fiabilisation de la qualité et de la productivité

Notre procédé actuel de soudure est satisfaisant en termes de qualité de soudure, mais celle-ci est dépendante de l'observation et de la maîtrise de l'outil actuel par l'opérateur soudeur. En automatisant le processus, nous pourrions garantir un même niveau de qualité sur tous les produits et donc nous affranchir du risque de défaillance humaine. Nous pourrions y opposer le risque de défaillance machine, mais en considérant l'instabilité du personnel à ce poste de travail, le choix fait ici est de privilégier la machine.

Comme nous allons le voir par la suite, ce sujet est aussi l'occasion d'accroître notre capacité de production. La politique appliquée par Bouzinac Industrie à ce sujet est originale : Assurer le plus possible une surcapacité de production machines sur les différents pôles de l'atelier. Pourquoi ce choix ? Du fait de leur forte variabilité, certains produits vont demander beaucoup plus de temps d'usinage que de soudage ou inversement. A titre d'exemple, le temps gamme standards pour l'étape de soudure d'une roue est de sept minutes. Le temps gamme maximum en soudure pour une

commande que nous produisons régulièrement est de 1h30. En fonction des demandes clients, nous sommes donc en présence d'un « goulot mobile ». Être en surcapacité machines permet à l'entreprise d'avoir toujours une machine supplémentaire pour continuer à faire passer d'autres clients en parallèle d'une commande nécessitant une opération particulièrement longue. Ce critère est la conséquence du choix stratégique de livraison en cinq jours ouvrés et d'une volonté de fonctionnement en flux tendu.

L'automatisation de la soudure va donc permettre de gagner en fiabilité sur la qualité de la soudure, mais aussi probablement de réduire les temps gammes standards, et donc de gagner en ressource machine.

2.4. Problématique et enjeux

Face à l'ensemble de ces facteurs, le choix d'une modernisation de l'outil de production de soudure s'est imposé à nous. La problématique à laquelle je réponds à travers mon SFE est la suivante :

Qualifier, choisir et implanter une première cellule de soudure automatisée adaptée à une production flexible avec une contrainte de petite série.

Les enjeux pour Bouzinac Industrie à travers ce projet sont les suivants :

- Garantir la pérennité du poste de soudage face à la tension de ce métier sur le marché de l'emploi
- Maintenir voire accroître notre compétitivité avec un outil de production plus performant
- Assurer un niveau de qualité et de productivité pour le secteur soudure
- Améliorer la sécurité et les conditions de travail aux postes de soudure

3. Indicateurs du projet

Afin de pouvoir quantifier les apports de ce projet, j'ai mis en place trois indicateurs que j'analyse régulièrement. Ces indicateurs sont liés aux enjeux soulevés précédemment dans l'étude contextuelle comme le montre la figure 7. Les voici :

- Taux d'absentéisme du secteur soudure
- Taux de non-conformités du secteur soudure
- Taux de charge du secteur soudure

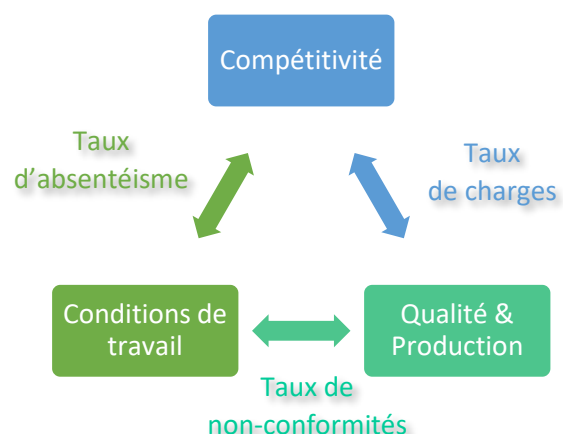


Figure 7 – Dualité enjeux & indicateurs

Remarque : j'ai fait le choix d'arrêter les mesures des indicateurs au 20 mars 2020 ; date à laquelle l'entreprise a fermé pour cause de chômage technique dû à l'épidémie de Covid-19. L'entreprise a réouvert à partir du 13 Avril ;

mais avec une activité très partielle. A ce jour, l'entreprise travaille toujours en dessous de ses capacités de travail nominales. J'ai souhaité étudier les indicateurs uniquement sur des périodes d'activité totale.

3.1. Taux d'absentéisme du secteur soudure

Tout d'abord, le taux d'absentéisme est un indicateur couramment suivi chez Bouzinac Industrie par la responsable des ressources humaines. J'apporte une modification à son calcul. Je ne considère que le taux d'absentéisme du secteur soudure. J'ai également tracé sur le diagramme (figure 8) le taux d'absentéisme de l'atelier, à titre de comparaison.

Voici les données recueillies pour les années 2019 et 2020 :

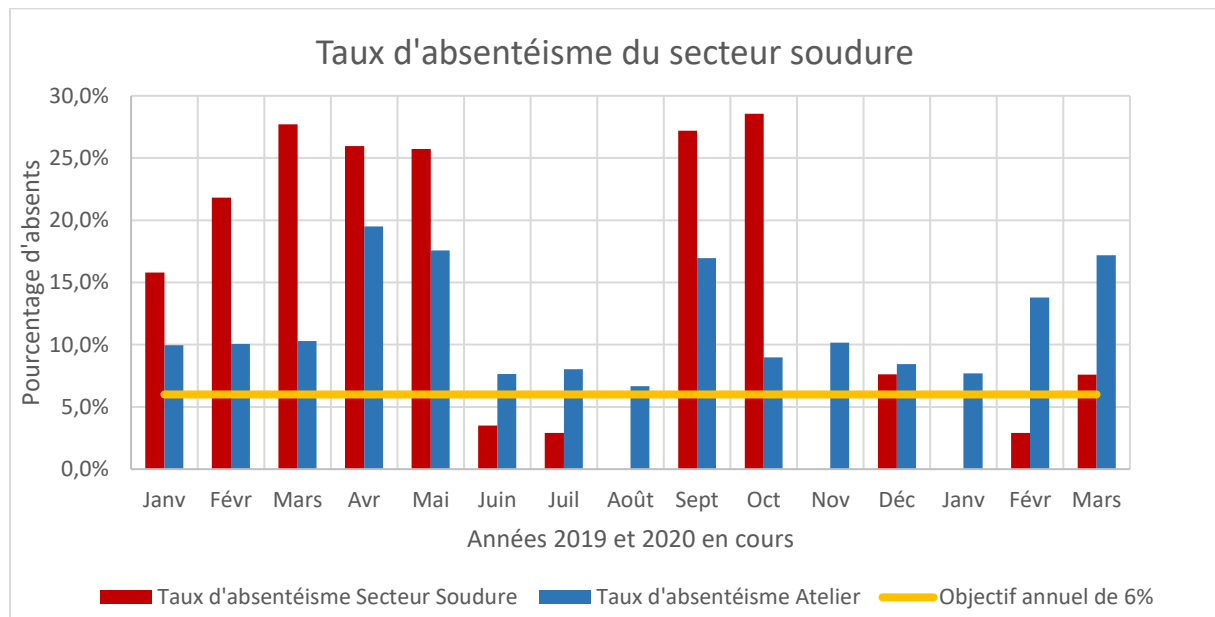


Figure 8 – Taux d'absentéisme du secteur soudure

L'objectif de l'entreprise est d'atteindre un taux d'absentéisme inférieur à 6%. Nous observons sur la figure 8 que le secteur soudure dépasse régulièrement ce seuil. Les causes de l'absentéisme sont multiples. Il y a d'une part des accidents de travail qui engendrent des arrêts plus ou moins longs. Pour l'année 2019, le secteur soudure comptabilise deux arrêts de travail d'une semaine pour cause de coup d'arc, un arrêt de travail de 20 jours pour cause de blessure par choc, et un accident de trajet. Sur ce premier point, les améliorations mises en place dans le cadre de mon projet de SFE peuvent permettre une diminution du taux d'absentéisme. Ensuite, nous avons aussi des causes d'absentéisme personnelles (maladie, absence ponctuelle injustifiée...). Sur ce point, nous pourrions présumer que mon projet n'aura pas d'impact, toutefois, nous pouvons espérer une motivation nouvelle à venir travailler avec des outils plus performants, nécessitant des compétences nouvelles et diminuant l'exposition des salariés aux risques professionnels. Le taux d'absentéisme me semble donc être un indicateur pertinent sur tous ses aspects.

D'autre part, nous pouvons observer que le taux d'absentéisme du pôle soudure est, dans 50% des cas, supérieur au taux d'absentéisme global de l'atelier. Cela signifie que le pôle soudure est un secteur particulièrement accidentogène pour l'entreprise puisqu'il ne représente que l'un des quatre pôles de production et seulement 27% des employés de l'atelier. Il contribue activement aux valeurs trop élevées du taux d'absentéisme global.

Enfin, nous pouvons remarquer qu'à partir de Novembre 2019, le taux d'absentéisme soudure diminue de manière importante et durable pour les mois qui suivent. Cette variation significative s'explique par la démission de l'un des soudeurs qui était souvent en arrêt. Son travail a été effectué par un employé intérimaire pour les mois qui ont suivis. Les potentielles absences de ce nouveau travailleur ne sont donc pas comptabilisées dans le taux d'absentéisme de l'entreprise. En effet, un intérimaire ne fait pas partie des effectifs de la société.

Cette situation nous permet d'observer les limites des calculs de taux et de moyennes lorsque les effectifs sont limités. Mais dans tous les cas, le taux d'absentéisme de ce secteur est trop important et l'aurait été probablement encore plus avec des salariés non intérimaires.

3.2. Taux de non-conformités du secteur soudure

Pour suivre ce second indicateur, je m'appuie sur le travail du responsable qualité qui publie annuellement le coût des non-conformités associées à chacun des secteurs. Son travail consiste à recenser le coût de chaque non-conformité et identifier le secteur (de production ou administratif) à l'origine de l'erreur. De cette manière, je peux extraire le coût total annuel et le coût imputé à la soudure. Le rapport entre ces deux valeurs donne un indicateur de taux de non-conformités (NC) du secteur soudure.

Le tableau 3 précise les valeurs obtenues pour les cinq dernières années :

Année	2015	2016	2017	2018	2019
Coût total des NC (€)	128 044	62 421	50 951	96 713	31 581
Coût des NC du secteur soudure (€)	9 869	664	5 149	6 599	410
Taux de NC du secteur soudure	7,7%	1,0%	10,1%	6,8%	1,3%

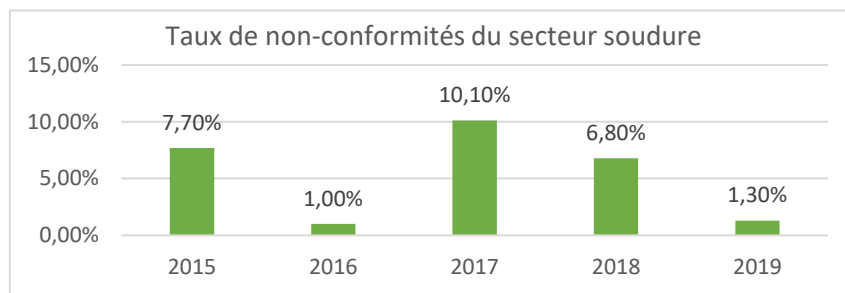


Tableau 3 – Taux de non-conformités du secteur soudure annuel

A première vue, ces données sont peu exploitables car on observe sur cinq années successives des écarts importants. Le matériel et les processus de soudure sont invariants durant la période étudiée. La disparité du taux de non-conformités semble s'expliquer par un contrôle seulement partiel de la qualité des soudures. En général, la grande variabilité d'une mesure est souvent un signe de non-maitrise du processus (concept Lean) [6].

Toutefois, cet indicateur est limité car il ne prend en compte que les non-conformités externes, c'est-à-dire celles détectées par le client final. A ce jour nous ne sommes pas en mesure de chiffrer le coût des non-conformités internes ; c'est-à-dire le temps supplémentaire pris par un opérateur pour rattraper une soudure défectueuse, ou la matière supplémentaire sortie du stock pour rattraper une pièce non-conforme. La valeur basse de l'indicateur sur certaines années peut donc s'expliquer par un meilleur contrôle qualité interne en sortie de soudure, avant expédition. Mais cela ne supprime en rien le coût de ces non-qualités. J'ai choisi de conserver cet indicateur car il est important de contrôler la

qualité. En revanche à partir de 2020, le responsable qualité souhaite mieux suivre les déclarations de non-conformités internes pour pouvoir les intégrer au rapport global. Le nouvel ERP en place depuis maintenant quelques mois va lui permettre d'accomplir cette tâche.

D'autre part, cet indicateur ne contient pas d'objectif chiffré, l'idée est plutôt d'observer sur le long terme la présence ou non d'une diminution du taux de non-conformités.

3.3. Taux de charge du secteur soudure

Pour finir, le troisième indicateur choisi est un indicateur courant en industrie : le taux de charge. C'est habituellement un indicateur qui permet de savoir, pour les semaines à venir, si les capacités de production de l'entreprise seront en mesure de produire les commandes à venir. Pour ma part, j'ai choisi d'appliquer la formule suivante :

$$\text{Taux de charge} = \frac{\text{Somme des heures de soudure prévues dans les ordres de fabrication}}{\text{Somme des heures de travail des opérateurs du secteur soudure}}$$

Je choisis donc d'observer un taux de charges « à postériori », et sur des périodes d'une semaine. Si le taux de charges est inférieur à 100%, cela signifie que les opérateurs ont pu produire normalement, durant leur journée de travail. Si le taux de charges est supérieur à 100%, cela signifie que les opérateurs ont dû agir dans la précipitation, demander de l'aide à des collègues, ou ont pris du retard sur les productions suivantes.

La figure 9 présente les données recueillies à partir de la semaine 23 de l'année 2019 (date de début du projet), jusqu'à la semaine 12 de l'année 2020 :

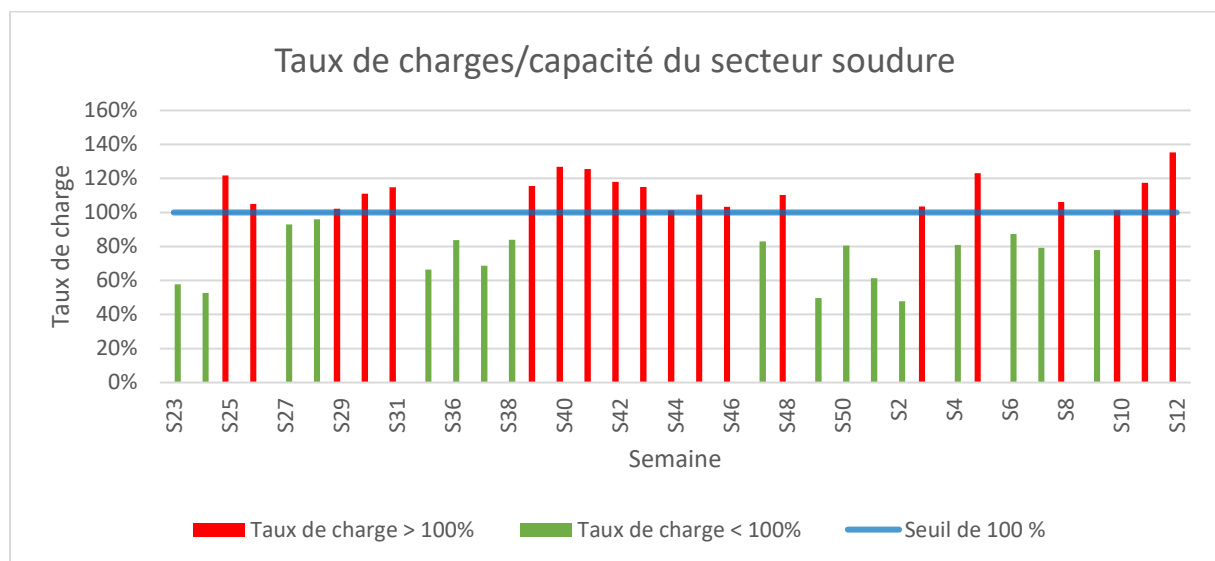
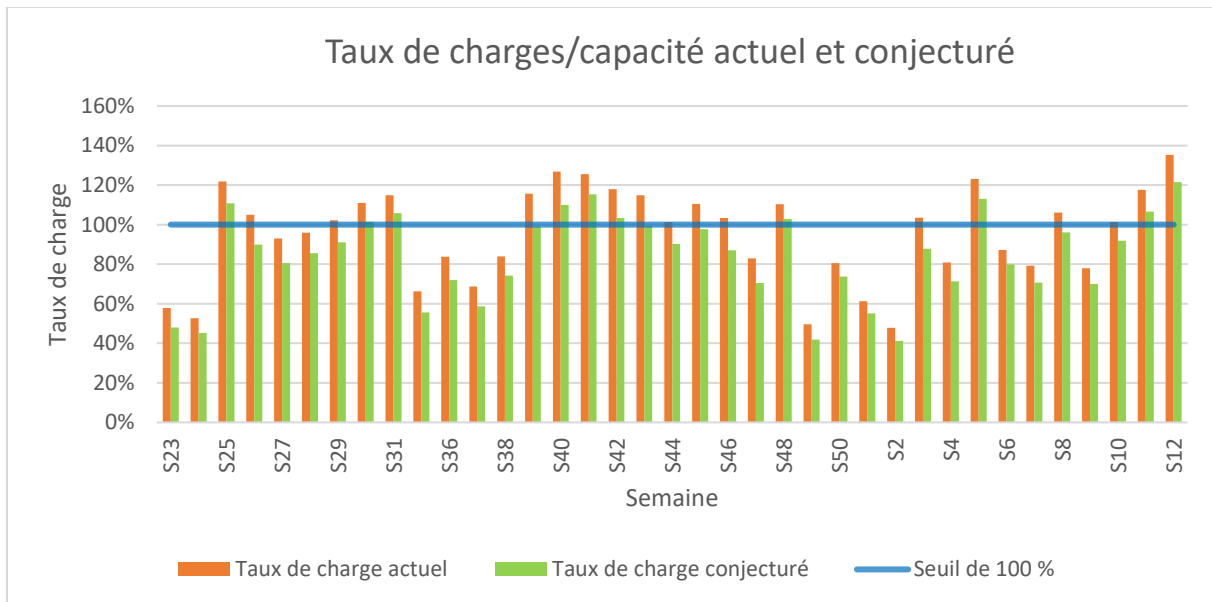


Figure 9 – Taux de charges du secteur soudure

On observe que sur 20 des 37 semaines étudiées, le taux de charge est supérieur à 100%, soit dans 54% des cas. La grande variabilité du taux de charge m'a d'abord étonnée. J'explique ces fluctuations principalement par une absence de visibilité de notre planning de charges à long terme. En effet, à cause du délai de fabrication court, les clients ne commandent généralement pas plus de deux semaines à l'avance. Il est donc très difficile de prévoir des productions à l'avance pour désengorger les semaines à venir qui pourraient être denses. Du fait d'un grand nombre de semaines avec un taux de charges supérieur à 100%, le responsable d'exploitation gère presque quotidiennement les retards. Il décale des productions en fonction des clients, pour essayer de minimiser les mécontentements.

