



Robotisation d'une phase du processus de fabrication du réservoir : l'étanchéité

Ambrosiana Piras

Tesi di Laurea Specialistica in Ingegneria Elettronica

Corso di LS in Ingegneria Elettronica, Università degli Studi di Cagliari,

Dip. di Ing. Elettrica ed Elettronica, P.za D'Armi, 09123 Cagliari, Italia

Relatori: Alessandro Giua

email: ambrosiana.piras@hotmail.it

17 Dicembre 2008

"L'esperienza è l'interprete degli artifici della natura. Essa non s'inganna mai; è il nostro giudizio che talvolta s'inganna, ripromettendoci effetti cui l'esperienza si rifiuta."

L. Da Vinci

Table des matières

| | |
|--|----------|
| Remerciements | i |
| Sommario Breve | i |
| Sommaire | ii |
| Sommario Esteso | iii |
| 1 Introduction | 1 |
| 2 Airbus : l'entreprise | 4 |
| 2.1 Airbus, hier et aujourd'hui | 4 |
| 2.2 Les implantations d'AIRBUS | 5 |
| 2.3 AIRBUS France | 6 |
| 2.3.1 L'organisation d'AIRBUS France | 6 |
| 2.4 Le contexte économique | 8 |
| 3 Les produits AIRBUS | 9 |
| 3.1 La Gamme complete | 9 |

| | |
|--|-----------|
| <i>TABLE DES MATIÈRES</i> | 5 |
| 4 L'usine Nantaise | 13 |
| 4.1 L'établissement | 13 |
| 4.2 Les unités | 14 |
| 4.2.1 Unité d'usinage mécanique | 14 |
| 4.2.2 Unité d'usinage chimique et traitement de surface | 15 |
| 4.2.3 Unité d'assemblage de sous-ensembles métalliques . . . | 16 |
| 4.2.4 Unité de fabrication de composites | 16 |
| 4.2.5 Unité de fabrication des nacelles et radômes | 17 |
| 4.2.6 Assemblage du tronçon 21 de l'A380 | 18 |
| 4.3 Les fabrications principales sur le site de Nantes | 18 |
| 5 Le stage | 19 |
| 5.1 Présentation du projet | 19 |
| 5.2 Le tronçon 21 | 21 |
| 5.3 Organisation du projet : interlocuteurs | 22 |
| 5.3.1 Organisation du projet : planification | 22 |
| 6 Découverte de l'unité et de ses différents services | 25 |
| 6.1 Organisation de l'unité | 25 |
| 6.2 L'étanchéité | 26 |
| 7 Les sous-ensemble | 27 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 7.1 | Constitution des sous-ensembles | 27 |
| 7.2 | Principe d'assemblage | 28 |
| 8 | La dépose du Mastic | 31 |
| 8.1 | La dépose du Mastic | 31 |
| 8.2 | Les 2 classes de mastics | 32 |
| 8.3 | Caractéristiques du Mastic | 33 |
| 8.4 | Facteurs qui influencent l'état du mastic | 34 |
| 8.4.1 | La temperature | 34 |
| 8.4.2 | L'higrometrie | 35 |
| 8.5 | Procédé actuel | 35 |
| 8.5.1 | La préparation de surface avant application | 35 |
| 8.5.2 | Stockage des mastics | 36 |
| 8.5.3 | Stockage des produits non mélangés | 36 |
| 8.5.4 | Moyens autorisés | 36 |
| 8.5.5 | Les conditions de mélange | 37 |
| 8.5.6 | Application du promoteur d'adhérence | 37 |
| 8.5.7 | Procédé d'application du mastic en cordons | 38 |
| 8.5.8 | Caractéristiques dépose cordons | 39 |
| 8.5.9 | Procédé d'application du mastic en enrobage | 40 |
| 8.5.10 | Caractéristiques d'enrobage des fixations | 41 |

| | |
|--|-----------|
| <i>TABLE DES MATIÈRES</i> | 7 |
| 9 La robotisation | 43 |
| 9.1 Pourquoi la robotisation de l'étanchéité | 43 |
| 9.2 Le projet de robotisation | 44 |
| 9.2.1 L'avant projet | 45 |
| 9.3 Degré de robotisation | 46 |
| 10 Le chiffrage | 47 |
| 10.1 Etude des enjeux de la phase d'étanchéité "a priori robotisable" | 47 |
| 10.2 Hypothèses d'étude de chiffrage | 48 |
| 10.3 Recherche des coûts récurrents | 49 |
| 10.4 Enjeux liés au mastic | 51 |
| 10.5 Les outils du chiffrage | 52 |
| 10.5.1 Nature des principaux documents utilisés sur SAP . . . | 53 |
| 10.5.2 Principales données contenues dans cette base de données | 53 |
| 10.6 Développement d'un outil d'aide à la décision | 54 |
| 10.6.1 Bilan de l'outil | 56 |
| 11 Caractéristiques du robot | 58 |
| 11.1 L'alimentation en mastic | 58 |
| 11.2 La distribution | 60 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 11.3 | Un cordon déjà lissé | 62 |
| 11.4 | Le système de vision | 63 |
| 12 | Choix de l'implantation | 64 |
| 12.1 | Choix de l'implantation | 64 |
| 12.2 | Proposition d'Implantation de l'atelier | 67 |
| 12.3 | Etude de flux sur logiciel | 68 |
| 13 | Conclusion | 70 |
| 13.1 | Conclusion | 70 |
| A | Le cycle PDCA | 72 |
| B | La méthode OPT | 74 |
| C | La rétine artificielle : un système de vision | 77 |

Remerciements

Je tiens tout à bord adresser mes remerciements à mon professeur de l'université de Cagliari pour m'avoir permis de faire cet échange professionnelle , notamment Alessandro GIUA .

Je tiens à remercier M. Eric ABIVEN responsable de l'unité d'assemblage du tronçon 21 qui m'a permis d'intégrer Airbus Nantes dans le cadre de mon Projet de fin d'études. Ce Projet s'est déroulé avec un échange entre l'école de Mines de Nantes et ma faculté d'origine : ingénierie électronique de Cagliari.

Je tiens à remercier Monsieur Marc MESSERLI responsable technique de l'unité. Son soutien et sa générosité sont la genèse de ce stage.

Je tiens à remercier Monsieur David MASSON, responsable projet pour son aide, son soutien, ses conseils et sa générosité. Son ouverture d'esprit, sa disponibilité et ses analyses pertinentes ont contribué à rendre ce stage de fin de formation ingénieur agréable et enrichissant.

Je tiens à remercier chacun des membres de l'unité , pour leur aide et leur soutien précieux dans la réalisation de ce travail.

Enfin, je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont communiqué leur savoir, leur savoir-faire et leur savoir-être et qui m'ont permis de me construire à travers ce stage de fin de formation ingénieur.

Merci aux amis pour m'avoir accompagné et soutenu durant ces 4 mois de formation.

Merci à mes parents, pour leur amour et leur compréhension et pour m'avoir permis de faire cette expérience à l'étranger.

Sommario Breve

L'Obiettivo di questa tesi è stato quello di studiare la robotizzazione di una fase del sistema produttivo della società francese, Airbus Nantes. Si tratta di un'azienda che opera nel settore aeronautico, specializzata nella realizzazione dei serbatoi dei velivoli. Il mio studio, frutto di uno stage di 4 mesi, è stato proiettato verso un'operazione molto importante e delicata dell'intero processo di costruzione del serbatoio. Si tratta dell'operazione di messa in posa del mastice al fine di impermeabilizzare e proteggere il velivolo la cui durata dipende dalla qualità di tale operazione. In particolare, una base di dati si è rivelata un importante strumento di supporto per determinare la fattibilità del sistema robotizzato sia in termini di costi che operativi. In seguito una nuova gestione dei flussi all'interno dell'atelier ha determinato un nuovo scenario per migliorare la linea di produzione.

Sommaire

L'objectif de mon travail a été d'étudier la robotisation d'une phase du système productif d'une société française : Airbus Nantes. Il s'agit d'une entreprise spécialisée dans le domaine aéronautique caractérisée par son activité principale : la construction du réservoir de la voilure - le tronçon 21 -. Ce rapport est le résultat de mon stage qui a été une très bonne expérience que j'ai pu développer pendant 4 mois. J'ai étudié une des opérations les plus importantes du processus : l'étanchéité. Il s'agit d'une opération très délicate car sa qualité est fondamentale pour déterminer la durée de vie de l'avion ; elle permet sa protection et son imperméabilisation. A été développée une base de données comme outil d'aide à la décision. Puis a été organisé un nouveau flux dans l'atelier avec le système robotisé.

Sommario Esteso

In questa tesi verrà presentato un lavoro di studio sulla robotizzazione di un sistema produttivo operativo in Francia. Si tratta di un'azienda che opera nel settore aereo nautico : Airbus Nantes.

In questo sito la produzione aziendale vede in prima linea la creazione dei serbatoi di tutti i velivoli della famiglia, si tratta del "tronçon 21".

Le attività necessarie alla sua realizzazione sono molteplici e molto articolate. In questa trattazione verrà analizzata in particolare quella che è stata oggetto del mio stage e cioè l'attività di isolamento e impermeabilizzazione dei componenti che caratterizzano il serbatoio del velivolo.

Occorre innanzitutto mettere in evidenza che la società aerospaziale ha come ambizione quella di essere considerata la migliore al mondo tra i suoi concorrenti. Per raggiungere tale obiettivo, la società vive d'eccellenza industriale e cerca sempre di migliorare la qualità dei suoi prodotti e di determinare un progresso continuo e duraturo nel tempo. Per rimanere competitivi nel mercato, è necessario quindi sia migliorare la qualità che ridurre i costi.

Di qui la necessità di sviluppare il progetto di robotizzazione dell'operazione di messa in posa di un particolare materiale isolante.

L'obiettivo del presente lavoro è quello di valutare e verificare la realizzabilità di un sistema robotizzato, al fine di realizzare tale operazione. Tutto può essere fatto adottando sia tecniche di deposito materiale standard che alternative, rispettando in ogni caso le specifiche imposte dalla procedura.

Tutto ciò verrà evidenziato nei capitoli successivi. Il lavoro è suddiviso secondo il seguente schema :

Il capitolo 2 fornisce una breve panoramica su come l'azienda si è creata e su dove hanno trovato insediamento gli stabilimenti. In particolare modo si è proiettati sul gruppo francese composto da 4 divisioni, ognuna con attività e produzioni differenti che caratterizzano lo stesso stabilimento. Airbus arricchisce quotidianamente il suo raggio d'azione e, negli ultimi anni supera il suo più grande concorrente, BOEING.

Il capitolo 3 presenta i velivoli della famiglia Airbus. Viene messo in evidenza l'interesse della società nel creare valore aggiunto per i clienti. Airbus infatti porta le proprie tecnologie in tutto il mondo adattandole a qualunque situazione.

Il capitolo 4 è dedicato alla descrizione, più dettagliata, delle attività che caratterizzano lo stabilimento della città di Nantes.

Il capitolo 5 descrive il progetto pensato da Airbus al fine di aumentare la qualità dei suoi prodotti e riduzione dei costi. Si tratta della robotizzazione dell'applicazione del mastice, un materiale isolante utilizzato per la protezione e l'impermealizzazione dei componenti del serbatoio. Viene data descrizione delle tappe che ho dovuto affrontare al fine di poter sviluppare questo studio e ottenerne dei risultati concreti.

Il capitolo 6 descrive quello che è stata una delle prime fasi per lo sviluppo del progetto di studio della robotizzazione. Si tratta della scoperta dell'unità di produzione del serbatoio, quindi di tutte le persone che vi interagiscono e di tutte le attività del processo. Particolare attenzione viene fatta all'operazione di messa in posa del materiale isolante, utilizzato per la protezione e l'impermeabilizzazione del serbatoio.

Il capitolo 7 fornisce una panoramica di quelle che sono le parti del serbatoio, viene data dettagliata descrizione della componentistica.

Il capitolo 8 è dedicato alla descrizione di quali procedure devono essere eseguite per la messa in posa del mastice (materiale isolante). Questa operazione è determinante per la durata del velivolo. Ha il compito di proteggerlo dalla cor-

rosione, isolarlo elettricamente e migliorare l'aerodinamismo. Inoltre poiché la qualità di questa operazioni non è verificabile, se non con effetto distruttivo, diventa necessario adottare una tecnica di messa in posa scrupolosa e precisa.

Il capitolo 9 descrive quali sono state le condizioni che hanno portato la società a voler studiare la robotizzazione in questa fase di processo. Di qui l'organizzazione del progetto stesso, dando maggior enfasi alla prima parte e cioè allo studio della fattibilità.

Il capitolo 10 evidenzia gli strumenti utilizzati per calcolare i costi che derivano da un cambiamento così radicale, indispensabili quindi per verificarne la fattibilità. Diversi sono i fattori che influenzano la fattibilità, per cui è stato necessario determinare un insieme di ipotesi scelte secondo criteri di strategia e performance.

Il capitolo 11 presenta le caratteristiche che il robot deve avere, al fine di poter soddisfare la procedura imposta per la messa in posa. Sono state inoltre proposte tecniche alternative di utilizzo del mastice. Tale tecnica è stata realizzata manualmente ed è stato un primo approccio verso un risultato che potrebbe cambiare radicalmente alcune fasi del processo.

Il capitolo 12 presenta lo studio di un nuovo layout di processo. Il miglioramento continuo stà alla base di questa società quindi risulta sempre prioritario mantenere un certo livello di qualità, diminuire i costi e sfruttare le risorse già in possesso. Viene proposta una possibile ubicazione del sistema robotizzato e ne viene data simulazione grazie a un software specifico, rilevando quindi la fattibilità e il sincronismo del nuovo flusso.

Il capitolo 13 è il capitolo conclusivo. Spiega i contributi che questa tesi ha apportato sia in termini teorici che pratici.

- Un primo contributo è stato quello di apprendere l'organizzazione di un progetto in una realtà complessa che già funziona correttamente.
- Un secondo contributo è stato quello di imparare a gestire gli oppositori di questo progetto, introducendo metodi partecipativi, fidelizzando tutti gli operatori del gruppo.

- Un ulteriore contributo è stato quello di realizzare una base di dati indispensabile per poter determinare la realizzabilità di tale progetto.

Chapitre 1

Introduction

L'étude de la robotisation d'un système de production sera le propos de ce rapport de stage effectué chez AIRBUS Nantes. Dans cette entreprise, l'activité principale est la création du réservoir de la voilure. Il s'agit du " tronçon 21 ". Les activités liées à sa création sont multiples et très complexes. Ce rapport traitera de façon plus détaillée l'activité qui a été l'objet de mon stage à savoir l'étanchéité. Il s'agit d'une phase du processus très importante car elle permet d'empêcher les fuites de carburant des réservoirs, d'isoler électriquement, de protéger l'avion contre la corrosion et d'améliorer la tenue en fatigue. Il faut souligner que l'ambition de la société AIRBUS est d'être reconnue numéro un mondial auprès de ses clients. Pour y parvenir, elle vise l'Excellence Industrielle, c'est à dire la maîtrise et l'optimisation de ses moyens de production, afin d'améliorer la qualité de ses produits. Pour Airbus, il est fondamental d'être aussi compétitif, tant au niveau qualité qu'au niveau économique. C'est avec cet esprit qu'est né le projet de robotisation de l'étanchéité : Il s'agit de la pose du mastic. L'objectif de ce travail est d'étudier et vérifier la réalisabilité d'un système robotisé afin d'obtenir le même niveau de qualité avec des coûts plus compétitifs, en respectant la même procédure. Dans les chapitres qui suivent je ferais une description de mon travail.

Le chapitre 2 décrit l'entreprise Airbus et ses établissements, en particulier ceux qui sont localisés en France ; une description de leurs activités respec-

tives sera faite. La société grignote constamment des parts de marché et dans les dernières années est devenue plus compétitive que BOEING.

Le chapitre 3 fait une brève description des produits de la famille Airbus. L'intérêt de la société est donner de la valeur ajoutée pour ses clients. Airbus amène sa technologie dans le monde entier en trouvant des applications dans chaque situation.

Le chapitre 4 présente les activités qui caractérisent l'établissement de Nantes.

Le chapitre 5 décrit le projet d'Airbus destiné à augmenter la qualité des ses produits et diminuer les coûts. Il s'agit de la robotisation de l'application d'un matériau " le mastic " utilisé pour isoler et protéger le réservoir de l'avion. Une description sera donnée. Je détaillerai le déroulement de ma mission ainsi que de toutes les actions que j'ai prises afin d'obtenir les résultats atteints.

Le chapitre 6 présente la première partie de mon stage : découverte de l'usine, du personnel et toutes les activités nécessaires au processus. Plus de détails sont donnés au rôle de l'étanchéité, fondamentale pour la protection et l'imperméabilisation du réservoir.

Le chapitre 7 présente les sous-ensembles qui font le réservoir ainsi que toutes les parties que le caractérisent.

Le chapitre 8 est dédié à la description de la procédure de l'application des mastics en mettant en première ligne l'importance de cette opération car la durée de vie d'un avion (25ans) est liée pour une partie à la qualité de cette tâche. Les mastics sont indispensables pour isoler électriquement, protéger contre la corrosion, améliorer la tenue en fatigue par l'effet antifretting et étancher les réservoirs (pour éviter les fuites de carburant).

Le chapitre 9 explique les raisons qui ont amenées AIRBUS à organiser ce projet. Il y a la description de toutes les étapes de ma mission, surtout l'étude de la faisabilité.

Le chapitre 10 traite des études faites au niveau des coûts et du temps. Cela

nous a permis de montrer la rentabilité du projet. Des outils d'aide à la décision ont été réalisés afin de vérifier et observer toutes les différentes options d'étanchéité automatisables.

Le chapitre 11 présente les caractéristiques choisies pour le robot afin de pouvoir obtenir l'opération d'étanchéité selon la procédure établie. Ensuite des essais manuels ont été réalisés afin de montrer qu'il y a des phases de la procédure qui peuvent être changées ; ceci permettra de diminuer les temps de réalisation ainsi que les coûts.

Le chapitre 12 donne une présentation du nouveau lay-out du processus qui a été proposé. Etre compétitif reste toujours l'objectif principal de la société. C'est pour cette raison qu'il faut au moins garder le même niveau de qualité ainsi que diminuer les coûts et utiliser au mieux les ressources. Une simulation qui localise le processus avec le robot a été faite à l'aide d'un programme informatique spécifique qui nous a permis de montrer la faisabilité et la synchronisation du flux.

Le chapitre 13 est le chapitre conclusif. Il explique l'importance que ce stage a représenté pour ma formation d'ingénieur tant au niveau théorique que pratique. Il m'a appris à organiser un projet dans un contexte très complexe et déjà fonctionnel. Il m'a permis d'apprendre à bien présenter un projet afin de convaincre les personnes les plus sceptiques de son intérêt. Il m'a enfin permis de réaliser une base de données montrant la faisabilité du projet.

