



PJT 1A S6

CLEAN ELF

Naël BRISEBARRE
Tobias de KATOW
Louis LABESSE

Léontine LAURENT
Lutèce LUCET
Elsa MORETON

A. ETIENNE, J-Y. DANTAN et
J. PETRONIJEVIC

2025

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	4
I. COMPREHENSION PRELIMINAIRE	4
A. CONTEXTE DU PROJET	4
I. ACTEURS DU PROJET	4
II. OBJECTIF DU PROJET	4
III. PROBLEMATIQUE RETENUE	4
B. COMPREHENSION DU PROJET	5
I. CONTRAINTES	5
II. LIVRABLES ATTENDUS	5
C. ORGANISATION	6
I. DEMARCHE DE RESOLUTION DE PROBLEME	6
II. REPARTITION DES TACHES	6
II. TRAVAIL EFFECTUE	8
A. ANALYSE FONCTIONNELLE	8
B. RECHERCHES PRELIMINAIRES	10
I. METHODE 5S :	10
II. LIEN AVEC LE LEAN MANAGEMENT :	11
C. INVENTAIRE	12
D. RECHERCHE DE SOLUTIONS	14
I. TYPES DE RANGEMENT	14
II. SOLUTIONS DE RANGEMENT INDUSTRIEL	15
III. METHODES D'IDENTIFICATION	16
IV. SYNTHESE ET CHOIX DE LA SOLUTION	16
E. ORGANISATION DE L'ESPACE	18
I. ORGANISATION DE L'ARMOIRE	18
II. ORGANISATION DE LA LIGNE D'ASSEMBLAGE	18
III. ORGANISATION DES BACS	22
F. MODELISATION 3D	23
I. RECHERCHE DES MODELES 3D	23
II. CONCEPTION 3D DES MOUSSES	23
III. ABOUTISSEMENT DU PROJET	25
A. PROBLEMES RENCONTRES	25
B. PERSPECTIVES D'EVOLUTIONS	26
IV. CONCLUSIONS DU PROJET	27
A. MISE EN APPLICATION DES COURS	27
B. ACQUISITION DE NOUVELLES CONNAISSANCES	27
C. DEVELOPPEMENT DE NOUVELLES COMPETENCES	28
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	29
GLOSSAIRE	29
ANNEXES	30

TABLE DES FIGURES

FIGURE 1 : PRESENTATION DES ELEVES	4
FIGURE 2 : DIAGRAMME DE GANTT	7
FIGURE 3 : DIAGRAMME "BETE A CORNES"	8
FIGURE 4 : DIAGRAMME "PIEUVRE"	8
FIGURE 5 : SCHEMA SYNTHETISANT LA METHODE DES 5S	10
FIGURE 6 : SCHEMA SYNTHETISANT LE LIEN ENTRE LEAN MANAGEMENT ET LA METHODE 5S	11
FIGURE 7 : SCHEMA ILLUSTRANT L'INVENTAIRE	12
FIGURE 8 : PHOTO DU VERIN ECLATE	18
FIGURE 10 : LIEN D'ANTERIORITE	20
FIGURE 11 : SIMULATION DE LA PRODUCTION SUIVANT LES TROIS SCENARIOS	21
FIGURE 12 : RECUPERATION DES MODELES 3D SUR DESOUTTER, 3DFINDIT, TRACEPARTS	23
FIGURE 13 : SCHEMAS D'AGENCEMENT DES MOUSSES	23
FIGURE 14 : PROFILAGE 3D DES PIECES	24
FIGURE 15 : SOUSTRACTION DES ZONES VOLUMINEUSES INUTILES	24
FIGURE 16 : MODELES 3D FINAUX DES MOUSSES	24
FIGURE 17 : PHOTOGRAPHIE DE LA PLATEFORME D'ASSEMBLAGE	31

TABLE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : CAHIER DES CHARGES FONCTIONNEL	9
TABLEAU 2 : HIERARCHISATION DES FONCTIONS	9
TABLEAU 3 : TABLEUR EXCEL DE L'INVENTAIRE COMPLET	13
TABLEAU 4 : RECAPITULATIF DES PIECES A RANGER	13
TABLEAU 5 : EVALUATION CRITERIEE DES SOLUTIONS	16
TABLEAU 6 : CORRESPONDANCES ENTRE LA METHODE KING ET NOTRE PROJET	18
TABLEAU 7 : RECAPITULATIF DES SCENARIOS	19
TABLEAU 8 : BILAN DES TACHES A REALISER	19
TABLEAU 9 : TABLE DES ANTERIORITES	20
TABLEAU 10 : IMPLEMENTATION DE LA METHODE DES ANTERIORITES	20
TABLEAU 11 : REPARTITION DES TACHES DANS L'ORDRE	20
TABLEAU 12 : REPARTITION DES TACHES SUR LES POSTES DE LA LIGNE D'ASSEMBLAGE	21
TABLEAU 13 : TEMPS DE REALISATION DE CHAQUE TACHE	21
TABLEAU 14 : TEMPS POUR CHAQUE POSTE SELON LES DIFFERENTES METHODES	22
TABLEAU 15 : COMPOSITION DES BACS	22

INTRODUCTION

En première année aux Arts et Métiers, nous suivons une unité d'enseignement « projet » pour nous permettre d'appliquer nos connaissances et d'acquérir des compétences utiles en entreprise : travail d'équipe, communication, organisation autonome et répartition des tâches. L'objectif du présent rapport est de proposer un résumé exhaustif de notre travail tout au long de l'année ainsi que de souligner la méthodologie suivie, les décisions réalisées et les outils utilisés.

I. COMPREHENSION PRELIMINAIRE

A. CONTEXTE DU PROJET

i. ACTEURS DU PROJET

Le projet a vu le jour à la suite de l'implémentation d'une plateforme d'assemblage reconfigurable au sein de l'école [\[Annexe 1\]](#). Les principaux acteurs sont des professeurs des Arts et Métiers : M. Alain ETIENNE (notre encadrant de projet), Pr Jean-Yves DANTAN, Mme Jelena PETRONIJEVIC. Ces professeurs sont les utilisateurs majeurs de la plateforme d'assemblage dans le cadre de travaux pratiques qu'ils organisent. Afin de réaliser ces travaux pratiques, des outils particuliers sont nécessaires qui doivent être rangés intelligemment. Le projet « **Clean_ELF** » [\[Glossaire 1\]](#) a été créé dans cet objectif et nous avons choisi de travailler sur ce projet.

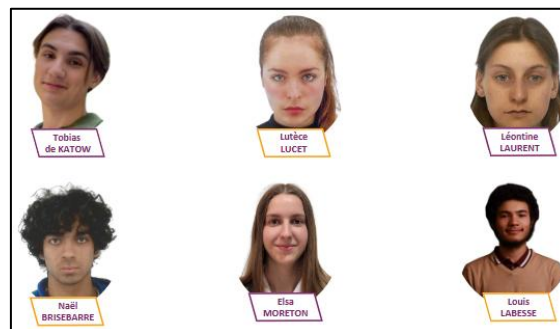


Figure 1 : Présentation des élèves

Nous sommes M. Naël BRISEBARRE, M. Tobias de KATOW, M. Louis LABESSE, Mme Léontine LAURENT, Mme Lutèce LUCET et Mme Elsa MORETON.

ii. OBJECTIF DU PROJET

Notre projet s'appelle Clean_ELF et consiste en l'organisation et la conception d'un système de rangement pour la plateforme d'assemblage. Il était clairement défini dans la présentation du projet que le système de rangement devait s'appuyer sur la méthode 5S pour déterminer où ranger quel outil ; cette méthode sera détaillée dans la partie [recherches préliminaires](#). Il nous était également demandé de concevoir les rangements adaptés pour ranger proprement et clairement le matériel. L'objectif principal de notre projet est donc de concevoir un système de rangement pour le matériel utilisé sur la plateforme d'assemblage.

iii. PROBLEMATIQUE RETENUE

En accord avec l'objectif énoncé précédemment, nous avons défini une problématique pour notre projet : **Comment organiser et ranger proprement et en sécurité l'ensemble du matériel nécessaire aux différents scénarios pédagogiques ?**

B. COMPREHENSION DU PROJET

i. CONTRAINTES

Afin de mieux comprendre les attendus de notre projet, nous avons interrogé notre encadrant sur les contraintes que nous devons prendre en compte.

Le budget pour le projet n'avait pas été défini mais nous n'avions pas à nous en soucier, l'école se chargeant de nous fournir tout le matériel nécessaire. Nous devons cependant veiller à rester dans la limite du raisonnable et à privilégier les solutions que nous pouvions réaliser dans les ateliers de l'école.

Les horaires du projet étaient imposées du fait qu'il soit considéré comme une unité d'enseignement. Nous disposions donc de trente heures par semestre soit quatre heures par semaine, le mardi après-midi au premier semestre et le mercredi après-midi au second semestre. Cependant, nos professeurs référents et notamment notre encadrant n'étaient pas toujours disponibles à ces horaires, étant sollicités ailleurs, ce qui a induit des difficultés de communication.

Une autre contrainte que nous n'avions pas identifiée immédiatement était que le matériel commandé devait provenir uniquement des fournisseurs partenaires des Arts et Métiers. Cette contrainte est survenue lorsque nous avons souhaité commander des bacs de rangement. Le principal problème est que les fournisseurs partenaires ne disposent pas forcément du même catalogue que les autres fournisseurs et n'appliquent pas les mêmes tarifs.

ii. LIVRABLES ATTENDUS

Dans le cadre de l'unité d'enseignement projet, nous sommes évalués à chaque semestre sur des livrables différents, bien que le projet soit mené à l'échelle d'une année.

Au premier semestre, nous avons eu à réaliser un rapport bibliographique pour retracer une étude bibliographique. Ce rapport, supposé être effectué en demi-groupe et être rendu fin octobre, a finalement été réalisé avec l'entière participation du groupe et était à rendre pour le dimanche 19 janvier.

A la fin du premier semestre, nous avons également été évalués sur une soutenance réalisée avec un poster. Cette soutenance de dix minutes a pour objectif de présenter le travail réalisé pendant cette première partie du projet. La soutenance a été planifiée le mardi 21 janvier et le poster était à remettre avant la soutenance.

Au second semestre, nous sommes évalués sur le présent rapport qui retrace notre projet. Il doit présenter le travail que nous avons effectué tout au long de l'année ainsi que les problèmes que nous avons rencontrés et des perspectives d'évolution pour les années futures. Il est à rendre pour le mercredi 23 avril.

Nous sommes également évalués sur une soutenance finale réalisée avec un support visuel. Cette soutenance de quinze minutes nous permet de présenter le travail réalisé pour le projet de manière plus approfondie qu'au premier semestre. Elle est suivie d'une discussion avec le jury de vingt minutes. La soutenance est planifiée le mercredi 23 avril.

De plus, à chaque semestre, nous sommes évalués au travers d'une note de travail que notre encadrant nous attribue en fonction de notre investissement, de notre attitude et de notre démarche de projet.