A partir de ce taux de charges, j'ai conjecturé le déroulement de ces 37 semaines si nous disposions du nouveau moyen de production. Le principal intérêt de la solution choisie et développée dans la suite du document, est la possibilité d'effectuer les manutentions et les contrôles en temps masqué de l'opération de soudage. À la suite de chronométrages effectués en atelier, je peux estimer ce gain de temps de l'ordre de 43% (3 minutes d'économisées sur un temps gamme standard de 7 minutes). Ce gain de temps ne s'appliquera que sur une partie des soudures réalisées par le secteur (estimée à 27%). En prenant en compte ces hypothèses, voici en figure 10 à quoi ressemblerait le taux de charges sur la même période si l'entreprise disposait du nouvel outil de production :



Période	Actuelle	Conjecturée
Taux de charge moyen	95 %	84 %
Nombre de semaines avec un taux de charge > 100%	20	10

Figure 10 – Conjecture du taux de charges avec le nouvel outil de production

Ainsi nous observons qu'avec les hypothèses choisies, le taux de charge supérieur à 100% passe de 20 à 10 semaines. Sur une étude de 37 semaines de travail, le nombre de semaines « trop chargées » diminue donc de 50%.

De cette manière, le travail dans l'urgence va diminuer pour le secteur soudure. Néanmoins un temps d'adaptation sera nécessaire pour que l'outil de travail soit bien intégré dans le processus industriel ; et que les opérateurs utilisent complètement les opportunités offertes par ce nouvel outil de production. Cette conjecture est donc à modérer pendant la période d'assimilation de l'outil.

3.4. Regard critique sur les indicateurs

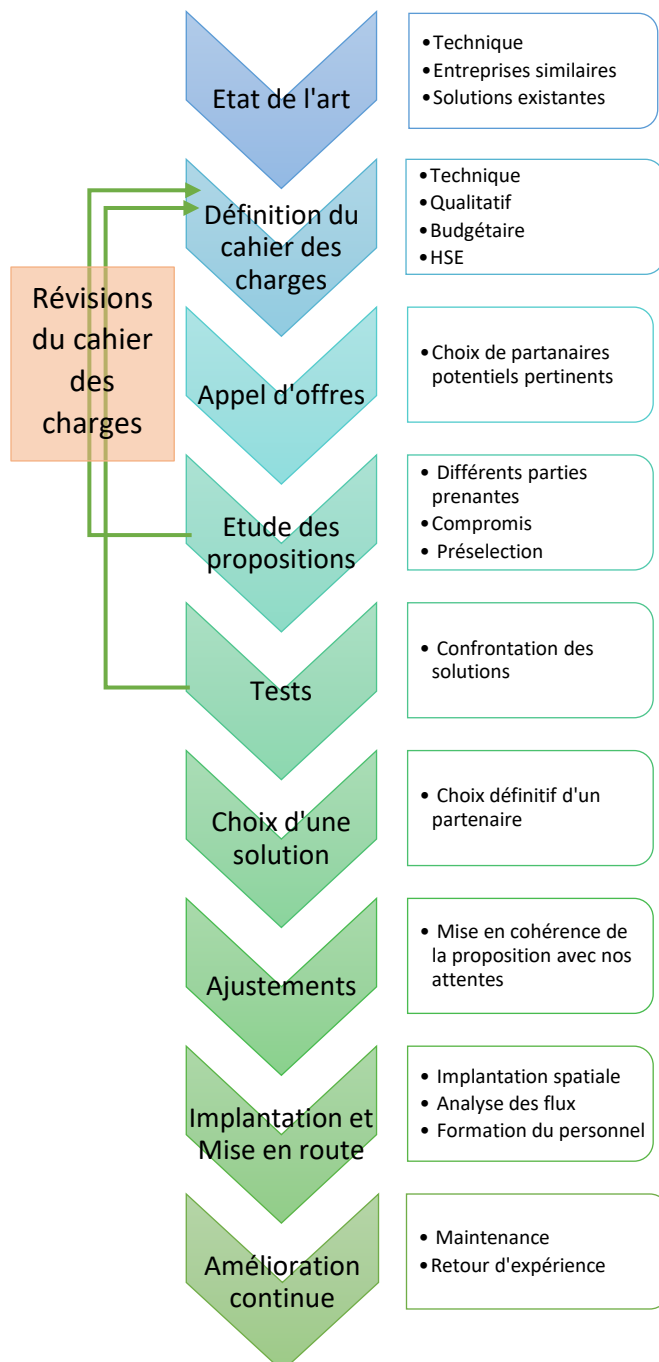
Il existe une limite importante aux indicateurs choisis. En effet, ces trois indicateurs ne seront exploitables qu'une fois la machine mise en place et fonctionnelle depuis quelques mois. Il sera alors possible de faire un comparatif Avant/Après la mise en service. Je vais les observer jusqu'à la fin de mon SFE, mais la machine ne sera pas en service depuis assez longtemps pour me permettre d'en tirer des conclusions factuelles.

Maintenant que le cadre du projet est défini, la suite du document présente la méthodologie appliquée pour la réalisation de ce projet, ainsi que son déroulement.

4. Méthodologie de travail

Afin de mettre en œuvre ce projet, je me suis basée sur une méthodologie standard de gestion d'investissement machine. J'ai acquis cette méthode grâce aux enseignements reçus à l'ENSAM ainsi que ma participation à des projets similaires lors de mes deux premières années d'alternance chez Bouzinac Industrie.

La figure 11 précise le processus de travail que j'ai suivi tout au long de ce projet :



La majeure partie de la méthodologie du projet s'est déroulé comme prévu, hormis ce qui concerne la phase de test. En effet, le caractère unique de la cellule que nous souhaitons acquérir ne nous a pas permis de faire des tests avant de s'engager avec un fournisseur. En revanche nous avons visité une entreprise qui disposait de machines similaires. Cela nous a permis de découvrir toutes les fonctionnalités proposées par le fournisseur. Nous devons attendre l'étape de mise en route pour réaliser cette phase de test. Elle se déroulera chez le fournisseur avec le matériel assemblé et programmé pour notre utilisation.

Figure 11 – Méthodologie de travail

5. Respect des délais annoncés

Afin de mener à bien ce projet, j'ai accompagné la méthodologie de travail d'une planification des délais de réalisation des différentes tâches. Celle-ci est précisée dans la figure 12 ci-dessous :

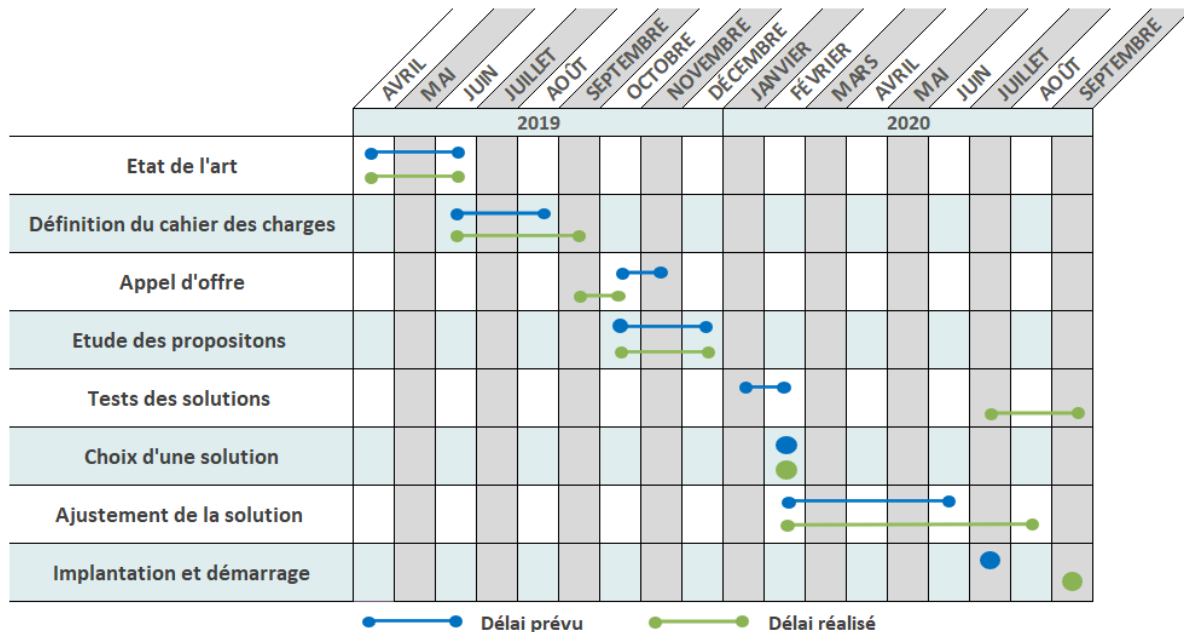


Figure 12 – Planification de travail

Globalement, le projet se déroule sur une période de 18 mois qui a commencé au printemps 2019. Sur la figure 12, on peut observer en bleu les délais prévus au printemps 2019, en vert les délais réalisés jusqu'en Juin 2020, et un prévisionnel de fin de projet pour les derniers mois.

Sur la première moitié du projet, les délais ont été plutôt bien respectés. La définition du cahier des charges a pris un peu plus de temps que prévu car j'ai souhaité établir une équipe projet et échanger avec eux avant de réaliser le cahier des charges. L'appel d'offre a pris moins de temps que prévu car les prestataires ont été au rendez-vous et j'ai reçu les propositions rapidement.

Ensuite, comme expliqué dans la méthodologie, la phase de test de la solution se déroulera chez le fournisseur après la signature du contrat. Elle sera ensuite démontée et réassemblée sur le site de Bouzinac Industrie.

On observe une prise de retard de l'ordre de deux mois au niveau des deux dernières étapes. L'étape d'ajustement de la solution a duré plus longtemps que prévu. Début Mars, le fournisseur nous a informé d'un retard lié à la fabrication des positionneurs. Nous avons appris ce délai supplémentaire avant le début de la crise du Covid-19 en France. A ce jour, cette crise n'induit pas de retard notable dans la réalisation du projet car le fournisseur a maintenu son activité.

La mise en place de la cellule robotisée sur site est prévue pour début Septembre 2020.

6. Avant-projet

6.1. Etat de l'art

J'ai effectué des recherches dans l'objectif de m'assurer de la faisabilité du projet au regard des produits de Bouzinac Industrie, du type de production (petite série), du coût de l'investissement... Cette phase était aussi nécessaire pour reconnaître les acteurs locaux de l'automatisation de procédés de soudure.

Pour ce faire, je me suis renseignée sur plusieurs types de médias, en discutant avec nos partenaires actuels de soudures, nos fournisseurs etc...

Voici quelques exemples importants de mon état de l'art :

- Plusieurs articles du magazine l'Usine nouvelle m'ont orientée vers des partenaires susceptibles de m'aider. Par exemple celui intitulé « Des solutions pour optimiser la petite série » [7].
- Nous pouvons prendre l'exemple de l'entreprise angevine Secmo, PME d'une quinzaine de salariés qui a investi récemment dans deux robots Yaskawa, un robot préhenseur et un robot de soudure (Site internet de l'entreprise : <http://www.secmo-france.com/#>). Cette entreprise réalise des productions similaires à celles de Bouzinac Industrie, c'est-à-dire des petites séries, avec des procédés de soudure très variables. Il est à noter que les procédés de soudures utilisés chez Bouzinac Industrie sont beaucoup moins variés (soudure circulaire uniquement). Cette entreprise m'a été présentée par le responsable commercial de Yaskawa, qui avait procédé à l'intégration des deux robots.
- Nous avons également eu l'occasion de visiter l'usine Titan France, producteur de *jantes* et de roues acier pour le secteur agricole. Ils sont nos fournisseurs pour certains modèles de *jantes*. Cette entreprise, plus conséquente que Bouzinac Industrie (une centaine de salariés pour 15M€ de chiffre d'affaires), dispose de divers moyens de soudure allant de postes semi automatiques semblables à ceux de l'entreprise, jusqu'à la ligne de production totalement robotisée comprenant les étapes de soudure.

Je n'ai pas été autorisée à prendre de photo dans l'usine. J'ai néanmoins pu observer que leur méthode de soudure est rapide puisque les deux soudures d'une roue sont réalisées en simultanée. Cependant cela se fait au détriment de la qualité car les caractéristiques de soudure ne sont pas optimisées. La position verticale de la roue induite par la double soudure gêne la qualité du *bain de soudure* (voir figure 13).

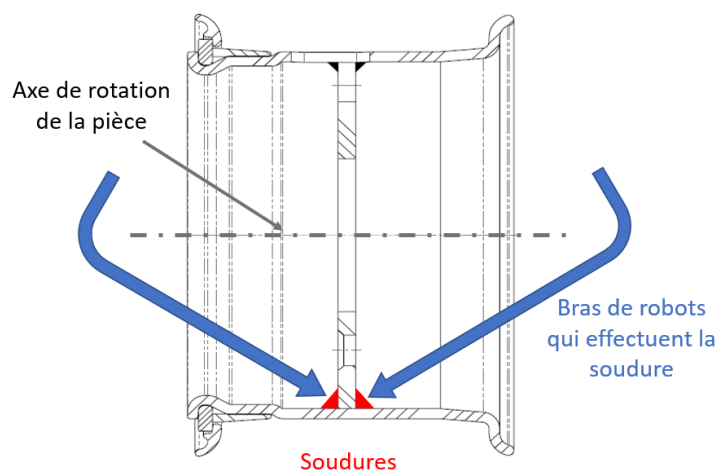


Figure 13 – Processus de soudure chez Titan France

- Pour finir, j'ai étayé mon état de l'art avec des informations recueillies à la suite de plusieurs échanges avec l'entreprise Proxinno. Cette structure accompagne les professionnels de la région dans leurs projets de robotisation, à travers des audits de production, des études d'opportunités, ou encore un accompagnement à la rédaction du cahier des charges et à l'intégration. Nous n'avons pas fait appel à leurs services sur ces sujets car cela correspond à ma mission. En revanche ils m'ont orientée vers des intégrateurs locaux et spécialistes de la soudure. Ils m'ont également informée concernant des aides financières auxquelles nous pouvions prétendre.

A ce stade, nous avons donc acquis, en connaissance de cause, la conviction que notre production pouvait intégrer un robot et que ce projet pouvait nous rendre plus compétitif.

6.2. Mise en place d'une équipe projet

La création d'une équipe projet a permis d'impliquer tous les acteurs concernés par ce sujet. L'équipe se compose de techniciens et de membres de la direction. Voici les membres de l'équipe :

- Le directeur, à l'origine de la volonté de l'investissement,
- Le responsable d'exploitation, bras droit du directeur et mon tuteur,
- Le responsable qualité,
- Le chef d'atelier, usineur de métier,
- Le responsable du pôle soudure, soudeur de métier,
- Les soudeurs de l'usine,
- Un des usineurs de l'entreprise,
- Moi-même, en charge du bon déroulement du projet.

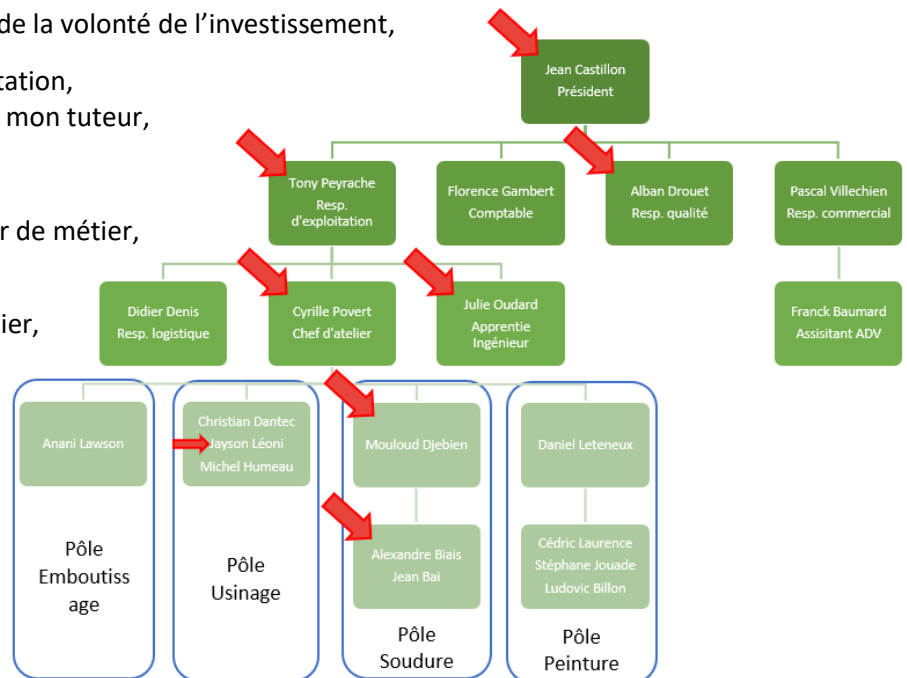


Figure 14 – Membres de l'équipe projet

Les trois premiers membres disposent d'une vision d'ensemble de la société, de ses enjeux et de ses objectifs.

Concernant les compétences techniques de cette équipe, nous avons à la fois la connaissance de la soudure des roues de qualité avec la présence des soudeurs et du responsable qualité ; et une idée de ce que sera la programmation robotique avec deux usineurs habitués à travailler sur des machines à commande numérique. Travailler sur de telles machines permet d'avoir des notions de géométrie de pièces et de déplacement d'outil dans l'espace.

Je ne réunis que rarement l'ensemble des membres, nous travaillons plutôt soit avec le sous-groupe de réflexion stratégique sur l'investissement ; soit avec le sous-groupe de réflexion technique sur l'outil de production.