Chapitre 2

Airbus : l'entreprise

Dans la première partie de ce chapitre nous avons voulu présenté Airbus : son histoire, son implantation ou niveau géographique et économique. Nous avons exposé aussi le différentes activité et pièces qui représente chaque site, en soulignant l'importance de l'indépendance autant que de la communication entre eux.

2.1 Airbus, hier et aujourd'hui

Airbus est né en 1970, à l'époque où un Groupement d'Intérêt Économique franco-allemand lançait le programme du premier gros porteur biréacteur : l'A300. Airbus industrie devait alors gérer le développement, la fabrication, la commercialisation et la maintenance de cet avion.

Quelques trente ans plus tard (en 1997), la fusion des espagnols de CASA, des allemands de DASA et des français d'Aérospatial Matra a donné naissance à la société European Aeronautic Defense and Space Company (EADS). Ceci a constitué une étape essentielle dans la consolidation de l'industrie aéronautique, de l'espace et de la défense européenne. Cette volonté de mettre en commun les compétences européennes de ce secteur d'activité a permis des rapprochements stratégiques et sectoriels.

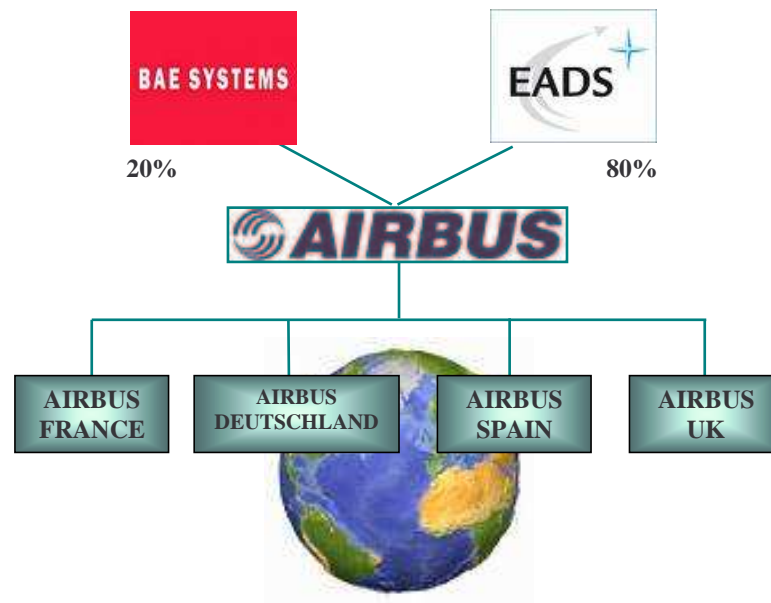


FIGURE 2.1 – Airbus, un partenariat entre EADS et BAE SYSTEMS

En juillet 2001, Airbus est passé du statut de EADS Airbus SA au statut de SAS (Société par Actions Simplifiée) de droit français, filiale détenue à 20% par le groupe anglais BAE SYSTEMS et à 80% par EADS (cf. figure 2.1). BAE SYSTEMS est le deuxième groupe européen du secteur de l'aéronautique et de la défense. Ses activités sont l'aviation militaire, espace, bâtiments de surface, sous-marins, radars avioniques, systèmes électroniques. Avec plus de 100 000 personnes effectif dans tout le monde.

EADS est le premier groupe européen et le deuxième groupe mondial du secteur de l'aéronautique et de la défense. L'aviation commerciale et militaire, l'espace, les systèmes de défense, les prestations de service sont ses activités. Il y a plus de 100 000 personnes effectif dans 70 sites de production.

2.2 Les implantations d'AIRBUS

La structure industrielle d'AIRBUS est composée de quatre entités nationales : la France, l'Allemagne, l'Espagne et l'Angleterre. La France dispose de quatre sites (Méaulte, Nantes, Saint-Nazaire et Toulouse). L'assemblage final de toutes les parties se fait à Toulouse et à Hambourg.

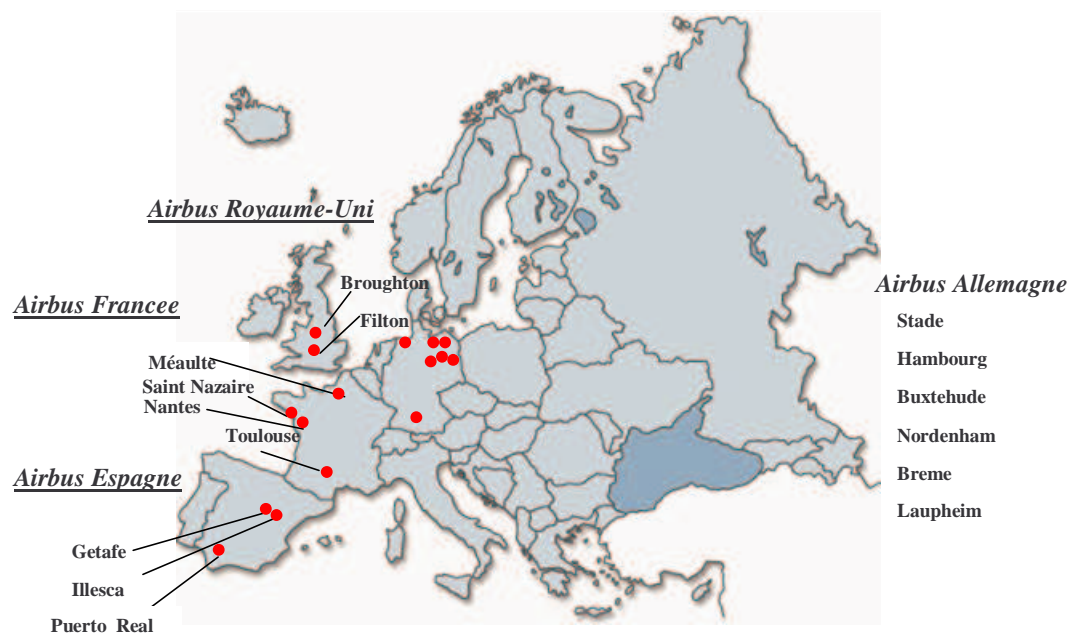


FIGURE 2.2 – Implantation d'Airbus

2.3 AIRBUS France

En France, AIRBUS, emploie 13 300 personnes sur les sites de Toulouse (siège d'AIRBUS), Nantes, Saint-Nazaire et Méaulte. L'activité d'AIRBUS France est l'étude, le développement, la construction et la commercialisation d'avions civils et militaires. Chacun de ces quatre sites possède des caractéristiques qui en font des pôles industriels indépendants même s'ils restent en étroite collaboration les uns avec les autres. Chaque établissement est spécialisé dans un domaine précis de l'élaboration d'un avion ; par exemple, la spécialité de Nantes est l'usinage chimique et la construction du caisson central de jonctionnement voilure .

2.3.1 L'organisation d'AIRBUS France

A l'échelle de la France, quatre Etablissements : Nantes, Méaulte, St-Nazaire et Toulouse associent leurs compétences pour participer à la réalisation des appareils AIRBUS. Chacun des sites possède ses caractéristiques propres mais ils restent interdépendants en communiquant et travaillant ensemble.



FIGURE 2.3 – Activité dans le différentes sites

NANTES

- Assemblage du caisson central de voilure(TR21).
- Pièces élémentaires en alliage léger, de grandes dimensions, en structure intégrale.
- Composants structuraux en matériaux composites.

MEAULTE

- Assemblage pointe avant et éléments de fuselage.
- Pièces élémentaires en alliage léger, de petites et moyennes dimensions.

SAINT NAZAIRE

- Assemblage, équipement et essais de fuselages avant et centraux.
- Composants systèmes et structuraux.

TOULOUSE

- Assemblage final A300, A320, A330/340 et A380.
- Bureau d'Etudes.
- Aménagement commercial cabine A330/A340
- Mats réacteurs.

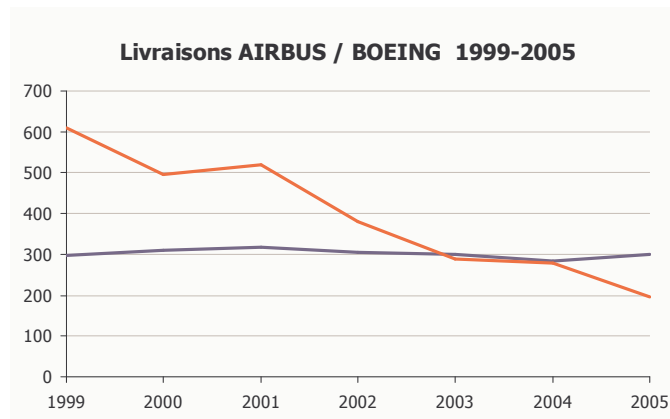


FIGURE 2.4 – Livraison AIRBUS / BOEING 1999-2005

2.4 Le contexte économique

Suite aux événements du 11 septembre 2001, à la guerre au Moyen Orient, à l'épidémie de SRAS (syndrome respiratoire aigu sévère), et à une économie mondiale faible, l'industrie aéronautique civile est dans une passe difficile. Malgré tout, AIRBUS résiste étonnamment bien à la crise. La société a atteint ses objectifs de livraisons sur les dernières années et continue à prévoir la livraison des voilures pour les prochaines. Son principal concurrent est l'américain BOEING. La qualité et l'excellence font d'AIRBUS le leader mondial dans la vente d'avions civils depuis 2003. Jusqu'à maintenant, c'est BOEING qui a absorbé la majeure partie de la crise du transport aérien civil. Cela s'explique par la différence de clientèle entre les deux géants. BOEING est très exposé à une clientèle de compagnies américaines qui sont toujours sous le choc des événements du 11 septembre. Le trafic aérien a chuté de manière dramatique aux Etats Unis. La clientèle AIRBUS, majoritairement des compagnies aériennes européennes, a moins souffert bien que les prix de vente des billets tendent à diminuer de manière significative. Les espoirs d'AIRBUS résident dans l'explosion prévue du marché asiatique, sur lequel l'entreprise est bien placée. La gamme AIRBUS est aussi plus moderne, les coûts d'exploitation des appareils sont plus réduits. La société espère ainsi grignoter des parts sur le marché de BOEING.

Chapitre 3

Les produits AIRBUS

Ce chapitre veut expliquer la philosophie de communauté de produit d'AIRBUS. Cette philosophie représente caractéristique unique entre les sociétés Aéronautiques, c'est qui constitue un atout concurrentiel durable. Nous avons voulu donner un petite description des familles d'avions ou niveau de nombre de passagères , de rayon d'action ainsi que de vente.

3.1 La Gamme complete

La gamme de produits proposée par Airbus comprend quatre familles d'avions (famille A320, A330/A340, A310/A300 et A380).

AIRBUS concentre ses efforts principalement sur la qualité, l'innovation et la standardisation. Ainsi, selon le concept de développement " familles d'avions ", les AIRBUS sont les seuls avions de ce type à offrir un tel niveau de communauté qui se retrouve au niveau des cellules, des systèmes embarqués, des postes et des caractéristiques de pilotage. C'est un avantage substantiel pour les équipages de pilotage et de maintenance, ainsi que pour la rentabilité des compagnies aériennes, du fait de la réduction des coûts de formation et de maintenance. Les solutions proposées par AIRBUS se sont révélées suffisamment innovative pour introduire de nouveaux standards dans l'industrie aéro-

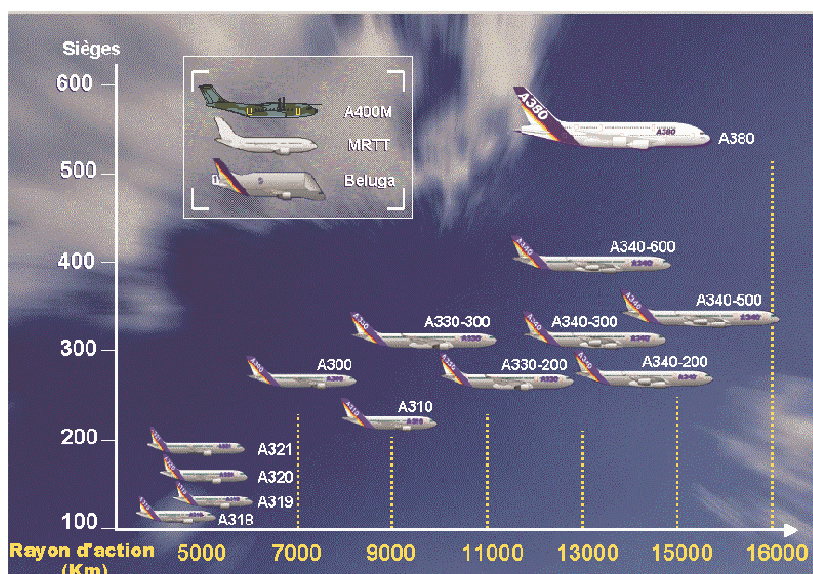


FIGURE 3.1 – La famille Airbus

nautique mondiale. Les commandes électriques de vol sont un exemple d'innovation technologique qui a permis d'améliorer la sécurité mais surtout de permettre à un pilote en quelques jours de formation de passer du pilotage d'un petit A320 au pilotage d'un A340-600. Les compagnies aériennes choisissent les avions de la gamme AIRBUS en fonction de la longueur du trajet et du trafic. Comme le montre le graphique suivant, la gamme d'avions AIRBUS offre une large couverture.

La famille A320 (Single Aisle)

Elle est composée des modèles A318, A319, A320 et A321. C'est une gamme de petits avions de ligne, à faible capacité (de 100 à 185 places) et à faible rayon d'action (jusqu'à 7000 km). C'est pourtant la famille la plus vendue au monde, avec plus de 2700 unités commandées par une centaine de clients. Plus de 1400 modèles ont été livrés à ce jour.

La famille A300/310 (Wide Body)

C'est la famille d'avions de lignes de taille moyenne, la plus populaire au monde. L'A300 est le modèle d'origine des gros porteurs bimoteur à deux couloirs. Capable de transporter environ 50 tonnes de fret, c'est l'avion cargo qui détient le record des meilleures ventes. Les versions actuelles de la famille



FIGURE 3.2 – Les modèles

sont l'A300-600 et l'A310-300 offrant une capacité de 220 à 266 passagers dans une configuration standard à trois classes. Leur rayon d'action maximal est de 7700 km pour l'A300-600 et de 9600 km pour l'A310-300. Le nombre total de commandes à ce jour est d'environ 840, dont plus de 750 ont déjà été livrés.

La famille A330/340 (Long Range)

Avec une capacité de 250 à 400 places, les longs courriers A330 et A340 offrent le rayon d'action le plus étendu du monde, de 10400 à 16000 km. Cette famille a fait l'objet de plus de 680 commandes de la part de 55 clients, ce qui en fait le leader incontesté de sa classe. Plus de 370 appareils ont été livrés. La famille s'est enrichie de deux nouveaux membres (version rallongée du A340 Basic), le quadrimoteur très long courrier A340-500 et le très gros porteur A340-600. Avec un nombre total de commandes et d'engagements dépassant largement la centaine, ces avions comptent une solide avance sur la concurrence.

L'A380

Le dernier-né de chez AIRBUS, l'A380 comporte 2 ponts sur toute sa lon-

gueur et a une capacité de 555 passagers en configuration classique à trois classes. Déjà plus de 50 commandes ont été émises 6 mois seulement après son lancement commercial. L'A380 est la solution optimale au problème d'augmentation du trafic et d'encombrement du ciel. Il offrira des coûts d'exploitation de 15 à 20 % inférieurs à ceux des plus gros avions existant actuellement, un rayon d'action supérieur de 10 à 15 % ainsi qu'une réduction des consommations et des nuisances sonores. Cet avion sera beaucoup plus confortable que tous les appareils actuellement en service. Avec 35 % de sièges supplémentaires et près de 50 % de surface au sol de plus, que les plus gros avions de ligne, tous les passagers bénéficieront de plus d'espace pour les coudes et la tête, de couloirs plus larges. Le pont inférieur peut être équipé d'aménagements novateurs tels que des cabines-couchettes, des zones de repos pour l'équipage, un coin affaire, une garderie ou une boutique.

Chapitre 4

L'usine Nantaise

Comme à été déjà expliqué, NANTES accueille un des Établissements de l'usine Airbusienne, le but de ce chapitre c'est donner une description la plus complète possible des activités ainsi que des pièces qui font la caractéristique du site.

4.1 L'établissement

Fondée en 1936 par Louis Breguet sous le nom de SNCAO (Société Nationale de Construction Aéronautique de l'Ouest), devenue AÉROSPATIALE en 1970, l'usine de Nantes a participé aux grands moments de l'industrie aéronautique française. Elle est située à proximité de l'aéroport Nantes Atlantique.

Aujourd'hui, l'usine est spécialisée dans :

- L'usinage mécanique de pièces de grandes dimensions
- L'usinage chimique et le traitement de surface.
- La fabrication de pièces en matériaux composites.
- La constitution d'ensembles de structures en matériaux métalliques et composites



FIGURE 4.1 – L'usine nantaise aujourd'hui

Le site de Nantes s'étend sur une superficie de 429 000 m^2 , dont 180 000 m^2 dédiés à la production. Le programme A380 a imposé une augmentation de cette surface d'où la construction de nouveaux bâtiments comme le nouveau programme A400-M actuellement.

4.2 Les unités

AIRBUS Nantes regroupe six grandes activités réalisées dans des unités. Ces unités sont des véritables entreprises dans l'entreprise, qui allègent ainsi la structure de l'usine. Chaque unité est associée à une spécialité de l'usine et est organisée sous forme de lignes de produits. Les unités sont désignées à l'aide de sigles (les sigles ne seront pas divulgués dans le contexte de confidentialité AIRBUS).