C. ORGANISATION

i. DEMARCHE DE RESOLUTION DE PROBLEME

Comment organiser et ranger proprement et en sécurité l'ensemble du matériel nécessaire aux différents scénarios pédagogiques ?

Nous avons identifié deux axes majeurs découlant de cette problématique. Tout d'abord, il nous faut déterminer comment ordonner le matériel utilisé lors des travaux pratiques selon la fréquence d'utilisation des outils. D'autre part, il nous faut concevoir un dispositif de rangement adapté pour contenir ce matériel. Ces deux axes étant liés, nous avons décidé de les traiter conjointement, parfois en scindant le groupe en deux lorsque nous en avons besoin mais toujours en conservant une étroite communication. Nous n'avons pas mené deux projets séparés mais étions ensemble à chaque instant de notre travail pour échanger et réfléchir ensemble. Au début de chaque séance, nous répartitions les tâches et à chaque fin de séance, nous faisons un bilan entre nous ainsi qu'un retour à notre encadrant, sous forme de messages Teams.

ii. REPARTITION DES TACHES

Après avoir constitué notre groupe et choisi notre sujet début octobre, nous avons eu quelques séances en demi-groupe pour effectuer des recherches bibliographiques. En effet, certains étudiants « SI » (issus de filières scientifiques) suivaient des cours de culture technologique tandis que les étudiants « ST » (issus de filières technologiques) réalisaient l'étude bibliographique. Les étudiants « SI » sont Naël BRISEBARRE, Léontine LAURENT et Lutèce LUCET tandis que les étudiants « ST » sont Tobias de KATOW, Louis LABESSE et Elsa MORETON.

Nous avons ensuite eu sept séances en groupe complet au premier semestre, du mardi 05 novembre au mardi 17 décembre, comme le montre la [figure 2](#). Nous avons tout d'abord utilisé les deux premières séances pour comprendre le projet, poser des questions à notre encadrant et réaliser l'inventaire du matériel à ranger.

Pour les deux séances suivantes, nous nous sommes réparti les tâches par trinôme pour être plus efficaces : le trinôme composé de Naël BRISEBARRE, Léontine LAURENT et Elsa MORETON travaillait sur la partie analyse fonctionnelle tandis que celui composé de Tobias de KATOW, Louis LABESSE et Lutèce LUCET poursuivait les recherches bibliographiques avec notamment des recherches sur la méthode des 5S et le Lean management réalisées par Lutèce LUCET.

Durant les deux séances d'après, nous avons fonctionné en demi-groupe : le trinôme composé de Naël BRISEBARRE, Tobias de KATOW et Louis LABESSE commençait à réaliser le poster tandis que Léontine LAURENT appliquait la méthode King pour déterminer comment regrouper le matériel par fréquence d'utilisation, Lutèce LUCET effectuait des recherches complémentaires sur la méthode des 5S et Elsa MORETON poursuivait la rédaction du rapport bibliographique.

La dernière séance du premier semestre a été dédiée à achever le poster et à s'entraîner pour la soutenance.

Nous avons disposé de huit séances au second semestre, du mercredi 12 février au mercredi 09 avril. Durant les deux premières séances, nous avons effectué des recherches pour trouver les modèles 3D des outils à ranger. La séance du mercredi 05 mars a été consacrée à échanger avec notre encadrant sur les modèles trouvés et à définir plus précisément les objectifs à atteindre pour le second semestre.

La séance suivante, le binôme composé de Tobias de KATOW et Louis LABESSE s'intéressait au scan 3D d'une pièce dont le modèle 3D n'avait pas été trouvé tandis que le trinôme composé de Naël BRISEBARRE, Lutèce LUCET et Elsa MORETON effectuait des recherches sur les bacs à commander et que Léontine LAURENT s'intéressait à l'organisation de la plateforme d'assemblage grâce à la méthode des antécédents.

Durant les deux séances d'après, le trinôme composé de Naël BRISEBARRE, Tobias de KATOW et Louis LABESSE commençait la conception 3D des mousses en CAO tandis que Lutèce LUCET synthétisait les informations sur la soutenance, que Elsa MORETON synthétisait les informations sur le rapport et en établissait le plan détaillé et que Léontine LAURENT poursuivait l'organisation de la plateforme d'assemblage.

Le mercredi 02 avril, le groupe entier a travaillé sur le rapport en rédigeant chacun une partie : Naël BRISEBARRE rédigeait la partie analyse fonctionnelle, Lutèce LUCET s'intéressait aux recherches préliminaires et à l'inventaire, Elsa MORETON rédigeait la partie recherche de solutions, Léontine LAURENT synthétisait l'organisation de l'espace, Louis LABESSE s'intéressait à la modélisation 3D et Tobias de KATOW réalisait la page de garde.

La dernière séance, Elsa MORETON a assemblé les différentes parties du rapport et en a rédigé les parties manquantes tandis que le reste du groupe s'est entraîné à la soutenance.

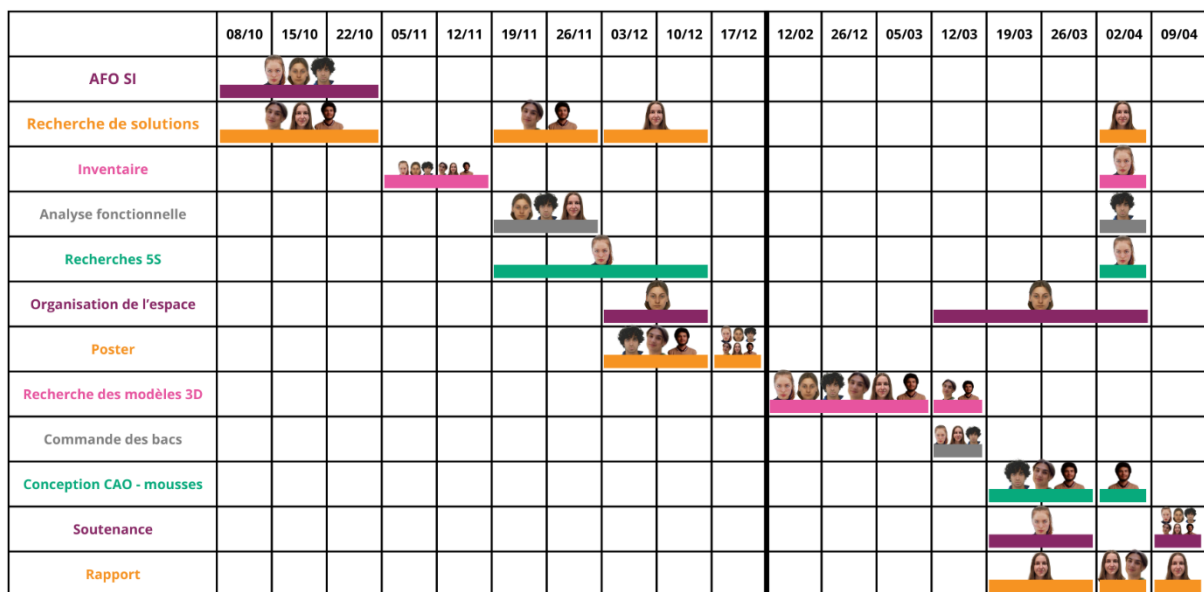


Figure 2 : Diagramme de Gantt

Ce diagramme de Gantt [\[Glossaire 2\]](#) a été élaboré à la fin du projet pour retracer chronologiquement ce que nous avons effectué. Nous avons réalisé au préalable deux diagrammes de Gantt pour planifier notre organisation : un au premier semestre et un au second qui tenait compte des avancées du premier semestre. Notre encadrant a joué un rôle clé dans l'établissement de ces diagrammes puisqu'il nous a permis de comprendre ce qui était attendu de nous et nous a guidé dans notre démarche en nous suggérant des tâches à réaliser.

En nous répartissant ainsi le travail, nous avons pu gagner en efficacité mais également scinder le projet en désignant une personne experte pour chaque sous-dimension de notre projet. En effet, nous avons chacun choisi une partie à présenter au premier semestre lors de la soutenance et nous avons ainsi pu séparer le rapport afin que chaque personne rédige la partie sur laquelle elle a le plus travaillé.

II. TRAVAIL EFFECTUE

A. ANALYSE FONCTIONNELLE

Pour pouvoir réaliser ce projet, il a fallu dans un premier temps réaliser une analyse fonctionnelle [\[Glossaire 3\]](#) pour nous permettre de mieux comprendre les besoins et exigences du projet et de définir des critères pour choisir la solution la plus adaptée. Nous avons d'abord rencontré une légère difficulté car le dispositif de rangement que nous concevons s'approche plus d'un service que des systèmes mécaniques que nous avons l'habitude d'étudier. Cependant, les outils d'analyse fonctionnelle sont adaptés pour caractériser un service ; nous les avons donc appliqués à notre système. [\[Référence 1\]](#)

Dans l'objectif de mieux comprendre notre système, nous avons répondu à une série de questions [\[Annexe 2\]](#) permettant de définir l'objectif de notre système ainsi que son environnement. Ces questions nous ont permis d'établir le diagramme « bête à cornes » [\[Glossaire 4\]](#) suivant.

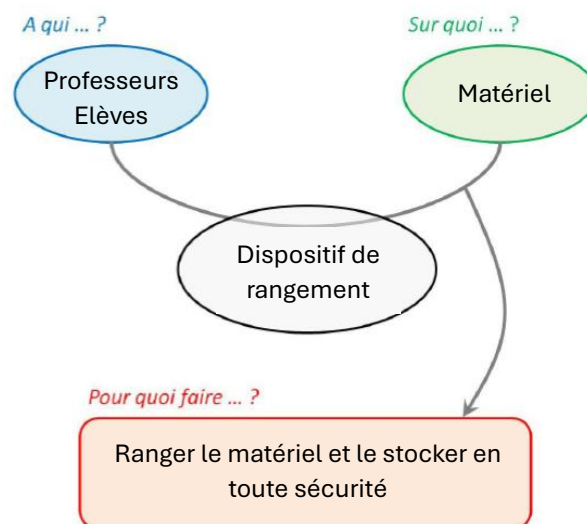


Figure 3 : Diagramme "bête à cornes"

A l'aide de cette analyse du besoin, nous avons ensuite pu déterminer les différentes fonctions principales (FP) et fonctions contraintes (FC) au travers d'un diagramme « pieuvre » [\[Glossaire 5\]](#) présentant les éléments avec lesquels le système interagit.

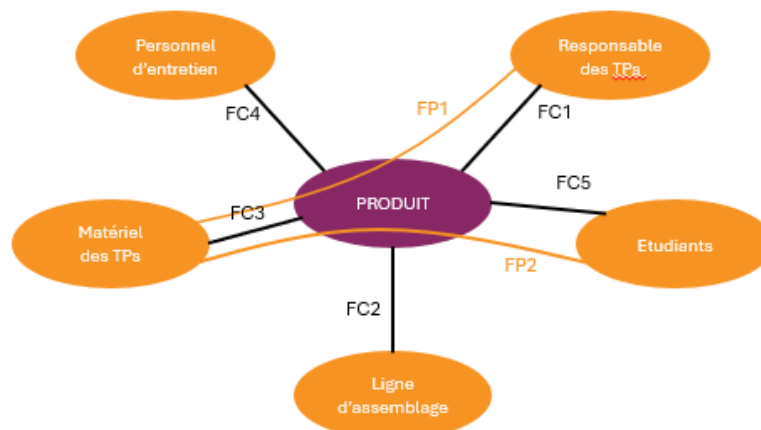


Figure 4 : Diagramme "pieuvre"

Nous avons ensuite défini des critères pour évaluer si les fonctions sont satisfaites. Le tableau ci-dessous définit un cahier des charges fonctionnel [\[Glossaire 6\]](#) qui nous permet d'évaluer si une solution correspond ou non aux attentes de notre client.