6.3. Définition du cahier des charges

L'étape suivante a été de caractériser notre besoin afin d'avoir un support clair à transmettre à des partenaires potentiels. J'ai pris en charge la rédaction du cahier des charges.

Afin de rédiger celui-ci, j'ai d'abord passé du temps avec les soudeurs pour qu'ils m'expliquent en détail le fonctionnement de leur outil de travail actuel, le choix des paramètres de soudure, les contraintes d'accessibilité, de refroidissement de la matière, d'outillage ou de manipulation des pièces limitantes pour eux. Globalement les connaissances relatives au paramétrage des soudures ne sont connues que par le responsable des soudeurs. Sachant qu'il prendra sa retraite dans deux ans, celui-ci prend beaucoup de temps pour transmettre son savoir aux soudeurs. Il renseigne aussi des feuilles de paramétrages standards.

Mon cahier des charges est rédigé de façon à permettre au fournisseur :

- de prendre conscience de la variabilité des pièces et de la taille des séries produites ;
- de prendre connaissance des données techniques relatives à nos soudures actuelles.

L'intégralité du cahier des charges se trouve en annexe 1. Voici ci-dessous en figure 15 quelques vues en coupe de roue. Les soudures que nous souhaitons automatiser sont entourées en rouge :

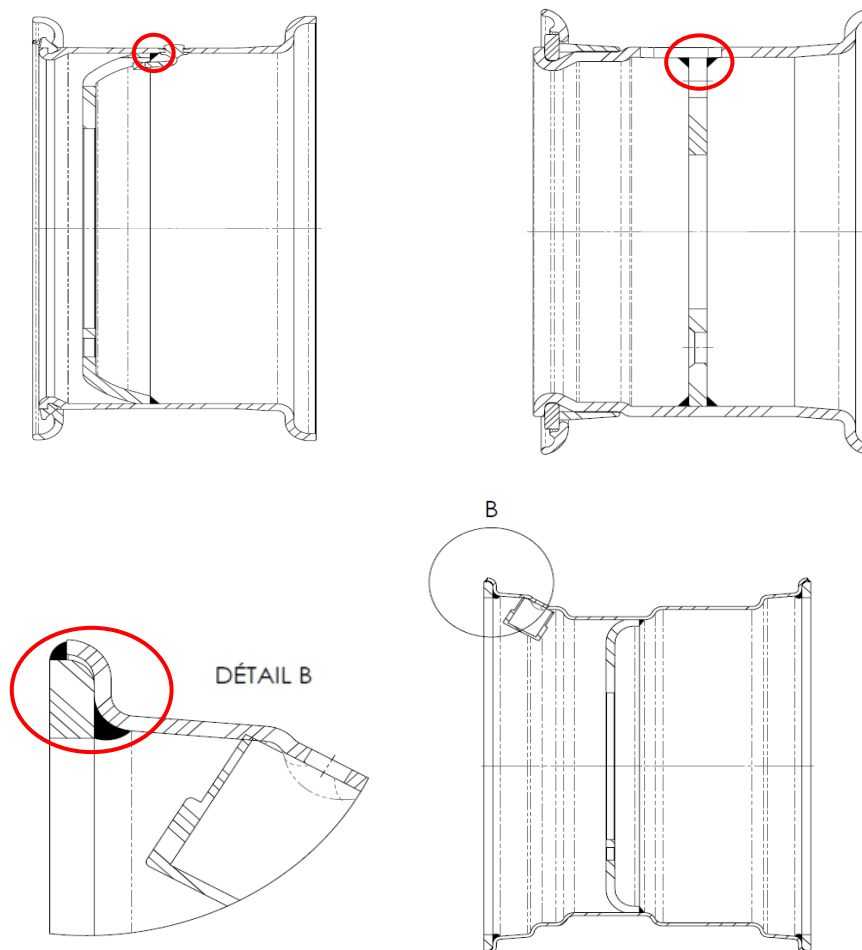


Figure 15 – Vue en coupe des soudures à automatiser

Les soudures sont représentées par les triangles noirs. Ces visuels sont des vues en coupe de roues. La soudure est circulaire et se situe donc dans un plan perpendiculaire à la coupe.

N'ayant dans la société aucun spécialiste en robotique appliqué à la soudure, j'avais précisé en fin de cahier des charges que Bouzinac Industrie était ouverte à toute proposition, de robot, de *cobot*, de machine spéciale... L'idée étant d'avoir des propositions innovantes, auxquelles nous n'aurions pas forcément pensé.

Ce cahier des charges a été validé par mon tuteur, le responsable d'exploitation de Bouzinac Industrie.

Concernant le budget nécessaire au projet, je n'avais rien précisé dans le cahier des charges. Toutefois, au vue des données recueillies lors de l'état de l'art, j'avais estimé à ce stade du projet un budget nécessaire de 150 000 à 200 000 € pour une cellule complètement intégrée et fonctionnelle.

7. Choix d'un partenaire

7.1. Appel d'offres

Une fois rédigé, j'ai transmis le cahier des charges à des intégrateurs de robots pour leur présenter l'entreprise et notre projet.

J'ai connu ces entreprises soit par les contacts de Proxinnov ; soit par des premiers contacts pris lors du salon de l'industrie Sepem qui se déroule annuellement à Angers. Sachant qu'il existe beaucoup d'intégrateurs de robots en France, j'ai choisi les entreprises selon les deux critères suivants :

- Entreprises locales (régionales, ou du Nord-Ouest de la France), ce qui peut limiter certains frais annexes.

- Entreprises spécialistes de la robotisation de soudure. En effet, la difficulté de notre projet réside bien dans le contrôle de la qualité de soudure, plutôt que dans les mouvements du robot qui seront relativement simples pour une telle machine. Nous ne réalisons que des pièces de révolution et les soudures sont exclusivement contenues dans un plan.

Pour mieux comprendre la suite du rapport, une précision sémantique s'impose. Dans le monde de la robotisation, il faut distinguer les fabricants des intégrateurs. Les fabricants sont les concepteurs des bras de robots. Ces bras n'ont pas de fonctionnalité précise, ce ne sont que des automates qui réalisent des trajectoires et sur lesquels nous pouvons ajouter des modules à l'extrémité du bras. Nous pouvons citer quelques géants tels que ABB ou Yaskawa. Les intégrateurs sont des entreprises souvent beaucoup plus petites, spécialistes d'un domaine d'activité tel que la manutention, la peinture ou la soudure... et agréées par un fabricant pour installer leurs bras de robots couplés à des modules complémentaires pour réaliser une tâche.

J'ai envoyé le cahier des charges aux entreprises précisées dans le tableau 4 :

Entreprise	Métier	Spécialité	Localisation
FTS Welding	Intégrateur	Robotisation de soudure	Tours
Yaskawa	Fabricant & Intégrateur	Tout métier de l'industrie	Nantes
Sana	Fabricant de machines spéciales	Soudure	Hauts de France
Bonnefon Soudure	Vendeur, maintenancier et intégrateur	Soudure	Angers
Satec Robotic	Intégrateur	Robotisation de soudure	Saint Nazaire
Fronius	Fabricant	Soudure	Paris
Orexad	Maintenancier et intégrateur	Soudure	Angers

Tableau 4 – Entreprises ayant reçu le cahier des charges

Généralement, la suite des échanges avec ces fournisseurs s'est poursuivi par une réunion sur site. De cette manière, les intégrateurs ont réellement pu se rendre compte des spécificités des produits de l'entreprise et nous avons pu répondre à leurs interrogations afin qu'ils nous envoient une proposition adapté.

7.2. Etude des propositions

À la suite de la réception des différentes propositions, nous avons pu les étudier et les comparer entre elles. Certaines entreprises nous ont fait plusieurs propositions. D'autres n'en ont fait aucune. Le tableau 5 présente un récapitulatif de ce que j'ai reçu :

Entreprise	Interlocuteur	Rencontre	Proposition
FTS Welding	Philippe Baron	12/09/2019	1 : <u>Cobot</u> 2 : Cellule automatisée équipée d'un robot ABB
Yaskawa	Vincent Huchet	24/07/2019	1 : Cellule automatisée équipée d'un robot Yaskawa
Sana	Jean-Luc Taillade	//	Cellule semi automatisée
Bonnefon Soudure	Nicolas Gaudet	18/09/2019	1 : Cellule de soudure standard 2 : Tentative de proposition de cellule automatisée
Satec Robotic	Olivier Moyon	//	1 : Tentative de proposition de <u>cobot</u>
Fronius	Frédéric Bunel	10/09/2019	//
Orexad	Christian Musard	06/09/2019	//

Tableau 5 – Récapitulatif des propositions reçues

À la suite de ces premiers retours, nous avons pu évincer Orexad et Fronius qui ne souhaitaient pas ou n'ont pas pu nous faire une proposition. Concernant Fronius, je pensais qu'ils disposaient d'un secteur intégration mais ils ne sont que fabricants de matériel de soudure. Ce n'était donc pas un partenaire pertinent.

Concernant la société Orexad, M. Musard connaît bien Bouzinac Industrie puisque c'est lui qui assure la maintenance du matériel de soudure. Il n'a pas souhaité faire de proposition car, selon lui, les postes de travail actuels sont adéquats pour notre production et l'intégration d'une cellule automatisée de soudure va nécessiter des nouvelles compétences pour les opérateurs, ce qui pourrait aboutir à des revendications salariales. Il pense qu'il est préférable de travailler sur les flux de production. Ses conseils concernant le flux de production sont pertinents, nous sommes d'ailleurs actuellement en plein projet d'amélioration du flux. Toutefois le directeur de Bouzinac Industrie a fait le choix d'initier ce projet face aux problématiques de recrutement et d'amélioration des conditions de travail. Si cela doit aboutir à une réévaluation des salaires, ce sera étudié en temps voulu.

Je n'ai également pas donné suite aux échanges avec la société Satec Robotic qui m'a seulement appelée pour nous conseiller d'utiliser un cobot au vu de mon cahier des charges. Ils n'ont pas proposé de se déplacer pour mieux comprendre notre produit, et n'ont pas proposé de solution. A ce stade, il nous restait donc quatre intégrateurs potentiels et cinq propositions. Nous allons voir par la suite un peu plus en détail ces différentes propositions.

1) Cellule semi-automatisée – Sana

La société Sana nous a fait une proposition de machine spéciale qui réalise globalement les mêmes mouvements que nos postes de travail actuels : présence d'axes manuels, absence de cartérisation, absence de relocalisation automatique... Le seul avantage de cette proposition peut être son faible coût mais elle ne répond en rien à nos attentes et terme d'amélioration de la performance, de la sécurité et de la qualité.

Nous souhaitions initialement avoir une proposition de leur part à titre de comparaison, en espérant qu'ils aient des idées innovantes. Leur proposition n'a malheureusement pas su convaincre l'équipe projet.



Figure 16 – Aperçu de la proposition de Sana

2) Cellule standard – Bonnefon Soudure

Bonnefon Soudure nous a proposé une cellule standard qu'ils produisent en grande série. Le principal intérêt d'une cellule standard est son faible coût d'achat puisqu'elle est produite en quantité. La proposition est également robotisée et cartérisée. Cependant, dans ce cas de figure, c'est à nos pièces et nos outillages de s'adapter à la cellule. Cela implique un gros investissement à prévoir en outillage. En effet, leur positionneur n'est pas inclinable. Or nos critères de qualité nécessitent d'incliner la roue à 45° pour avoir un bain de fusion correct (voir figure 18). Cette proposition nécessite donc d'ajouter des outillages pour pouvoir incliner nos pièces.



Figure 17 – Aperçu de la proposition de Bonnefon Soudure

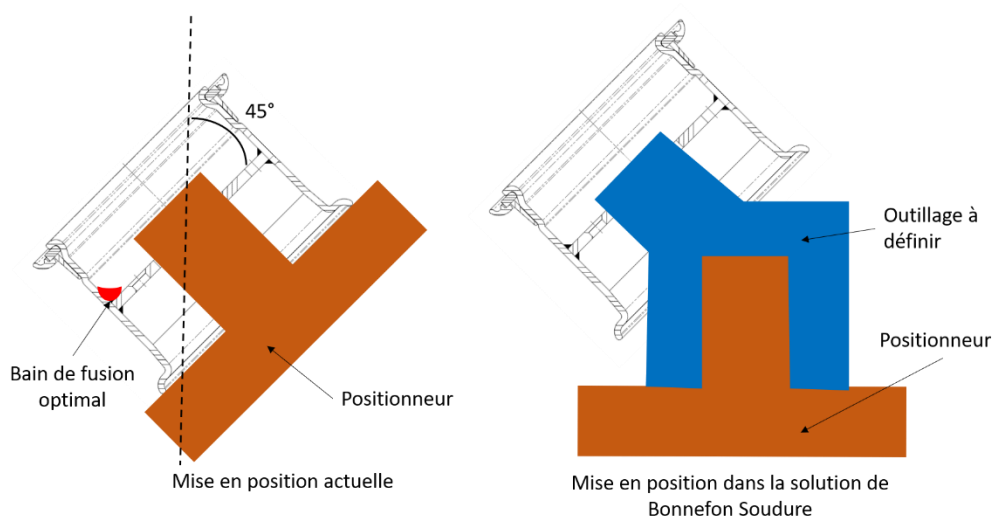


Figure 18 – Schéma du montage préconisé pour la solution de Bonnefon Soudure

3) Cobot - FTS Welding

La première proposition de FTS Welding est un robot collaboratif : un cobot. Son principal intérêt est une grande facilité de programmation et de changement de séries. Ce point est intéressant pour une production fortement différenciée, comme celle de Bouzinac Industrie. La solution propose également une amélioration de la sécurité des opérateurs avec une enceinte cartérisée opaque. En revanche, nous risquons une dégradation de la qualité puisque, jusqu'alors, l'opérateur effectue un contrôle visuel et rectifie en temps réel la trajectoire pour corriger les incertitudes dues aux tolérances géométriques de la matière première. Cette rectification n'est plus possible avec cette solution de cobot.

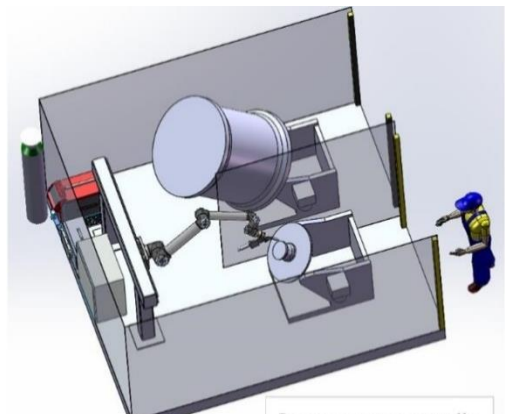


Figure 19 – Aperçu de la proposition cobot de FTS Welding

4) Robot ABB - FTS Welding

FTS Welding nous a fait une seconde proposition avec un robot ABB. Dans ce cas de figure, nous perdons l'avantage de la programmation interactive du cobot. Mais cela nous donne accès à des options de relocalisation en amont et en temps réel du bain de soudure, qui sont nos critères de qualité des soudures (plus de précisions vont être données en partie 7.3.). Le robot peut effectuer automatiquement l'opération de relocalisation dans l'espace, cette action étant réalisée à ce jour manuellement par les opérateurs, via un contrôle visuel. Cette proposition prévoit également le gain en sécurité induit par la cartérisation.

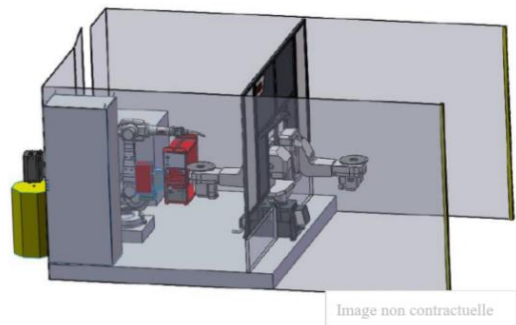


Figure 20 – Aperçu de la proposition robot ABB de FTS Welding

5) Robot Yaskawa - Yaskawa

Pour finir, la proposition de Yaskawa est assez proche de la proposition robot de FTS Welding puisqu'elle propose des perspectives de contrôle de la qualité, tout en assurant la sécurité des utilisateurs. La proposition de Yaskawa est aussi très axée sur la qualité de service après-vente et le dépannage. Toutefois, leur proposition est surdimensionnée par rapport à notre cahier des charges :

- Charge utile maximum de 1000kg pour 250kg dans le cahier des charges
- Diamètre utile maximum de 2000mm pour 1100mm dans le cahier des charges.

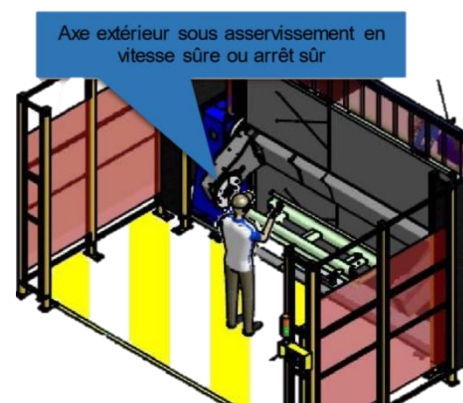


Figure 21 – Aperçu de la proposition robot de Yaskawa

Ces deux derniers points expliquent probablement la différence significative de montant entre la solution robot de FTS Welding et de Yaskawa (voir tableau 6 ci-après).

Afin de comparer plus aisément les solutions, voici dans le tableau 6 un comparatif des solutions accompagnées des premiers montants proposés :

	1) Cellule semi-automatisée - Sana	2) Cellule standard - Bonnefon Soudure	3) Cobot - FTS Welding	4) Robot ABB - FTS Welding	5) Robot Yaskawa - Yaskawa
Amélioration de la sécurité	✗	✓	✓	✓	✓
Assurance / amélioration de la qualité	✗	✗	✗	✓	✓
Assurance de la productivité	✗	✓	✓	✓	✓
Garantie de maintenance rapide	✗	✗	✗	✗	✓
Dimensions acceptables	✓	✗	✓	✓	✗
Budget	67 000 €	90 000 €	153 000 €	158 700 €	199 000 €

Tableau 6 – Analyse comparative des propositions

7.3. Choix d'une solution

A ce stade, notre choix s'est porté sur la solution robotisée de FTS Welding. Nous avons donc poursuivi les échanges avec leur commercial, M. Baron pour qualifier plus en détail la proposition qu'il nous avait fait.