4.2.1 Unité d'usinage mécanique

Dotée d'un parc d'une vingtaine de machines-outils à commande numérique au système de pilotage et de gestion informatisé, cette unité assure la fabrication de pièces usinées en alliage léger. L'implantation sur une même ligne

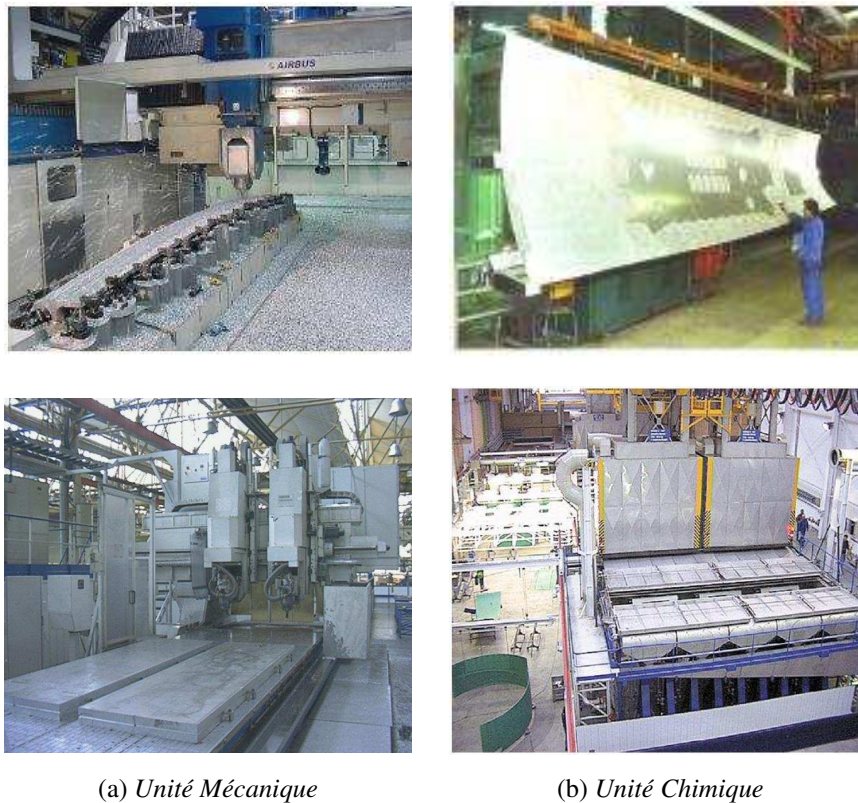


FIGURE 4.2

de plusieurs fraiseuses (2, 3 ou 4 têtes rotatives sur 3, 4 ou 5 axes) permet de réaliser des pièces complexes de grandes dimensions pouvant atteindre 54 mètres de long. Les différents moyens de chaudronnerie assurent le redressage et le grenailage des pièces usinées dont certaines réalisées en UGV (Usinage Grande vitesse). Avec 500 tonnes de matière approvisionnée par mois (les 3/4 étant évacués en chutes ou copeaux par la suite recyclés) l'unité produit plus de 30 000 pièces usinées par an.

4.2.2 Unité d'usinage chimique et traitement de surface

Traitant en majorité des pièces élémentaires avant leur mise en chaîne d'assemblage (traitement thermique et de surface), cette unité assure également le nervurage des panneaux non développables de grandes dimensions. L'usine de Nantes a été la première en France, au début des années 60, à utiliser ce procédé d'usinage non mécanique qui consiste à attaquer et à dissoudre uniformément le métal, dans des zones bien délimitées, par l'action contrôlée d'une solution acide ou basique. L'usinage à haute température et grande vi-

(a) *Unité Assemblage*(b) *Unité Composite*

FIGURE 4.3

tesse tel qu'il est effectué à Nantes permet d'obtenir, par rapport à un usinage chimique classique, une vitesse d'usinage 4 fois supérieure et des pièces au meilleur état de surface et meilleure tenue à la fatigue.

4.2.3 Unité d'assemblage de sous-ensembles métalliques

Cette unité assure toutes les opérations d'assemblage des Tronçons 21¹, de la constitution des sous-ensembles (panneaux intrados et extrados, nervures, longerons avant/central/arrière) à l'assemblage général, jusqu'à la peinture et la finition. Selon le type de Tronçon 21, ces opérations sont réalisées sur différents bâtis adaptés et dont certains sont munis de passerelles élévatrices où plusieurs opérateurs travaillent simultanément. L'unité utilise des outillages de perçage très perfectionnés qu'ils soient portatifs tels que des UPA (Unité de Perçage Automatique) ou mobiles tels que les machines à commandes numériques réalisant du perçage orbital et issues d'une innovation nantaise.

4.2.4 Unité de fabrication de composites

Cette unité rassemble plusieurs procédés de mise en oeuvre des composites tels que les Pré-impregnés et le RTM (Moulage par Transfert de Résine). L'élaboration des pièces composites est assurée par les différents moyens : drapage manuel assisté par laser, drapage automatisé par machines à draper, étuves

1. Caisson central de voilure



FIGURE 4.4

et autoclaves, des postes d'usinage et d'assemblage de structures composites. L'unité est également dotée des moyens de Contrôle Non Destructifs (ultrasons, radiographie, thermographie).

4.2.5 Unité de fabrication des nacelles et radômes

Ayant vu le jour en 1998, cette unité de production est en charge d'une nouvelle activité : la fabrication des entrées d'air des réacteurs. L'unité est dotée de moyens de fabrication et de contrôle de très haute technicité pour assurer la qualité des nacelles qui doivent répondre à la fois à des contraintes acoustiques, mécaniques, aérodynamiques et cosmétiques. Intégrée à la même unité, la ligne de fabrication des radômes produit ces pièces en composites. La station de réparation localisée dans le même bâtiment assure le développement de solutions de réparation pour tout dommage sur avion, en interne ou chez le client.

4.2.6 Assemblage du tronçon 21 de l'A380

L'unité est exclusivement réservée à l'assemblage du caisson central de l'A380. Les principaux métiers présents dans cette unité sont les métiers d'ajusteur, de monteur, d'étancheur, de peintre.

4.3 Les fabrications principales sur le site de Nantes

L'usine de Nantes réalise :

- Le caisson central de voilure (tronçon 21) de tous les airbus confondus.
- Les ailerons.
- Les radômes (nez de l'avion).
- Les entrées d'air de nacelle (entrées d'air des réacteurs).
- Les Poutres ventrales

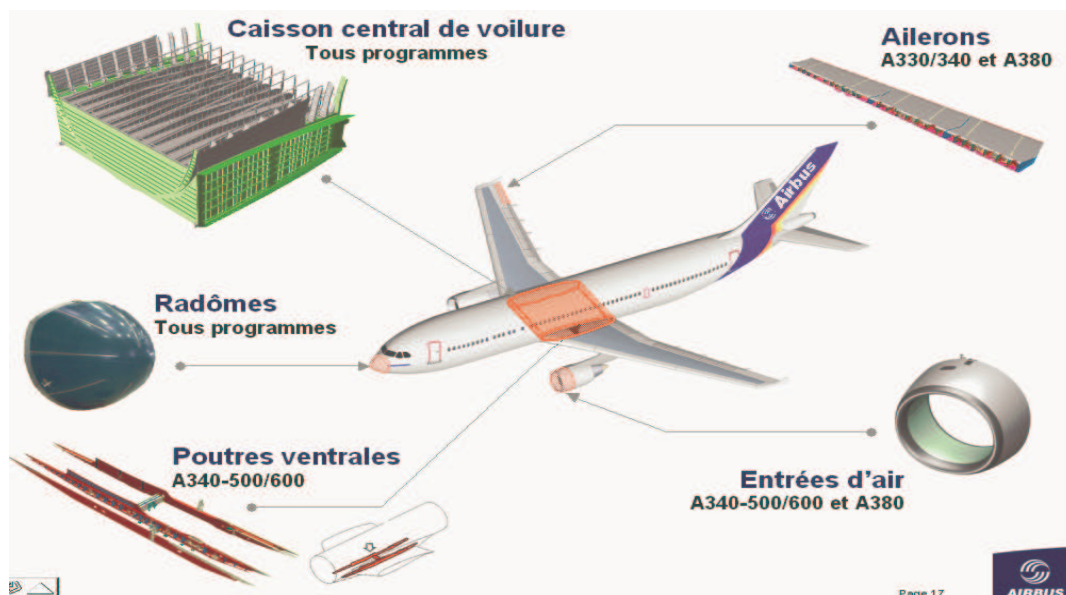


FIGURE 4.5 – Les fabrications principales sur le site de Nantes

Chapitre 5

Le stage

Ce chapitre décrit le projet d'automatisation de la dépose du mastic, ce qui a fait l'objet et le but de mon stage. Il explique comme j'ai me suis organisée ou niveau de temps, des ressources, de recherche d'informations et d'étude sur la pièce a traiter.

5.1 Présentation du projet

L'ambition de la société AIRBUS est d'être reconnue durablement par ses clients. Pour y parvenir, elle vise l'Excellence Industrielle, c'est à dire la maîtrise et l'optimisation de ses moyens de production, afin d'améliorer la qualité de ses produits. Pour Airbus, il est fondamental d'obtenir ces " niveaux " afin de confirmer sa position de numéro un mondial auprès de ses clients et sa recherche permanente de progrès ; d'ailleurs, la politique de management d'Airbus est celle de " la roue de l'amélioration continue PDCA "(voir Annexe).

Aujourd'hui à été lancé un projet pour l'amélioration et la diminution de coûts de la dépose du mastic, opération qui jusqu'à maintenant est faite à la main par les opérateurs. L'objectif de mon projet de stage était l'étude de la robotisation de la pose du mastic sur les sous-ensembles du tronçon 21. (cf figure 5.1)

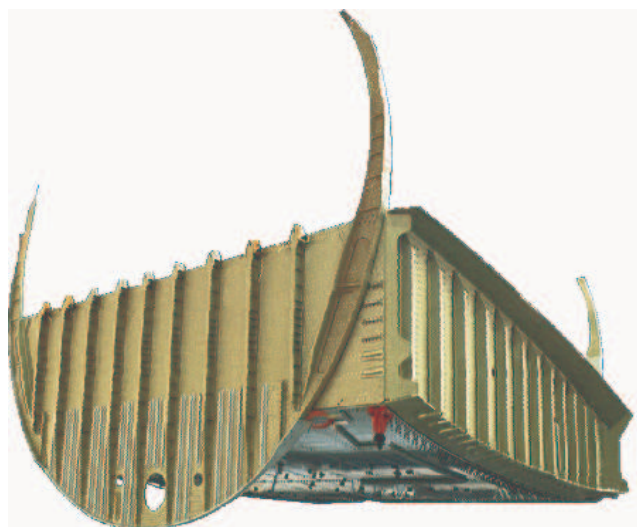


FIGURE 5.1 – Tronçon 21 du voilure

Le tronçon 21 se situe au milieu de l'avion entre la soute à bagages et le train d'atterrissage. Le tronçon 21 est le coeur structural des voilures Airbusiennes (cf figure 5.2). Cet élément assure la liaison entre le fuselage et la voilure, il est constitué de plusieurs sous ensembles métalliques qui sont assemblés à l'aide de milliers des fixations (boulonnage, rivetage).



FIGURE 5.2 – Positionnement du tronçon dans le voilure

| A340 BASIC | A320 |
|--------------------|--------------------|
| Panneau extradados | Panneau extradados |
| Panneau intrados | Panneau intrados |
| Longeron avant | Longeron avant |
| Longeron arrière | Longeron arrière |
| Longeron central | |
| Nervures | Nervures |

5.2 Le tronçon 21

Selon le type d'avion le tronçon 21 a différents sous ensembles. Cet étude a été faite sur l'A340 Basic et l'A320.

Le tronçon 21 est en général utilisé comme réservoir. L'assemblage du tronçon 21 est divisé en trois grandes étapes : 1) la constitution des sous-ensembles, 2) l'assemblage général, c'est-à-dire le regroupement des différents sous-ensembles, 3) la finition.

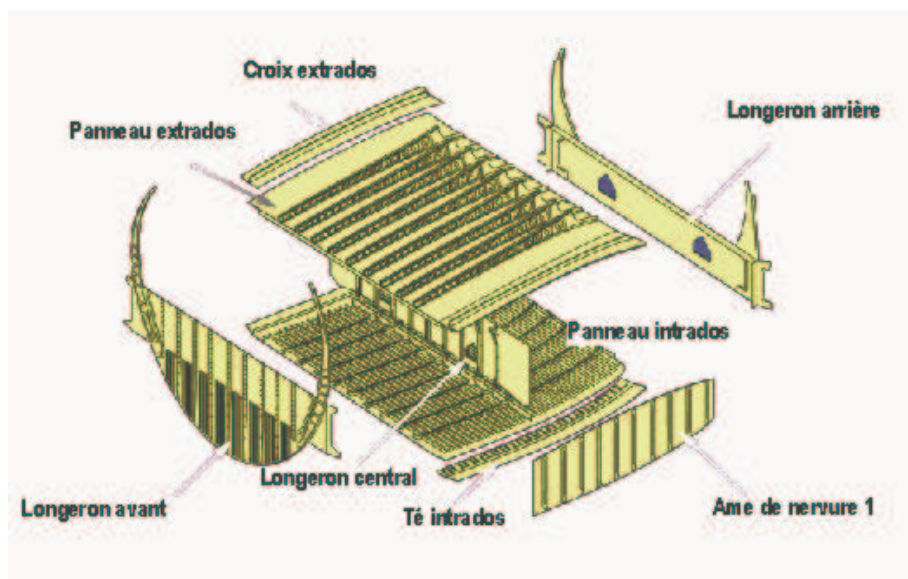


FIGURE 5.3 – Sous-ensemble du tronçon 21

5.3 Organisation du projet : interlocuteurs

Ce projet fait appel aux compétences de nombreux services au sein de l'Unité d'Assemblage Métallique. Les échanges avec le service Préparation permettent le diagnostic technique du processus et l'estimation des cycles de réalisation pour les nouveaux processus proposés. Le service Production est consulté continuellement pour évaluer les performances des solutions : les compagnons, chefs d'équipes et le responsable de ligne. L'identification des problèmes et non-conformités liés à la dépose du mastic est assurée par le service Qualité qui coordonne les projets d'amélioration. Les Agents d'Etude du travail (AET) ont été consultés pour l'implantation des postes, l'organisation du travail, l'estimation des temps, des cycles. Au cours du projet, les principales difficultés ont été identifiées avec l'aide de ces services.. Certains services extérieurs à l'Unité (services centraux) sont également sollicités : le service Méthodes a notamment pu me conseiller sur les procédés de fabrication et d'assemblage. Ce projet fait appel à de nombreux domaines de compétences (robotique, économique, matériaux, logistique, sécurité...). Cela le rend intéressant et complexe. En effet, le plan d'action est en constante évolution suivant les résultats des différentes études menées en parallèle.

5.3.1 Organisation du projet : planification

Pour assurer l'achèvement de ce projet, j'ai commencé par décomposer l'ensemble des tâches nécessaires à sa réalisation et par élaborer un planning prévisionnel (cf. Figure 5.4).

- **Présentation entreprise** [1 jour] : pour mener à bien mon projet, il m'était indispensable de me former sur de nombreux aspects tant au niveau de l'organisation de l'unité, que de l'atelier d'assemblage et de ses différents processus. En effet, connaître le rôle des différents services que j'ai pu côtoyer m'était indispensable.
- **Présentation sujet de stage** [4 jours] : afin d'obtenir des solutions concrètes et stables j'ai du voir toute de suite toutes les détails de mon stage afin de

pouvoir identifier les objectives et trouver la modalité de les atteindre.

- **Familiarisation processus** [15 jours] : cette étape relativement longue était destinée à comprendre la chaîne d'assemblage des pièces élémentaires ainsi qu'à prendre contact avec les différents interlocuteurs. J'ai passé une bonne partie de cette période au sein de l'atelier à dialoguer avec les opérateurs pour comprendre leur travail et les difficultés qu'ils rencontrent, surtout pendant la phase de dépose du mastic.
- **Etude propriété mastic** [10 jours] : la troisième partie de ce stage a été une période d'analyse des caractéristiques physiques du mastic et des problèmes rencontrés par rapport au changement d'état de ce matériel.
- **Cahier des charges robot** [20 jours] : afin de décrire les différentes fonctions de service et des contraintes liées à notre problématique de réduction des coûts d'étanchéité. Le cahier des charges est en constante évolution, en fonction des résultats des différentes études menées sur ce projet. Cela rend la recherche de solution délicate.
- **Recherche solution** [11 jours] : après une phase d'observation sur les données relevées, j'ai commencé à réfléchir et à étudier les solutions possibles à réaliser en tenant compte tous les aspects économiques et surtout de qualité.
- **Etude ressources atelier** [7 jours] : afin de pouvoir les utiliser et trouver des solutions alternatives.
- **Cahier des charges implantation** [10 jours] : pour l'implantation du robot et la gestion de flux des sous ensembles. Cette étude inclut : diagnostic, analyse technico-économique, proposition de solutions, définition des solutions envisagées et choix des solutions retenues.
- **Rédaction rapport de stage** [75 jours] : afin d'avoir trace du travail fait et de pouvoir en discuter avec les expertises. Cela m'a aidé à rendre meilleurs et plus réalisables le projet.

A la vue du temps imparti, la mise en place des solutions n'est pas prévue dans mon stage, elle sera réalisée ultérieurement.

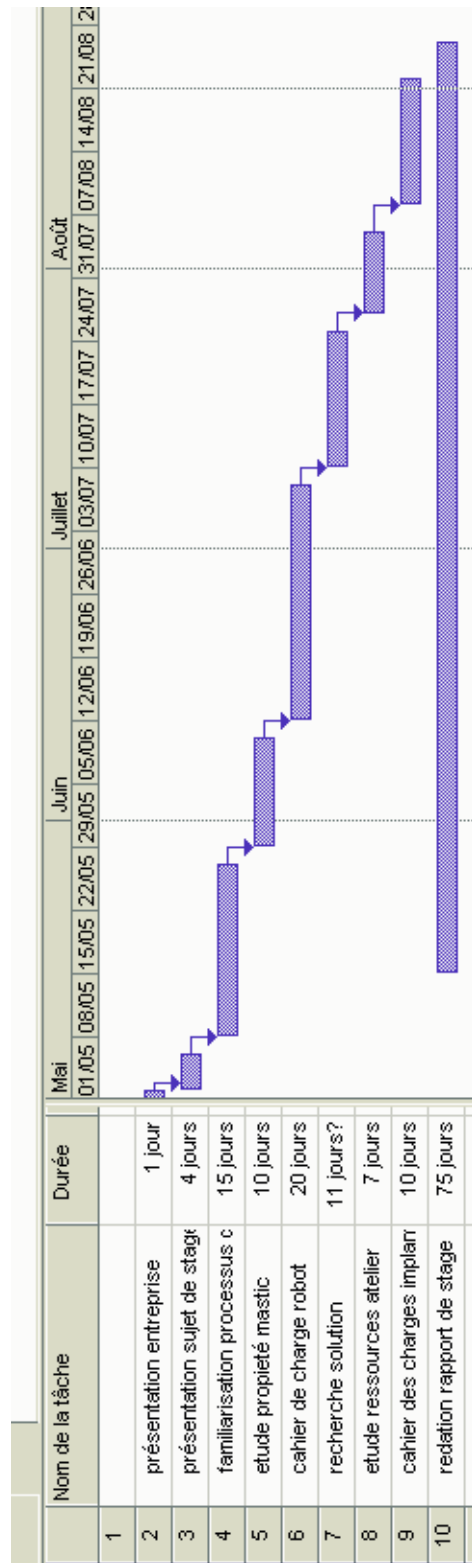


FIGURE 5.4 – Planning prévisionnel

Chapitre 6

Découverte de l'unité et de ses différents services

Ce chapitre décrit le layout de l'unité d'assemblage, en permettant de mieux comprendre le processus. Il fait aussi une description de l'étanchéité, opération qui se fait dans cette unité et qui représente l'objet de ce stage.