Fonction	Description	Critères	Niveau
FP1	Permettre au responsable TP de contrôler le matériel de TP	Repérer d'un coup d'œil s'il manque du matériel	Absolu
		Le matériel ne doit pas être accessible en l'absence du responsable TP	Absolu
		Le responsable TP doit pouvoir retrouver le matériel	Absolu
FP2	Permettre aux étudiants de prendre et ranger le matériel de TP	Temps pour accéder au matériel	t = 15 s
FC1	Permettre au responsable TP d'assurer les TP	Les fournitures sont rangées de manière organisées	Absolu
		Il y a un minimum de matériel sorti	Absolu
FC2	Être contenu dans la salle	Hauteur maximale	H = 2,5 m
		Profondeur maximale	P = 1 m
		Longueur maximale	L = 1,5 m
FC3	Assurer le rangement efficace du matériel	Rangement propre (pas de graisse)	Absolu
		Contenir les classeurs de TP	Min 20
		Les objets lourds ne doivent pas être en haut	Absolu
		Stocker le matériel sans le détériorer	Absolu
FC4	Permettre l'entretien de la salle	L'agent d'entretien ne doit pas être gêné par la disposition du matériel	Absolu
FC5	Assurer la sécurité des étudiants	Les objets ne doivent pas pouvoir tomber sur les étudiants	Absolu

Tableau 1 : Cahier des charges fonctionnel

Afin d'évaluer concrètement une solution et de pouvoir classer au mieux les différentes solutions, nous avons classé les fonctions afin d'établir une pondération et un ordre d'importance.

	FP2	FC1	FC2	FC3	FC4	FC5	TOTAL	TOTAL(%)
FP1	FP1 1	FP1 1	FP1 2	FP1 1	FP1 3	FP1 1	9	26,5
FP2		FC1 1	FP2 1	FC3 1	FP2 3	FP2 1	5	14,5
FC1			FC1 2	FC3 1	FC1 3	FC5 1	6	17,5
FC2				FC3 1	FC2 2	FC5 2	2	6,5
FC3					FC3 3	FC3 1	7	20,5
FC4						FC5 2	0	0
FC5							5	14,5
TOTAL							34	100

Tableau 2 : Hiérarchisation des fonctions

Nous pouvons ainsi choisir la meilleure solution, c'est-à-dire celle qui satisfait au mieux les critères les plus importants.

B. RECHERCHES PRELIMINAIRES

Dès les premières séances et en échangeant avec notre encadrant, nous nous sommes rendu compte du lien entre notre projet et les méthodes de rangement industriel. Nous avons donc effectué des recherches sur la méthode 5S et le Lean management, comme nous l'avait conseillé notre encadrant. Ces recherches ont été menées en parallèle de l'analyse fonctionnelle. [\[Référence 2\]](#)

i. METHODE 5S :

Nous avons d'abord étudié de manière théorique la méthode 5S [\[Glossaire 7\]](#). Il s'agit d'un système structuré créé au Japon en 1960 pour l'entreprise Toyota qui consiste à optimiser l'organisation de l'entreprise à partir de 5 étapes.

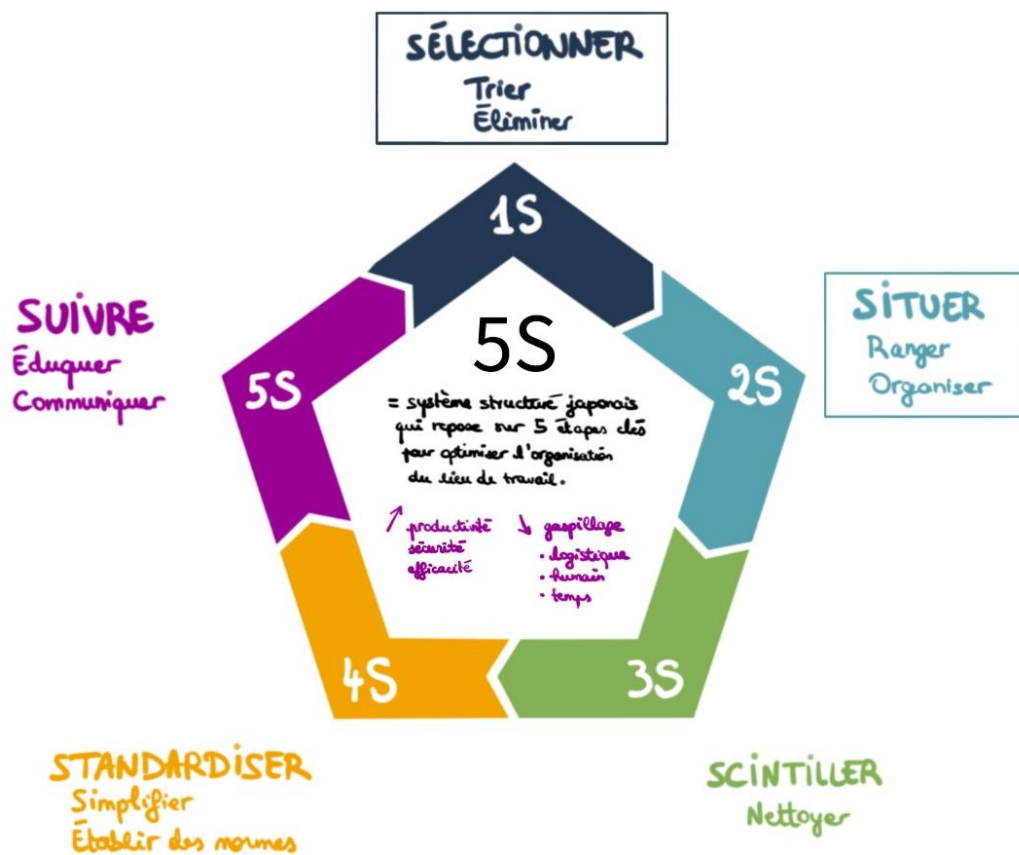


Figure 5 : Schéma synthétisant la méthode des 5S

Dans le cadre de notre projet, nous avons eu recours à la première et deuxième étape de la méthode 5S (figure 5). La première étape, Sélectionner, consiste à trier entre objets utiles et objets inutiles pour libérer le maximum d'espace et la deuxième étape, Situer, permet un rangement de manière ordonnée à l'aide d'étiquettes, de marquages au sol, de panneaux visuels et de systèmes de stockage pour diminuer le temps de recherche et augmenter le flux de travail. Les trois dernières étapes Scintiller, Standardiser et Suivre permettent de créer un environnement de travail propre et ordonné, d'établir des normes et de maintenir un certain engagement envers celles-ci.

Finalement, la méthode 5S a pour objectif de diminuer le gaspillage logistique, humain et temporel tout en augmentant la productivité, la sécurité et l'efficacité afin de créer un environnement de travail optimal et d'atteindre les objectifs de manière efficace et durable.

ii. LIEN AVEC LE LEAN MANAGEMENT :

En plus d'être un modèle intéressant pour notre projet, la méthode des 5S est également un des premiers outils du Lean management [Glossaire 8] qui est une approche systématique visant à créer de la valeur pour le client en éliminant les activités inutiles.



Figure 6 : Schéma synthétisant le lien entre Lean Management et la méthode 5S

Les points communs entre la méthode 5S et Lean Management sont : l'élimination des gaspillages, l'efficacité des processus (garantir un environnement organisé qui facilite le flux de travail, réduit les erreurs et améliore la productivité), la standardisation (garantir la prévisibilité des processus) et l'amélioration continue en intégrant différentes habitudes pour mener à un comportement qui respecte l'objectif de la méthode 5S.

D'autre part, les avantages combinés du Lean Management et de la méthode 5S sont non seulement la qualité (au travers d'une diminution des risques de défauts en permettant un travail plus précis), mais aussi la sécurité (par l'amélioration du nettoyage et de l'organisation, réduisant ainsi les accidents au travail) et l'engagement des équipes.

Ces deux études théoriques de la méthode 5S et du Lean management nous ont donc servi de première base pour considérer une organisation efficace du matériel.

C.INVENTAIRE

Pour permettre cette organisation de manière concrète, nous nous sommes intéressés à l'inventaire des outils à ranger. Pour cela, nous avons parcouru la salle pour recenser les pièces et noter leur quantité et leur emplacement. Puis, nous avons transmis le document aux professeurs responsables des travaux pratiques afin qu'ils nous communiquent les informations associées aux différentes pièces utilisées dans les divers scénarios.



Figure 7 : Schéma illustrant l'inventaire

Nous avons réalisé l'inventaire dans un tableur Excel. La première colonne « nom » correspondait à la dénomination de l'outil. Se trouvait ensuite une colonne « nombre » pour indiquer la quantité d'outils. Nous avons ensuite créé trois colonnes pour indiquer où se trouvait actuellement les outils : une pour l'armoire (1, 2 ou 3), une pour l'étagère et une pour le côté (gauche, centre ou droit) qui nous permettait également d'indiquer si l'outil se trouvait dans un carton.

Nous souhaitions obtenir un tableau récapitulatif expliquant quel outil est utilisé dans quel travail pratique mais les professeurs n'ont malheureusement pas pu nous communiquer ces données à temps car les modalités pédagogiques ne sont pas encore définies complètement et restent dépendantes de la nouvelle réforme. Notre encadrant nous a alors orientés vers une autre approche : ne ranger que certains outils fréquemment utilisés dans notre dispositif de rangement et ranger les autres directement dans l'armoire dans leur boîte d'origine.

Nous avons alors ajouté une colonne « à ranger » avec une case à cocher afin d'identifier les outils qui devaient être mis dans le système de rangement que nous concevons, les autres outils étant rangés directement dans l'armoire dans leur boîte d'origine. Dans l'optique de réaliser les modèles 3D des pièces, nous avons également mesuré chaque outil à ranger à l'aide d'un pied à coulisse. Les dimensions volumiques sont en cm³.