Nous avons légèrement revu à la baisse nos critères de dimensions maximum et de masse maximum. De cette manière FTS Welding a pu nous proposer du matériel légèrement plus petit et donc moins coûteux. Ainsi, nous avons diminué de 16 900 € le prix de l'investissement, en ne faisant que de légères concessions dimensionnelles.

Nous avons également revu le type de générateur de soudure. La capacité d'un générateur à fournir un courant dépend du temps d'utilisation, de l'intensité souhaité, du système de refroidissement... Nous avons choisi un générateur d'une gamme plus puissante, pour l'utiliser plus loin de ses capacités maximales. En effet, un générateur est conçu pour fonctionner au maximum de ses capacités, sur un laps de temps défini. S'il est utilisé en deçà de ses capacités maximales, alors ce laps de temps est plus grand. Le comparatif des deux générateurs est disponible en annexe 2. Le changement de générateur a induit un surcoût de 650€. Cette variation est tout à fait raisonnable pour un matériel plus puissant et qui va moins s'user dans le temps.

FTS Welding nous a également proposé de visiter l'entreprise Devillé, équipée des mêmes robots de soudure que ceux présentés dans leur proposition commerciale. Nous avons fait cette visite le 17 Décembre 2019, accompagnés des membres aux compétences techniques de l'équipe projet (responsable du pôle soudure, soudeurs, usineur).

Cette visite qui faisait suite à la visite précédente de M. Baron chez Bouzinac Industrie, a permis de faire tomber les peurs et les à priori, notamment ceux du responsable du pôle soudure, quant à la qualité des soudures que peut produire un robot. En effet, M. Baron, spécialiste de la soudure a su répondre à toutes les questions des soudeurs. Ceux-ci ont été convaincus par sa prestation et ont pris confiance en la suite du projet.

M. Baron a également réussi à lier une relation de confiance avec toute l'équipe projet de Bouzinac. Jusqu'à présent il a toujours été très réactif, à l'écoute de nos besoins et force de proposition pour imaginer des solutions moins chères ou de meilleure qualité à niveau de prix égal. Les qualités commerciales de M. Baron ont probablement influencé le choix de la solution.

Enfin, M. Baron nous a proposé deux options additionnelles pour palier à notre souci de tolérances sur la matière première. En effet, en fonction des jantes que nous achetons, nous pouvons avoir des plages de tolérance de plusieurs millimètres sur certaines côtes. Le tableau 7 ci-dessous indique, pour quelques exemples significatifs, les variations dimensionnelles définies par les fabricants de jantes (la matière première que nous recevons).

Référence produit	830104	2536013	4223002RF	1975037M	2214131RF
Ovalisation considérée acceptable pour Bouzinac	+/- 1,5	+/- 4	+/- 3,5	+/- 2	+/- 2
Hauteur de la jante	+/- 1	+/- 12	+/- 10,5	+/- 4,2	+/- 11
Diamètre intérieur de la jante	+/- 0,6	+/- 2,5	+/- 1,2	+/- 1	+/- 0,5
Diamètre des crochets de jante	+/- 1,6	+/- 4	+/- 3,2	+/- 1,4	+/- 1,4
<i>Valeurs exprimées en mm.</i>					

Tableau 7 – Plages de variations des tolérances constructeurs

Il est donc nécessaire qu'entre chaque soudure d'une même série, le bras du robot se relocalise sur la nouvelle pièce pour effectuer la soudure au bon endroit. Pour ce faire, M. Baron nous a proposé deux méthodes de relocalisation :

- Une première relocalisation laser en amont de la soudure. Le programme de la machine prévoit qu'un laser réalise un certain nombre de « palpages » permettant d'absorber les dispersions dimensionnelles entre deux pièces successives.

- Une seconde option : le suivi de joint dans l'arc. Dans ce cas, un laser vient contrôler la position de la soudure, juste en avant du point de fusion de la soudure, pour prévoir les petits déplacements nécessaires.

Nous avons choisi de prendre ces deux options, car chacune a ses avantages. La première corrige les variations de grande amplitude dues aux tolérances. La seconde améliore la qualité de la soudure en rectifiant les petites variations d'amplitudes ponctuelles. Le montant de ces deux options s'élève à 7 900 €.

À la suite de ces quelques allers-retours et améliorations de la proposition, nous avons signé l'offre finale de l'intégrateur FTS Welding le 5 Février 2020 pour un montant total de 149 000 €.

Remarque : Le détail du montant et de son financement est développé en partie 9.

7.4. Caractérisation technique de la solution retenue

La figure 22 ci-dessous précise les cinq principaux modules techniques qui composent la solution :

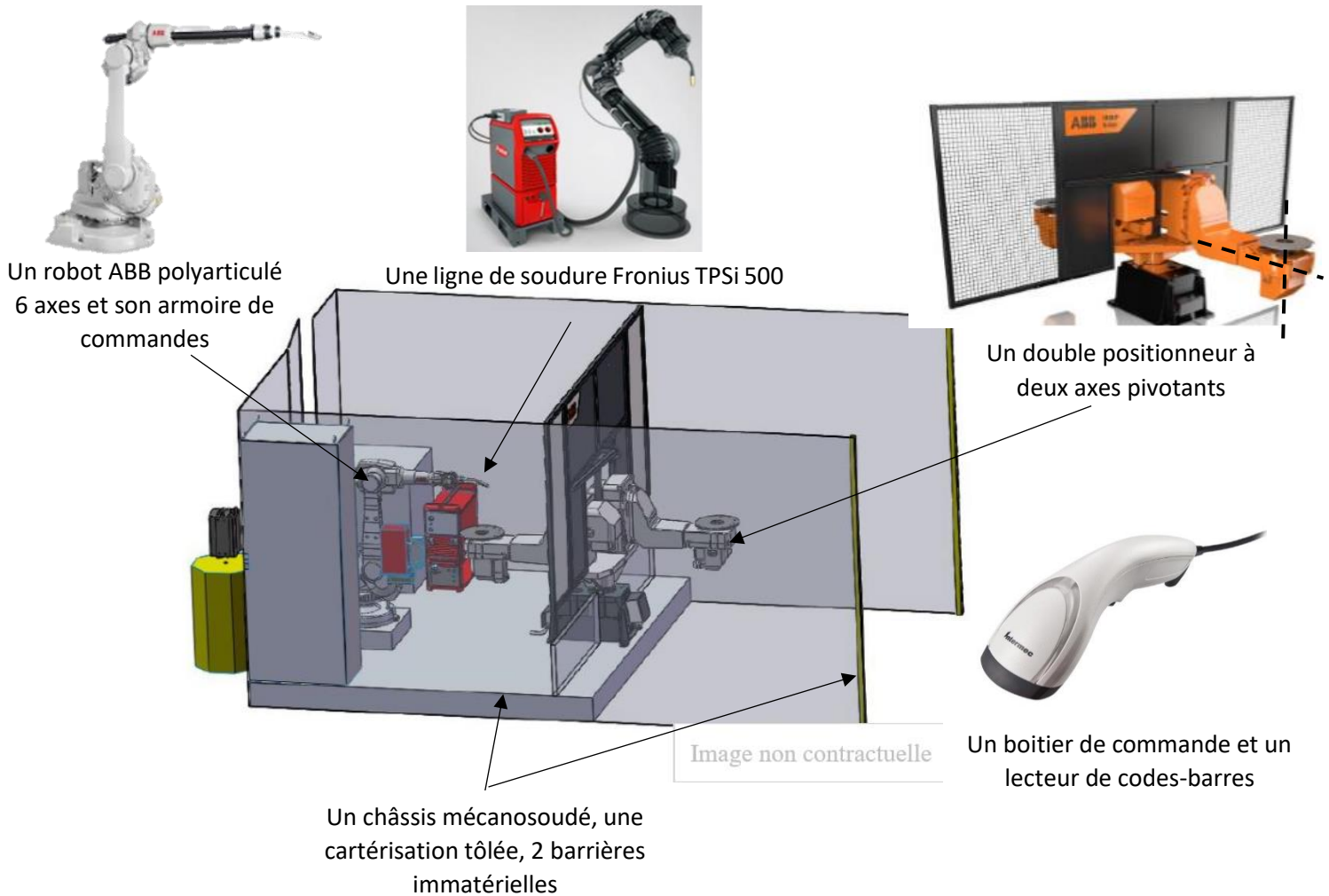


Figure 22 – Modules techniques composant la solution

La ligne de soudure Fronius comprend le générateur de soudure plus puissant que celui prévu dans l'offre initiale. Le robot ABB poly articulé est spécialement conçu pour des applications de soudures. Les matériaux qui le composent résistent à de fortes variations thermiques et la gaine de circulation du fil est étudiée pour limiter les efforts dans la tension du fil de soudure.

Le double positionneur dispose de deux axes de rotation. Le premier est l'axe de rotation de la roue pendant la soudure. Le second est l'axe horizontal permettant l'inclinaison à 45° des pièces (voir figure 18).

La présence d'un lecteur code-barres va permettre de relier les programmes de soudure aux références des articles de l'ERP de l'entreprise. De cette manière, dès qu'une pièce aura déjà été réalisée, l'opérateur pourra scanner un code barre édité par l'ERP pour lancer de nouveau la même série.

Enfin, le châssis mécanosoudé sur une plateforme unique permet de ne pas avoir à réaliser de travaux de génie civil. La plateforme sera directement mise à niveau sur le sol existant.

La solution contient également l'option de relocalisation laser en amont de la soudure (figure 23) et l'option de suivi de joint dans l'arc (figure 24).

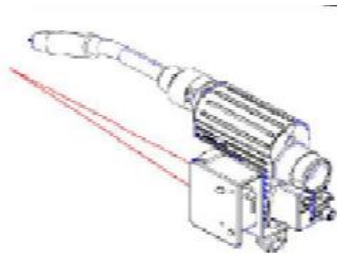


Figure 23 – Option de relocalisation

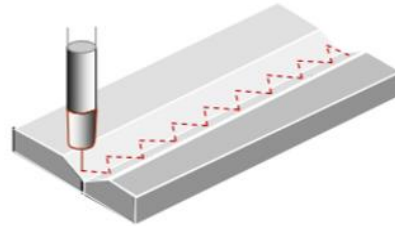


Figure 24 – Option de suivi de joint dans

Le détail précisant la composition de la solution présenté dans le devis signé se trouve en annexe 3.

Une fois la proposition signée, nous sommes entrés dans une phase d'ajustements, d'études et de choix nécessaires pour l'installation et la mise en route du robot. L'ensemble de ces étapes sont présentées dans la partie suivante.

8. Ajustements nécessaires de la solution à l'environnement Bouzinac

8.1. Personnalisation de la solution

Concernant la société FTS Welding, leur travail a principalement consisté à organiser la « boîte noire » qui est l'intérieur de la cellule robotisée :

- Positionner le bras de robot pour minimiser les efforts tout en accédant à toutes les positions nécessaires.
- Organiser la cellule (armoire électrique, générateur de soudure, ouvertures de portes, éléments annexes...) pour minimiser son volume total.
- Paramétrer les premières soudures suivant nos process.

Pour y parvenir, ils ont réalisé une étude mécanique et une étude automatisme. Nous avons travaillé en commun durant plusieurs réunions pour discuter et choisir ensemble les meilleures solutions possibles.

Pour ma part, je les ai principalement accompagnés sur le troisième point, c'est-à-dire concernant le paramétrage des soudures. J'ai fourni les données les plus précises possibles pour qu'ils puissent mettre en œuvre les premières simulations.

J'ai choisi un ensemble de roues représentatives de notre production. Celles-ci sont définies dans le tableau 8 ci-dessous :

Référence	Famille	Caractéristique
1597100	Standards	Roue à disque
1682081		Roue à <u>embouti</u>
1975037M		Série standard
0830103	Extremums	La plus petite
2536013		La plus haute
4223002RF		La plus large
1975038X	Spécificités	Roue avec <u>virole</u>
2214143		Roue avec renforts ronds
2412012		Roue avec <u>bossages</u>

Tableau 8 – Roues de références pour les études

Si leur programmation est capable de réaliser les trajectoires pour ces différentes roues, alors nous savons que nous aurons la capacité de réaliser n'importe quelle soudure à l'avenir.

J'ai également fourni, en accord avec les indications du responsable du pôle soudure, des documents standards en soudure : les QMOS (Qualification du Mode Opérateur de Soudage). Ce sont des documents établis par un organisme tiers, spécialiste de la soudure, et adaptés à l'activité de l'entreprise. Pour Bouzinac industrie, les QMOS valables datent de l'année 2000. Les processus sont globalement identiques, toutefois le matériel a évolué, les performances des machines également... J'ai donc réalisé une réunion avec le responsable du pôle soudure pour comprendre les habitudes et les réglages qui sont fait instinctivement par les soudeurs afin de mettre à jour les QMOS standards. L'idée est d'automatiser les choix de paramétrages, en s'appuyant sur l'expérience des soudeurs. Pour rappel, le responsable du pôle, en poste depuis plus de quinze ans, va partir à la retraite d'ici moins de deux ans. Il est donc primordial de standardiser les choix techniques qu'il effectue pour chaque soudure.

Un échantillon de QMOS est disponible en annexe 4.

8.2. Outillage

Un autre point important de ces étapes d'ajustement a été le choix des outillages nécessaires au bon fonctionnement de la cellule robotisée. En effet, la proposition de FTS Welding ne contient qu'un positionneur. Pour maintenir en position la roue lors d'une soudure, l'ensemble nécessite également un mandrin. Vous trouverez en figure 25 un visuel permettant de comprendre l'utilité de ces différents éléments :

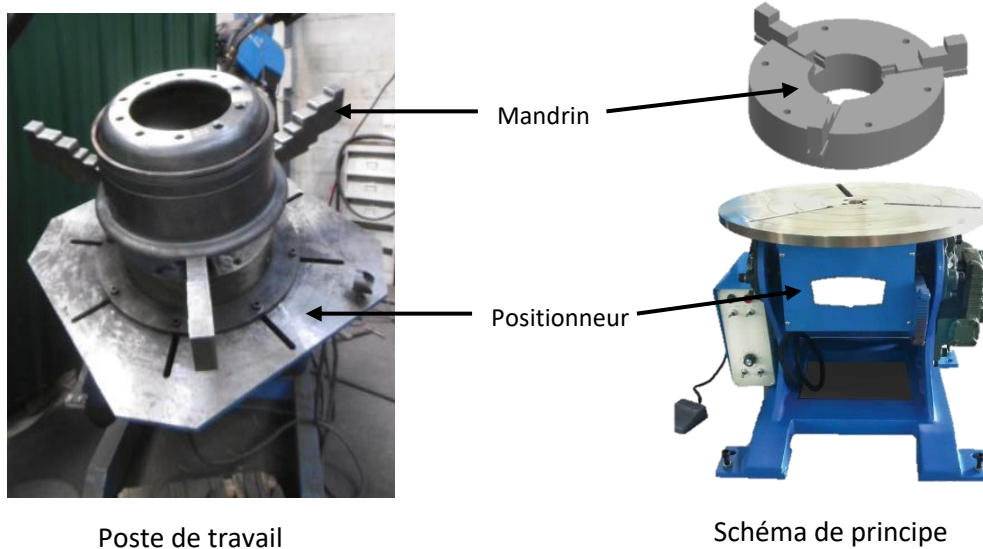


Figure 25 – Schéma de compréhension positionneur et mandrin

Un positionneur est universel, c'est le même composant quel que soit l'élément à souder. Il permet de réaliser la mise en position et la rotation de la pièce. En revanche un mandrin est choisi en fonction de la pièce à souder. Il permet son maintien en position au moyen d'un bridage. Un mandrin est adapté à des pièces de révolution.

A ce jour, les postes à souder sont équipés de mandrins mécaniques. C'est-à-dire que ce sont les opérateurs qui positionnent la pièce puis serrent le mandrin à l'aide d'une clé. Nous disposons de différentes tailles de mandrins, s'adaptant aux dimensions des pièces à souder. Pour la cellule robotisée, nous avons initialement pensé à choisir des mandrins pneumatiques. Les principaux intérêts d'une telle solution sont :

- une diminution du risque de serrage insuffisant par rapport à un serrage manuel,
- une diminution des efforts répétés pour les opérateurs et donc des risques de troubles musculo-squelettiques.

Cependant, Bouzinac réalisant des roues de dimensions importantes, un mandrin pneumatique aurait été un investissement conséquent. De plus, nous avons retrouvé des mandrins inutilisés dans les stocks de machines et correspondant aux dimensions recherchées. Nous allons donc utiliser deux de ces mandrins pour les premières phases de tests et d'utilisation de la cellule robotisée. Si ce mandrin convient à l'application, alors les premiers mois d'utilisation de la cellule se feront avec celui-ci. La récupération d'un mandrin d'occasion est une économie que j'estime à environ 10 000€ (achat et mise en place).

Toutefois, j'ai quand même prévu des passages de tuyaux dans la cellule robotisée pour permettre l'installation éventuelle d'un mandrin pneumatique à l'avenir.

Nous avons aussi mené une réflexion sur la position du serrage de la pièce pour limiter les incertitudes de tolérances. En effet, les pièces sont actuellement serrées au niveau du bord inférieur de la *jante*, ce qui maximise les incertitudes constructeur. En réalisant le serrage sur le *voile* usiné par Bouzinac Industrie, nous maîtriserions nos incertitudes. Les variations seraient beaucoup moins importantes. La figure 26 ci-dessous l'illustre.