6.1 Organisation de l'unité

L'atelier d'assemblage rassemble 544 personnes, qui sont principalement des ajusteurs d'assemblage. Il existe aussi différentes personnes ou équipes qui supervisent l'atelier pour en assurer le bon fonctionnement :

- Les responsables de lignes
- Les chefs d'équipe
- Les pôles Technique et Economique
- Le service qualité
- Le service des ressources Humaines
- Le service de maintenance

L'atelier se divise en 2 secteurs, le S22 et le R14. Dans le S22 sont fabriquées les sous-ensembles (panneaux intrados, extrados et les longerons cen-

traux). Les lignes de productions des ces sous-ensembles sont constituées de machines et de postes fixes. Dans l'atelier R14 sont assemblés les autres sous-ensembles. Cet atelier est organisé en chaînes classiques et en cellules flexibles modulables.

L'unité se compose de quatre lignes de produits :

- ligne panneaux
- ligne assemblage famille A320 (Single Aisle)
- ligne assemblage famille A340 (Long Range)
- ligne moyens communs tels que peinture, machines mobiles de perçage et étanchéité.

figure figure figure figure figure

6.2 L'étanchéité

L'étanchéité représente une phase très délicat du processus d'assemblage du tronçon 21, elle vient réalisée afin d'empêcher les fuites de carburants des réservoirs, d'isoler électriquement, de protéger l'avion contre la corrosion et d'améliorer la tenue en fatigue par l'effet antifretting¹ Il s'agit de la dépose du mastic, un matériel choisi selon le cas d'emploi, de manière à assurer le meilleur compromis entre les aspects " fonctionnel " et " pratique ". (pour une description plus détaillée sur cette matériel voir le chapitre 9 " Dépose de Mastic ".

1. La voilure est exposée à beaucoup de vibrations et des changements de température, ce qui donne origine a phénomènes de corrosion " fretting ". L'étanchéité est caractérisée antifretting car la composition du mastic et sa viscosité réduisent la détérioration de la surface.

Chapitre 7

Les sous-ensemble

Dans ce chapitre nous avons voulu decrire l'eude des principes d'assemblage des sous-ensembles, cette étude s'est révélée nécessaire pour pouvoir comprendre les possibilités et les contraintes liées à notre robot afin d'effectuer une analyse aboutie.

7.1 Constitution des sous-ensembles

Dans un premier temps, l'unité d'assemblage métallique réceptionne les différentes pièces élémentaires en provenance des unités de fabrication métalliques et d'autres fournisseurs. Chaque sous-ensemble est alors constitué sur un poste dédié. L'étude détaillé de chaque partie des sous ensemble m'a permis de travailler sur l'aspect processus, puisque j'ai du proposer différents ordres d'opérations d'assemblage pour exploiter au mieux notre robot. J'ai aussi du estimer un taux de robotisation¹ sur chaque sous ensemble de manière à prendre en considération les problèmes d'accessibilité ou de forme.

1. pourcentage de travaille robotisable

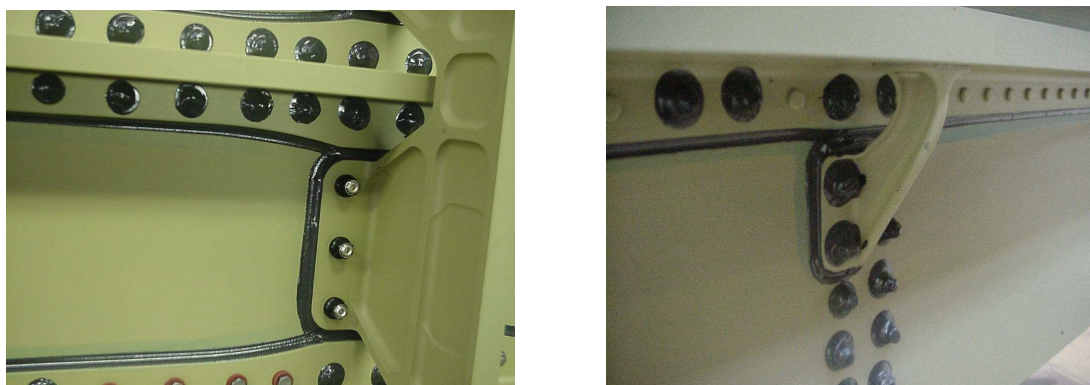


FIGURE 7.1 – Exemples de zones qui présentent des problèmes d’accessibilité

7.2 Principe d’assemblage

La majeure partie des éléments constituant le tronçon 21 est en alliage léger. Mais maintenant, ils tendent à être réalisés en matériaux composites, ce qui permet d’alléger le tronçon et de conserver toutes ses caractéristiques mécaniques. Mon étude s’est orientée plutôt sur les tronçons 21 de l’A 320 et de l’A340

| PARAMETRES | A320 | A340 |
|--------------------|------|------|
| Longueur (mètre) L | 3.00 | 5.40 |
| Largeur (mètre) I | 4.40 | 6.20 |
| Hauteur(mètre) H | 3.70 | 4.10 |
| Hauteur(tonnes) | 1.40 | 5.50 |

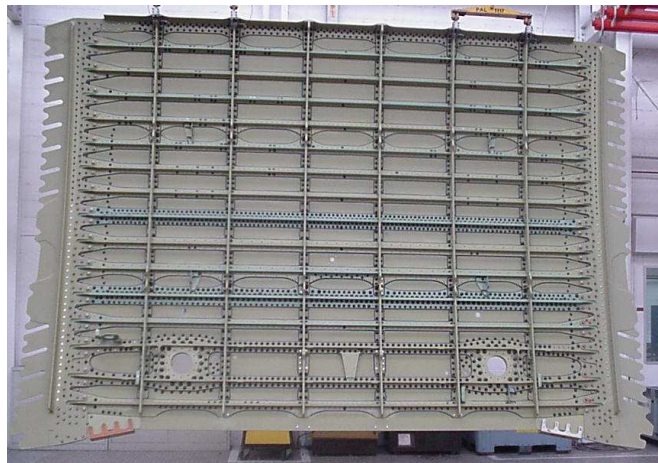
Pour mieux connaître les sous ensembles, j’ai réalisé des fiches descriptives sur chacun d’entre eux orientés sur l’étanchéité : nombre et type de fixation à enrober, dimension des cordons, difficultés liées à la robotisation...). Ces éléments peuvent être déterminants lors de la recherche des points bloquants et stratégiques de notre robot.



(a) *longeron arrière*



(b) *longeron avant*



(c) *panneau intrados*



(d) *panneau extrados*



(e) *nervure*

FIGURE 7.2 – Les sous ensemble de l'A320

Le longeron arrière (Figure 7.2 a) est caractérisé par un panneau, une cornière extradados, 2 croix verticales, plusieurs supports, 2 cadres (D et G). La présence de nombreux supports augmente la difficulté de l'opération d'étanchéité robotisée, car ils impliquent souvent des problèmes d'accessibilité.

Le longeron avant (Figure 7.2 b) est caractérisé par 4 raidisseurs horizontaux, 6 raidisseurs verticaux 1 cornière, 9 supports et 2 cadres. Il s'agit de la pièce qui présente le plus haut taux de robotisation car les opérations d'étanchéité sont relativement répétitives sur ce sous-ensemble très accessible.

Le panneau intrados (Figure 7.2 c) est caractérisé par 15 raidisseurs, 6 semelles de nervure, 2 tés intrados (D et G) et des supports.

Le panneau extradados (Figure 7.2 d) est caractérisé par 17 raidisseurs 2 semi-panneaux, 6 poutres, 18 ferrures bielles 66 stabilisateurs et des supports.

Les nervures (Figure 7.2 e) sont des pièces régulières pour toute la gamme des voilures AIRBUS. Elles sont caractérisées par 3 raidisseurs quelques supports. L'opération d'étanchéité n'est pas très longue à faire donc plusieurs nervures sont étanchées à la fois.

Avant d'être assemblés, tous les sous-ensembles subissent une opération d'étanchéité au niveau des fixations, des raidisseurs, des supports. Cette étape est un point fondamental pour définir la qualité et la durabilité de l'avion. (Une description plus détaillée sur le procédé d'application du mastic sera donné dans le chapitre suivant) .

Chapitre 8

La dépose du Mastic

Ce chapitre décrit l'importance de la bonne application du mastic ainsi que les différentes classes de produits à utiliser selon le cas d'emploi. Nous avons expliqué les facteurs environnementaux qui influencent l'état du mastic et le procédé actuellement adopté afin d'amener la bonne qualité d'étanchéité.

8.1 La dépose du Mastic

L'application des mastics est une opération importante qu'il faut BIEN FAIRE, sur des surfaces bien préparées. La durée de vie de l'avion (25ans) est liée, pour une partie à la qualité de la réalisation de cette opération. Les mastics sont indispensables pour :

- Isoler électriquement (coup de foudre)
- Protéger contre la corrosion :
 - Par non pénétration de l'électrolyte (eau de pluie, condensation etc...)
 - par la propriété des inhibiteurs de corrosion diffusés par certains mastics
 - par l'étanchéité opposée aux fluides divers (fluides hydrauliques par exemple).
- Améliorer la tenue en fatigue par l'effet antifretting par interposition entre les différents éléments Drainer au point bas des réservoirs par remplissage des cavités (points de rétention)

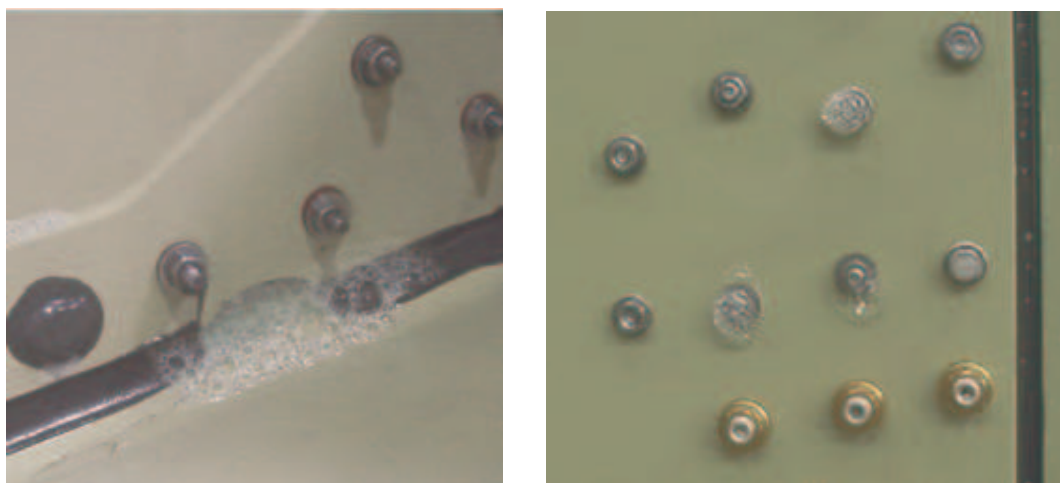


FIGURE 8.1 – cas de fuites en absence de mastic détecté par une surpression dans le caisson et une application d'un produit savonneux

- Améliorer l'aérodynamisme au moindre poids par remplissage des jonctions panneaux sur fuselage (fonction cosmétique)
- Coller des éléments dans certains cas particuliers
- Etancher les réservoirs (pour éviter le fuites de carburant, voir figure 8.1)

La qualité des cordons et enrobages de mastic est impossible à vérifier à posteriori (sauf par contrôle destructif). Il est donc indispensable de respecter scrupuleusement les règles. Chaque type d'avion, chaque tronçon ou partie de tronçon a ses lois à respecter. L'atelier de référence et le Bureau d'Etude qualifient les mastics pour une utilisation précise. Dans l'unité d'assemblage du tronçon 21, plusieurs mastics différents sont utilisés selon les opérations qui doivent être effectuées :

- **Mastic classe B pour la dépose des cordons**
- **Mastic classe A pour l'enrobage des fixations non démontables**

8.2 Les 2 classes de mastics

- **classe A** : mastic légèrement fluide utilisé en recouvrement pour l'enrobage des têtes de fixations, pour le montage humide des fixations, et destiné principalement à une application à la brosse, à la seringue ainsi qu'au pistolet à extrusion ou à la cloche (cfr figure8.2b)

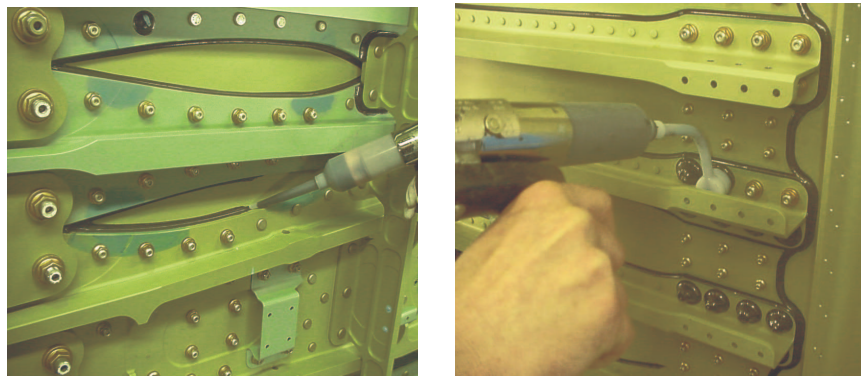
(a) *enrobage cordon*(b) *enrobage fixation*

FIGURE 8.2 – dépose du mastic

- **classe B** : mastic épais (thixotropique)¹ utilisé pour les cordons le long des lignes de recouvrement de tôles, en intercalaire entre deux pièces, pour le remplissage des cavités et pour l'enrobage des têtes de vis ou de rivet au plafond applicable à la spatule, au pistolet à extrusion, au rouleau et à la seringue. (cfr figure8.2a)

8.3 Caractéristiques du Mastic

Le mastic est un bi-composant qui est mélangé à Saint Nazaire où s'approvisionnent tous les sites français d'Airbus. Avant d'être utilisé, le mastic est conservé dans un congélateur spécial . (cfr. figure 8.3a). Lorsque le mélange est réalisé, le mastic est déposé dans des cartouches de différentes capacités (cfr. figure 8.3b). La décongélation du produit est réalisée avec un four spécifique à micro-ondes (cfr.figure 8.3a) programmé selon le type de mastic et la quantité de cartouche. Lorsqu'une cartouche est décongelée, il faut prendre en compte plusieurs facteurs :

- **TEMPS D'APPLICATION**. C'est le temps pendant lequel le mastic conserve une viscosité suffisante pour l'appliquer normalement. Ce temps dépend

1. Propriété réversible que possède le mastic car il se fluidifie progressivement lorsqu'il passe d'un état visqueux à un état fluide. Il s'agit d'un matériel dont la viscosité diminue en fonction de la contrainte appliquée.

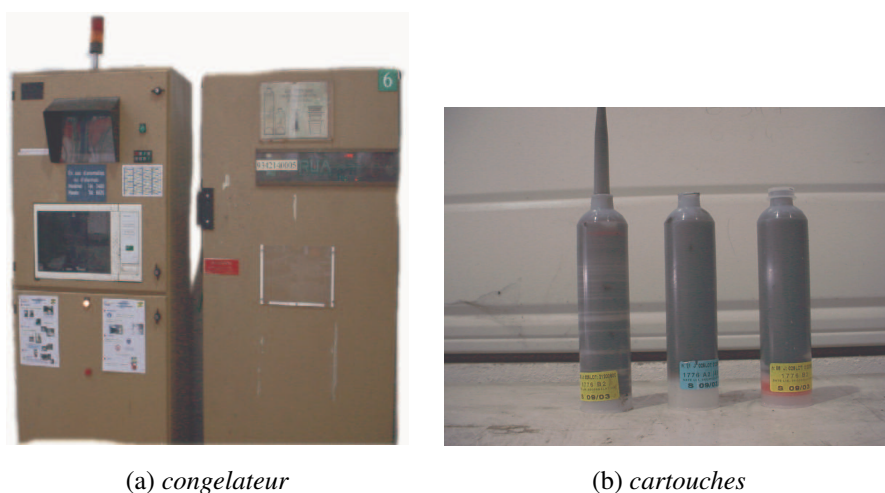


FIGURE 8.3 – utils pour l'usage du mastic

des conditions ambiantes (température - hygrométrie²).

- **TEMPS DE POLYMERISATION** :(temps conventionnel). C'est le temps au bout duquel le produit a atteint la valeur minimale de dureté définie par sa fiche technologique. Les caractéristiques physiques principales sont acquises (même si la dureté maximale n'est pas atteinte). Le temps de polymérisation de certains mastics pourra être réduit par un chauffage.
- **TEMPS DE TRAVAIL ou D'ASSEMBLAGE** . C'est le temps de passage de l'état pâteux du produit prêt à l'emploi à l'état élastique. En pratique, pour éviter toute erreur, il est convenu de considérer que le temps d'assemblage est identique au temps d'application.

8.4 Facteurs qui influencent l'état du mastic

8.4.1 La température

On considère être dans des conditions optimales lorsque dans l'atelier la température est comprise entre + 18° C et + 25° C. Lorsque cette température est comprise entre (+ 10°/ + 18°) et (25°/ + 35°), on parle alors de conditions ex-

2. Partie de la physique qui s'occupe de déterminer l'état d'humidité de l'air, la quantité d'eau en vapeur contenue dans l'air ou dans un gaz quelconque.

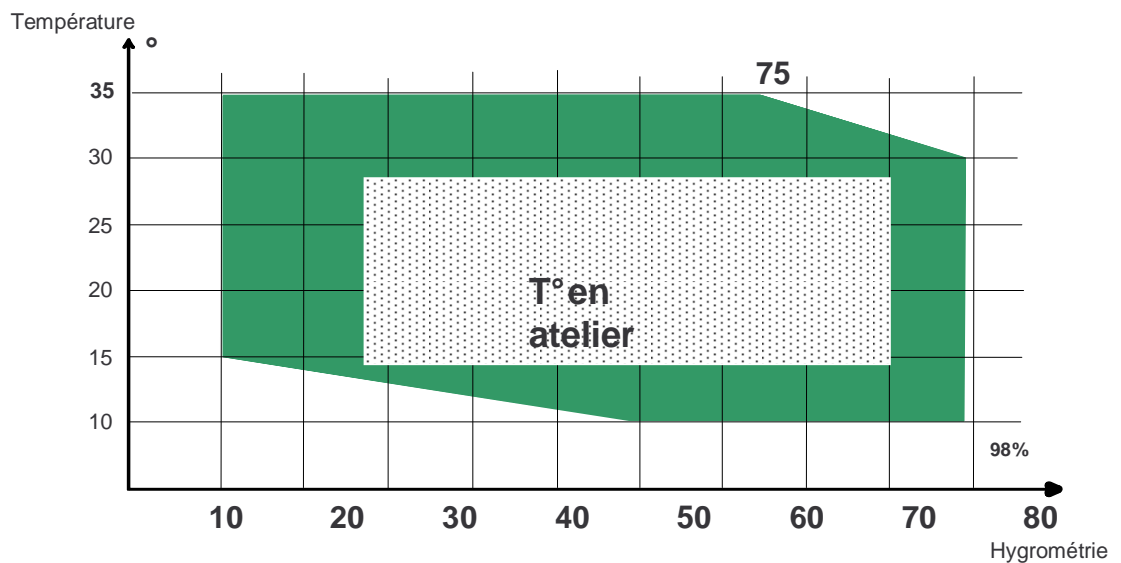


FIGURE 8.4 – Facteurs environnementaux requis dans l’atelier

trêmes. Des variations trop importantes de températures peuvent alors affecter les propriétés du mastic comme sa perte d’application.(cfr.figure 8.5)

8.4.2 L’hygrometrie

Les conditions normales en atelier pour l’hygrométrie sont comprises entre 40 % et 70%. Les conditions dites extrêmes en atelier varient de 10 % à 40 % et de 70% à 98 %. (cfr. figure 8.5)

8.5 Procédé actuel

8.5.1 La préparation de surface avant application

L’adhérence des mastics dépend de l’état de surface du support. Le nettoyage et la réactivation de la surface à recouvrir sont des opérations essentielles qui conditionnent une bonne étanchéité. Afin d’assurer une adhérence maximale du mastic sur le support, les surfaces en présence avec le mastic seront parfaitement nettoyées afin d’évacuer copeaux, huiles de coupe, poussière, etc.