Nom	Nombre	A ranger	Armoire	Etagère	Côté	Dimensions
Câble C13	4	<input type="checkbox"/>	1	1	Droit	
Livres / manuels	19	<input type="checkbox"/>	1	1	Droit	
Visseuse Desoutter ELC8 (visseuses 2, 3 & 4)	3	<input checked="" type="checkbox"/>	1	1	Gauche	Voir modèle
Visseuse droite Desoutter ELC15 (visseuses 5 & 6)	2	<input checked="" type="checkbox"/>	1	1	Gauche	Voir modèle
Chargeurs Desoutter	6	<input type="checkbox"/>	1	2	Centre	
Petit tournevis Desoutter (pour visseuses 2 à 6)	5	<input checked="" type="checkbox"/>	1	2	Droit	10x3x3
Batterie Desoutter 18V 51NR19/66	6	<input checked="" type="checkbox"/>	1	2	Droit	12x7x4
Poulie Desoutter (0,5 - 1 kg)	4	<input type="checkbox"/>	1	2	Carton (Gauche)	
Poulie Desoutter 50542 (1,4 - 2,4 kg)	5	<input type="checkbox"/>	1	2	Carton (Gauche)	
Desoutter P48995 754V	1	<input type="checkbox"/>	1	2	Carton (Gauche)	
Clés USB Dessoutter 16GB	5	<input type="checkbox"/>	1	2	Carton (Gauche)	
Chargeur Zebra + câble d'alimentation	2	<input type="checkbox"/>	1	3	Droit	
Scanner Zebra SR (vert)	8	<input checked="" type="checkbox"/>	1	3	Gauche	Voir modèle
Batterie Scanner Zebra	8	<input checked="" type="checkbox"/>	1	3	Gauche	8x3x2
Scanner Zebra DS46 (noir) + socle	1	<input type="checkbox"/>	1	3	Gauche	
Manuel	1	<input type="checkbox"/>	1	4	Centre	
Petit carton marron	1	<input type="checkbox"/>	1	4	Droit	
Carton blanc	2	<input type="checkbox"/>	1	4	Gauche	
Carton UN3480	2	<input type="checkbox"/>	1	5	Centre	
Carton blanc DELL	4	<input type="checkbox"/>	1	5	Centre	
Carton marron DELL	1	<input type="checkbox"/>	1	5	Centre	
Carton marron	2	<input type="checkbox"/>	1	5	Droit	
Carton blanc	8	<input type="checkbox"/>	1	5	Droit	
Petit carton marron	1	<input type="checkbox"/>	1	5	Gauche	
Boîte Würth	2	<input type="checkbox"/>	2	3	Droit	14x9x3,5
Clé Allen 5mm	10	<input type="checkbox"/>	2	3	Boîte (Droite)	
Clé Allen 6mm	5	<input type="checkbox"/>	2	3	Boîte (Droite)	
Tournevis cruciforme Zebra 613 322 2	1	<input type="checkbox"/>	2	3	Carton (Droit)	PH2
Tournevis cruciforme Zebra 613 322 1	1	<input type="checkbox"/>	2	3	Carton (Droit)	PH1
Tournevis plat Zebra 613 321 055	1	<input type="checkbox"/>	2	3	Carton (Droit)	1,0x5,5
Tournevis plat Zebra 613 321 07	1	<input type="checkbox"/>	2	3	Carton (Droit)	1,2x7,0
Tournevis plat Zebra 613 321 09	1	<input type="checkbox"/>	2	3	Carton (Droit)	1,6x9,0
Pince Würth 07 14 09 033	1	<input type="checkbox"/>	2	3	Carton (Droit)	
Malette Würth	1	<input type="checkbox"/>	2	3	Gauche	9x43x35
OnRobot Eyes	1	<input type="checkbox"/>	2	4	Gauche	
OnRobot Mounting	1	<input type="checkbox"/>	2	4	Gauche	
OnRobot External Mount + Robot Mount	1	<input type="checkbox"/>	2	4	Gauche	
Pied dans housse	2	<input type="checkbox"/>	2	5	Fond	90x15x15
Webcam Logitech C930e	2	<input type="checkbox"/>	2	5	Centre	
Câble C5 + Dell 45W	5	<input type="checkbox"/>	2	5	Carton (Gauche)	
Malette noire & jaune	2	<input type="checkbox"/>	3			
Visseuse Desoutter EPBC8 (visseuse 1)	1	<input checked="" type="checkbox"/>	3			Voir modèle
Tablette	6	<input checked="" type="checkbox"/>	3			32x21x3

Tableau 3 : Tableur Excel de l'inventaire complet

Nous avons ainsi pu exploiter la partie « utile » de l'inventaire, c'est-à-dire celle avec uniquement les pièces que nous devons ranger.

Nom	Nombre	A ranger	Armoire	Etagère	Côté	Dimensions
Visseuse Desoutter ELC8 (visseuses 2, 3 & 4)	3	<input checked="" type="checkbox"/>	1	1	Gauche	Voir modèle
Visseuse droite Desoutter ELC15 (visseuses 5 & 6)	2	<input checked="" type="checkbox"/>	1	1	Gauche	Voir modèle
Petit tournevis Desoutter (pour visseuses 2 à 6)	5	<input checked="" type="checkbox"/>	1	2	Droit	10x3x3
Batterie Desoutter 18V 51NR19/66	6	<input checked="" type="checkbox"/>	1	2	Droit	12x7x4
Scanner Zebra SR (vert)	8	<input checked="" type="checkbox"/>	1	3	Gauche	Voir modèle
Batterie Scanner Zebra	8	<input checked="" type="checkbox"/>	1	3	Gauche	8x3x2
Visseuse Desoutter EPBC8 (visseuse 1)	1	<input checked="" type="checkbox"/>	3			Voir modèle
Tablette	6	<input checked="" type="checkbox"/>	3			32x21x3

Tableau 4 : Récapitulatif des pièces à ranger

D. RECHERCHE DE SOLUTIONS

Durant le premier semestre, nous avons rédigé un rapport retraçant une étude bibliographique que nous avons menée. Dans le cadre de ce projet, nos recherches se sont axées sur l'organisation et le rangement du matériel ; l'objectif du rapport était de déterminer une solution de rangement efficace pour la plateforme d'assemblage.

Comment ranger du matériel de façon structurée ? Comment appliquer les méthodes de rangement dans l'industrie ? Comment choisir une méthode de rangement pour ce projet ?

Nous présenterons d'abord les types de rangement classiques avant de décrire les solutions mises en place par les industriels pour ranger des outils. Nous nous intéresserons ensuite aux méthodes de classement du matériel. Enfin, nous définirons des critères avant de faire notre choix quant à la solution à utiliser. [\[Références 3 à 8\]](#)

i. TYPES DE RANGEMENT

Lorsque l'on souhaite ranger du matériel, on envisage naturellement les rangements fixes structurés car c'est le type de rangement que l'on rencontre le plus fréquemment dans notre vie quotidienne. Pour répondre aux besoins des industriels en termes de mobilité et flexibilité, on peut ensuite s'intéresser aux rangements mobiles et modulables. Afin d'éviter de mobiliser inutilement du personnel pour déplacer les rangements, on peut envisager les systèmes de rangement automatisé. Sur une ligne de production, certains outils sont utilisés de manière récurrente et c'est alors au rangement ergonomique que l'on s'intéresse.

a) Le rangement fixe structuré

Au quotidien, les étagères à compartiments spécifiques semblent être le rangement le plus utilisé. Chaque type d'outil ou matériau a un compartiment précis dédié ce qui limite le risque de mélange ou de contamination. La séparation est claire, la gestion des équipements critiques est facilitée mais une planification initiale détaillée est nécessaire.

On peut également penser aux rayonnages fixes qui sont fréquemment utilisés dans les supermarchés ou les entrepôts et semblent plus adaptés à l'usage industriel. Le matériel peut ainsi être facilement séparé et étiqueté pour l'identifier. Cette structure a l'avantage d'être robuste et facile à nettoyer mais est cependant peu flexible en cas d'évolution des besoins.

b) Le rangement mobile et modulable

Les étagères modulables sont conçues pour s'adapter à l'évolution des besoins et permettent ainsi de réorganiser le rangement selon les contraintes de production. Elles permettent de réduire les coûts à long terme et d'économiser de l'espace mais sont moins stables que les structures fixes.

Les chariots de rangement mobiles permettent de transporter et de ranger facilement les équipements à proximité des postes de travail. Cela permet flexibilité et accessibilité rapide mais peut encombrer les espaces restreints ce qui pose des problèmes de sécurité.

c) Le rangement automatisé

Les systèmes de stockage vertical automatisé ou *automated vertical storage systems* utilisent des ascenseurs mécaniques pour stocker et récupérer les matériaux dans des colonnes verticales. Cela permet un gain d'espace considérable et minimise les erreurs humaines mais nécessite un investissement initial élevé.

Les systèmes de convoyeurs automatisés intègrent des solutions de rangement temporaire aux convoyeurs transportant les équipements entre les zones de production et les zones de stockage. Cette solution permet de réduire les manipulations et d'améliorer la traçabilité mais nécessite un entretien régulier.

d) Le rangement ergonomique

Les stations de rangement personnalisées permettent d'équiper chaque poste de travail de supports dédiés (crochets, tiroirs, plateaux inclinés, ...) pour garder les outils essentiels à portée de main. Cela réduit les déplacements inutiles et améliore la sécurité mais reste limité à des outils spécifiques.

ii. SOLUTIONS DE RANGEMENT INDUSTRIEL

Nous nous sommes ensuite intéressés aux dispositifs de rangement déployés dans l'industrie. Ces solutions sont directement applicables dans le cadre de notre projet.

a) Les mousses sur mesure

La première méthode que nous avons identifiée est celle des mousses sur mesure ou *Foam Tool Inserts*. Il s'agit de plaques de mousse à densité variable découpées pour accueillir chaque outil de manière précise. Chaque outil est ainsi placé dans un emplacement qui lui est propre, correspondant exactement à ses contours. En pratique, ces mousses peuvent être placées dans des lieux divers comme des établis ou des tiroirs lors de l'utilisation classique ou temporairement mises dans des caissons de transport pour protéger les outils lors des déplacements. Pour la découpe de mousse, la découpe laser est le procédé d'enlèvement de matière le plus judicieux à utiliser bien que relativement coûteux. Une innovation actuelle consiste à utiliser des mousses multicouches avec des couleurs contrastées pour identifier immédiatement un outil manquant. Cette solution permet de conserver une bonne hygiène en utilisant des matériaux lavables et résistants à l'humidité ou la chaleur. En revanche, cette solution s'avère peu flexible en cas de changement de matériel car il faudra alors refaire intégralement les mousses.

b) Les panneaux muraux

La méthode des panneaux muraux ou *Shadow Boards* consiste à utiliser des panneaux verticaux dans lesquels sont découpées les silhouettes des outils, chaque outil ayant ainsi une place précise. Cette solution est idéale pour les outils fréquemment utilisés devant rester visibles et est couramment utilisée dans les méthodologies Lean et 5S. Cette méthode permet d'optimiser l'espace grâce à un rangement vertical. Cependant, elle nécessite un mur ou une surface verticale à proximité du poste de travail et n'est pas adaptée aux outils de petite taille ou ceux particulièrement volumineux.

c) Les tiroirs compartimentés

Des tiroirs contenant des inserts modulables ou ajustables pour accueillir des outils de tailles et formes variées peuvent être envisageables. La solution des tiroirs compartimentés avec modules adaptatifs est utilisée pour le stockage d'outils dans des environnements restreints et est adaptée pour mettre des outils spécifiques à chaque poste de travail. Elle permet de protéger les outils contre les contaminations mais entraîne un coût supplémentaire pour les modules personnalisables et n'est pas aussi accessible que les panneaux muraux.