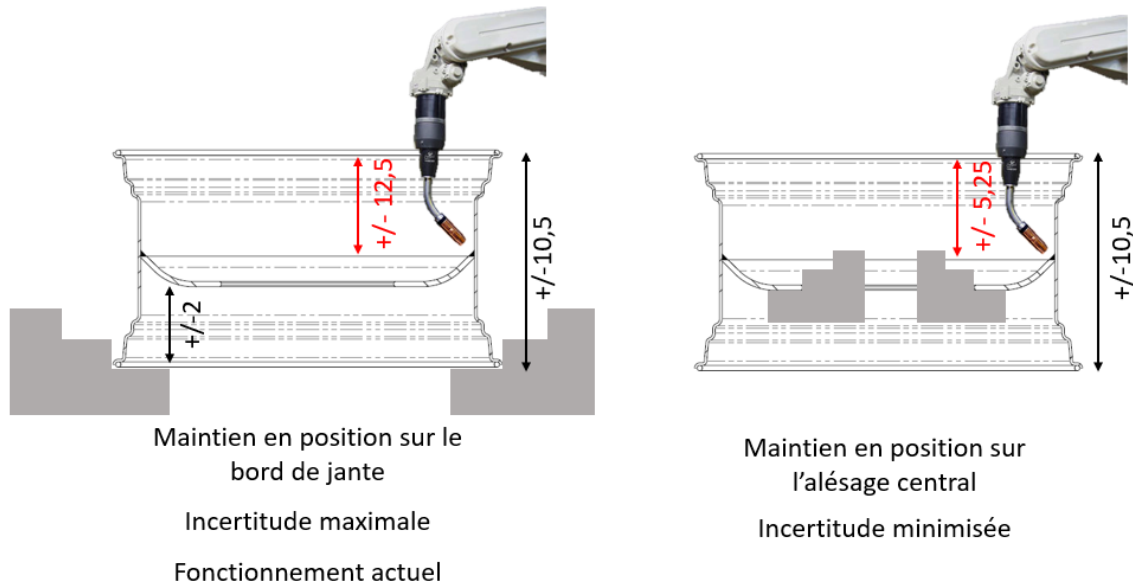


Figure 26 – Deux méthodes de serrage de la roue

En revanche, ce mode de serrage nécessiterait de fabriquer une grande quantité d'outillage adaptés aux différents diamètres du perçage central et de l'intérieur des jantes ; ainsi que de réaliser un bridage des pièces à l'intérieur. Ce bridage pourrait gêner le bras de robot en fonction des dimensions des roues. Nous n'avons donc pas retenu l'hypothèse d'une mise en position sur le perçage central.

Finalement, nous conservons le même mode de maintien en position que sur les positionneurs actuels. Cependant, les deux options de relocalisation laser et de suivi de joint dans l'arc proposées par FTS Welding devraient nous permettre de compenser les incertitudes constructeur de manière plus précise qu'aujourd'hui. Cela fera partie des principaux points de vigilance à contrôler lors de la phase de test de la cellule robotisée.

8.3. Choix d'une implantation

L'un des autres choix importants que nous avons dû réaliser lors de ce projet est celui de l'implantation de la cellule robotisée dans l'atelier. Cette cellule devra bien sûr se trouver dans le secteur soudure et les principaux paramètres qui nous ont permis de décider sont les suivants :

- Moyen de manutention à disposition
- Praticité / Déplacement des autres postes minimisés
- Raccord en électricité et air possible
- Raccord au système d'aspiration possible

Il ne faut pas confondre le système d'air et le système d'aspiration. Le système d'air correspond à un circuit d'air comprimé disponible dans tout l'atelier. Celui-ci permet de faire fonctionner les vérins

pneumatiques présents sur les machines et alimenter les soufflettes de dépoussiérage. Le système d'aspiration n'est présent que dans le secteur soudure, il permet d'aspirer les fumées de soudage au-dessus des postes de travail afin de préserver la santé des opérateurs.

La figure 27 présente un aperçu en vue du dessus de la disposition actuelle du pôle soudure :

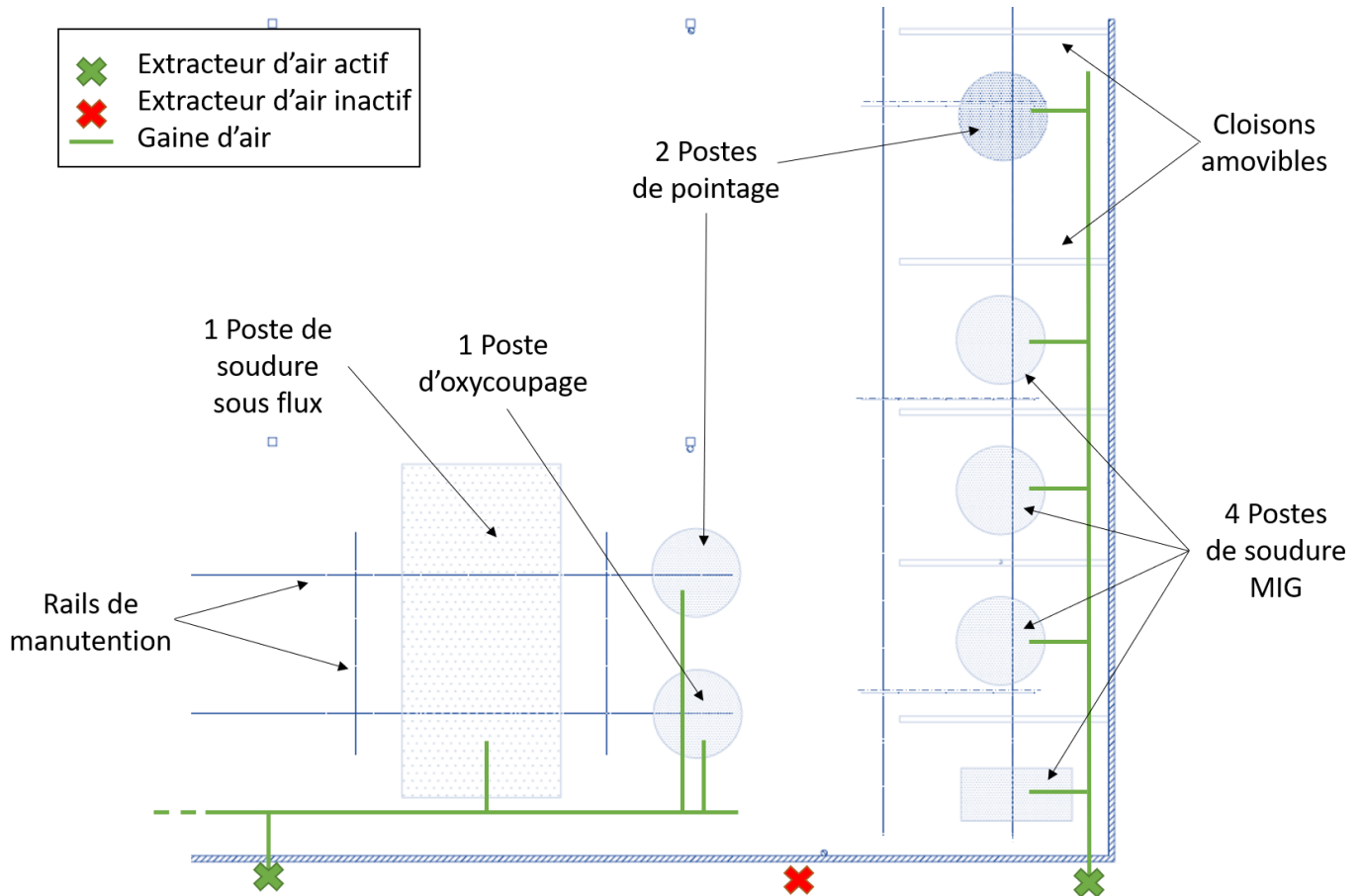


Figure 27 – Schéma d'implantation actuel du pôle soudure

Les éléments verts et rouges sur le schéma représentent le système d'aspiration actuel des fumées de soudage. Nous avons trouvé un extracteur d'air non utilisé à l'extérieur du bâtiment. Nous allons l'utiliser pour la cellule robotisée.

Nous avons fait le choix de positionner le robot dans un coin du pôle soudure. De cette manière, il est possible d'utiliser les palans déjà présents sur les rails de manutention et l'extracteur d'air à ce jour inactif. Cela permet aussi de minimiser le nombre de machines à déplacer et de ne déplacer que des machines utilisées partiellement. Nous aurons donc quelques jours pour les déplacer sans perturber la production.

Voici en figure 28 les déplacements prévus :

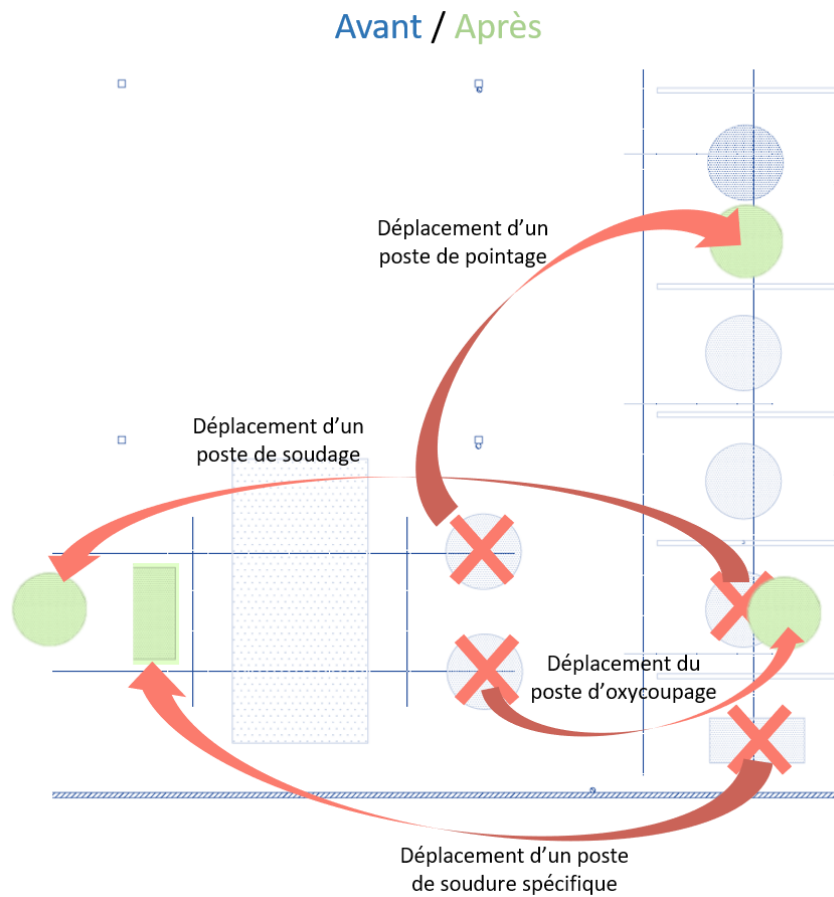


Figure 28 – Déplacement des postes de travail

L'espace libéré par ces déplacements va permettre de loger la cellule robotisée. Voici en figure 29 le schéma d'implantation futur pour le secteur soudure de Bouzinac Industrie :

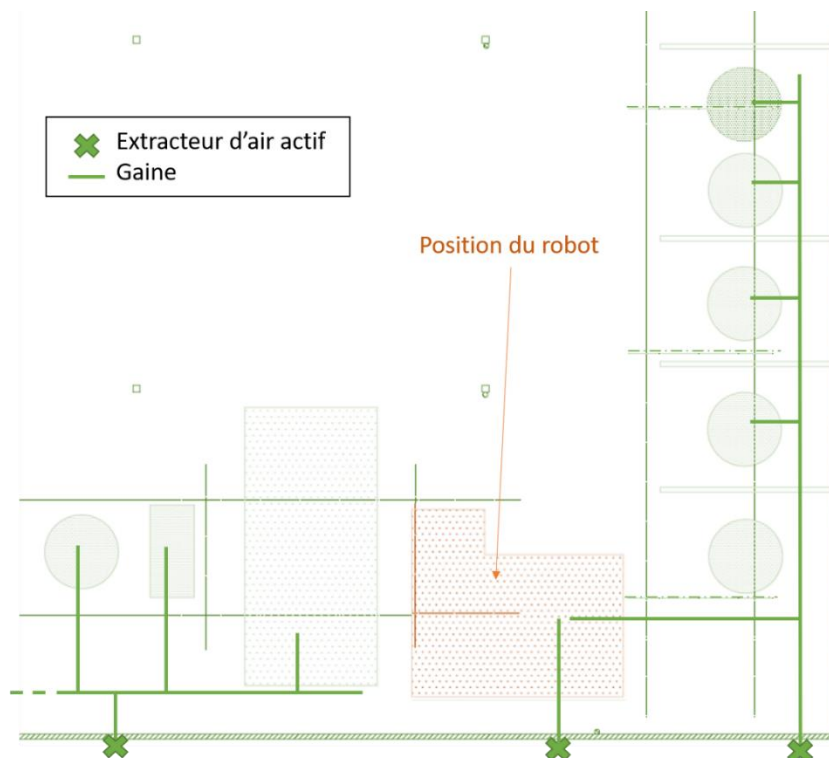


Figure 29 – Schéma d'implantation futur du pôle soudure

Un aperçu de la cellule robotisée vue du dessus est également disponible en annexe 5.

Pour l'instant, les soudeurs souhaitent garder l'ensemble des postes à souder dans le secteur. Cela est possible car l'atelier dispose de l'espace nécessaire. A terme, l'idée est d'enlever un à deux postes de soudures semi-automatiques. Le travail sera réalisé par le robot.

8.4. Optimisation de l'aspiration des fumées de soudage

Les fumées de soudage sont un cancérigène avéré, et les maladies qui en découlent peuvent être reconnues comme maladies professionnelles [8]. En passant des postes de soudages semi-automatiques actuels à une cellule cartésienne, l'opérateur est protégé car il s'écarte de la zone d'émission des fumées de soudage. Ce projet de robotisation est ainsi éligible à une subvention de la CARSAT. Afin de pouvoir prétendre à cette subvention plusieurs conditions sont requises :

- être une entreprise de moins de 50 salariés,
- être à jour de ses cotisations URSSAF,
- disposer d'un document unique d'évaluation des risques (DUER) à jour,
- valider certaines conditions de renouvellement d'air dans la cellule.

Le montant de la subvention peut atteindre 50% de l'investissement, pour un montant maximal de 25 000 €, soit 12 500€.

L'équipe de direction de l'entreprise a jugé intéressante cette subvention. J'ai donc pris en charge la rédaction du dossier de réservation.

Tout d'abord, j'ai commencé par mettre à jour le DUER de Bouzinac Industrie qui datait de 2015. En effet, un DUER doit être mis à jour tous les ans et à chaque modification substantielle des situations de travail (nouveau procédé de fabrication, nouvel équipement de travail...). Pour ce faire, je suis allée voir les opérateurs pour observer leur situation de travail et échanger avec eux afin de recueillir leur vision sur les situations à risques. Je me suis également appuyée sur les recommandations de notre organisme de médecine du travail : la SMIA, pour mettre à jour le document. La section relative au secteur soudure du DUER est disponible en annexe 6.

J'ai ensuite échangé avec le médecin conseil de la Carsat, M. Boisumeau, qui m'a conseillé sur la manière de rédiger le dossier de réservation de la subvention. A ce stade, le financement de la cellule robotisée était prévu sous forme de crédit-bail, également connu sous le nom de leasing. Dans cette méthode de financement, la banque est propriétaire du matériel durant toute la durée de remboursement du prêt. L'entreprise peut ensuite racheter le matériel à la banque à un prix réduit, à la fin de la durée du crédit-bail [9].

M. Boisumeau m'a appris que la subvention n'était envisageable que si l'entreprise était propriétaire du matériel. Il m'a également informé que la subvention ne prendrait en charge que les frais liés à la protection de l'opérateur vis-à-vis de l'émission des fumées de soudage. J'ai donc demandé à la société FTS Welding de scinder le devis en deux parties :

- Une première partie contenant les fonctions robotisation, automatismes, positionneurs etc...
- Une seconde partie contenant la fonction de cartésianisation de l'environnement

Le président de Bouzinac Industrie, M. Castillon, en charge de la gestion des financements, a renégocié le contrat de crédit-bail, pour en ôter la cartésianisation.

A ce stade, il ne restait plus qu'à vérifier si nos conditions d'aspirations respectaient l'objectif de renouvellement d'air pour répondre à l'ensemble des conditions requises à l'obtention de la subvention. A ce sujet, FTS Welding ne fournit que l'enceinte cartérisée. C'est donc notre maintenancier habituel, la société STB, qui va se charger des raccords en air. Nous avons réalisé des mesures sur le système d'aspiration actuel. L'objectif requis est le suivant : « La vitesse entrante de l'air dans les surfaces laissées ouvertes doit être supérieure à 0,3 m/s ». L'enceinte cartérisée correspond à un volume de 43 m³ les surfaces laissées ouvertes situées en bas de la cellule correspondent à 1m². Dans ces conditions nous avons estimé que le débit d'air dans la cellule devait se situer entre 6 000 et 10 000 m³/h. En se raccordant uniquement au système d'aspiration actuellement en service, nous étions en mesure d'assurer un débit d'environ 2 000 m³/h. Mais nous avons eu la chance de trouver à l'extérieur du bâtiment un extracteur d'air opérationnel et qui n'était pas en service (figure 27). En raccordant cet extracteur d'air en supplément du système d'aspiration actuel nous sommes en mesure d'assurer un débit avoisinant 8 000 m³/h.

À ce stade nous avons donc pu prétendre à la subvention en étant assuré du respect de la condition de vitesse entrante minimum de l'air. J'ai donc effectué la demande de subvention.

8.5. Formation des opérateurs

A ce jour, l'entreprise ne dispose d'aucun robot et aucun salarié n'est formé à la programmation robotique. L'installation d'une cellule robotisée nécessite donc la formation des opérateurs.

Dans la cellule que l'entreprise achète, il existe deux modules de programmation :

- Un module Fronius, qui concerne le générateur de soudage et qui permet de contrôler les paramètres de soudure tels que la vitesse du fil, l'ampérage et le voltage...

- Un module ABB qui concerne le robot et qui permet de contrôler les déplacements de son bras, sur lequel est fixé la torche de soudure.

Les deux modules se programment à partir de deux interfaces distinctes. Aujourd'hui, les soudeurs travaillent déjà sur des générateurs Fronius. Ils seront donc capables de travailler sur le générateur de soudage de la cellule robotisée. Cependant personne n'est formé au module ABB. Les formations en robotique sont directement organisées par ABB, dans leur centre de formation situé à Cergy. À la suite d'échanges avec le responsable du département formation robotique d'ABB, nous avons convenu que deux formations seront nécessaires pour nos opérateurs. Une première formation de trois jours, qui consiste à apprendre les bases de l'utilisation du module ABB (recherches et lancements des programmes, compréhension et modifications minimales) ; et une seconde formation de cinq jours pour apprendre la création et la duplication de programmes. Il existe plusieurs niveaux de formation à la programmation de robot ABB. Dans notre cas de figure, le robot sera amené à réaliser des mouvements simples et linéaires. En effet, une fois la soudure mise en route, seul le positionneur réalisera un mouvement de rotation. Le premier niveau de programmation robotique est donc suffisant pour nos opérateurs.