Le nettoyage sera réalisé par deux différentes méthodes :

- à l'eau chaude sous pression
- par utilisation à froid de solvant autorisé

8.5.2 Stockage des mastics

Le choix du conditionnement du mastic doit être sélectionné en fonction de l'utilisation et de la sélection disponible la plus proche du besoin dans l'armoire. Les conditionnements utilisés sont des cartouches de différentes capacités. Il est préférable d'attendre environ 5 mn avant de commencer le travail pour une homogénéisation de la température du mastic dans les cartouches. Il faut s'assurer de la date de péremption du mastic. Seuls les seringues sont décongelées à l'air ambiant. La décongélation au micro-onde est obligatoire pour tous les autres conditionnements. Ne jamais recongeler un mastic décongelé.

8.5.3 Stockage des produits non mélangés

Il doit être assuré dans les emballages d'origine étanches n'ayant pas été ouverts ni entamés, dans des locaux où la température est comprise entre +5 et +25°C. Dans ces conditions, la durée de vie des produits est de 6 mois.

8.5.4 Moyens autorisés

Les moyens utilisés pour l'application des mastics changent selon le type d'utilisation du matériel :

- Pistolet et spatule pour le cordon.
- Brosse ou pistolet, capuchon ou buse d'enrobage pour le recouvrement

8.5.5 Les conditions de mélange

Les consignes de préparation des produits ne s'appliquent qu'aux produits bi-composants, les mono-composants étant livrés prêts à l'emploi. Le respect des caractéristiques finales d'un produit dépend essentiellement de la qualité du mélange réalisé. En conséquence, la préparation des mastics par un personnel expérimenté et certifié est indispensable, la préparation dans un poste central parfaitement équipé est recommandée (les phases de distribution et de conservation ne nécessitant pas d'opérateur certifié). La préparation centralisée permet la mise en place du procédé de congélation et conservation par le froid des mastics pour une utilisation ultérieure.

8.5.6 Application du promoteur d'adhérence

Lorsque l'accessibilité est délicate et obligatoirement en zone carburant ou application imposée par le Bureau d'Etudes, les surfaces devant recevoir le mastic seront enduites de promoteur d'adhérence. Ce promoteur étant de couleur bleue devra obligatoirement être visible (5 mm mini) du cordon final de mastic. Toutefois, entre couches de mastic, en particulier en recouvrement d'arête, on ne redépose pas de promoteur d'adhérence. Le promoteur d'adhérence doit être appliqué au pinceau à poils souples et fins ou au tampon de chiffon de coton blanc. Il doit toujours être déposé en très faible épaisseur et en 1 seule application avant l'application du mastic respecter les durées de séchage. Passé le délai, il est nécessaire de réappliquer une seconde couche aussi fine que possible. Il faut impérativement s'assurer de la date de péremption du promoteur d'adhérence. A chaque ouverture du flacon, vérifier que le produit est limpide car celui ci étant très avide d'humidité, peut se troubler et doit être considéré comme périmé.



FIGURE 8.5 – La dépose du Mastic

8.5.7 Procédé d'application du mastic en cordons

Le procédé d'application consiste à appliquer un mastic à viscosité élevée en bordure d'un assemblage structural. L'épaisseur du cordon est fonction des épaisseurs de tôle à assembler. Les cordons de mastic sont réalisés à toute jonction entre deux pièces que ce soit en recouvrement comme en aboutement (jonction de deux tôles bout à bout), aussi bien en présence que sans présence de carburant pour éviter fuites, infiltrations : humidité, carburant, etc.

La réalisation d'un cordon nécessite l'utilisation d'un pistolet et d'une buse adaptée au travail à exécuter. Le pistolet doit être maintenu à un angle compris entre 45° et 60°.

Deux techniques d'application sont possibles (cfr.figure8.6)

- **La méthode en tirant**, la buse est orientée dans le même sens de la dépose du mastic, doit faire l'objet de précautions supplémentaires - vitesse de déplacement notamment - afin d'éviter la formation de bulle d'air dans le cordon, ce qui serait néfaste à la qualité finale.
- **La méthode en poussant**, la buse est orienté dans le sens contraire de la dépose du mastic. Dans le cas de cordon appliqué le long de pièces de faible épaisseur, il faut utiliser des buses de très faible diamètre afin de déposer un cordon d'une épaisseur sensiblement identique à l'épaisseur de la tôle.

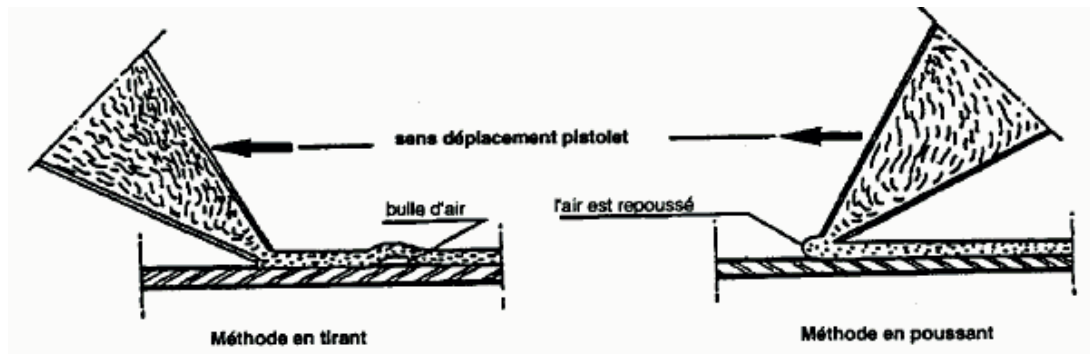


FIGURE 8.6 – techniques d'application

8.5.8 Caractéristiques dépose cordons

Le cordon ne doit pas présenter de défauts de surface (stries, bulles, porosités, fissures). Il doit être parfaitement adhérent, régulier en largeur et pente, homogène sans discontinuité, sans manque ni excès. Il doit être parfaitement lissé avec la spatule appropriée. Tout phénomène de vague latéral, longitudinal doit être évité. La hauteur du cordon doit être égale à l'épaisseur de la tôle et le cordon doit venir affleurer sans débordement l'arête supérieure.

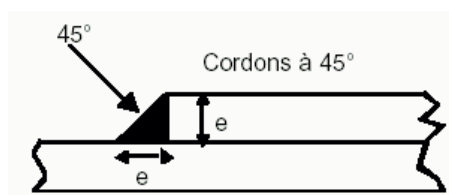


FIGURE 8.7 – Critère de dépose

Le cordon doit, après polymérisation, avoir une bonne adhérence, c'est-à-dire présenter une rupture cohésive : en tirant sur le cordon il doit casser dans la masse et laisser des traces de mastic sur l'ensemble du support. Sauf indications contraires portées sur plan, les dimensions des cordons de mastic doivent être comme celles représentée par la figure 8.8.

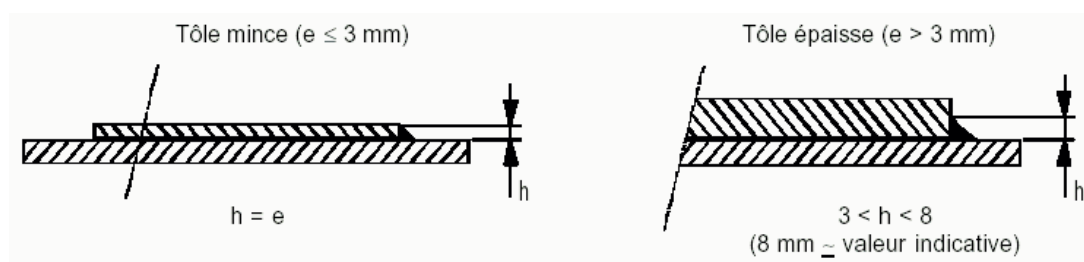
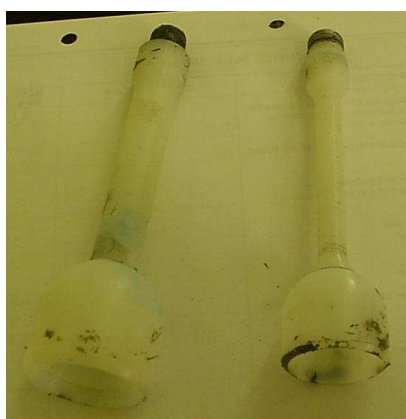


FIGURE 8.8 – dimensions cordon

8.5.9 Procédé d'application du mastic en enrobage

Les enrobages de fixations, pour assurer la fonction d'étanchéité, concernent tous les réservoirs carburant des avions. Le mastic doit enrober largement et entièrement la fixation, toujours appliqué sur la surface en contact avec le carburant, ceci dans le but d'éviter toute fuite. En zone carburant, les extrémités des fixations doivent être recouvertes de mastic. Ce mastic est actuellement appliqué à l'aide d'un outil adapté : buse (voir figure 11.4a). Dans tous les cas, le film de mastic constituant le recouvrement de l'extrémité de la fixation devra être impérativement continu ; pour ce faire chaque fixation ou ligne de fixations devra être recouverte individuellement.



(a) buse enrobage



(b) buse cordon

FIGURE 8.9 – utils depose mastic

8.5.10 Caractéristiques d'enrobage des fixations

Dans tous les cas, la fixation doit être entièrement recouverte sans discontinuité et le mastic doit déborder largement tout autour de la fixation. L'enrobage de la fixation doit avoir l'épaisseur de mastic comprise entre 0,5 mm et 2 mm. Il est réalisé au pistolet à extrusion avec des buses cloche spécifique en fonction du diamètre de la fixation. L'aspect final devra être lisse, sans "vermicelle" consécutif au retrait de la buse cloche : un mouvement tournant du poignet lors de ce retrait évite ce désagrément, celui-ci pouvant, en service, en cas de rupture, obstruer les pompes carburant.

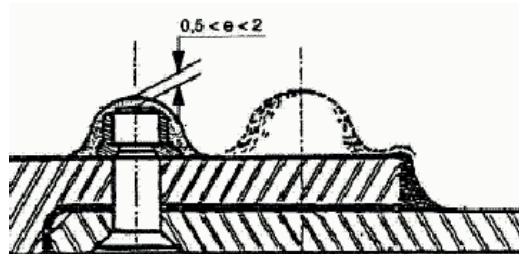


FIGURE 8.10 – enrobage des fixations

Cas particulier : Repérage des fixations métallisées .

Les métallisations sont représentés par un contact métal/métal de manière à assurer la protection de l'avion lorsqu'il a été frappé par la foudre.

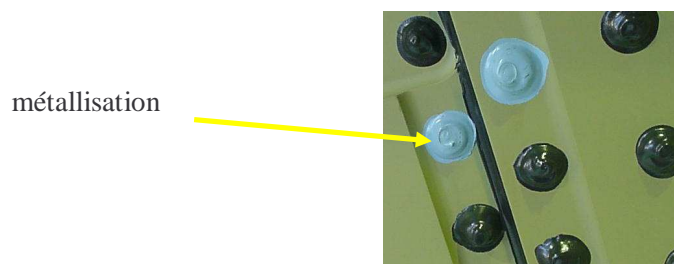


FIGURE 8.11 – fixation métallisée

La conductibilité des éléments de structure permettant :

- Le retour des courants électriques, notamment pour les appareils de haut technologie fonctionnant avec des circuits alimentés par micro courants.
- D'éviter les chocs électriques suite à des défauts d'isolement.

– D'évacuer les charges électrostatiques.

La protection anticorrosion assure pendant la durée de vie de l'avion la fiabilité de l'assemblage et protège le métal de l'érosion provoquée par les agents environnants et atmosphériques. Une fois enrobées et sèches les métallisations doivent être repérées pour ceci l'enrobage doit être complètement recouvert de vernis bleu au pinceau.

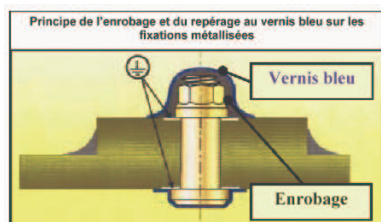


FIGURE 8.12 – enrobage et repérage vernis bleu

Chapitre 9

La robotisation

Ce partie décrit les causes d'abandonne d'un ancienne robot qui faisait l'étanchéité des sous ensembles ainsi que les raison que nous ont amené à reprendre en considération cette automatisation.

9.1 Pourquoi la robotisation de l'étanchéité

Il y 20 ans un même projet a été développé et mis en pratique sans donner de bons résultats à cause de différentes contraintes qui à l'époque étaient difficiles à contrôler.

Les Principaux facteurs d'abandon de ce robot ont été :

- Le temps passé par le robot était supérieur au cycle obtenu avec plusieurs étancheurs.
- Le manque de précision du positionnement des fixations dû aux imprécisions des anciennes machines à river.
- L'enrobage des fixations se faisait par déversement (coulée hélicoïdale) de mastic de manière à l'envelopper.
- La révélation de bulles d'air en surface de l'enrobage lors de la polymérisation du mastic.
- Le fil résiduel présent entre la buse d'enrobage et l'éjecteur implique des

reprises manuelles.

- Des temps de manutention important du fait d'une implantation dans une zone renfermée.
- L'acheminement du mastic entre le poste central et la buse.
- Variation du débit selon l'état de polymérisation.

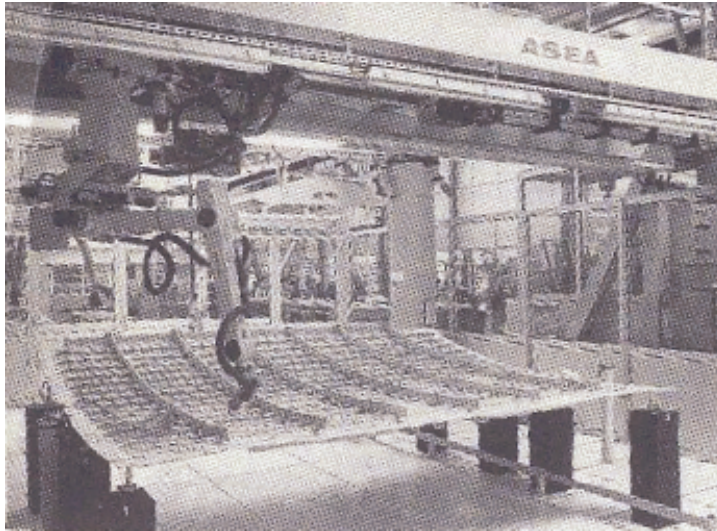


FIGURE 9.1 – L'ancien robot d'étanchéité

Aujourd'hui, des nouveaux éléments ont rendu envisageable l'étude de ce projet :

- Mastic plus adapté à une éventuelle robotisation.
- Buses d'enrobages.
- Systèmes de vision pouvant soit faciliter le positionnement que contrôler l'état lors de la dépose du cordon ou de l'enrobage.
- Robot déjà existant industriellement dans le milieu automobile.

9.2 Le projet de robotisation

Le projet de robotisation est un processus de changement radical, qui doit suivre une trame structurée pour en garantir le succès.

Pour bien faire, un projet de robotisation doit être divisé en trois étape :

- L'avant-projet : cette étape sert essentiellement à définir très précisément le besoin et à approcher la rentabilité du projet.
- Le projet : Après la passation d'une commande, la mise en oeuvre de l'ensemble des éléments du projet débiteront et conduira le projet jusqu'à la mise en production.
- le bilan : le but est de faire un point technique, économique et humain, sur le projet, après quelques mois d'exploitation du système.

Dans mon stage je participé à la première de ces étapes : l'avant-projet.

9.2.1 L'avant projet

Dans cette phase, on a défini les objectifs de la robotisation selon le besoin d'AIRBUS, c'est-à-dire adopter une stratégie d'augmentation de la productivité, d'amélioration de la qualité et de diminution de la pénibilité du travail des compagnons sur l'opération d'étanchéité.

Avec l'aide des fournisseur potentiels et des autres ingénieurs qui ont participé à ce projet, j'ai recherché les solutions techniques les plus adaptées au besoin et j'ai fait une approche budgétaire, qui à permis d'assurer la rentabilité de l'investissement. Une fois la solution technique choisie, nous avons édité un cahier des charges définitif, qui est devenu le document de référence à passer aux fournisseur.

Le choix de robotiser l'étanchéité à été faites de façon judicieuse afin d'apporter une amélioration dans le procédé de fabrication du tronçon. Les objectifs à éteindre ont été exprimées en terme de qualité, de taux de disponibilité et d'engagement des machines, du coût et du volume de production. Pour bien se faire nous avons créer des outils d'aide à la décision qui contient tous les éléments nécessaires à la détermination de la solution la meilleure (voir chapitre 10, Le chiffrage.)

9.3 Degré de robotisation

Il existe différents degrés d'automatisation qui vont du niveau totalement manuel qui correspond à 0% d'automatisation à un niveau total d'automatisme (100%) dans lequel l'homme ne joue aucun rôle dans l'accomplissement de la tâche. Cependant, dans la plupart des applications, l'opérateur humain et la machine automatisée coopèrent pour mener à bien la tâche. Dans les systèmes de haut degré d'automatisation, l'opérateur humain joue le rôle de superviseur. C'est surtout sur ce point que mon étude a débuté. En effet, une des premières étapes de ce projet a été d'évaluer les enjeux et donc plus particulièrement d'étudier le degré de robotisation.

Chapitre 10

Le chiffrage

Cette partie traite les études faites ou niveau de coûts et de temps, cela nous a permis de montrer la rentabilité du projet. Des outils d'aide à la décision ont été réalisés aussi, afin de vérifier et observer tout le différentes options d'étanchéité automatisable.