d) Les caisses à outils personnalisées

Le matériel peut également être rangé dans des caisses à outils personnalisées dotées de ces mêmes inserts modulables pour assurer le transport sécurisé des outils entre les zones de production. Cette solution est parfaite pour les techniciens mobiles mais est peu pertinente pour les outils fréquemment utilisés en production fixe.

iii. METHODES D'IDENTIFICATION

Nos recherches se sont ensuite axées sur les méthodes d'identification afin de pouvoir facilement reconnaître les outils.

a) L'étiquetage manuel

Une solution naturelle pour classer le matériel est de mettre des étiquettes sur chaque outil et d'établir un code pour référencer chaque outil. Ainsi, la position précise du matériel serait indiquée dans un tableur et il serait rapide de savoir où ranger un outil. Cependant, cette méthode nécessite une préparation conséquente puisqu'il faut effectuer un inventaire du matériel, définir le code, l'appliquer à chaque outil, réaliser les étiquettes et enfin coller les étiquettes. En cas de changement du matériel, il faudra refaire manuellement toutes ces étapes.

b) L'étiquetage numérique

Intégrer des technologies RFID, codes-barres ou QR codes aux mousses, panneaux ou tiroirs permet de suivre les outils rangés et de les identifier. Cela peut également permettre de gérer les outils critiques et coûteux ainsi que de réaliser un suivi des emprunts et retours. Cette méthode a l'avantage de garantir une traçabilité optimale et d'identifier rapidement les outils manquants tout en réduisant les pertes et erreurs humaines. Cependant, elle ajoute du matériel électronique qui est potentiellement incompatible avec certains environnements industriels et nécessite un investissement pour la technologie et la formation. Il faut également gérer toute l'interface numérique et recenser tout le matériel au préalable.

c) La méthode Kanban

Le système Kanban est utilisé pour le rangement des consommables ; les cartes Kanban permettent de signaler automatiquement quand un réapprovisionnement est nécessaire. Cela évite les ruptures de stock et facilite la rotation des équipements mais nécessite une discipline rigoureuse.

iv. SYNTHESE ET CHOIX DE LA SOLUTION

Afin de choisir une solution de rangement à utiliser pour notre projet, nous avons défini des critères de choix. Nous souhaitons identifier les outils manquants d'un simple coup d'œil (critère 1) afin de se rendre compte des vols ou pertes. Nous voulons également assurer la sécurité du matériel notamment la protection contre les chocs (critère 2) et la possibilité de mettre sous clé les outils (critère 3). Le matériel doit pouvoir être facilement transporté (critère 4) de l'armoire où il est rangé aux postes de la ligne de production. On souhaite maintenir le prix (critère 5) le plus faible possible. La flexibilité (critère 6) de la solution quant au changement ou au renouvellement du matériel peut également consister un critère de choix.

	1	2	3	4	5	6
Mousses sur mesure	✓	✓	✓	≈	✗	✗
Panneaux muraux	✓	✗	✗	≈	≈	✗
Tiroirs compartimentés	≈	✓	✓	✓	≈	✓
Caisses à outils perso.	≈	✓	✓	✓	≈	≈

Tableau 5 : Evaluation critériée des solutions

La solution des panneaux muraux est écartée car elle ne remplit pas assez de critères et n'est pas implémentable dans notre cas car certains outils sont particulièrement volumineux.

Dans le cadre du projet, nous disposons de deux grandes armoires munies d'étagères pour stocker le matériel. Nous pouvons ainsi écarter les caisses à outils personnalisées qui ne semblent pas adaptées car le transport des outils ne s'effectuera que sur des courtes distances et que la composition des caisses à outils n'est pas modifiable ce qui ne convient pas dans le cadre des travaux pratiques où le matériel change à chaque séance.

Nous décidons alors d'opter pour un mélange des deux solutions restantes : les mousses sur mesure comportant le matériel fréquemment utilisé seront stockées dans des bacs transportables (assimilables aux tiroirs compartimentés) dans les armoires. Ainsi le transport des outils est assuré et la flexibilité est en partie respectée. Le prix est alors le seul critère non réellement satisfait mais aucune solution ne permettait de satisfaire totalement ce critère.

Nous devons également choisir une solution pour classer le matériel. La méthode Kanban n'est pas adaptée car les outils ne sont pas des consommables qu'il faut renouveler. L'étiquetage numérique constitue une option intéressante mais afin de gagner du temps, nous optons pour l'étiquetage manuel.

E. ORGANISATION DE L'ESPACE

i. ORGANISATION DE L'ARMOIRE

Une problématique majeure de notre projet est de déterminer comment répartir les outils dans l'armoire. Les outils fréquemment utilisés doivent être plus accessibles que les autres. En cours d'Organiser Entreprise (OREI), nous avons étudié une méthode d'organisation de l'espace : la méthode KING [Glossaire 9]. Celle-ci propose une disposition des postes de travail dans un atelier : les postes sont agencés pour économiser le temps de trajet d'un en-cours entre deux postes et optimiser leur accessibilité. [Référence 9]

Notre problème d'aménagement peut se transposer à cette situation d'aménagement d'atelier.

	Situation prévue par KING	Notre PJT
Espace à aménager	Atelier	Étagères de l'armoire
Éléments à disposer	Postes de travail	Outils de TP
Éléments circulant	Pièces à réaliser	Scénarios de TP

Tableau 6 : Correspondances entre la méthode KING et notre projet

L'algorithme fonctionne en pondérant plus ou moins chaque poste en fonction de leur fréquence d'apparition dans les différents processus de fabrication des pièces à réaliser. Dans notre cas, nous augmentons l'importance d'un outil lorsque celui-ci apparaît dans un scénario.

Malheureusement, nous n'avons pas eu accès à temps aux scénarios de travaux pratiques et nous n'avons donc pas pu appliquer cette méthode pour l'armoire. Cependant, un de nos encadrants, Pr. DANTAN, nous a proposé de poursuivre nos réflexions d'aménagement d'espace. Nous nous sommes alors concentrés sur l'organisation de la ligne d'assemblage.

ii. ORGANISATION DE LA LIGNE D'ASSEMBLAGE

La ligne d'assemblage est utilisée pour simuler le travail des opérateurs par les élèves dans le cadre du cours OREXA. Dans ce but, trois scénarios ont été imaginés pour réaliser un même produit ; nous nous intéresserons ici à la réalisation d'un vérin.

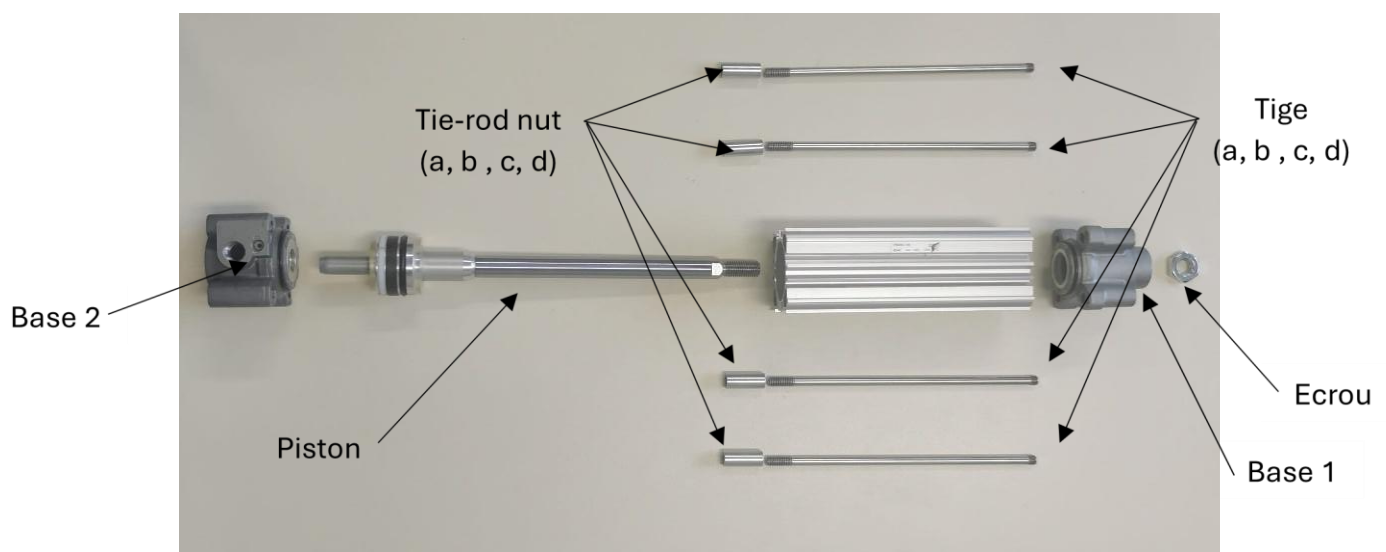


Figure 8 : Photo du vérin éclaté

En prenant connaissance de ces scénarios, nous avons identifié leurs points communs. Beaucoup d'opérations sont communes mais l'ordre d'exécution des étapes diffère.

Premier scénario	Deuxième scénario	Troisième scénario
<ul style="list-style-type: none"> - Placer la base 2 dans le support - Insérer le piston dans la base 2 (partie courte de la tige en avant) - Rajouter le corps en accordant les parties plates - Placer les 4 tiges dans le corps - Rajouter la base 1 - Visser l'écrou dans le piston côté base 1 - Retourner l'ensemble - Visser les 4 Tie-rod nut dans la base 2 	<ul style="list-style-type: none"> - Placer la base 1 dans le support - Insérer le piston dans la base 1 - Rajouter le corps en accordant les parties plates - Introduire les tiges a, b, c et d - Rajouter la base 2 - Visser les 4 Tie-rod nut dans base 2 - Retourner l'ensemble - Visser l'écrou dans le piston côté base 1 	<ul style="list-style-type: none"> - Visser la tige dans la base 2 - Insérer le piston dans la base 2 - Introduire les tiges dans le corps - Positionner la base 1 - Visser les 4 Tie-rod nut dans la base 2 - Retourner l'ensemble - Visser l'écrou dans le piston côté base 1

Tableau 7 : Récapitulatif des scénarios

a) Organisation de la ligne d'assemblage

Comment organiser la ligne pour qu'elle soit adaptée à chaque scénario de fabrication ?

Les trois scénarios ont plusieurs étapes communes. Ils se différencient surtout par l'ordre chronologique de celles-ci. Nous pouvons imaginer affecter chaque tâche à un poste de travail. Pour cela il est nécessaire de déterminer l'ordre de passage de la pièce sur chaque poste. Un poste pourra réaliser plusieurs étapes. Notons que chaque méthode requiert la réalisation en amont de l'ensemble mobile (ou piston). On dédie alors un poste à l'assemblage de ce piston.

b) Méthode des antériorités appliquée au problème d'aménagement

Cette méthode prend en compte la liste des tâches à réaliser pour chaque scénario dans l'ordre chronologique. Le nombre n sur la colonne S_j et sur la ligne T_i signifie que l'étape T_i est la n -ième étape du scénario S_j .