J'ai ensuite organisé une réunion avec le responsable de production, le chef d'atelier, les soudeurs ainsi que l'usineur faisant partie de l'équipe projet pour ses notions de programmation sur les machines d'usinage à commande numérique. Nous avons défini ensemble quels opérateurs suivront les formations. Du côté des soudeurs, nous avons Mouloud, le chef du secteur, qui part à la retraite dans moins de deux ans ; Alexandre, un opérateur employé depuis plusieurs années et intéressé à l'idée d'acquérir de nouvelles compétences ; et Jean, un intérimaire tout juste embauché en Avril 2020. J'ai donc proposé à Alexandre de suivre la formation de trois jours permettant d'apprendre à utiliser

le robot. Il a accepté, car il est intéressé par la robotique, et souhaite se former à de nouvelles compétences. Nous misons sur ce jeune employé qui a envie d'apprendre. Le chef du secteur n'y a vu aucun inconvénient puisqu'il est en fin de carrière.

Ensuite, concernant la formation de programmation, le responsable d'exploitation préférerais envoyer un usineur en formation, car ce sont des personnes qui connaissent déjà ce domaine et qui ont l'habitude de visualiser les pièces en 3D. Nous avons à ce stade le choix entre Cyrille, le chef d'atelier ou Jayson, un jeune usineur sur les machines à commande numérique. Le choix s'est porté sur Jayson car il avait l'envie d'apprendre. Le chef d'atelier est aussi intéressé par la robotique, mais préfère laisser la place à l'un de ses opérateurs pour accroître la polyvalence. En effet, avec cette formation, nous créons le second poste dans l'entreprise qui aura des compétences transverses entre la soudure et l'usinage. Le premier étant celui du chef d'atelier. Nous misons également sur le fait que, par la suite, Jayson pourra transmettre son savoir à la fois aux soudeurs et au chef d'atelier pour augmenter le nombre d'opérateurs en mesure de programmer le robot.

A la fin de cette réunion, mon ressenti était d'avoir deux salariés intéressés par les formations qu'ils allaient suivre, et avec l'envie de se diversifier.

8.6. Préparation des phases de tests

A ce jour, l'ensemble des paramètres qui étaient à préciser à la suite de l'achat de la cellule robotisée sont définis. FTS Welding réceptionne au fur et à mesure les différents composants et les assemblent provisoirement dans leurs locaux. Ainsi, les premiers tests de soudures vont se faire dans leurs locaux, accompagnés de leurs techniciens. Afin de réaliser ces tests, nous devons leur envoyer un fût de notre fil de soudure, les mandrins choisis lors que la phase de réflexion sur l'outillage ainsi que la matière première pour réaliser les soudures dans les mêmes conditions qu'à Bouzinac Industrie.

Nous avons choisi, d'un commun d'accord entre FTS Welding et les soudeurs de l'entreprise, un ensemble de soudures que nous allons réaliser durant cette phase de test. La figure 30 regroupe ces différentes soudures :

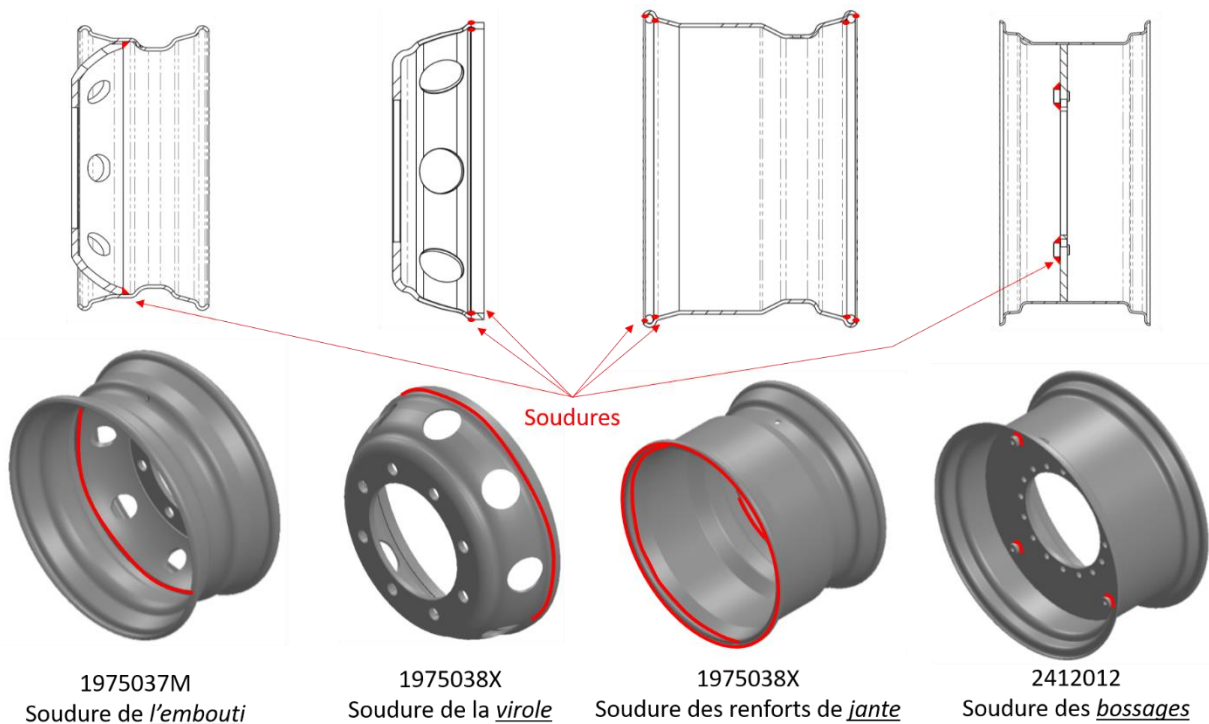


Figure 30 – Soudures choisies pour la phase de tests

Nous avons fait le choix de ces quatre pièces tests car elles regroupent l'intégralité des différents types de soudures réalisables sur une roue :

- Soudure de l'embouti dans une jante
- Soudure de virole (cela correspond à une rallonge d'embouti sous forme d'un tube coupé à la longueur souhaitée)
- Soudure de renforts de jantes (ce sont des ronds d'aciers, cintrés suivant les dimensions de la jante, permettant de renforcer les crochets en bord de jante contre de possibles chocs subis par la roue)
- Soudure de bossages (les bossages sont des plots filetés qui permettent d'ajouter des balourds aux roues pour équilibrer le véhicule)

Pour chaque référence, nous allons réaliser plusieurs fois la même soudure, et il faut prévoir d'avoir du rebut pour les premières pièces. Ces tests vont être réalisés par les techniciens de FTS Welding, et en présence des opérateurs de Bouzinac Industrie ayant suivi les formations ABB. Ainsi, les opérateurs vont prendre en main la machine tout en étant accompagnés. Par la suite, ils pourront s'appuyer sur l'un de ces quatre programmes-types pour dupliquer une structure et n'avoir à changer que les paramètres dimensionnels de la roue et fonctionnels de la soudure.

9. Méthode de financement

Cette partie récapitule les moyens mis en œuvre pour financer l'investissement. Tout d'abord, le tableau 9 précise les postes de dépenses associés au projet :

Entreprise / Organisme	Prestation	Montant
FTS Welding	Cellule robotisée FTS Welding	142 450
	Option de suivi de joint dans l'arc	4 600
	Option de relocalisation laser	3 300
	Formation Cellule robotisée + Premières programmations	2 650
	Remise commerciale	- 4 000
Sous total		149 000
Centre de formation ABB	Formation programmation Robot ABB	6 210
STB Industrie	Repiquage du système d'aspiration	4 300
Entreprise de levage	Système de manutention pour l'installation	500 (Estimatif)
Total		160 010
Carsat	Subvention "Soudage + sûr"	- 9 400
Total après subvention		150 610
<i>Montants exprimés hors taxe.</i>		

Tableau 9 – Postes de dépenses du projet

A ce jour, le montant total nécessaire à la réalisation du projet s'élève à 160 010€. Pour rappel, en Juin 2019 j'avais annoncé un budget prévisionnel de 150 000€ à 200 000€ au dirigeant.

La seule incertitude restante concerne le montant nécessaire à la location du matériel de levage pour décharger et installer la cellule robotisée. J'ai estimé ce montant à 500€, à partir d'autres prestations de levage déjà réalisées pour l'entreprise précédemment.

Plusieurs évènements m'ont permis de faire diminuer l'enveloppe globale, notamment la récupération des mandrins d'occasion dans nos stocks ; ou encore la découverte d'une aspiration d'air en place en non utilisée dans la zone de soudure. Pour chacun de ces deux points, l'économie réalisée est de l'ordre de 10 000€.

J'ai également négocié une remise commerciale avec le représentant de FTS Welding de 4 000€. Celle-ci représente 2,7% de la facture.

L'ensemble du projet est financé par trois sources complémentaires :

- Un crédit-bail
- Un emprunt bancaire
- L'utilisation de la trésorerie

La répartition des dépenses en fonction des moyens de financement est précisé sur la figure 31 :

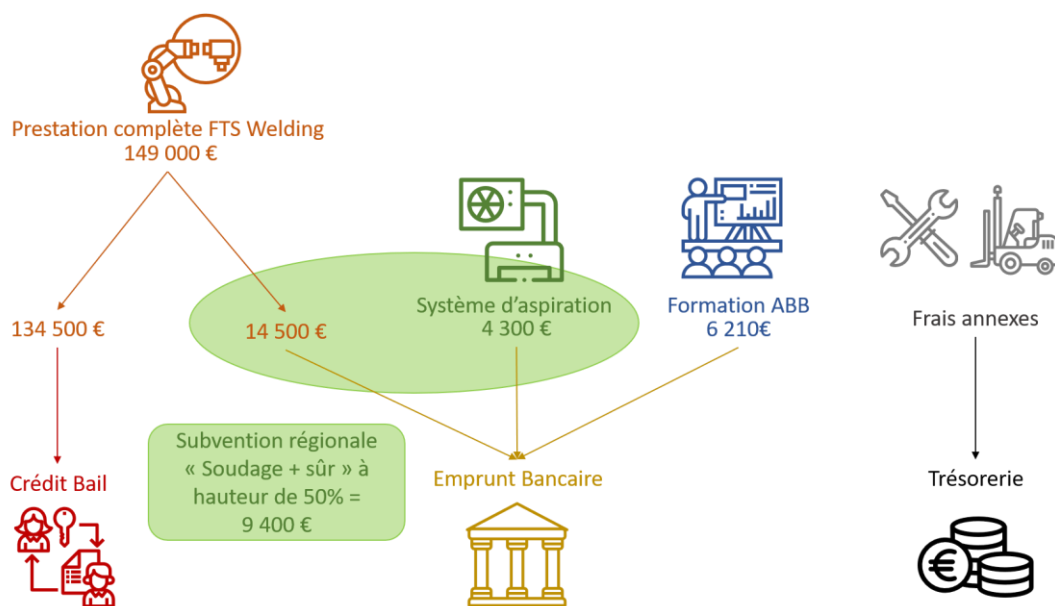


Figure 31 – Répartition des moyens de financement

Initialement le président de Bouzinac Industrie avait prévu de financer l'intégralité de la cellule robotisée via un crédit-bail. Toutefois, comme expliqué au paragraphe 8.4, nous avons scindé les postes de dépenses afin de financer la partie cartésianisation de l'enceinte (14 500€) sous forme d'un emprunt bancaire au nom de Bouzinac Industrie. Ce montant fait partie d'un emprunt plus global, qui prévoit également d'autres dépenses qui ne sont pas liées au projet du robot. Nous avons également inséré le montant nécessaire à la formation dans cet emprunt, celle-ci n'étant pas finançable par un crédit-bail.

Ainsi, nous avons pu prétendre à la subvention « Soudage + sûr » ; et celle-ci nous a été accordée en Avril 2020. Vous trouverez en annexe 7 la lettre d'acceptation de la subvention fournie par la Carsat. Dans le tableau 9, je ne fais entrer la subvention qu'après le total, car dans les faits l'entreprise est bien dans l'obligation de financer l'intégralité du projet, c'est-à-dire 160 010 €. Ce n'est que courant 2021 qu'elle recevra la subvention de 9 400€.

Concernant la dépense liée à la formation, nous pouvons espérer une prise en charge, à minima partielle, par les OPCA (Organisme Paritaire Collecteur Agréé). Ces organismes participent au financement de la formation professionnelle continue. Je ne me suis pas occupée de la gestion de cette aide. C'est la responsable des Ressources Humaines qui s'en occupe pour toutes les formations.

De cette manière, nous minimisons les besoins en trésorerie pour ce projet sur l'année 2020. En effet, le seul poste de dépense qu'il reste à financer par la trésorerie sera le moyen de levage pour l'installation et les possibles frais annexes lors de la mise en route, qui auraient pu être oubliés à ce stade. Dans tous les cas, le besoin de trésorerie sera de l'ordre du millier d'euros.

10. Finalisation du projet

A ce jour, il reste à réaliser les phases de tests de la cellule robotisée dans les locaux de FTS Welding, l'implantation de la cellule sur notre site ainsi que son raccord aux énergies et au système d'aspiration suivant les préconisations de la Carsat pour l'obtention de la subvention. Les tests et l'installation sur site sont prévus pour le mois de Septembre 2020.

Pour ma part, je ne ferais plus partie de la société à partir de fin Août 2020. Je prends donc toutes les dispositions permettant au projet d'aboutir sereinement. Je tiens au courant les différents membres de l'équipe de l'avancée du projet afin qu'ils soient en mesure d'assurer ma relève le moment venu :

- Le responsable d'exploitation s'occupera de l'organisation de la journée de tests,
- Le responsable qualité prendra en charge la gestion de l'installation et du raccordement de la cellule robotisée,
- La comptable s'assurera du paiement des échéances ainsi que de la réception de la subvention.

J'ai réalisé tout ce qu'il était possible de faire dans le temps qui m'est accordé. L'ensemble des phases nécessitant de faire des choix sont terminées et les tâches que je laisse à mes différents collègues sont des actions opérationnelles.

11. Prise de recul sur le projet de SFE

Dans cette partie, je souhaite développer mes réussites, les difficultés rencontrées, ainsi que mes apprentissages permis par ce projet qui a commencé il y a plus d'un an désormais.

11.1. Du point de vue organisationnel et technique

Tout d'abord, sur le plan organisationnel, je suis satisfaite du travail effectué, car j'ai réussi à répondre au besoin de Bouzinac industrie, dans un délai correct par rapport à celui que j'ai annoncé en début du projet et compte tenue de la situation exceptionnelle vécue en 2020 avec la crise du COVID-19. Je me suis efforcée de faire avancer le projet régulièrement en prenant en compte les recommandations de chacun et en tenant informé l'ensemble de l'équipe projet de la progression. Je suis bien sûr déçue de quitter l'entreprise avant de voir le robot implanté et fonctionnel chez Bouzinac Industrie, mais je suis persuadée que le projet aboutira correctement.

J'avais émis le souhait de travailler sur ce projet de manière Agile dans mon précédent livrable SSAT (Sciences Sociales Appliquées au Travail). Au fur et à mesure de la réalisation de celui-ci, je me suis rendue à l'évidence qu'un tel projet d'investissement dans du matériel industriel ne peut pas se réaliser avec un management de projet Agile. Par exemple, le management Agile préconise de ne pas réaliser de cahier des charges, pour ne pas brider les idées des collaborateurs à un instant donné. Dans mon cas de figure, j'ai bien été obligée de réaliser un cahier des charges pour avoir une base commune de discussion avec les divers interlocuteurs. En revanche, j'ai gardé à l'esprit certains concepts du management Agile, tel que celui de considérer un imprévu comme une évolution, une nouvelle itération ; plutôt qu'un aléa ou une difficulté.

Ensuite, concernant l'aspect technique du projet j'ai beaucoup appris sur les notions de processus de soudure, d'intégration de nouvelles machines dans un environnement industriel ou encore de programmation industrielle et de robotisation. L'ensemble de ces compétences me seront utiles à l'avenir.

11.2. Du point de vue des sciences sociales

Sur le plan des relations interpersonnelles, j'ai débuté ce projet avec l'apriori suivant : dans la gestion du changement, il est indispensable d'avoir des compétences organisationnelles et techniques (ou de s'entourer des personnes détenant ces savoirs). En revanche concernant les compétences managériales, celles-ci sont plutôt du ressort du ressenti, du pressentiment, de la sensibilité individuelle à la compréhension des attentes et appréhensions de l'autre. Je n'avais probablement pas vécu de situation professionnelle suffisamment longue, ou avec suffisamment de responsabilités pour faire mûrir ma réflexion à ce sujet-là. Ce projet m'a totalement fait changer d'avis. En effet, comme dans toutes les entreprises, chez Bouzinac Industrie, il existe des cohésions et des tensions entre les différents membres de la société. Ces comportements sont normaux et naturels chez les êtres humains. Et pourtant, il ne faut pas les négliger lorsque nous souhaitons travailler collectivement. Avant, je pensais que le discernement personnel suffisait à aboutir à un travail de groupe efficace. Maintenant, je sais qu'il existe un ensemble de théoriciens qui ont travaillé sur le sujet et qui proposent des outils aux managers pour leur permettre de mettre leur groupe en état de cohésion, vers un objectif commun de réussite du projet. Les notions d'aptitude, de disponibilité du cerveau à rentrer dans un processus de changement, ou encore de cohérence dans un groupe de travail sont

d'importances égales aux notions d'ordre technique, par exemple, pour l'aboutissement serein d'un projet.

Globalement le projet s'est bien passé au niveau de l'équipe projet, mais il persiste des zones d'ombres. Par exemple, l'un des membres de l'entreprise n'a absolument pas adhéré au projet, et continue de remettre en cause le pourquoi de ce robot ; même s'il travaille à son implantation.

11.3. Mes enseignements tirés de ce SFE

L'ensemble de ces prises de conscience concernant le management d'équipe m'a incité à me renseigner et lire à ce sujet. Tout d'abord, avant d'agir sur la conduite du changement en entreprise, il est important de comprendre l'organisation de celle-ci. A ce sujet, le modèle qui me parle le plus à ce jour est la théorie organisationnelle de Berne (ou TOB) [10]. Ce modèle est un outil d'analyse systémique, principalement destiné aux coachs en entreprises.