10.1 Etude des enjeux de la phase d'étanchéité "a priori robotisable"

Le principe de ce chiffrage consiste à analyser les coûts récurrents de la solution proposée et de la solution actuelle. La différence nous donne ainsi les gains récurrents, qui, comparés aux coûts non récurrents (investissement), nous informent sur la rentabilité de notre projet.

$$\text{Seuil de rentabilite} = \frac{RC_{\text{solution actuelle}} - RC_{\text{solution propose}}}{NRC}$$

Les coûts récurrents (RC solution actuelle) représentent le coûts qui ne peuvent pas être écartés et qu'il faut considérer pour chaque opération d'étanchéité, il s'agit des coûts du matériel utilisé (M) et du travail de l'operateur (TP). $RC_{\text{solution actuelle}} = TP + M$

Les coûts récurrents (RC solution proposé) représentent la somme des coûts du travail Robot (TP robot), des Opérations manuelles restantes a cause de n'avoir pas accessibilité dans certaines parties des sous ensemble (OM), la Maintenance Robot (MA), le Matériel utilisé.

$$RC_{solution\ propose} = TP_{robot} + OM + MA + M$$

Les coûts no récurrents (NRC) représentent le coûts pour équiper l'atelier afin de rendre possible l'étanchéité , il s'agit des cabines où il faut positionner les sous ensemble afin que le robot puisse travailler et avoir le maximum d'accessibilité.

La valeur de la seuil de rentabilité est considérée optimal si proche à un.

Afin de chiffrer au mieux les coûts récurrents de la solution proposée et donc obtenir une bonne rentabilité, nous avons du faire plusieurs hypothèses notamment liées aux performances du robot. La recherche des valeurs d'entrée à intégrer dans notre chiffrage a été difficile car il n'est pas évident d'estimer les performances d'un système de production n'existant pas encore. Nous avons donc du travailler par analogie avec des systèmes existants et rencontrer de nombreux experts pour " challenger " nos hypothèses.

10.2 Hypothèses d'étude de chiffrage

Le choix de la cellule robotique est de type standard, c'est à dire qu'il s'agira d'un robot de type bras manipulateur probablement monté sur portique. Le but de cet étude est maîtriser les coûts d'investissement de ce projet.

Constitution d'un robot type bras manipulateur :

1. Poignet
2. Bras
3. Epaule

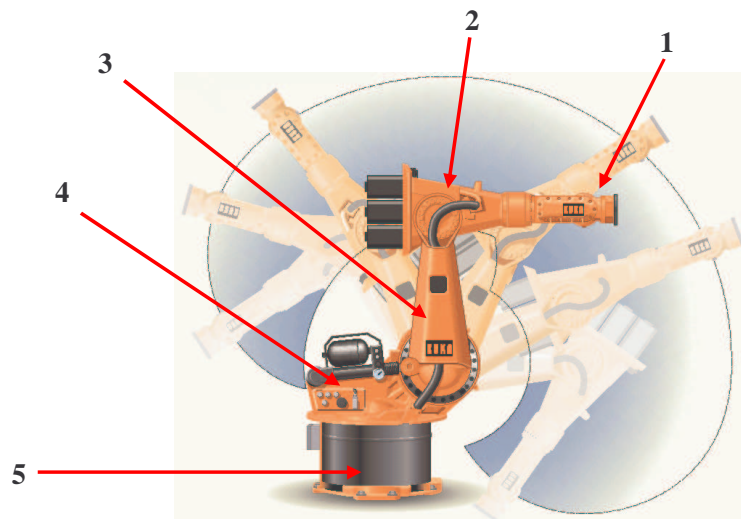


FIGURE 10.1 – Type de robot proposé pour l'étanchéité

4. Bâti de rotation
5. Embase

On considère que les différents sous-ensembles à traiter seront disposés sur une structure portante (cabine équipée).

10.3 Recherche des coûts récurrents

Chaque sous-ensemble sera partiellement étanché à l'aide du robot selon différents pourcentages déterminés au cas par cas. Le reste sera effectué manuellement. Ces taux de robotisation ont été estimés après l'étude détaillée de chaque sous-ensemble en tenant compte des difficultés d'accessibilité (encombrement de certaines pièces) et la géométrie irrégulière des certaines zone à étancher. L'étanchéité des supports est à exclure des phases dites robotisables car les formes du cordon nous paraissent infaisables par le robot (cfr. figure 10.2). Dans le but d'affiner les données TAI¹ des opérations d'étanchéité, nous avons effectué un " pendulage ". Celui-ci a été réalisé dans le cadre de notre étude et ne pourra pas être tenu d'officiel. Par ailleurs l'objectif étant d'analyser la répartition du temps des opérations d'étanchéité, il est tout à fait

1. Temps alloué initial

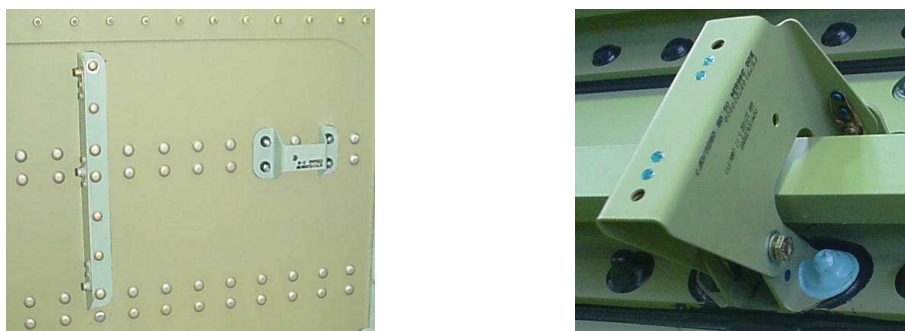


FIGURE 10.2 – Supports assemblés sur les sous-ensembles

valable pour notre étude. Il a été réalisé sur l'étanchéité du Longeron avant et des Nervures droite et gauche du produit Single-Aisle. En regroupant par catégorie et en faisant une moyenne de ces deux chronos nous avons obtenu la répartition suivante :

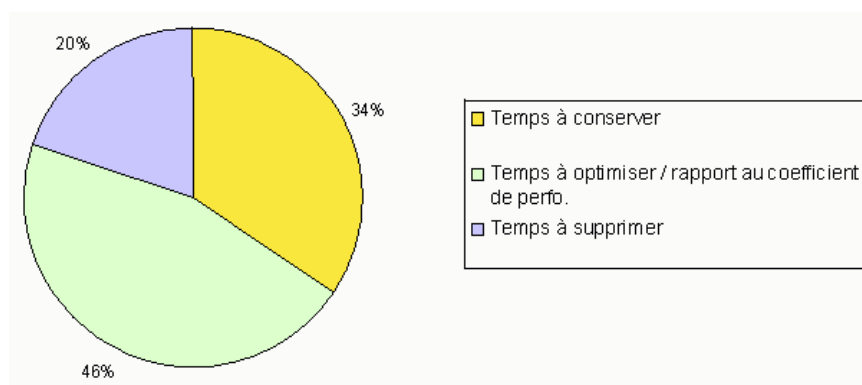


FIGURE 10.3 – Répartition des temps opérateurs

- La phase **temps à conserver** correspond au temps de préparation du sous-ensemble à traiter, c'est à dire à tout un ensemble d'opérations qui ne pourront être robotisées. En effet les opérations de grattage du mastic d'interposition résiduel des phases de collage, de même pour le nettoyage des surfaces, ou encore le temps de repérage au bleu de métallisation.
- La phase **temps à supprimer** correspond au temps d'opérations ou d'actions que l'opérateur ne sera plus amené à réaliser. En effet les temps de pause pris par le compagnon, les temps de décongélation des cartouches (dans le cas d'un mélangeur in situ) sont des enjeux " net " à la robotisation.

- la phase **temps à optimiser** correspond au temps de traitement pour réaliser les opérations de dépose du promoteur d'adhérence, de dépose du mastic avec lissage ainsi que du temps mis pour l'enrobage des fixations

10.4 Enjeux liés au mastic

Le but de cet étude avait pour objectif d'évaluer les éventuels enjeux dans le cas de la mise en place d'une centrale de mastic. Celui-ci permettrait de réaliser un mélange en interne.

Aujourd'hui l'approvisionnement de mastic provient du site de AIRBUS St-Nazaire pour l'ensemble du groupe AIRBUS France. Pour identifier les enjeux qu'apporterait un mélangeur il fallait avant tout déterminer la consommation exacte de cartouche de mastic par sous-ensembles. Nous avons donc mis en place des fiches de suivi auprès des compagnons afin qu'ils notent leur consommation de cartouches. On peut également prévoir une réduction non négligeable du coût de revient du mastic selon le mode de conditionnement. En effet plus la quantité de produit est importante par rapport à son conditionnement, plus le prix de revient au CC sera faible.

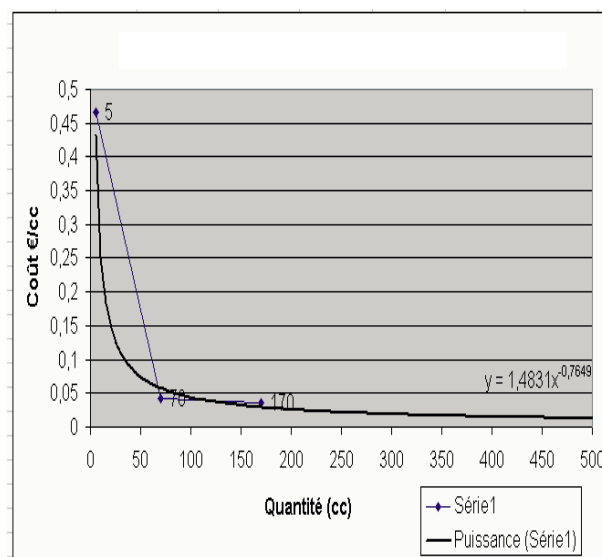


FIGURE 10.4 – Evolution du coût du mastic selon le mode de conditionnement

A partir du coût de revient du mastic en fonction des modes de conditionnement actuellement utilisée dans l'unité, j'ai établi une courbe de tendance prévisionnelle. Le résultat révèle que le coût de revient du mastic peut aisément être divisé par 3 (cfr figure 10.4).

Nous avons également effectué une analyse sur la perte de mastic occasionné par la polymérisation prématurée dans les cartouches ou encore par le conditionnement inadéquat. Pour cela nous avons effectué la pesée d'un lot de cartouche afin de déterminer le pourcentage moyen d'utilisation des cartouches. Cette étude à révéler un taux d'utilisation des cartouches de mastic de 63%. Il est à noter que ce test a été réalisé sur l'étanchéité des panneaux Long Range Basic et que sur l'échantillon de 100 cartouches, 7 n'ont pas été ouvertes. Grâce à tous ces éléments il est à présent possible d'évaluer les enjeux liés à la consommation de mastic. Ces enjeux représentent environ 1/3 des gains récurrents de ce projet, ce qui n'est pas négligeables.



FIGURE 10.5 – Echantillon cartouches utilisés

10.5 Les outils du chiffrage

A partir du logiciel de Gestion SAP, il est possible d'obtenir des informations assez précises quant aux temps des opérations effectuées à chaque station. Ce logiciel m'a permis d'obtenir un nombre important d'éléments pour ce chiffrage. Cependant en cas d'incompréhension ou de manque d'informations sur une quelconque opération, je recherchais les renseignements auprès des compagnons ou des préparateurs. Ces spécialistes de l'étanchéité et du processus

étaient toujours en mesure de répondre à mes questions ou de me renvoyer vers une personne qui pourrait m'apporter l'information dont j'avais besoin.

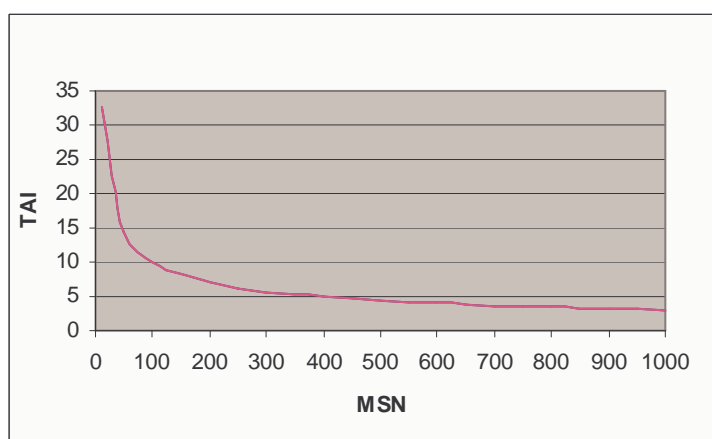
10.5.1 Nature des principaux documents utilisés sur SAP

- **Les Fiches d'Instructions**, ces fiches permettent d'identifier la nature des opérations (désignation) ainsi que le détail des travaux à réaliser. Ils ont pour but d'apporter les compléments d'informations techniques pour réaliser le travail en atelier.
- **Les Fiches d'Etude Rapide de Temps FERT**, ce document de synthèse issu d'un barème de temps permet un chiffrage rapide des différentes opérations d'un processus.

10.5.2 Principales données contenues dans cette base de données

- **Les ensembles constitutifs** ne sont autres que les sous-ensembles
- **Les stations** correspondent à un emplacement physique de fabrication des sous-ensembles.
- **Le n° article** permet d'obtenir la liste des opérations ainsi qu'une description.
- **Le t100** est le temps de référence d'un produit puisqu'il est établi au rang 100 et à l'allure 100. Ce temps (exprimé en dht : dixième d'heures) permet de calculé le TAI en fonction de la décroissance.
- **Le TAI** (Temps Alloué Initial) correspond au temps passé à un rang (un avion) donné.

Le coefficient de décroissance (Δ) associé au t100 permet d'obtenir le TAI (Temps Alloué Initial) d'après une Formule générale d'application de la décroissance (=formule de WRIGHT). Ce coefficient dépend du type d'activité ; il tient compte de l'accoutumance de l'exécutant et des petites améliorations apportées au produit et au poste de travail. Il est basé sur les méthodes de la recherche opérationnelle dont l'efficacité est prouvée par l'expérience.

FIGURE 10.6 – Courbe de décroissance des temps $\Delta = 70$

10.6 Développement d'un outil d'aide à la décision

Voici la liste des principales hypothèses utilisées pour évaluer de la rentabilité de ce projet. (En raison de l'importance accordée à certaines informations par AIRBUS, dans ce outil d'aide à la décision les données introduites ne correspondent pas à la réalité mais nous aideront quand même à faire un exemple de la réalité envisageable.)

| B | C |
|--|--------------|
| Coefficient de performance | 4,00 |
| CMU | 1,00 |
| Nombre d'heures/jour | 15,00 h |
| Nombre de jour ouvrable par mois | 20,00 j |
| Cadence SA | 36,00 |
| Cadence LR | 4,00 |
| Taux d'utilisation maxi d'une cabine | 100% |
| Surcout première machine | 200.000,00 € |
| NRC cabine LR ou SA | 500.000,00 € |
| NRC cabine SA | 400.000,00 € |
| Taux horaire M3 | 40 €/h |
| Taux horaire Maintenance | 70 €/h |
| Coûts maintenance (pièce & sous traitance)/machine | 317 €/mois |
| % Présence Maintenance | 4% |
| Solution actuelle | |
| % Temps à conserver | 34% |
| % Temps à optimiser / rapport au coefficient de perfo. | 46% |
| Solution proposée | |
| % Temps opérateur sur robot | 33% |

FIGURE 10.7 – outil d'aide à la décision

Le coefficient de performance est le rapport entre la vitesse à laquelle l'opé-

ration pourrait être exécutée par le robot par rapport à celle exécutée par l'homme. Ce coefficient est très difficile à déterminer, nous l'avons estimé de la manière suivante :

- vitesse de dépose du promoteur d'adhérence : x 4 ;
- vitesse de dépose du cordon : x 5 (sachant que 80% du temps est passé à lisser et 20% à la dépose du mastic) ;
- vitesse de réalisation des enrobages : x 2 ;

L'évaluation du coefficient de performance dépend également du temps mis pour réaliser chacune de ces opérations.

Le surcoût de la première machine est dû au coût d'études plus onéreux lors du développement d'une solution encore inexistante.

Les NRC LR et/ou SA (no recurrent cost) correspondent aux investissements nécessaires pour l'installation d'une solution robotique pour les produits Long Range ou Single Aisle. Une distinction a été faite entre ces deux cellules au vu des dimensions relativement plus importantes du produit LR.

Le coût maintenance a été évalué par comparaison avec les coûts de maintenance nécessaire pour les riveteuses automatiques. Il a été obtenu en faisant la moyenne des coûts des 5 machines sur un an. Cependant l'estimation de ces coûts pourrait être majorée sachant que les riveteuses auto sont dans leurs phases de maturité or le robot serait dans une phase de croissance donc ayant une maintenance plus importante.

De même en ce qui concerne le taux de présence maintenance, il a été évalué par rapport au taux de dépannage des riveteuses automatiques.