Tâches à réaliser	Scénario 1 (S1)	Scénario 2 (S2)	Scénario 3 (S3)
T1 : Introduire les tiges dans le corps	4	4	
T2 : Insérer le piston dans la base	2	2	2
T3 : Placer la base dans le support	1	1	
T4 : Ajouter le corps	3	3	3
T5 : Ajouter la deuxième base	5	5	4
T6 : Visser l'écrou (coté base 1)	6	8	7
T7 : Retourner l'assemblage	7	7	6
T8 : Visser les Tie-rod nut dans la base 2	8	6	5
T9 : Visser les tiges dans la base 2			1

Tableau 8 : Bilan des tâches à réaliser

Ce bilan permet d'établir le tableau des antériorités suivant :

	S1	S2	S3
P1	T3	T3	T9
P2	T2	T2	T2
P3	T4	T4	T4
P4	T1	T1	T5
P5	T5	T5	T8
P6	T6	T8	T7
P7	T7	T7	T6
P8	T8	T6	

Tableau 9 : Table des antécédents

A partir du tableau des antécédents, nous pouvons réaliser un second tableau qui permet de modéliser les différents liens d'antécédents par des croix. Une croix dans la colonne T_i et sur la ligne T_j signifie que l'étape T_i précède au moins une fois directement l'étape T_j .

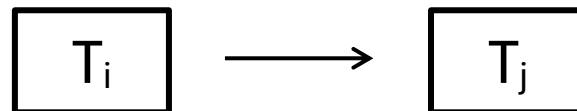


Figure 9 : Lien d'antécédent

On peut ensuite appliquer la méthode des antécédents dont le principe est itératif, c'est-à-dire qu'on va reproduire les trois étapes jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de croix dans le tableau.

1. Repérer la ou les ligne(s) avec le moins de croix
2. Sélectionner la ou les tâche(s) correspondante(s)
3. Supprimer toutes les croix qui se trouvent dans les lignes et colonnes associées

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
T1				X					
T2			X						X
T3									
T4		X							
T5				X					
T6					X		X		
T7						X		X	
T8					X		X		
T9									

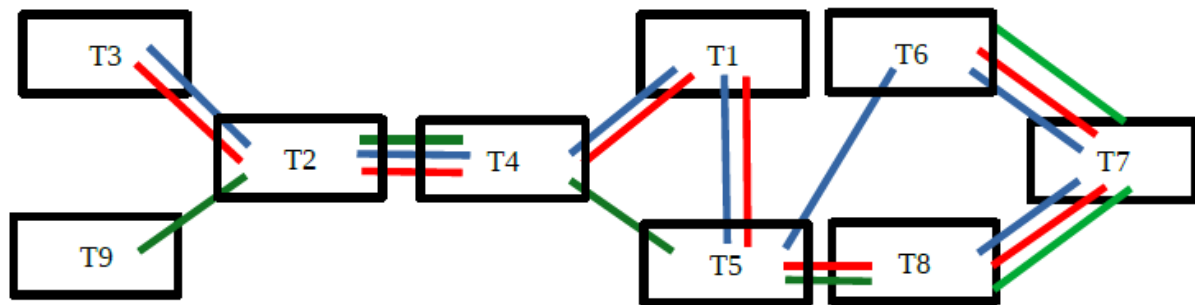
Tableau 10 : Implémentation de la méthode des antécédents

On obtient ainsi une première représentation de la répartition des tâches dans l'ordre.

T3	T2	T4	T1	T6	T7
T9			T5	T8	

Tableau 11 : Répartition des tâches dans l'ordre

Vérifions que cet agencement est compatible. Voici la trajectoire de chaque pièce lors de sa réalisation.



Légende :

— Scénario 1 — Scénario 2 — Scénario 3

Figure 10 : Simulation de la production suivant les trois scénarios

On voit que les tâches T6, T7 et T8 doivent être au même endroit ; elles seront donc effectuées sur le même poste. On peut alors répartir les neuf tâches sur trois postes différents qui seront situés sur la ligne. Dans cette configuration, on s'assure que la pièce ne fera qu'avancer et ne reviendra pas en arrière.

Poste 1	Poste 2	Poste 3
T3 ; T9 ; T2	T4 ; T1 ; T5	T6 ; T7 ; T8

Tableau 12 : Répartition des tâches sur les postes de la ligne d'assemblage

Cette organisation demanderait l'activité de quatre opérateurs aux postes de travail. Le premier ne changerait jamais et serait toujours consacré au montage du vérin.

Outre la chronologie des étapes, il faut aussi s'intéresser à leur temps de réalisation. Ainsi, on pourrait limiter le temps d'attente d'un poste et équilibrer la chaîne. Mme PETRONIJEVIC nous a donné le temps de réalisation de chaque tâche sans prendre en compte le picking [\[Glossaire 10\]](#).

Tâches	Description des tâches	Temps de réalisation (s)
T1	Introduire les tiges dans le corps	72,42
T2	Insérer le piston dans la base	14,37
T3	Placer la base dans le support	1,97
T4	Ajouter le corps	4,54
T5	Ajouter la deuxième base	7,38
T6	Visser l'écrou (coté base 1)	7,91
T7	Retourner l'assemblage	1
T8	Visser les Tie-rod nut dans la base 2	84,9
T9	Visser les tiges dans la base 2	72,42

Tableau 13 : Temps de réalisation de chaque tâche

On souhaite répartir les étapes entre les postes de manière équilibrée pour chaque scénario. On utilise la répartition présentée au tableau 8 et on vérifie qu'elle satisfait cette condition.

	Temps Poste 1 (s)	Temps Poste 2 (s)	Temps Poste 3 (s)
Méthode 1	16,34	84,34	93,81
Méthode 2	16,34	84,34	93,81
Méthode 3	86,79	11,92	93,81

Tableau 14 : Temps pour chaque poste selon les différentes méthodes

Pour équilibrer la chaîne dans les méthodes 1 et 2, on donnerait plus de tâches au premier poste. Pour la méthode 3, on donnerait plus de tâches au deuxième poste.

c) Eléments constitutifs

L'approvisionnement des postes en composants est à prendre en compte dans la fabrication de la pièce. Deux configurations différentes peuvent être envisagées. On s'intéresse d'abord à la configuration de la ligne avec les postes fournis au fur et à mesure. On se concentre ensuite sur la configuration de la ligne avec tous les éléments qui sont transférés d'un poste à l'autre avec la pièce.

Avec la configuration définie par la méthode des antériorités, les éléments fournis sur un poste sont toujours les mêmes (peu importe le scénario choisi). En choisissant d'alimenter les postes au fur et à mesure de l'avancée, il ne serait pas nécessaire de réaménager la ligne pour changer de scénario. De plus, le plateau support ne serait pas encombré par des éléments perturbateurs et inutiles à l'étape en cours.

On peut aussi imaginer garnir complètement le support avant l'assemblage. Ce choix permettrait de n'avoir qu'un seul poste à fournir en éléments. De plus, les éléments seraient plus accessibles à l'opérateur car plus proches dans l'espace, ce qui diminuerait le temps entre chaque étape. Il faudrait alors prendre en compte cette nouvelle étape dans la méthode des antériorités. Elle serait commune à tous les scénarios et pourrait être réalisée sur le poste d'assemblage du vérin.

iii. ORGANISATION DES BACS

Après avoir déterminé que nous souhaitons utiliser des mousses sur mesure stockées dans des bacs transportables, nous nous sommes intéressés à nouveau à l'organisation des outils et notamment de ces bacs. D'après l'inventaire précédemment réalisé, nous avons déterminé trois configurations distinctes de bacs selon les différentes visseuses utilisées. Le nombre de bacs associé à chaque modèle correspond au nombre de ce type de visseuse utilisé.

Modèle 1 (3 bacs)	Modèle 2 (1 bac)	Modèle 3 (2 bacs)
Visseuse Desoutter ELC8 (2/3/4) Batterie Desoutter 18V Scanner Zebra SR Batterie Scanner Zebra Tablette Petit tournevis Desoutter	Visseuse Desoutter EPBC8 (1) Batterie Desoutter 18V Scanner Zebra SR Batterie Scanner Zebra Tablette	Visseuse Desoutter ELC15 (5/6) Batterie Desoutter 18V Scanner Zebra SR Batterie Scanner Zebra Tablette Petit tournevis Desoutter

Tableau 15 : Composition des bacs

Les bacs ne sont pas les seuls éléments qui doivent être rangés dans l'armoire mais ce sont les plus fréquemment utilisés. Nous avons donc choisi de les positionner sur les étagères centrales afin qu'ils soient facilement accessibles et visibles. Les autres éléments sont donc stockés en haut et en bas des armoires, les plus centrés étant les plus utilisés pour permettre un accès facile. Les éléments les moins utilisés se trouvent sur l'étagère la plus basse des armoires.

F. MODELISATION 3D

Nous nous sommes enfin intéressés à la modélisation des outils et à la conception des mousses. Nous avons utilisé le logiciel de Conception Assistée par Ordinateur [Glossaire 11] CATIA.

i. RECHERCHE DES MODELES 3D

Pour modéliser les outils, nous avons distingué plusieurs cas. Les outils ayant des formes simples comme les tablettes et les batteries ont été modélisés par des volumes parallélépipédiques. D'autre part, pour certains outils standardisés comme les visseuses et les tournevis, nous avons pu trouver en ligne des modèles 3D que ce soit sur les sites des fabricants (Desoutter, Zebra) ou bien sur des sites spécialisés (Traceparts, 3DFindit).

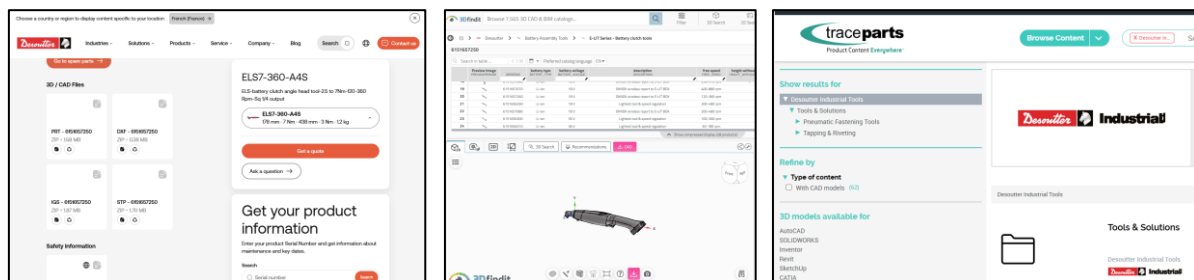


Figure 11 : Récupération des modèles 3D sur Desoutter, 3DFindit, Traceparts

Finalement, la pièce aux formes compliquées (les scanners Zebra) dont nous n'avons pas réussi à trouver les modèles sur Internet, a été scannée dans les ateliers de l'école et nous avons obtenu des fichiers en format stéréolithographiques [Glossaire 12] (format .stl).

ii. CONCEPTION 3D DES MOUSSES

Après avoir obtenu les modèles 3D des outils à ranger, nous nous sommes intéressés à la conception 3D des mousses. Nous avons commencé par réaliser des schémas d'agencement des outils dans la mousse, et ce pour chaque modèle de boîte. En effet, comme nous l'avons indiqué dans le [tableau 15](#), il y a un modèle de boîte par type de visseuse.