Ensuite, le modèle SCARF de David Rock [11] a fait sens à mes yeux sur les notions de motivation, d'acceptation, ou encore d'aptitude du cerveau à rentrer dans un processus de changement. A ce sujet, plusieurs chercheurs font des liens entre les comportements naturels des individus en entreprise et les neurosciences [12]. Ce modèle me plaît par son aspect scientifique, et son lien avec les neurosciences.

Je n'étais pas en mesure d'analyser les comportements des membres de l'équipe projet sous cet angle durant la majeure partie du projet car je ne connaissais pas ces modèles. Mais si c'était à refaire, je tâcherais de laisser le temps à chaque membre de l'équipe d'adhérer et de se mettre dans de bonnes dispositions pour accepter l'idée du projet d'évolution et devenir moteur du changement.

Conclusion

En conclusion, l'objectif de ce travail de fin d'étude était de répondre à la problématique suivante :

Qualifier, choisir et implanter une première cellule de soudure automatisée adaptée à une production flexible avec une contrainte de petite série.

Je considère avoir su répondre à cet enjeu au cours de mon SFE. Les étapes de qualification et de choix étant abouties et l'étape d'implantation étant en bonne voie. Je suis satisfaite du travail effectué puisque, sur le plan professionnel, Bouzinac Industrie et mes supérieurs ont apprécié le travail que j'ai mené.

Sur le plan personnel, la confiance que m'ont accordée mes supérieurs en me laissant l'opportunité de prendre en main ce projet m'a permis de monter en compétences sur la gestion de projet industriel. Mes expériences relationnelles, vécues au sein de Bouzinac Industrie, complétées par mes recherches personnelles m'ont aussi permis d'acquérir de nouvelles compétences en sciences sociales. Ces expériences devraient être des atouts pour ma vie professionnelle, en complément des enseignements que j'ai reçus à l'ENSAM.

Annexes

Annexe 1 : Cahier des charges – Projet d'automatisation d'un processus de soudage de roues

Projet d'automatisation d'un processus de soudage de roues

Cahier des charges






GENIE CIVIL – TRAVAUX PUBLICS
 AGRICULTURE – POIDS LOURDS
 MANUTENTION – METRO
 FORESTIER
 DEPUIS 1925

40 boulevard de l'Industrie
 ZI Ecoflant
 4900 Angers
 02 41 27 27 27
<http://bouznac.fr>

Contacts :

Julie OUDARD
 Apprentie Ingénieure – Responsable du projet
j.oudard@bouznac.fr
 02 41 27 27 27

Tony PEYRACHE
 Responsable de production
t.peyrache@bouznac.fr
 02 41 27 27 28

1

Présentation du contexte

Bouznac industrie est une entreprise de production de roues acier pour des véhicules spécifiques dans les secteurs de la manutention, de l'agriculture, du forestier, du génie civil, du métro et du poids lourds. Nos dimensions de roue vont de 8 à 42 pouces. Nous disposons actuellement de postes de soudure semi automatiques, qui nous permettent d'assembler nos deux principaux composants qui sont la jante et le voile d'une roue. Nous achetons des jantes et nous fabriquons les voiles qui s'adaptent à la demande du client. Les spécificités de notre production sont à la fois une grande diversité des produits (en dimensions, en épaisseur...) et de très faibles quantités (86% de notre production correspond à des séries de moins de 8 pièces).



Aujourd'hui nos moyens de soudure sont les suivants :

Les pièces sont d'abord mises en position les unes par rapport aux autres, contrôlées et pointées avant de passer sur nos postes semi-automatiques.

La jante est alors positionnée sur un tourneur vireur ; la torche est mise en position à l'aide d'un bras réglable qui dispose de contre poids.

On aperçoit le générateur (en bas au centre) et le dévidoir (en haut à droite) en rouge à l'arrière. Le poste de travail dispose d'un système d'aspiration.

L'opérateur règle ses paramètres puis il enclenche la mise en rotation du tourneur vireur et contrôle la qualité de la soudure pendant la rotation.

Les changements et déchargements s'effectuent à l'aide d'un palan. Les pièces en attente sont disposées sur des palettes devant le poste. Un opérateur expérimenté peut utiliser deux postes à souder pour lui

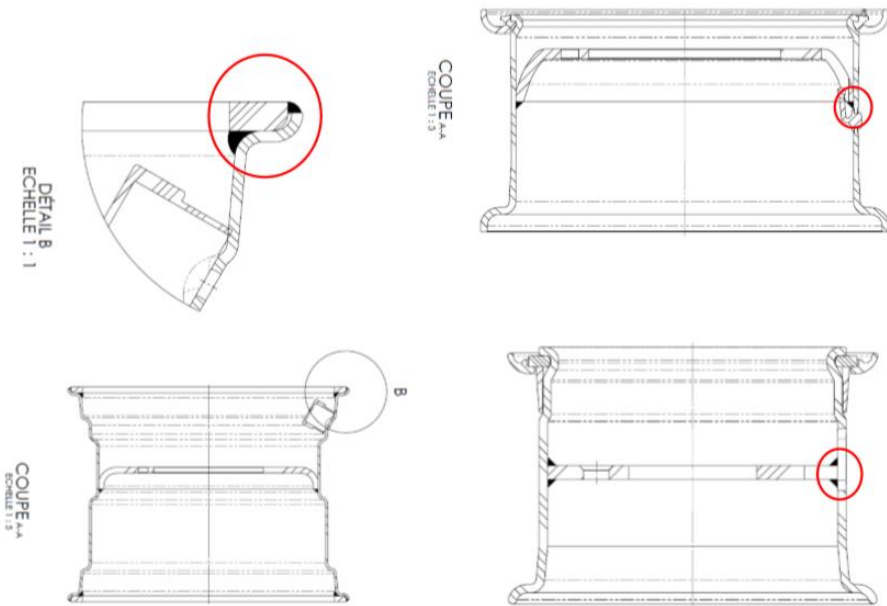
seul en procédant au montage de l'un pendant la soudure de l'autre.



Définition du besoin

Nous souhaitons investir dans une machine automatique qui viendrait remplacer un de nos postes de soudage. Notre objectif est de faciliter le réglage, de fiabiliser le procédé et de gagner en sécurité pour les opérateurs. Nos principaux enjeux sont la variabilité des dimensions et les faibles quantités produites.

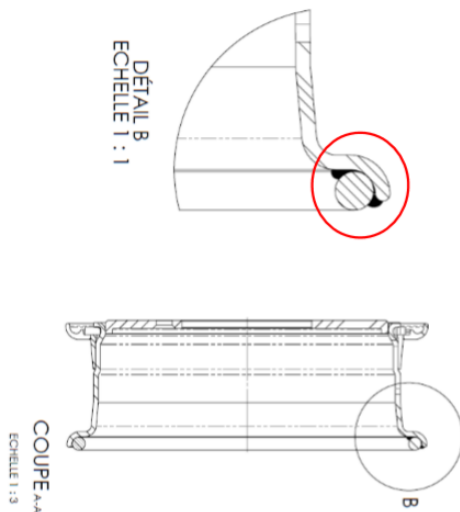
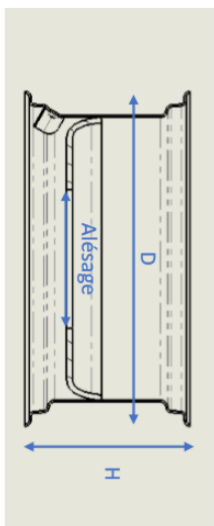
Pour avoir une idée, voici quelques plans de ce que nous souhaiterions pouvoir assembler avec ce nouveau poste de soudage :



4

Cahier des charges fonctionnel

Le tableau qui suit regroupe tous les paramètres qui nous semblent prédominant dans le choix des solutions techniques. Il est non exhaustif et peut être rediscuté.



Domaine	Fonction contrainte	Critère	Niveau	Tolérance
Technique	Accepter des jantes de dimensions variables	Diamètre D & Hauteur	200mm (8") x 150mm	Oui
		H mini	1100mm (42") x 1000mm	Oui
Technique	Effectuer une soudure en continue (sur 360° ou moins)	Angle d'approche de la torche variable	A définir pour s'adapter aux visuels précédents	Oui
		Poids maximum soulevé	250 Kg	Oui
		Rotation effectuée permettant un recouvrement de la	Entre 320° et 400°	Oui

5

Effectuer une soudure en continue (sur 360° ou moins)	Rotation effectuée permettant un recouvrement de la soudure ou à l'inverse une ouverture	Entre 320° et 400°	Oui
	Pénétrer en profondeur dans la matière	Epaisseur mini/voile Epaisseur maxi/voile Epaisseur mini/jante Epaisseur maxi/jante	8 mm 60 mm 4 mm 15 mm
Utiliser un seul procédé de soudure	Soudure MIG ou Soudure sous flux	Fil de soudure actuellement utilisé : Oerlikon Carbofil 1 & SGG	Faire un choix
Souder de l'acier	Nuances	S235, S275, S355	
Maintien en position de la roue	Sur le trou central du voile (nommé Alésage)	Ø50min ; Ø500max	
Facilité de programmation	Minimiser le nombre de paramètres		
Temps de changement de série	Inférieur ou égal à 5 min		
Facilité de chargement/déchargement	Utilisation d'un palan		Oui
Energies	Air comprimé	Pression max Débit max	7 bars 30m³/h
	Electricité	Disponibilité actuelle :	Mison 8 (Ar CO ₂ ,NO ₁), Propane et (O ₂ , C ₂ H ₂)
Ambiance	Résister à un milieu Industriel	Variations de température	-10°C à +50°C Oui
		Variations d'humidité	IP64
		Poussière	IP64
		Exposition aux fumées de soudage	Voir paragraphe ci-dessous

L'encoffrement de la zone de soudage doit s'effectuer de la manière la plus franche possible en partie haute et contenir l'ensemble du volume d'émission de fumée. La hauteur des quatre parois latérales doit être telle que l'émission s'effectue toujours dans l'enceinte. Si le conducteur du robot doit pénétrer à l'intérieur de l'enceinte, un temps d'assainissement doit être respecté en fin de cycle de soudage.

6

Humain	Assurer la sécurité des personnes travaillant autour	Lumière de soudage Fumées de soudage Poste de commandes ergonomique	Aucun risque de coup d'arc Aucune inhalation
	Laisser un accès visuel au soudeur	Nécessité de contrôler visuellement l'opération de soudure	

Les lignes contenant pas d'informations dans la colonne tolérance sont pour nous des critères non négociables.

Options envisageables

Nous sommes ouverts à la discussion concernant le choix entre un soudage MIG et un soudage sous flux. Nous disposons déjà d'une machine de soudure sous flux.

Il nous paraît envisageable d'avoir un bras automatisé pour deux tables de soudure. Ainsi la soudure pourrait s'effectuer en temps masqué par rapport au chargement-déchargement de l'autre table. Cela engendrerait cependant des problématiques de changements de séries, à fortiori du fait de nos petites tailles de lots.

7

Annexe 2 : Description technique des générateurs Fronius TPS 400i et TPS 500i

TPS 400i	
Tension du secteur (U ₁)	3 x 400 V
Courant primaire effectif max. (I _{1erf})	15,9 A
Courant primaire max. (I _{1max})	25,1 A
Protection par fusibles du réseau	35 A à action retardée
Tolérance de la tension du secteur	+/- 15 %
Fréquence de réseau	50 / 60 Hz
Cos Phi ⁽¹⁾	0,99
Impédance secteur max. autorisée Z _{max} au PCC ⁽¹⁾	92 mOhm
Disjoncteur à courant résiduel recommandé	Type B
Plage de courant de soudage (I ₂)	
MIG/MAG	3 à 400 A
TIG	3 à 400 A
Électrode	10 à 400 A
Intensité de soudage à 10 min / 40 °C (104 °F)	40 % 60 % 100 % 400 A 360 A 320 A
Plage de tension de sortie d'après la caractéristique spécialisée (U ₂)	
MIG/MAG	14,2 à 34,0 V
TIG	10,1 à 26,0 V
Électrode	20,4 à 36,0 V
Tension à vide (U ₀ crête/U ₀ r.m.s)	73 V
Indices de protection	
Type de refroidissement	IP 23
Catégorie de surtension	AF
Degré d'encrassement selon la norme IEC60984	III
Classe d'émission CEM	3
Marquage de sécurité	A 2)
Dimensions L x l x h	S, CE 706 x 300 x 510 mm 27,8 x 11,8 x 20,1 in.
Poids	38,5 kg 80,5 lb
Emissions sonores max. (LWA)	74 dB (A)
<p>1) Interface avec le réseau électrique public 230 / 400 V et 50 Hz</p> <p>2) Un appareil de la classe d'émissions A n'est pas adapté à une utilisation dans les zones résidentielles avec un approvisionnement direct en énergie depuis le réseau électrique public basse tension. La compatibilité électromagnétique risque d'être influencée par des fréquences radioélectriques conduites ou rayonnées.</p>	

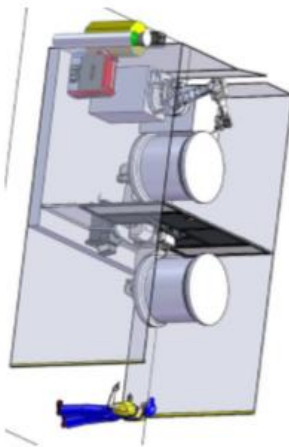
TPS 500i	
Tension du secteur (U ₁)	3 x 400 V
Courant primaire effectif max. (I _{1erf})	23,7 A
Courant primaire max. (I _{1max})	37,5 A
Protection par fusibles du réseau	35 A à action retardée
Tolérance de la tension du secteur	+/- 15 %
Fréquence de réseau	50 / 60 Hz
Cos Phi ⁽¹⁾	0,99
Impédance secteur max. autorisée Z _{max} au PCC ⁽¹⁾	49 mOhm
Disjoncteur à courant résiduel recommandé	Type B
Plage de courant de soudage (I ₂)	
MIG/MAG	3 à 500 A
TIG	3 à 500 A
Électrode	10 à 500 A
Intensité de soudage à 10 min / 40 °C (104 °F)	40 % 60 % 100 % 500 A 430 A 360 A
Plage de tension de sortie d'après la caractéristique spécialisée (U ₂)	
MIG/MAG	14,2 à 39,0 V
TIG	10,1 à 30,0 V
Électrode	20,4 à 40,0 V
Tension à vide (U ₀ crête/U ₀ r.m.s)	71 V
Indices de protection	
Type de refroidissement	IP 23
Catégorie de surtension	AF
Degré d'encrassement selon la norme IEC60984	III
Classe d'émission CEM	3
Marquage de sécurité	A 2)
Dimensions L x l x h	S, CE 706 x 300 x 510 mm 27,8 x 11,8 x 20,1 in.
Poids	38 kg 83,8 lb
Emissions sonores max. (LWA)	74 dB (A)
<p>1) Interface avec le réseau électrique public 230 / 400 V et 50 Hz</p> <p>2) Un appareil de la classe d'émissions A n'est pas adapté à une utilisation dans les zones résidentielles avec un approvisionnement direct en énergie depuis le réseau électrique public basse tension. La compatibilité électromagnétique risque d'être influencée par des fréquences radioélectriques conduites ou rayonnées.</p>	

Annexe 3 : Partie « Descriptif de la solution proposée » de l'offre finale de FTS Welding

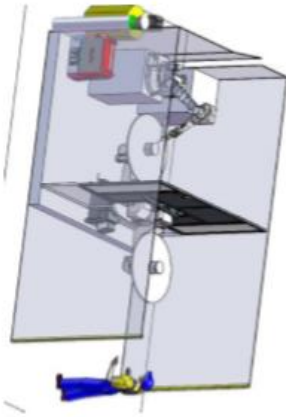
3. Descriptif de la solution proposée

La société FTS Welding se réserve le droit d'apporter des modifications à ces solutions si l'Etude fait apparaître une solution plus fiable garantissant le même but et les mêmes performances. Celle-ci ne pourront faire l'objet ni de plus-value, ni de moins-value.

Cellule avec roue maxi :



Cellule avec roue mini :



3.1. Un positionneur IRBP B 500, composé de :

- Deux double positionneur 2 axes fixés sur une table pivotante.
 - o Capacité de chacun des positionneurs :
 - Charge 500 kg
 - Volume pièce portée : dia 1,45m, hauteur 1m.
- Un châssis mécanosoudé.
- Une plaque centrale qui protège la zone opérateur.



3.2. Robot poly articulé 6 axes :

- Un robot IRB 1660ID 4-1,55, avec son armoire de commande IRC5 et son pupitre tactile couleuvre.
 - o Rayon d'action : 1,55 m
 - o Capacité de charge sur le poignet : 4 kg.
 - o Configuration prévue :
 - Soft Fronius
 - Logiciels RobotWare Arc 6.06 (voir description ci-après)
 - Logiciel détection de collision : permet de protéger la torche en cas de collision avec une pièce ou un élément de l'outillage.
- Le robot sera équipé de l'ensemble Fronius.



3.3. Un module de calibrage du centre outil avec nettoyeur de torche :

- Ensemble ABB Torch service center, composé de :
 - o Bull's eyes : calibrage automatique du centre de l'outil (extrémité du fil) via une cellule optique
 - o Décrassage par fraissage.
 - o Pulvérisateur de produit antiadhérent.
 - o Coupe fil pneumatique.
- L'ensemble sera positionné dans la partie centrale de la cellule.



3.4. Une ligne de soudure TPSI 500, composée de :

- Une ligne de soudure, composée de :
 - o Un générateur Fronius TPSI 500
 - o Un refroidissement eau intégré avec contrôle de débit.
 - o Un dérouloir pour fil en fil. Diamètre de fil à confirmer.
 - o Un faisceau de liaison
 - o Une torche robot avec col de cygne permettant de souder la gamme de pièces identifiée à ce jour.



3.5. Un châssis et cartérisation :

- Une plateforme mécanosoudée largement dimensionnée supportera l'ensemble des équipements de la cellule.
- Une cartérisation, composée de :
 - o Une cartérisation en panneaux tôlés standards avec des occlus anti arc.
 - o 2 barrières immatérielles sécuriseront la zone opérateur pendant la rotation de la table porte positionneurs.
- La zone de soudage sera fermée, le plus étanche possible en partie haute et contiendra l'ensemble du volume d'émission de fumée.
- Les parois seront refermées en partie haute par une hotte à environ 3m/sol avec un piquage (diamètre 200mm à confirmer aux études).
- Si le conducteur du robot doit pénétrer dans la l'enceinte, un temps d'assainissement sera respecté en fin de cycle de soudage.
- L'autorisation d'ouverture de la porte sera contrôlée et temporisée.