Dans les figures 10.8 et 10.9 les données d'entrée sont les bases des enjeux du chiffrage puisqu'on y retrouve les TAI des opérations d'étanchéité. On retrouve également le taux robotisé (pourcentage) caractéristique par le temps maximum de robotisation par sous-ensemble. Plus précisément ce taux a été évalué en fonction des capacités robotiques, c'est à dire que les contraintes d'encombrement et toutes les opérations d'étanchéité concernant des supports ou autres zones jugées trop complexes ont été exclu du temps robotisé.

| Chiffrage sur msn 754 (ST7) | | | Solution actuelle | | Taux robotisé | Solution proposée | | |
|-----------------------------|---------|--------------------|-------------------|----------|---------------|-------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| Programme | Cadence | SS/ENS | TAI | TP | % | Cycle robot | TP Supplémentaires (Manutentions) | TP Opérations manuelle restantes |
| LR | 4,00 | Longeron arrière | 91 dht | 91 dht | 60% | 10 dht | 7 dht | 62 dht |
| | | Longeron avant | 223 dht | 223 dht | 84% | 34 dht | 7 dht | 106 dht |
| | | Longeron central | 52 dht | 52 dht | 97% | 9 dht | | 19 dht |
| | | Nervures | 117 dht | 117 dht | 90% | 19 dht | | 48 dht |
| | | Panneau extradados | 628 dht | 628 dht | 70% | 81 dht | 14 dht | 352 dht |
| | | Panneau intrados | 1016 dht | 1016 dht | 70% | 131 dht | 14 dht | 561 dht |

FIGURE 10.8 – Données d'entrée Single-Aisle

| SS/ENS | TAI | TP | % | Cycle robot | TP Supplémentaires (Manutentions) | TP Opérations manuelle restantes |
|--------------------|---------|---------|-----|-------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| Longeron arrière | 50 dht | 50 dht | 30% | 3 dht | 5 dht | 45 dht |
| Longeron avant | 30 dht | 30 dht | 95% | 5 dht | 5 dht | 16 dht |
| Nervures | 28 dht | 28 dht | 89% | 5 dht | | 11 dht |
| Panneau extradados | 147 dht | 147 dht | 70% | 19 dht | 6 dht | 85 dht |
| Panneau intrados | 152 dht | 152 dht | 70% | 20 dht | 6 dht | 88 dht |

FIGURE 10.9 – Données d'entrée Long-Range

Le cycle du robot a été calculé de la manière suivante :

$$\text{Cycle du robot} = \frac{TAI * \text{taux robotise} * \text{taux de temps a optimiser}}{\text{coefficient de performance}}$$

Le temps passé supplémentaire provient du fait que la robotisation nécessitera un changement de processus qui impliquera des manutentions supplémentaires. Sachant que le robot ne pourrait traiter en intégralité les sous-ensembles, les manutentions supplémentaires seront nécessaires pour que les opérateurs puissent faire des retouches manuelles (en dehors de la cellule pour assurer la sécurité et pour ne pas perturber le temps de cycle de la cellule). Quant au temps passé pour les opérations manuelles restantes, ce sont toutes les opérations considérées comme non "robotisables" qu'il faudra reprendre manuellement

10.6.1 Bilan de l'outil

Cet outil permet donc de calculer l'amortissement du projet en fonction des différentes hypothèses énoncées précédemment. Il est également possible de choisir les sous-ensembles qui seront ou non robotisés. On peut également

choisir le nombre de cellule LR ou SA selon le nombre de sous-ensembles traités ce qui influera sur le pourcentage d'utilisation du robot en fonctionnement. On a pu constater suite à l'utilisation de cet outil que les trois principaux paramètres qui ont une influence décisive sur la rentabilité du projet sont :

- Le coefficient de performance
- Le taux d'occupation de la cellule
- La dépose du mastic avec un mélangeur en tête ou avec des cartouches

L'amortissement du projet varie du seuil " acceptable " à " pas du tout rentable " selon le paramétrage de ces trois variables. Malgré les hypothèses mises en place, il est impossible d'évaluer précisément la part et le temps des opérations qui seront réellement automatisables, cependant l'objectif est, dans un premier temps, d'avoir une vision globale sur la rentabilité du projet. Cet outil nous a aussi permis de tester différentes combinaisons et ainsi de choisir les sous ensembles à étancher par le robot.

| | | H1 : Tous les sous ensembles | H2 : Panneaux | H3 : Panneaux SA, LG av SA & LR, Nervures LR |
|----------------------------------|---|------------------------------|---------------|--|
| SA | Panneau intrados | 1 | 1 | 1 |
| | Panneau extrados | 1 | 1 | 1 |
| | Nervures | 1 | | 1 |
| | Longeron avant | 1 | | |
| | Longeron arrière | 1 | | |
| LR | Panneau intrados | 1 | 1 | 1 |
| | Panneau extrados | 1 | 1 | 1 |
| | Nervures | 1 | | 1 |
| | Longeron central | 1 | | |
| | Longeron avant | 1 | | 1 |
| | Longeron arrière | 1 | | |
| Nombre de cabine LR ou SA choisi | | 2 | 1 | 1 |
| Nombre de cabine SA choisi | | | | 1 |
| Robot en fonctionnement | | 50% | 74% | 44% |
| RC solution actuelle | TP opérateur | 92.502 €/mois | 92.502 €/mois | 92.502 €/mois |
| | Mastic | 15.919 €/mois | 15.919 €/mois | 15.919 €/mois |
| RC solution proposée | TP opérateur sur robot | 18.240 €/mois | 9.120 €/mois | 18.240 €/mois |
| | Maintenance | 2.313 €/mois | 1.157 €/mois | 2.313 €/mois |
| | Opérations manuelles restantes sur les ss ens robotisés | 53.669 €/mois | 39.478 €/mois | 43.580 €/mois |
| | Mastic | 3.343 €/mois | 5.819 €/mois | 4.630 €/mois |
| | Ss ens non robotisés | 0 €/mois | 23.167 €/mois | 13.753 €/mois |
| Gains RC | | 30.856 €/mois | 29.680 €/mois | 25.906 €/mois |
| NRC | | 1.200.000 € | 700.000 € | 1.100.000 € |
| Amortissement | | 39 mois | 24 mois | 42 mois |

FIGURE 10.10 – bilan d'outil

Chapitre 11

Caractéristiques du robot

Dans ce chapitre on parlera de toutes les caractéristiques que le robot doit avoir afin de pouvoir travailler avec un débit régulier et une précision maximale : aucun défaut ou retard n'est admissible. Ont été faites différentes études sur l'alimentation en mastic et sur les systèmes de vision envisageables afin que la pose du mastic rejoigne un haut niveau de précision et de qualité.

11.1 L'alimentation en mastic

Le choix de l'alimentation en mastic est primordial pour notre projet. Seule l'utilisation de cartouches congelées est qualifiée actuellement à Airbus. A l'heure actuelle deux solutions ont été proposées pour l'alimentation du PR.

Un Mélangeur du mastic bi-composant prépare la matière en tête, au niveau du pistolet automatique et selon le besoin du sous-ensemble.

Avantage

- un gain très avantageux sur le coût au cc du mastic
- la diminution du temps de préparation (actuellement environ 10% du temps alloué à l'étanchéité)
- la diminution des rejets en mastic (pas de polymérisation dans les tuyaux)

grâce au mélange en tête)

Inconvénient

- Investissement élevé
- Nécessité de qualifier ce procédé par les méthodes Airbus (long et coûteux)

Alimentation par cartouches Aujourd'hui la capacité des cartouches de PR utilisées est adaptée au travail des opérateurs afin que l'état de la matière reste à état de polymérisation permettant d'appliquer le mastic le temps de vider la cartouche. Le robot proposé sera plus rapide que l'homme, son débit en mastic sera donc plus important, il est ainsi impensable utiliser des cartouches de la capacité actuelle. Des idées ont été lancées pour la création des cartouches adaptés au robot. Pour cela, il faudra bien analyser le problème de décongélation vu que le temps et la température de décongélation sont des paramètres qui influent sur l'état de la matière. Une grosse quantité de matière peut amener à une décongélation non homogène. Il en deviendrait très difficile de maîtriser le débit et la qualité du travail réalisé.

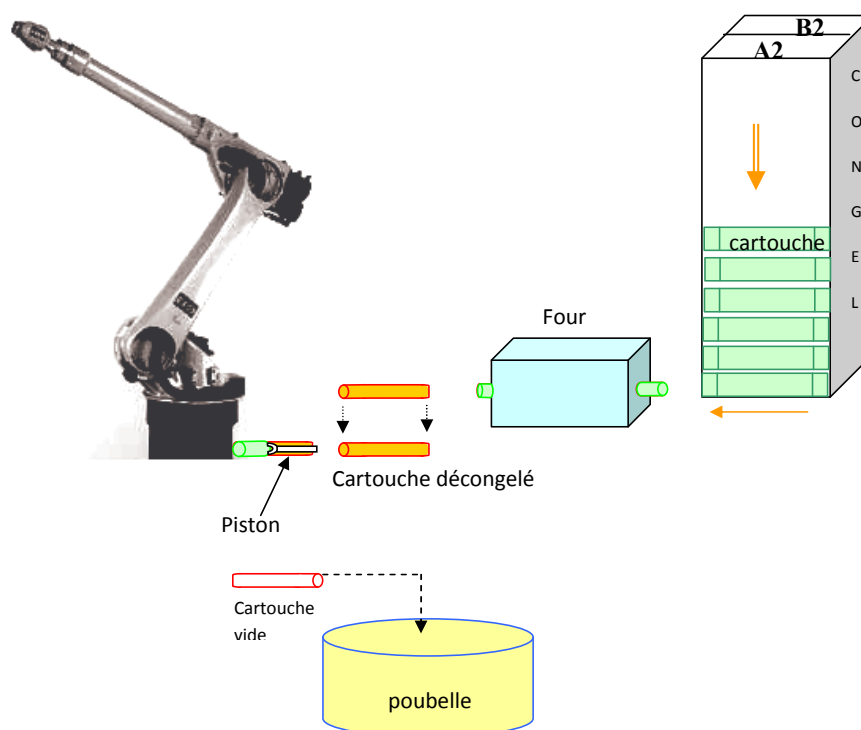


FIGURE 11.1 – Système d'alimentation et de stockage du mastic

Sinon, un système de décongélation et de stockage automatique est prévu. Dans ce cas, le robot serait équipé d'une réserve de cartouches qui seraient

stockées et décongelées automatiquement selon le besoin du sous-ensemble voir Figure 11.1 . Deux systèmes d'alimentation automatiques sont prévus afin de pouvoir disposer des deux différentes classes de mastic. L'alimentation du PR sera assurée par un système de piston qui poussera sur la cartouche.

Avantages :

- Utilisation des cartouches déjà qualifiée.

Inconvénients :

- Risque de ralentir le robot s'il doit stopper sa dépose lors du chargement
- Risque de polymérisation de mastic dans les tuyaux si on choisit de placer la cartouche à la base du robot.

11.2 La distribution

Le robot devra assurer un dosage et une distribution précise et fiable en boucle fermée et en temps réel des mastics. La viscosité du mastic pouvant varier au cours du temps.

Les pièces étanchées auront un cordon irrégulier avec un volume du produit adapté à l'interface et avec un processus non régulier. Intéressé par une diminution de la maintenance, des temps morts et par une redistribution du travail ayant comme résultat une diminution des coûts de fabrication le robot devra garantir une augmentation de la productivité et une conservation de la qualité. Afin d'éliminer les problèmes environnementaux le robot sera équipé par des unités de régulation thermique précise (TCU) et sera donc capable d'assurer une température d'application adéquate qui permettra de réduire les variations de viscosité pouvant affecter le profil du cordon.

Le robot sera capable de gérer différents produits multi-composants ainsi qu'assurer l'injection de produits présentant de grandes différences de viscosités, de mélange et de temps de polymérisation. Les vannes de distribution sont entièrement automatiques un système de changement autonome est prévu, vu que le robot sera totalement indépendant une fois que l'opérateur aura lancé

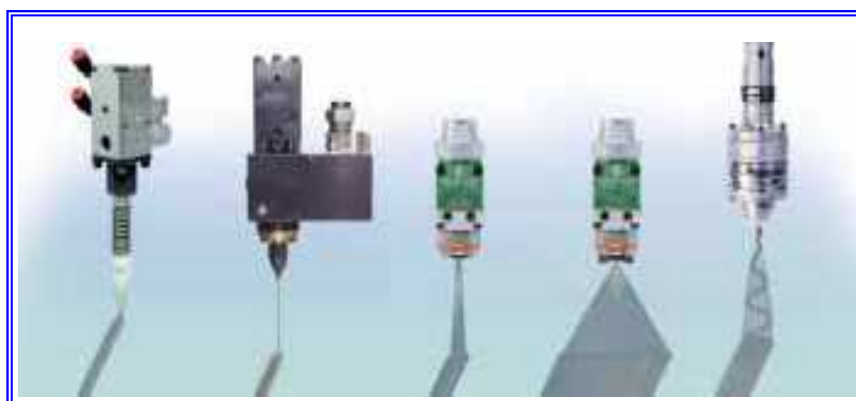


FIGURE 11.2 – Vannes de distribution

le programme. La formation de fils ou de gouttes de produit est absolument



FIGURE 11.3 – Enrobages non acceptés

interdite (voir Figure 11.3) pour cela sont prévus des dispositifs aspirant le produit à l'intérieur de la buse. L'ouverture des vannes sera réglable afin de limiter les afflux de produit. Comme je l'ai déjà mentionné, on peut considérer principalement deux classes différentes de mastic. Afin de ne pas avoir de problème pour le changement de produit on considère une quantité minimale de matière restant dans la chambre de distribution. La valve de dosage sera équipée d'un diaphragme qui permettra un contrôle de débit très précis pour tous les fluides de faible à moyenne viscosité. Le système unique permet une ouverture/ fermeture rapide de la valve et offre la possibilité d'atteindre rapidement les débits maximums. La quantité déposée dépend du temps d'ouverture de la valve, de la pression du fluide, de la viscosité du fluide, et du diamètre de

l'aiguille de sortie. Comme il s'agit d'une opération très délicate à cause de l'irrégularité de la pièce un système de vision est prévu.

11.3 Un cordon déjà lissé

Comme à été expliqué dans le chapitre précédent, après la dépose le cordon doit être parfaitement lissé avec une spatule appropriée. Dans le choix des caractéristiques techniques du robot, nous avons réalisé l'idée de la dépose du cordon et de son lissage dans une même opération. Afin de pouvoir juger la faisabilité de la méthode proposée ci-dessus, différentes idées ont été prises en compte. Celle qui nous a donné les meilleurs résultats est caractérisée par l'alimentation du mastic disposée au-dessus d'une spatule. La photo nous montre les résultats obtenus. Cette expérience a été réalisée par un opérateur non expérimenté dans la dépose de cordon. Le robot aura un débit régulier donc on suppose que les résultats seront excellents, comme demandé.



FIGURE 11.4 – Outil proposé pour éliminer l'opération de lissage



FIGURE 11.5 – Résultat obtenu

11.4 Le système de vision

Le robot sera un système autonome, donc, afin d'assurer la qualité et la précision de ses opérations, il est nécessaire de disposer d'outils d'inspection permettant de contrôler simultanément à la dépose l'état de nos cordons et enrobages. Le robot disposera d'une camera intelligente (automates de vision autonomes) qui permettra

- la mesure dimensionnelle sans contact (largeur, longueur, diamètre, épaisseur, équerrage)
- le guidage de bande (mesure de position)
- la détection de non-conformités locales (corps étrangers, trous, taches, brèches...)

Le marché nous offre plusieurs capteurs d'image et nous avons besoin de choisir le meilleur afin de pouvoir satisfaire les points qui ont été décrits ci-dessus. A ce jour, une technologie a acquis une maturité lui permettant de s'affirmer parmi les systèmes de vision les plus fiables sur le marché : les " systèmes de vision à base de rétine artificielle ".

Il s'agit d'une technologie où les images sont traitées à l'endroit et à l'instant de leur acquisition. Le capteur d'images est caractérisé par un processeur numérique logé dans chaque pixel. La validité de l'algorithme est prouvée et testée en 3D.

Chapitre 12

Choix de l'implantation

Le taux d'occupation du robot a une influence importante sur le chiffrage des coûts non récurrents. Ce dernier est tributaire de l'implantation et de la gestion des flux. Il est donc important de procéder à une étude soignée de l'implantation du robot dans l'atelier. Ce chapitre décrit cet étude afin de rechercher des implantations pouvant satisfaire tous nos besoins.

12.1 Choix de l'implantation

Pour bien mener mon étude j'ai dû me familiariser avec l'environnement de l'atelier, comprendre les cycles de production, me renseigner sur les différentes machines, sur les différents postes et sur le travail des compagnons. Alors qu'actuellement de gros travaux d'agrandissement sont en cours dans l'unité d'assemblage du tronçon, je me suis rendue compte que l'espace devient un réel problème. Ainsi, cela limite le choix de la localisation et de la surface à allouer à une éventuelle robotisation de l'étanchéité. Il s'agit de la même zone qui est aujourd'hui utilisée pour l'étanchéité manuelle. Cette zone devra accueillir les sous-ensembles de l' A320 et de l' A340. Or la surface allouée n'est pas suffisante pour les panneaux de l'A340, il faudra prévoir une autre zone d'étanchéité pour ces panneaux.

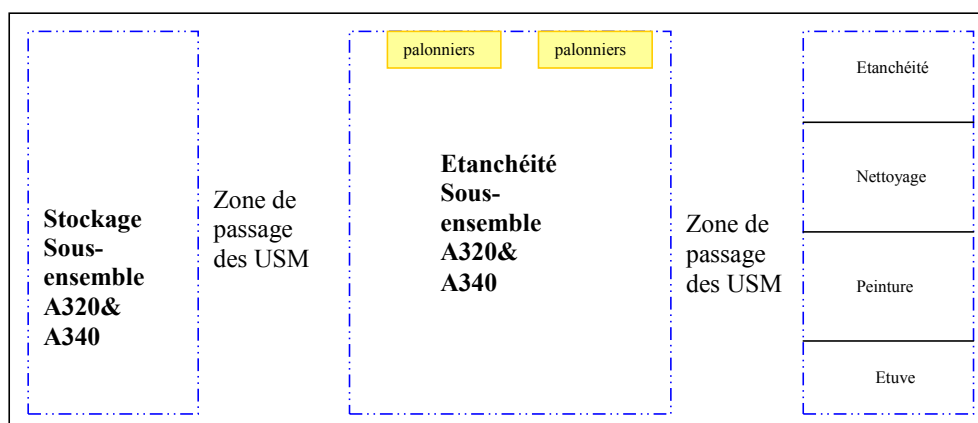


FIGURE 12.1 – Implantation actuelle atelier pour l'opération d'étanchéité

La ligne en question devra répondre de manière satisfaisante à cinq critères majeurs : le management des Hommes, les principes de management, la maîtrise des processus, les ressources maintenance et la relation homme-machine. Afin de faciliter notre réflexion, nous avons entre autre utilisé la méthode OPT (voir Annexe). Les pièces seront étanchées avec le robot après une phase de préparation. Une opération de reprise manuelle sera réalisée pour étancher les parties inaccessibles par l'effecteur du robot. L'ordre des opérations faites en amont et en aval de l'étanchéité change selon les sous-ensembles. Notre volonté a été dès le début du projet de prendre en compte tous les aspects de l'organisation d'un nouveau processus d'étanchéité, ceci afin d'être cohérent avec le fonctionnement de l'atelier, respecter les exigences de la production, et surtout tirer un maximum de gains.

Cet étude nous a permis de élaborer deux différentes hypothèses de flux réalisables, la figure 12.2 représente un schéma des tout les phases et leur ordre de réalisation :

- **opération d'étanchéité réalisée avant la peinture (en rouge)**
- **opération d'étanchéité réalisée après la peinture (en bleu)**

Dans la figure 12.2 chaque flèche correspond a une phase de manutention.