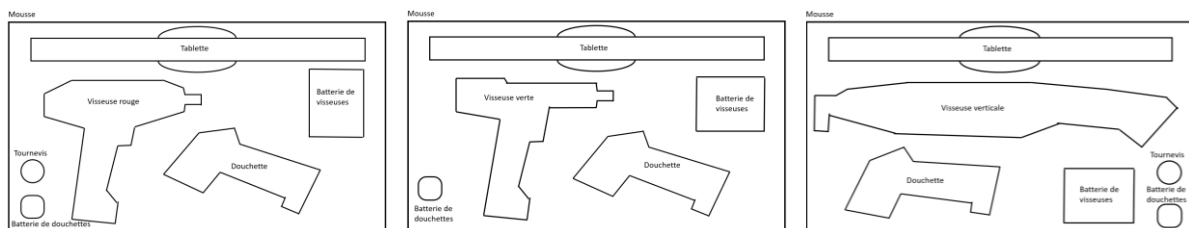


Figure 12 : Schémas d'agencement des mousses

Nous nous sommes ensuite intéressés à la réalisation de ces trois modèles de mousse. Nous devons pour cela modéliser les mousses originelles par des rectangles et découper les formes des outils dans la mousse sur le logiciel.

Pour les outils aux formes complexes, il était au départ prévu de sélectionner directement le volume de la pièce et de le soustraire dans la mousse. Cependant, après réflexion, nous nous sommes rendu compte qu'il était plus simple de créer une esquisse d'un profilé choisi de l'outil et de réaliser ensuite une poche dans la mousse. Ainsi, la mousse demeure réalisable par découpe laser puis superposition des différentes couches. Cette méthode permet également que l'outil puisse être inséré et retiré de son enveloppe. Nous avons par ailleurs étudié minutieusement les esquisses afin de s'assurer que l'outil positionné ainsi dans la mousse était dans une position d'équilibre.

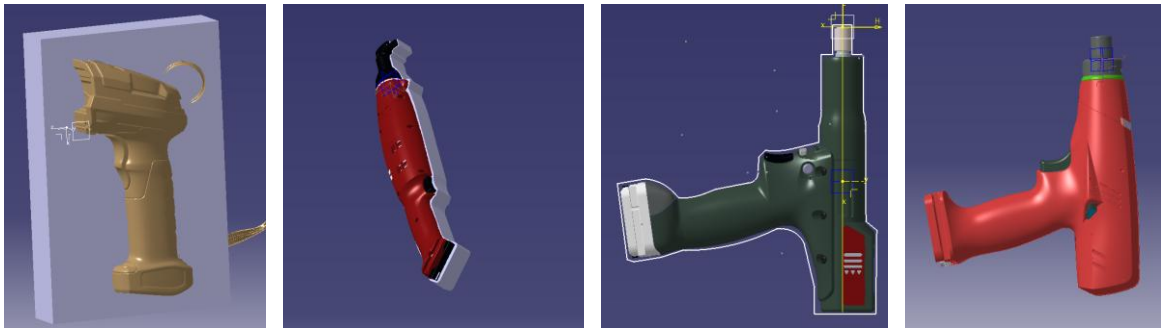


Figure 13 : Profilage 3D des pièces

Par la suite, nous avons créé un fichier de mousse pour chaque agencement dans lequel nous avons importé les esquisses obtenues pour les soustraire à la mousse. De nombreuses difficultés ont été rencontrées notamment à cause des fichiers .stl qui ne permettaient pas de réaliser la soustraction de matière. Nous détaillerons ces difficultés dans la partie [problèmes rencontrés](#).

Une fois les blocs obtenus, nous avons enlevé des parties volumineuses de matière qui se révélaient inutiles, comme indiqué sur la figure suivante. Les mousses étant coûteuses, il est plus judicieux de remplacer ces zones par de la matière plus économique et plus facile à obtenir.

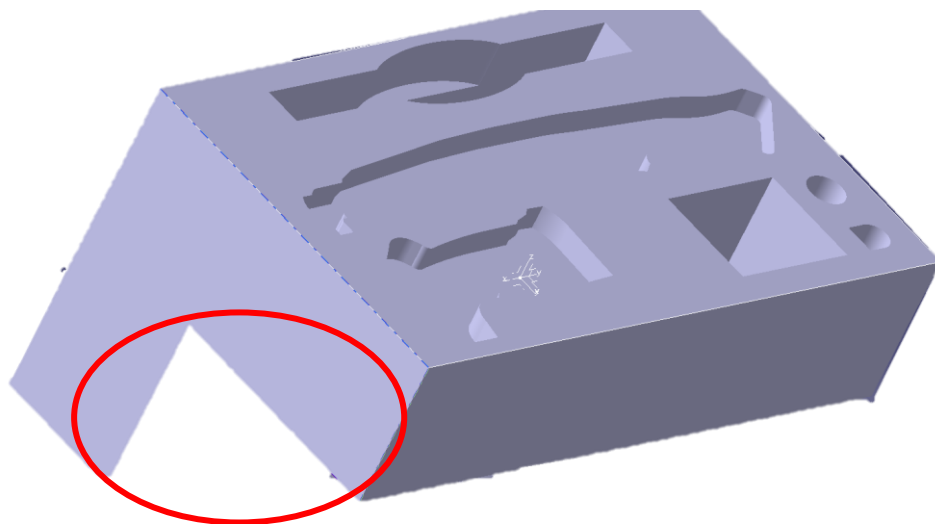


Figure 14 : Soustraction des zones volumineuses inutiles

Nous avons finalement obtenu trois modèles de mousse en 3D qui permettraient de réaliser concrètement les différentes caisses en découpant au laser les différentes couches de mousse avant de les superposer et de les assembler.

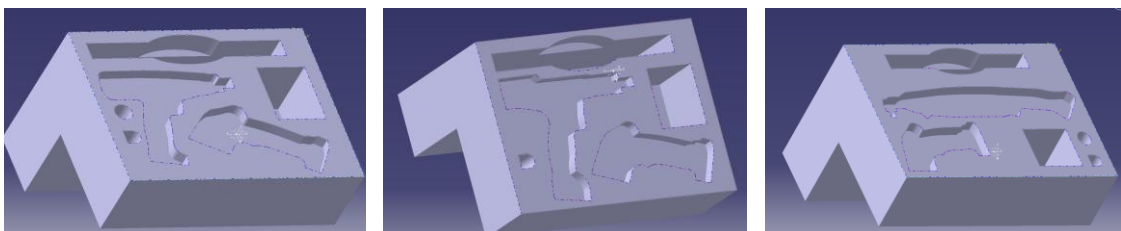


Figure 15 : Modèles 3D finaux des mousses

III. ABOUTISSEMENT DU PROJET

A. PROBLEMES RENCONTRES

Au cours de notre projet, nous avons rencontré quelques difficultés, souvent liées à des contraintes extérieures. Nous ne nous sommes pas arrêtés face à ces problèmes et n'avons pas hésité à demander de l'aide aux professeurs. Cependant, certaines difficultés nous ont fait perdre un temps considérable, ce qui a perturbé l'aboutissement du projet.

i. MODELISATION 3D

Nous avons tout d'abord rencontré des difficultés pour trouver des modèles 3D exploitables pour les différents outils. En effet, certains fichiers n'étaient pas téléchargeables sur nos ordinateurs personnels ou bien ne s'ouvraient pas correctement. Cependant, les fichiers se téléchargeaient sans problème sur l'ordinateur de notre encadrant qui nous les a donc envoyés par la suite.

Une autre difficulté est survenue lors de la partie conception 3D des mousses, lorsque nous souhaitions exploiter le modèle scanné du Scanner Zebra au format .stl . En effet, pour pouvoir soustraire la matière d'un modèle, il nous fallait à priori un volume alors que le modèle scanné contenait uniquement un ensemble de surfaces. Nous avons demandé de l'aide aux différents professeurs de CAO qui nous ont donné différentes solutions [\[Annexe 3\]](#). Finalement, nous avons réussi à importer une esquisse du modèle .stl sur le fichier de la mousse.

Nous avons ensuite rencontré une difficulté pour importer les fichiers CAO des outils dans les fichiers des mousses. En effet, les esquisses des outils n'étaient pas correctement placées dans le repère. Avec l'aide de M Baudoin, nous avons réussi à changer le repère des esquisses et ainsi positionner correctement les soustractions de matière dans la mousse.

ii. OBTENTION DE DONNEES CONCRETES

Tout au long du projet, nous avons rencontré des difficultés pour obtenir des données concrètes. Pour l'organisation de l'armoire, nous devions utiliser la méthode King pour déterminer comment ranger les outils par fréquence d'utilisation. Cependant, les professeurs responsables de la plateforme d'assemblage n'ont pas pu établir les sujets de travaux pratiques. Nous avons donc changé de stratégie et nous sommes intéressés à l'organisation de la ligne d'assemblage sur leurs conseils.

Lorsque nous avons souhaité commander les bacs et les mousses, nous avons manqué de précision sur les dimensions attendues et les fournisseurs partenaires à utiliser. La communication espacée avec notre encadrant et une mauvaise compréhension de ses attendus de notre part ont malheureusement rendu impossible la réalisation matérielle du système de rangement avec les mousses.

B. PERSPECTIVES D'ÉVOLUTIONS

i. RÉALISATION DES MOUSSES

Nous n'avons malheureusement pas réussi à atteindre les objectifs que nous nous étions fixés, à savoir découper et assembler les mousses ainsi que ranger le matériel dans l'armoire. Cependant, nous avons réussi à concevoir le dispositif de rangement ainsi que l'organisation des outils, ce qui répond donc à notre problématique. Une perspective d'évolution serait donc de commander les bacs et les couches de mousses avant de les découper et de les assembler pour pouvoir ranger le matériel.

ii. ORGANISATION DES OUTILS

Un autre regret que nous avons est de ne pas avoir pu organiser les outils par fréquence d'utilisation. Ainsi, lorsque dans le futur les sujets de TP seront disponibles, il serait judicieux de réaliser une nouvelle disposition des outils afin que chaque bac corresponde à un TP. De cette façon, il y aurait moins de matériel sorti et moins de chance de l'endommager (perte, casse, vol).

iii. RECENSEMENT DU MATÉRIEL

Enfin, une idée que nous avons eu en début de projet était de personnaliser les armoires en ajoutant notamment des rangements à l'extérieur pour pouvoir stocker les sujets de TP dans un lutin ou un classeur. Nous avons également pensé à assurer le recensement du matériel en réalisant un étiquetage manuel mais il serait également possible d'utiliser un système de code-barres afin que le recensement soit automatisé.

IV. CONCLUSIONS DU PROJET

Ce projet nous a beaucoup apporté tant sur le plan humain que scolaire. Il nous a permis de mettre en application certains des cours dispensés aux Arts et Métiers, d'acquérir des nouvelles connaissances et de développer de nouvelles compétences.