3.6. Aspiration et traitement des fumées :

- Non compris dans notre offre.

3.7. Une douchette manuelle de lecture code barre :

- Cette douchette reliée à la baie robot indiquera à la cellule la référence de roue à souder.

3.8. Conformité CE de la cellule.

3.9. Généralités :

- Un éclairage sera installé coté soudure.
- Gaz de soudure :
 - o Le client amène le gaz à proximité de la cellule.
 - o L'alimentation sera équipée d'un régulateur manuel de débit.
 - o FTS réalisera du raccordement entre les débimètres et la cellule en tuyaux "flexibles".
- Un détecteur placé à l'extérieur de la cellule (zone à définir lors des études) contrôlera la présence du palan.
- Pour évolution future : tracer lors des études le cheminement de l'alimentation hydraulique des mandrins.
- Implantation cellule :
 - o A finaliser au démarrage des études.
- Masse estimative de l'ensemble : 2,8 tonnes.

3.10. Outillage :

- Mandrin et mors non compris dans notre offre à ce jour.

3.11. Relocalisation laser :

- Recherche de la position des pièces dans l'espace avant de démarrer la soudure et permet d'absorber les dispersions entre 2 pièces d'une même série.



3.12. Suivi de joint dans l'arc :

- Cette fonction permettra pendant la réalisation de la soudure de corriger verticalement et horizontalement la position de la torche et donc du fil afin de garantir la position du cordon par rapport à vos pièces.



3.13. Programmation robot et paramétrage soudure pour 1 roue :

Annexe 4 : Quelques exemples de QMOS

QMOS Standards datant de 06/2000

CDS

Procès verbal de Qualification du mode opératoire de soudage
 QMOS 008

ROUE : 550 X 15 BC

Date : 09 Jun 2000

Schema de preparation

Paramètres de soudage	SOUDEUR B	SOUDEUR A
Nature du mélange gazeux	Mison 8	Mison 8
Débit de gaz en litres/m	16	16
Mode de transfert	PA	PA
Tension en Volts	34	34
Intensité en Ampères	314	304
Vitesse du fil en M/min	10,9	10,9
Reprete potentiometre tension	F1	F1
Reprete potentiometre vitesse de fil	7,10	7,10
Position de la self	Mini (-)	Mini (-)
Vitesse de soudage en cm/min	56	56
Reprete potentiometre vitesse de soudage	4,40	4,40
Inclinaison plateau	45°	45°

Observations :

Nom : _____ Date : _____ Signature : _____ Constructeur : _____
 Nom : **Plaffon** Date : **10 June 2000** Signature : _____ Examineur : _____
C.D.S.
 Ingénieur de développement et de soudage
 Siège Social : 21, des Trois Rivières
 49120 CHEMILLÉ
 Tél. 02 41 46 45 10 Fax 02 41 46 45 11
 Mail : cds@cds93.net

QMOS redéfini au 03/2020

BOUZINAC INDUSTRIE

FICHE DE SOUDAGE N°

Reprete des soudures

QMOS de référence : **QMS 003**

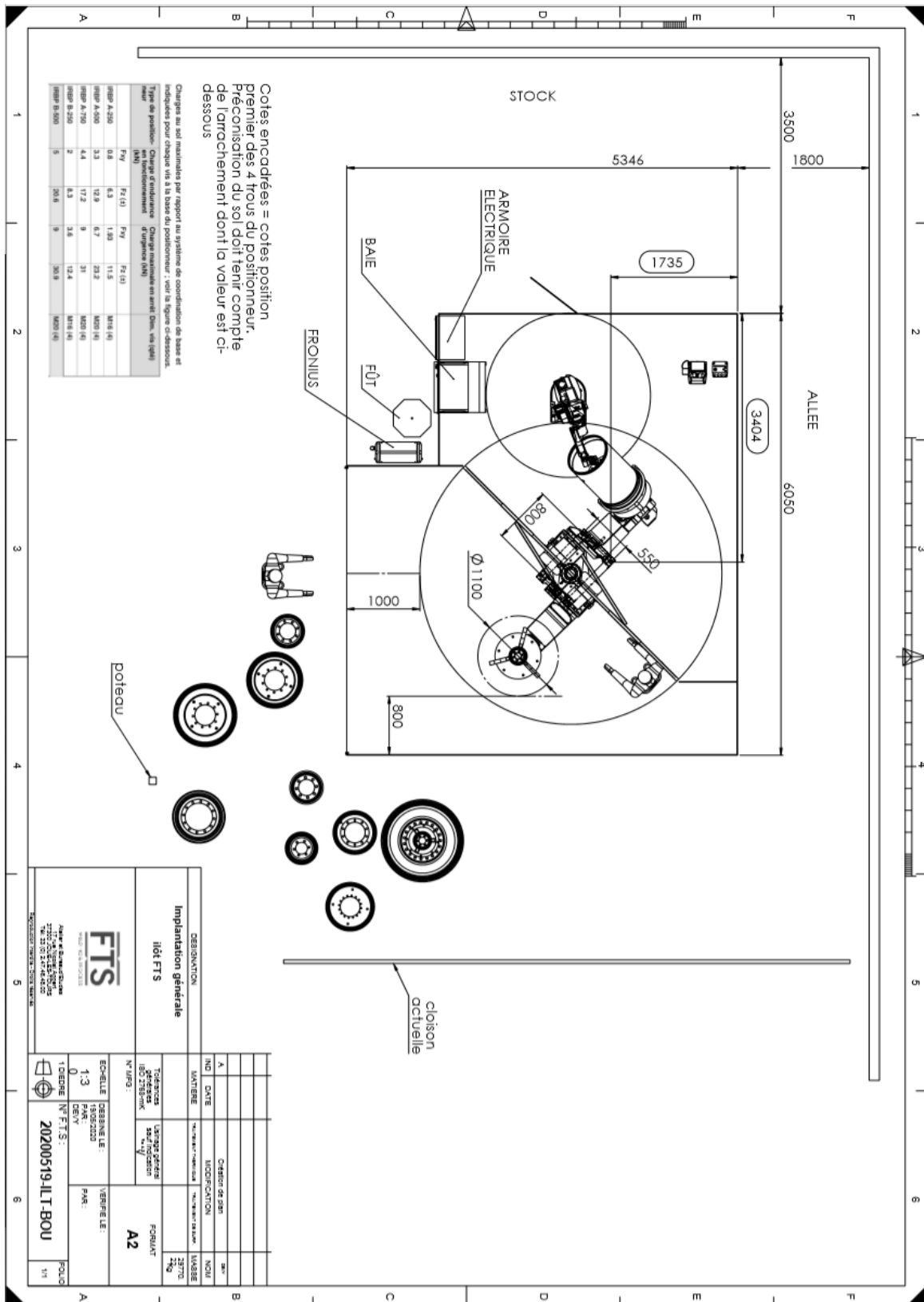
Nature du métal d'apport : **SG 6**

Diamètre du fil : **1,2**

Paramètres de soudage	A	B	C	D	E
Nature du mélange gazeux	EVERETT W21A C28 (SG6)				
Débit de gaz en litres/m	16	16			
Tension en Volts	29	29			
Intensité en Ampères	300	300			
Vitesse du fil en M/min	10,5	10,5			
Reprete potentiometre tension	—	—			
Reprete potentiometre vitesse de fil	—	—			
Position de la self	—	—			
Vitesse de soudage en cm/min	55	45			
Reprete potentiometre vitesse de soud.	—	—			
Décalage de bords en mm	45	30			
Sens de rotation	A	A			
Inclinaison de bords en degré	45°	45°			
Inclinaison du plateau en degré	30°	90°			

OBSERVATIONS
Mode de Transfert : PA, Ep Soude : 6mm
Diamètre repart : 16mm.

Annexe 5 : Vue de dessus de l'implantation définitive de la cellule robotisée






Annexe 6 : Extrait du Document Unique d'Évaluation des Risques - section soudure

TABLEAU DE BORD DES EVALUATIONS DES RISQUES ET DES ACTIONS DE PREVENTION (le document unique pourra être constitué de ce tableau de bord, et de tout autre document relatif à la prévention des risques professionnels)														
Signature de l'employeur :			Unité de travail :			Pôle Soudure			Nombre de salariés de l'unité de travail : 3					
EVALUATION DES RISQUES				PLAN D' ACTIONS										
2	3	G	F	4			5	6	7	8	9			
				Faible	Moyen	Significatif					Personnes chargées des actions	Date de prise de décision	Délai de mise en œuvre	Réalisé le
Risques de trébuchement, heurt ou autre perturbation du mouvement	Situations dangereuses ou défauts relevés Poste encombrés au sol, manque de rangements Cables électriques et air au sol à l'arrière des postes	2	4				Réfection régulière des délimitations au sol des encours	Moyenne	Création de rangements verticaux	Moyenne	AD	11/18	9 mois	13/18
Risques liés à la charge physique	Mise en place à la main des voiles dans les jantes Retournement de jantes effectué manuellement Changement des fûts de fil de 300 kg	2	2				Assistance par palans, création d'outillages de préhension spécifiques Assistance par palans à disposition Assistance par un cariste	Moyenne	passage des câbles et du dévidoir en aérien	Moyenne	VP	11/11	4 mois	12/11
Risques liés à la manutention mécanique	Support de torche en déséquilibre dans certaines positions angulaires Préhenseur magnétique non fiable si la matière n'est pas plane/ propre	1	1				Consignes de sécurité Aspirations au poste, maintenance annuelle	Insuffisante	Installation d'un robot de soudage cartésien	Moyenne	JO	12/19	1 an	
Risques liés aux produits, aux émissions et aux déchets	Expositions aux fumées de soudage Présence d'huile sous pression sur la marquise Utilisation d'aérosol anti-adhérent	4	3				Cartésianisation de la partie hydraulique de la machine	Moyenne	Installation d'un robot de soudage cartésien	Maximale	JO	12/19	1 an	
		2	3					Bonne	Changement de produit, passage d'une base éthanol à une base aqueuse	Faible	AD	11/14	2 mois	13/14

Risques identifiés	Situations dangereuses ou défauts relevés	G	F	Evaluation des risques			Actions de prévention existantes	Maîtrise du risque	Actions de prévention à mettre en place	Priorités	Personnes chargées des actions	Suivi des actions		
				Faible	Moyen	Significatif						Date de prise de décision	Délai de mise en œuvre	Réalisé le
Risques liés aux équipements de travail	Bras de soudure mécanique non cartésien	2	3					Moyenne	Installation d'un robot de soudage cartésien	Moyenne	JD	1/9/18	1 an	
	Projections	2	2					Insuffisante	Réaménagement atelier, ajout de cloisons	Maximale	AD	1/12/18	6 mois	
	Incidences de meulage & soudure	1	3					Moyenne		Moyenne				
	Table de pointage	1	3					Moyenne		Moyenne				
	Encumbrance d'outillage	1	3					Moyenne		Moyenne				
Risques liés aux ambiances thermiques	Absence d'arrêt d'urgence sur la marqueuse	2	3					Insuffisante	Mise en place d'un bouton d'arrêt d'urgence	Maximale	VP	1/1/11	4 mois	1/5/11
	Risque de brûlure et de coups d'arcs pour les opérateurs	3	1					Insuffisante		Moyenne				
	Risque de coups d'arcs pour les opérateurs alentours	3	1					Moyenne	Création de cloisons rigides pour limiter les arcs entre les rideaux	Moyenne	AD	1/1/18	9 mois	1/9/18
Risques d'incendie, d'explosion	Utilisation de gaz pour la soudure et l'oxycoupage	4	1				Bonne	Stockage et utilisation dans un local fermé	Faible					
Risques liés aux rayonnements	Utilisation d'acide fradécal	3	2				Insuffisante			Maximale	JD	1/9/18	1 an	
Risques liés aux rayonnements ultraviolets dus aux postes d'oxycoupage et de soudage	Rayonnements ultraviolets	3	2					Insuffisante	Installation d'un robot de soudage cartésien	Maximale	JD	1/9/18	1 an	
Risques et nuisances liés au bruit	Bruits de martelage	2	1					Moyenne	Limiter les opérations de martelage, créer une presse pour démonter les voiles ?	Moyenne				

Annexe 7 : Lettre d'acceptation de Subvention « Soudage + sûr » fournie par la Carsat

																	
Direction des Risques Professionnels Département Prévention																	
Le 30 avril 2020	MONSIEUR LE DIRECTEUR BOUZINAC INDUSTRIE 40 BD DE L'INDUSTRIE ZI ECOUFLANT 49000 ANGERS																
N/Réf : CB/MR/VB/AP – 2020-GRIND-132 Affaire suivie par Vincent Boismureau ☎ 0251728070 vincent.boismureau@carsat-pl.fr																	
Lettre recommandée avec A.R.																	
V/Réf : Votre demande du 10/03/2020 Dossier n° 10-2020-48805 Siret : 444 244 594 00016 CTN AA - N° risque : 343ZE Effectif : 24 salariés																	
Objet : La réservation de votre subvention prévention TPE « SOUDAGE + SÛR » est acceptée																	
Monsieur le Directeur,																	
Nous avons le plaisir de vous informer que votre réservation pour la subvention prévention TPE « SOUDAGE + SÛR » est recevable.																	
Les investissements subventionnés sont les suivants :																	
<table border="1"><thead><tr><th>Description</th><th>Coût HT (en €)</th><th>% de participation</th><th>Montant maximum de l'aide (en €)</th></tr></thead><tbody><tr><td>Installations de captage localisé</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Enceintes pour le soudage robotisé (hottes aspirantes exclues)</td><td>18 800</td><td>50 %</td><td>9 400</td></tr><tr><td colspan="3" style="text-align: right;">TOTAL (en €)</td><td>9 400</td></tr></tbody></table>	Description	Coût HT (en €)	% de participation	Montant maximum de l'aide (en €)	Installations de captage localisé				Enceintes pour le soudage robotisé (hottes aspirantes exclues)	18 800	50 %	9 400	TOTAL (en €)			9 400	
Description	Coût HT (en €)	% de participation	Montant maximum de l'aide (en €)														
Installations de captage localisé																	
Enceintes pour le soudage robotisé (hottes aspirantes exclues)	18 800	50 %	9 400														
TOTAL (en €)			9 400														
Le montant de l'aide est plafonné à la somme de 25 000 € pour une entreprise.																	
Carsat Pays de la Loire 2 place de Bretagne 44932 Nantes cedex 9 Fax : 02 51 17 47 19 prevention@carsat-pl.fr carsat-pl.fr																	

Lexique

Bain de soudure / Bain de fusion : Ensemble des métaux (métal d'apport et/ou métal de la pièce) localement en fusion lors de la soudure.

Balourd : Masse ponctuelle sur une pièce de révolution entraînant un déséquilibre.

Bossage (au sens de Bouzinac Industrie) : Plot fileté sur la roue permettant la fixation d'un balourd.

Cobot : Robot conçu pour travailler en collaboration avec un opérateur.

Coup d'arc : Inflammation de la cornée à la suite d'une exposition à une lumière intense, telle qu'un rayonnement de soudure.

Embouti (au sens de Bouzinac Industrie) : tôle d'acier déformée par emboutissage pour former le voile d'une roue.

ERP : « Entreprise Resource Planning » en anglais, logiciel de gestion et de coordination de l'ensemble des processus d'une entreprise.

Générateur de soudure : Matériel qui crée les conditions électriques nécessaire au soudage.

Jante : Élément de la roue sur lequel se monte le pneu.

Poste goulot : Ressource limitante d'un système de production. Sa capacité de production est inférieure au besoin du système.

Virole : Tube soudé à un embouti pour augmenter sa profondeur.

Voile (au sens de Bouzinac Industrie) : Élément de la roue sur lequel se fixe le moyeu.

Bibliographie

- [1] Frédéric Parisot, « PME, n'ayez plus peur de la robotisation ! », Usine Nouvelle, 2016, lien : <https://www.usinenouvelle.com/article/pme-n-ayez-plus-peur-de-la-robotisation.N385235>
- [2] Philippe Roussel, Madeleine El Zaher, Sylvie Algarra... « Réussir un projet de robotisation dans sa PME », Université de Toulouse, 2019, lien : <https://www.fun-mooc.fr/courses/course-v1:univ-toulouse+101018+session01/about>
- [3] Moundir Rachidi, « Industrie 4.0 : Une opportunité à saisir », Paris, BCG, 2015, lien : <https://www.bcg.com/fr-fr/d/press/29september2015-france-press-release-industry-4-69966>
- [4] Eric Gregoire, « Global Spending on Robots Projected to hit \$87 Billion by 2025 », Boston, BCG, 2017, lien : <https://www.bcg.com/fr-fr/d/press/21june2017-gaining-robotics-advantage-162604>
- [5] « Les métiers en tension », Bourgogne-Franche-Comté, Onisep, 2019, lien : <http://www.onisep.fr/Pres-de-chez-vous/Bourgogne-Franche-Comte/Dijon/L-industrie-en-BFC/Les-metiers-en-tension/Les-metiers-en-tension>
- [6] Cours de M. Jubert, « Excellence opérationnelle », module d'enseignement de Managinov, 2020
- [7] C.L., « Des solutions pour optimiser la petite série », Usine Nouvelle, 2010, lien : <https://www.usinenouvelle.com/article/des-solutions-pour-optimiser-la-petite-serie.N128169>
- [8] « Soudures et fumées de soudage », Ministère du travail, 2009, lien : <https://travail-emploi.gouv.fr/sante-au-travail/prevention-des-risques-pour-la-sante-au-travail/autres-dangers-et-risques/article/soudures-et-fumees-de-soudage>
- [9] « Règles de crédits aux entreprises », Service Public, 2020, lien : <https://www.service-public.fr/professionnels-entreprises/vosdroits/F22988>
- [10] « Coacher groupes et organisation, la théorie organisationnelle d'Eric Berne », François Vergonjeanne, InterEditions-Dunod, Paris, 2010, 278 pages.
- [11] « Votre cerveau au bureau », David Rock, InterEditions-Dunod, Paris, 2018, 272 pages.
- [12] « Ce que nous disent les neurosciences sur les résistances et l'accompagnement au changement », Nicolas Michelon, 2019, lien : <https://www.cinetic-coach.fr/ce-que-nous-disent-les-neurosciences-sur-les-resistances-et-laccompagnement-au-changement/>