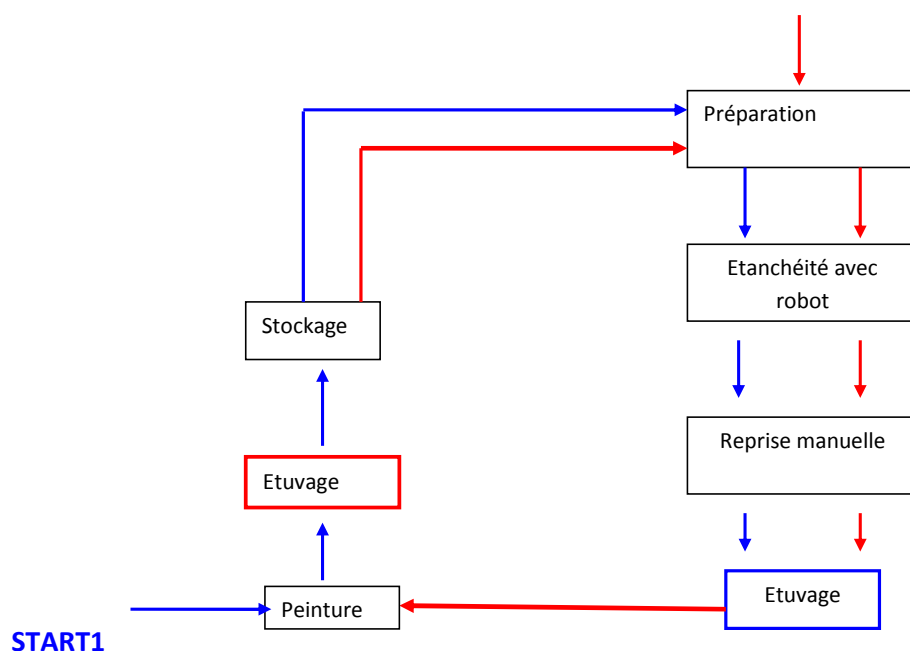


FIGURE 12.2 – Deux flux proposés pour organiser les différentes phases de l'étanchéité

La proposition d'un nouveau flux d'étanchéité nous a ensuite permis d'étudier plusieurs propositions d'implantations. Nous avons retenu l'une d'entre elle car elle présentait plusieurs avantages :

- **Investissement faible** : la proposition s'approche à l'implantation actuelle, ceci limite les coûts puisque les postes actuellement utilisés seront aussi dans la solution proposée :
 - zone de stockage adaptée
 - fosses présentes pour les opérations manuelles
 - moyens de manutention suffisants (ponts)
 - **Sécurité des opérateurs** : le robot est fixe, ce sont les pièces qui se déplacent vers ce dernier. La zone sera ainsi complètement sécurisée.
 - **Adaptabilité au flux global d'assemblage du tronçon 21**. La zone d'implantation étant identique à l'actuelle, elle restera bien intégrée dans le flux global de l'atelier.
 - **Mouvements limités à l'intérieur de la zone** : le choix de la zone a aussi été effectué car il permettait de limiter les mouvements des pièces pour réaliser les opérations de nettoyage, de peinture, d'étuvage et d'étanchéité.
- Cette proposition ayant été retenue, nous devons maintenant vérifier si elle

capable d'assumer la charge à passer et l'optimiser si besoin.

12.2 Proposition d'Implantation de l'atelier

L'étude de l'implantation de notre atelier est basée sur les contraintes liées à la localisation déjà définie, aux surfaces allouées et à l'étude des avantages et des inconvénients.

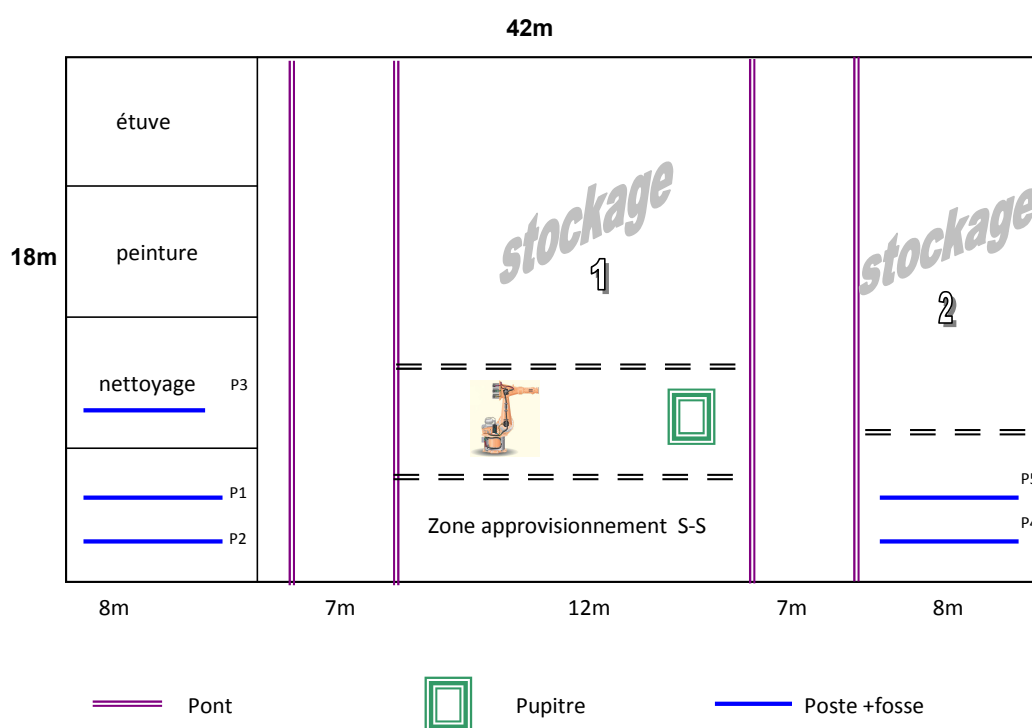


FIGURE 12.3 – Proposition d'implantation atelier pour l'étanchéité avec robot

Selon le schéma de la figure 12.3 les sous-ensembles restent dans le poste pour la préparation et la reprise manuelle. Ils sont déplacés vers la phase étanchéité robotisée ou vers la zone de stockage selon le cas. Le robot ne se déplace pas, sont les sous-ensembles qui le rejoindront après avoir été préparés.

Les opérations réalisées sur les postes P3 sont :

- Préparation sous-ensembles (grattage, nettoyage haute pression, contrôle) : manuel

- Eventuelle reprise manuelle si les autres postes ne sont pas suffisant à la charge

Les opérations réalisées sur les postes (P1, P2, P4 et P5) sont :

- Reprise manuelle des zones où le robot ne peut pas accéder

Les sous-ensembles sont stockés maintenus à des rails aériens et manutentionnés à l'aide de ponts. Afin de valider les hypothèses il a été décidé de mener une simulation de flux grâce au logiciel " Extend " .



FIGURE 12.4 – Zone de stockage sous-ensembles

12.3 Etude de flux sur logiciel

Afin de déterminer la solution la plus optimisée, et de limiter les risques avant d'investir, à été essentiel de passer par une phase de recherche et de validation des solutions, tant sur le plan technique que sur le plan économique, en déterminant de façon précise les équipements nécessaires au bon fonctionnement de l'installation. Un service central d'Airbus Nantes est spécialisé dans le traitement de ce genre d'exercice. J'ai donc fourni un cahier des charges

présentant notre besoin :

- Description de l'implantation proposée
- Description de la charge de travail à passer, du processus pour chaque pièce
- Définition des règles de priorité pour la réservation des ressources, pour le choix des pièces à traiter (exemple, si le choix se présente entre deux pièces pour une opération, on choisit en priorité de traiter celle dont " la date de besoin - le temps de travail restant " est le plus court).

Cette simulation nous à permis de :

- Valider le dimensionnement du futur atelier : surface et nombre des postes
- Optimiser le fonctionnement de la ligne : valider une solution d'implantation et un choix de transition
- Valider des scénarios de production et d'approvisionnement : taux d'utilisation des ressources, identification des goulots d'étranglement, vérification de la capacité à assumer la charge.
- Prendre en compte les phénomènes aléatoires : pannes

Chapitre 13

Conclusion

13.1 Conclusion

Ce rapport fait une description de la mission que j'ai fait au sein d'Airbus Nantes. Cet mission avait comme objectif celui de montrer la faisabilité de la robotisation de l'étanchéité ou niveau stratégique et financière.

J'ai pu acquérir un savoir-faire industriel sur les procédés de mise en oeuvre d'un projet.

Pour ce faire je commencé à étudier l'organisation de l'usine nantaise donc je dû connaitre tout les activité réalisés dans ce site afin de pouvoir comprendre et suivre la démarche et l'organisation du processus.

Après je du apprendre à connaitre les sous ensembles intéressés par mon étude de robotisation, en ayant une grand observation sur le processus actuelle d'étanchéité.

J'ai appris à communiquer avec tous les acteurs du processus. Je suis resté disponible et à leur écoute pour rechercher et diffuser les informations acquis.

J'ai appris à obtenir l'information auprès de personnes de différents services. Il a fallu situer ma demande dans son contexte et gagner la confiance de l'in-

terlocuteur pour avoir une réponse précise. J'avais bien compris que la production passait avant tout, mais dans l'urgence j'ai quelques fois dû me battre pour décrocher ce que je voulais. A ce moment, je me suis rendu compte qu'il faut absolument croire en ses actions car il faut une bonne dose de motivation pour affronter toutes les difficultés.

Pour montrer la rentabilité du projet, je du créer un outil d'aide à la décision pour voir les facteurs à prendre en compte et réussir à gérer les coûts de la main d'oeuvre directe, l'augmentation du volume et des rendements de production, la maintenance et l'amortissement.

J'ai appris à faire remonter ces informations à mes supérieurs hiérarchiques directs ou indirects pour rendre compte de mes travaux. J'ai donc présenté les résultats obtenus lors de réunions, en présence des responsables des services et du bureau d'étude. Je appris à m'adapter à des situations imprévues et à répondre explicitement aux diverses interrogations.

Après je dû proposer le caractéristique techniques envisageables du robot, cela à travers des essayes concrets et a travers des robot déjà utilisé dans d'autres contexte industrielles. J'ai appris a créer un cahier des charges.

Ensuite je dû faire un étude ou niveau des gestion des flux afin de pouvoir implanter le robot dans l'atelier déjà existant.

Annexe A

Le cycle PDCA

Il s'agit d'une méthode pour aider à apprendre, ainsi que pour conduire l'amélioration d'un produit ou d'un processus. Le cycle comporte quatre étapes dont les noms : Plan, Do, Check, Act, sont traduits par : Préparer, Développer, Comprendre, Agir.



FIGURE A.1 – Le cycle PDCA

- **Préparer** . Cette étape, la plus importante, consiste à préparer un changement ou une amélioration. Quelqu'un a une idée pour améliorer un produit ou un processus, il faut donc préparer un essai comparatif ou une expérience

et choisir les indicateurs de mesure du succès. Le cycle complet repose sur cette première étape.

- **Développer** . Cette étape consiste à réaliser l'essai comparatif ou l'expérience, de préférence à petite échelle, en respectant bien les dispositions définies à la première étape.
- **Comprendre**. Il s'agit d'étudier les résultats, vérifier que les actions ont été réalisées et qu'elles ont permis d'obtenir le résultat escompté. Evaluer les écarts (compare P et D).
- **Agir** . Trois cas peuvent se présenter. Soit on décide d'adopter le changement, ou de généraliser l'expérience. Soit on décide d'abandonner l'étude, donc de continuer à travailler dans les mêmes conditions. Soit on décide de recommencer le cycle en changeant certaines conditions initiales. Quand l'amélioration d'un processus est réalisée, les procédures et les spécifications de l'entreprise servent évidemment à la consolider.

Appliquer avec rigueur le cycle PDCA est une des conditions nécessaires au succès. Il évite de s'arrêter après la phase D en clarifiant les phases C et A qui sont l'essence même de l'amélioration continue (vérifier que l'on a obtenu les résultats escomptés, corriger d'éventuels écarts, capitaliser ce que l'on a appris pour continuer à améliorer).

L'utilisation du cycle PDCA est une méthode qui donne d'excellents résultats à condition d'accorder à la phase de préparation toute l'importance nécessaire. C'est la principale manifestation du style de management orienté vers la connaissance. Quand une entreprise pratique le leadership, c'est la direction qui amorce la mise en marche de chaque cycle à partir des informations du cycle précédent.

Annexe B

La méthode OPT

La méthode OPT (Optimized Production Technology) est une technique analytique conçue pour pouvoir simultanément accroître la production, réduire les stocks et minimiser les coûts d'exploitation. Il s'agit d'une démarche de progrès permanente. Cette méthode est applicable à tous les processus de production caractérisés par des goulets d'étranglement (tâches critiques pour lesquelles un retard n'est pas rattrapable : un retard sur cette tâche retarde d'autant la fin d'un projet). Elle correspond alors à une gestion de l'atelier par élimination des goulots d'étranglement. Elle s'appuie sur le principe que l'optimum global n'est pas constitué par la somme des optimums locaux. Cette méthode répond à dix règles simples qui permettent de bien comprendre les flux de production.

1. *le niveau d'utilisation d'une ressource qui n'est pas un goulot d'étranglement est déterminé non pas par sa propre capacité mais par une contrainte du système.* En effet, les ressources non goulots d'étranglement ne devront jamais être utilisées à 100% de leur capacité car elles surchargent alors les ressources goulots, augmentent alors les coûts et rigidifient les flux.
2. *Utilisation et activité ne sont pas synonymes.* Activité : faire ce qu'il y a à faire, ce qui est nécessaire. Utilisation : utiliser la machine, même si cela ne correspond pas à un besoin précis.

3. *Une heure perdue à un goulot d'étranglement est une heure perdue pour tout le système.* Comme les capacités pratiques des ressources non goulots dépendent directement des ressources goulots, l'utilisation à 100
4. *Une heure gagnée à une ressource non goulot d'étranglement est sans valeur.* Puisque La capacité est limitée par les ressources goulots, une heure gagnée sur une ressource non goulot n'as pas de conséquence sur la capacité globale.
5. *Les goulots d'étranglement régissent à la fois la fabrication et les stocks à l'intérieur du système.* La méthode OPT estime que le en-cours sont proportionnels à la charge de travail nécessaire pour maintenir le goulots en production.
6. *Le lot de déplacement ne peut pas, et très souvent ne doit pas, être égal au lot de fabrication.* Ce point peut être constaté chaque fois que le jalonnement s'affecté avec chevauchement.
7. *Le lot de fabrication doit être variable et non fixe.* Ces deux règles sont relatives à la taille du lot. Dans la production classique, celui-ci devait être soit optimal en cas de stockage, soit le plus grand possible si on ne stockait pas (méthode MRP). Dans le JAT, au contraire, on essaie de créer des lots les plus petits possibles.
 La méthode OPT Etablis des tailles de lots de façon dynamique en calculant les couts, mais aussi en augmentant la taille du lot sur les machines goulots et en la diminuant sur les machines non goulots pour réduire le cycle et les stocks.
8. *Capacité et priorité doivent être prises en compte simultanément et non pas l'une après l'autre.*
9. *Equilibrer le flux et pas la capacité.* La méthode OPT est opposée à l'équilibrage de la capacité des lignes de production, mais propose au contraire un équilibrage des flux.
10. *La somme des meilleures performance individuelles n'est pas égale à la meilleure performance globale.* Il s'agit de mesurer la performance de l'usine sur la base des entrées et sorties du système, et non les per-

performances individuelles localisées qui peuvent fausser l'efficacité de l'ensemble.

Cette méthode se présente donc très intéressante

- dans la compréhension des dysfonctionnements des systèmes productifs (le taux de sortie ne correspond pas aux prévisions)
- dans l'implantation d'atelier (plant layout)

Les Avantages

Des concepts simples qui prennent en compte les flux et qui apportent plus que les calculs statiques de capacité (calcul en moyenne) le Planning et l'ordonnancement optimisés simultanément, prise en compte des enchaînements entre machines, des temps de transfert, des tailles de lots.

Annexe C

La rétine artificielle : un système de vision

Une rétine artificielle est un système de vision intégré qui lie intimement l'acquisition d'une information lumineuse à son traitement. Il s'agit plus précisément des circuits intégrés qui associent un capteur d'image et une architecture parallèle de manière à constituer un système de vision compact. Les applications possibles trouvent place, par exemple, dans les domaines de l'automobile, de l'imagerie médicale, dans l'aérospatiale ect.

Il y a différentes types de rétine artificielles existant et toutes utilisent la même architecture distribuée. L'architecture distribuée est une structure qui privilégie le traitement local de l'information, et conduit au développement de pixels plus ou moins complexe où chaque pixel est composé d'un photo détecteur, d'une électronique de traitement de l'information, de mémoire et de convertisseur analogique numérique. Chaque pixel analyse et traite son information en fonction de ses voisins.

On trouve des rétines artificielles ayant soit un traitement spatial, soit un traitement spatio-temporel. Le traitement spatial d'une image réalise différentes fonctions, du simple filtrage local à la détection globale d'orientations d'objets dans une image.

78ANNEXE C. LA RÉTINE ARTIFICIELLE : UN SYSTÈME DE VISION

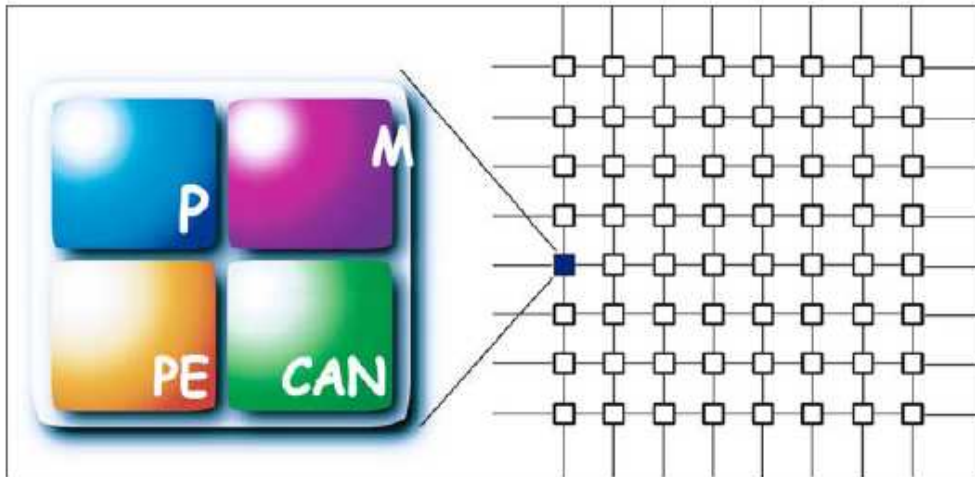


FIGURE C.1 – Architecture = distribuée. P = photo-détecteur ; PE= processeur élémentaire (traitement, analogique-numérique) ; CAN= convertisseur analogique-numérique ; M = mémoire.

Le traitement spatio-temporel permet l'extraction des paramètres d'une image qui sont fonction du temps, comme le mouvement. La contrainte est la présence d'éléments de décalage et la mémorisation. Les photorécepteurs et les pixels dédiés à un traitement spatio-temporel sont optimisés pour acquérir la variation de contraste entre des images différentes. Le problème est que le contraste temporel des objets dans une image est relativement petit.

Bibliographie

- [1] Vallet G. *Techniques de planification de projets*, 2e édition. Dunod, Paris.
- [2] Ulrich KT, Eppinger SD . *Product design and development, third edition*
The McGraw-Hill Companies.
- [3] ROORYCK. *Robotique et dynamique industrielle Quand et comment robotiser*
- [4] VERMA R. *Management science, Theory of Constraints/Optimized Production Technology and Local Optimization*
- [5] ARLOTTI. *Robot verso il futuro. principi, tecnologia e applicazioni avanzate della robotica*. Franco Angeli