A. MISE EN APPLICATION DES COURS

i. CONCEVOIR PRODUIT (COPI)

Le projet nous a permis de mettre en application le cours d'analyse fonctionnelle dispensé dans le cadre de l'unité d'enseignement Concevoir Produit (COPI). En effet, nous avons réalisé un certain nombre de diagrammes et tableaux propres à l'analyse fonctionnelle : bête à cornes, pieuvre, cahier des charges fonctionnel, hiérarchisation des fonctions. Le projet nous a permis de mieux comprendre la démarche de l'analyse fonctionnelle en l'appliquant à un système totalement différent de ceux avec lesquels nous avons l'habitude de travailler.

ii. ORGANISER ENTREPRISE (OREI)

Nous avons également pu appliquer le cours d'Organiser Entreprise (OREI) en utilisant deux méthodes vues en exercice dirigé : la méthode King et la méthode des antériorités. Bien que nous ne nous placions pas dans le cadre privilégié d'application de ces méthodes, nous avons réussi à les appliquer pour déterminer comment organiser la ligne d'assemblage et l'armoire.

iii. CONCEPTION ASSISTEE PAR ORDINATEUR (CAO)

Ce projet nous a finalement permis d'appliquer les cours de Conception Assistée par Ordinateur (CAO). Ce cours, dispensé lors du semestre GIM (Ingénierie Mécanique), nous a permis d'apprendre à nous servir du logiciel CATIA et nous avons pu l'utiliser pour réaliser les esquisses des outils et pour concevoir les mousses en 3D. C'est pour cette raison que le projet nécessitait des étudiants en semestre GIM au début de l'année.

B. ACQUISITION DE NOUVELLES CONNAISSANCES

i. CONCEPTION ASSISTEE PAR ORDINATEUR (CAO)

Nous avons pu élargir nos connaissances en CAO en inversant la matière afin de pouvoir découper les silhouettes des objets dans les mousses. Cela ne nous avait pas été enseigné lors des cours et a donc constitué une recherche personnelle. Nous avons pour cela eu besoin de l'aide des professeurs spécialisés en CAO que nous avons quelques fois sollicités afin de nous aider dans cette démarche.

ii. REALISATION D'UNE ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Nous avons également appris à réaliser une étude bibliographique. Nous avons pour cela mené des recherches poussées sur un sujet et avons pu apprendre à utiliser le logiciel Zotero pour noter les références bibliographiques.

iii. LEAN MANAGEMENT ET RANGEMENT INDUSTRIEL

Notre projet nous a permis de nous renseigner sur le Lean management et la méthode des 5S au travers de l'étude bibliographique que nous avons menée. Nous avons également acquis des connaissances sur les solutions de rangement industriel.

C. DEVELOPPEMENT DE NOUVELLES COMPETENCES

i. REALISATION D'UN POSTER INTERACTIF

Grâce au projet, nous avons appris à créer un poster interactif. En effet, le poster ne devait théoriquement comporter qu'une seule slide mais en intégrant des liens, nous avons réussi à faire une présentation complète.

ii. PREPARATION AU MONDE DE L'ENTREPRISE

De plus, le projet nous a permis de mieux nous préparer au monde de l'entreprise. Nous avons en effet dû nous organiser de façon autonome en groupe. Pour cela, il nous a fallu se répartir les tâches intelligemment et savoir se mettre au travail spontanément. Nous avons également dû effectuer des retours réguliers à notre encadrant.

iii. REALISATION D'UNE ETUDE DE MARCHÉ

Nous avons également pu réaliser une étude de marché dans le cadre du projet. En effet, lorsque nous nous sommes intéressés à la commande des bacs et des mousses, nous avons exploré plusieurs sites pour déterminer les bacs et mousses les plus adaptés à notre projet. Malheureusement, nous avons par la suite eu connaissance de l'obligation de passer des commandes uniquement par le biais des fournisseurs partenaires ENSAM et nous avons dû répéter l'opération.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] *100 questions pour comprendre et agir : Analyse fonctionnelle*, Robert Tassinari. Afnor, 2012.
- [2] *La Boîte à outils du Lean*, Radu Demetrescoux. Editions Dunod, 2023.
- [3] *Lean Manufacturing Tools*, Lean Enterprise Institute, 2022.
- [4] *Automated Vertical Storage Systems*, Industrial Automation Journal, 2021.
- [5] *Best Practices in Cleanroom Organization*, Clean Manufacturing Magazine, 2020.
- [6] *5 solutions pour optimiser vos espaces de stockage*, Actiflip, 2018.
- [7] *Du chaos à l'ordre : 15 idées brillantes de rangement pour outils*, Tinktube, 2019.
- [8] *Outillage et conseil de qualité*, Placide.
- [9] *Implantation d'atelier*, Franck Fontanili – Centre de Génie Industriel, 2013.

GLOSSAIRE

- [1] ELF (Evolutive Learning Factories) : programme de l'école d'ingénieurs Arts et Métiers visant à transformer les plateformes éducatives pour répondre aux enjeux de l'industrie du futur.
- [2] Diagramme de Gantt : outil permettant de visualiser dans le temps les différentes tâches d'un projet. Il permet de représenter graphiquement l'avancement d'un projet et d'assurer la communication au sein d'une équipe de projet.
- [3] Analyse fonctionnelle : démarche qui consiste à rechercher et caractériser les fonctions offertes par un produit pour satisfaire les besoins de son utilisateur.
- [4] Diagramme « bête à cornes » : graphique permettant de savoir si un produit ou service répond aux besoins des utilisateurs.
- [5] Diagramme « pieuvre » (ou graphe des interactions) : graphique représentant les relations existant entre un produit ou service et son environnement.
- [6] Cahier des charges fonctionnel (CDCF) : document formalisant un besoin, en détaillant les fonctionnalités attendues du produit ou service ainsi que les contraintes auxquelles il est soumis.
- [7] Méthode 5S : pratique d'optimisation des conditions et de l'environnement de travail reposant sur cinq étapes clés : Seiri (trier), Seiton (ranger), Seiso (nettoyer), Seiketsu (standardiser), Shitsuke (maintenir).
- [8] Lean Management : méthode de gestion de la production visant à améliorer les performances d'une entreprise en éliminant les gaspillages. « lean » signifie maigre en anglais et représente donc cette volonté d'alléger l'entreprise de ce qui la ralentit.
- [9] Méthode KING : méthode utilisée pour l'implantation d'îlots de production. Elle vise à améliorer la gestion des flux, réduire les stocks et optimiser l'occupation des surfaces.
- [10] Picking (ou préparation de commandes) : opération qui consiste à prélever la quantité d'articles spécifiée par la commande et à les assembler pour former un lot.
- [11] Conception Assistée par Ordinateur (CAO) : technologie permettant de concevoir, de tester virtuellement et de réaliser un produit manufacturé ainsi que les outils pour le réaliser.
- [12] Stéréolithographie : technique utilisée pour l'impression 3D permettant de fabriquer un objet solide à partir d'un modèle numérique, par superposition de fines couches de matière.

ANNEXES

TABLE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : PLATEFORME D'ASSEMBLAGE	31
ANNEXE 2 : ANALYSE FONCTIONNELLE	32
ANNEXE 3 : RESOLUTION DU PROBLEME D'EXPLOITATION DES FICHIERS .STL	33

ANNEXE 1 : PLATEFORME D'ASSEMBLAGE



Figure 16 : Photographie de la plateforme d'assemblage

La plateforme d'assemblage se trouve dans la salle B164 sur le campus des Arts et Métiers de Metz. Elle a été implémentée dans le cadre du projet Evolutive Learning Factories (ELF). La plateforme d'assemblage permet de réaliser des travaux pratiques d'organisation industrielle et de conception des systèmes de production.

La plateforme d'assemblage est composée de postes (matérialisés par les plateaux jaunes) qui sont alimentés en composants par des chariots équipés de bacs. Ces bacs sont remplis en début ou bien en cours de séance grâce au magasin, un grand chariot qui sert de rangement pour les composants. Pour le matériel plus volumineux et coûteux, deux grandes armoires noires sont situées au fond de la salle (à droite, derrière l'écran géant sur la photographie). L'objectif de notre projet est donc d'agencer le contenu de ces armoires et d'élaborer un dispositif de rangement pour le matériel.

ANNEXE 2 : ANALYSE FONCTIONNELLE

1. A qui le produit « rend-il service » ?

Le produit rend service au professeur responsable des travaux pratiques réalisés sur la ligne d'assemblage ainsi qu'aux élèves participant à ces travaux pratiques.

2. Sur quoi agit-il ?

Il agit sur le matériel utilisé lors des travaux pratiques.

3. Pour faire quoi ?

Pour ranger efficacement le matériel.

4. Dans quel but ?

Dans le but de faciliter la gestion du matériel.

5. Pourquoi ?

Parce que les travaux pratiques nécessitent du matériel spécifique qui doit être stocké et sécurisé.

6. Quand ?

Le stockage s'effectue en permanence sauf pendant les travaux pratiques où le matériel nécessaire est utilisé.

7. Où ?

Dans la salle de la plateforme d'assemblage (B164), dans les armoires.

8. Quelles causes pourraient faire disparaître le besoin ?

Le besoin pourrait disparaître si les travaux pratiques sont supprimés ou ne nécessitent plus de matériel.

9. A quelles échéances prévisibles ?

Il y aurait un an de battement au minimum.

10. Avec quelles probabilités ?

La probabilité est très faible.

11. Quelles causes pourraient faire évoluer le besoin ?

Le besoin pourrait évoluer si les travaux pratiques sont modifiés ou que le matériel change.

12. A quelles échéances ?

Il y aurait un an de battement au minimum.

13. Avec quelles probabilités ?

La probabilité est relativement faible.

ANNEXE 3 : RESOLUTION DU PROBLEME D'EXPLOITATION DES FICHIERS .STL

Nous avons demandé de l'aide aux professeurs de CAO – MM. Matheis et Naegelen, qui nous ont indiqué qu'il n'existait pas de méthode pour obtenir un volume à partir d'un fichier .stl sans reconstruire manuellement toute la pièce. Cette option a cependant été vite écartée car elle aurait été trop compliquée à réaliser et peu productive.

Un troisième professeur, M. Godot, nous a fait part de deux solutions possibles :

La première option était de créer l'empreinte du .stl avec une multitude de facettes. L'avantage serait d'avoir un rendu esthétique et une empreinte du Scanner précise dans la mousse. Malheureusement, ce fichier ne serait pas exploitable étant donné que la machine prendrait trop de temps pour usiner la mousse et que des angles vifs empêcheraient la fabrication.

La seconde solution était de créer une esquisse à partir d'une coupe du Scanner sur la mousse et de faire une poche simple. Dans ce cas-là, il faudrait trouver une position d'équilibre de la douchette sur une surface plane, étant donné que le fond de la poche sera plan.

Nous avons opté pour la deuxième option et avec l'aide de MM. Godot et Baudoin, nous sommes parvenus à créer une esquisse du modèle .stl en détournant l'outil scanné que nous avons par la suite importé sur le fichier de la mousse.