UNIVERSITÉ DE REIMS CHAMPAGNE-ARDENNE

Sujet 3 :

Utilisation du robot Ned2 pour placer un carton de dimensions 25 x 25 mm dans les boîtes de granules. Le convoyeur du robot Ned2 représentera le convoyeur de la cfp.

Problématique :

Comment intégrer le robot Ned2 dans la cellule flexible de production afin de placer un carton dans chaque boîte de granule passant sur le convoyeur ?



IUT Troyes
Génie Mécanique et Productique

AYACHI Mathis – LEROY Laurette – VERNOUX Adam – SIMON Nays

Semestre 3

Année 2024/2025

Table des matières

Table des matières 2

INTRODUCTION 3

I) ORGANISATION DES TÂCHES ET PLANNING PRÉVISIONEL 4

II) ANALYSE FONCTIONNELLE 8

1) Diagramme bête à cornes 8

2) Diagramme pieuvre 9

3) Cahier des charges fonctionnel (Cdcf) 10

4) Méthode FAST 11

5) Méthode SADT 13

III) SOLUTIONS ET CONCEPTION 14

1) Recherches de solutions : les avantages et inconvénients 14

a) Fonction principale 14

b) Fonction contrainte 1 : connexion à l'énergie 14

c) Fonction contrainte 2 : préhension du carton 15

d) Fonction contrainte 3 : communication avec l'API 16

e) Fonction contrainte 4 : respect de l'hygiène 16

f) Fonction contrainte 5 : sécurité 16

g) Fonction contrainte 6 : limite de l'endommagement/positionnement sur le meuble 17

h) Approvisionnement du carton 18

2) Choix des solutions 19

a) Etude de compatibilité et d'interactions 19

b) Comparaison et choix des solutions 20

3) Conception 24

a) Système d'approvisionnement 24

b) Programmation du robot Ned2 26

CONCLUSION 28

1) Conclusion technique 28

2) Conclusion personnelle 28

a) Laurette 28

b) Adam 28

c) Mathis 29

d) Nays 30

INTRODUCTION

Le projet consiste à utiliser un robot Ned2 pour automatiser le processus de placement de petits cartons de dimensions 25 x 25 mm dans des boîtes de granules. Le robot devra donc être capable de saisir les cartons, de les manipuler avec précision et de les placer correctement dans chaque boîte, tout en respectant les contraintes de sécurité et de rapidité propre à un environnement de production pharmaceutique.

Dans ce domaine de l'industrie, l'automatisation des processus de production et de conditionnement joue un rôle essentiel pour améliorer l'efficacité, la qualité et la sécurité des opérations. L'un des défis majeurs consiste à garantir la précision et la rapidité des opérations de manipulation de produits tout en respectant des normes strictes d'hygiène et de sécurité. C'est dans ce contexte que notre client nous a sollicité pour l'implantation d'une solution robotisée, afin d'ajouter un carton dans les boîtes de granules pharmaceutiques.

L'objectif de ce projet est d'améliorer le processus de conditionnement en réduisant les risques d'erreurs humaines, en augmentant la productivité, et en assurant une meilleure traçabilité des produits. L'installation d'un robot Ned2 permettra d'optimiser les flux de production, de garantir une qualité constante et de renforcer la compétitivité de l'entreprise face aux exigences du marché. Nous nous intéresserons en particulier à comment installer le robot dans cette chaîne de production.

Ce projet représente une étape clé dans la modernisation des lignes de production et le passage vers une automatisation plus avancée dans le secteur pharmaceutique, avec des bénéfices attendus tant au niveau de la productivité que de la sécurité.

I) ORGANISATION DES TÂCHES ET PLANNING PRÉVISIONEL

Dès le début du projet, une première phase de préparation a été mise en place pour structurer les actions à réaliser. Cette étape initiale a commencé par une prise de connaissance du sujet, suivie d'une analyse approfondie de la problématique pour bien cerner les enjeux du projet. À ce stade, les membres de l'équipe ont collaboré pour établir une liste détaillée des tâches à effectuer, en tenant compte des spécificités du projet et des livrables attendus.

Ensuite, un travail de répartition des responsabilités a été réalisé. Les tâches ont été distribuées en fonction des compétences et des préférences de chacun, tout en veillant à maintenir une cohérence entre les activités interdépendantes. Par exemple, les tâches d'analyse fonctionnelle ont été confiées principalement à Laurette et Nays, tandis que la conception et la programmation ont été partagées entre Adam et Mathis.

Par ailleurs, une identification des ressources et documents nécessaires a été effectuée dès cette première étape, incluant des informations et documents techniques (Ned2, NiryoStudio...) mais aussi des méthodologies comme les diagrammes fonctionnels (bête à cornes, pieuvre, etc.) et des outils pour la recherche de solutions. Cela a permis d'assurer une base solide pour le bon déroulement des phases suivantes.

Afin de coordonner efficacement les activités, un planning prévisionnel a été élaboré sous forme de tableau et de diagramme de Gantt. Ce planning détaille les différentes étapes et sous-tâches du projet. Le tableau tient compte des délais impartis et du déroulement temporel du projet. Etant donné que la majorité des tâches durent moins d'une journée et que les actions sont réalisées sur des jours bien précis lors des séances de SAE, le logiciel GanttProject utilisé n'était pas pleinement adapté mais a permis de résumer les principales connexions entre les différentes tâches à réaliser.

Le planning, avec ses plages colorées pour chaque tâche, reflète une organisation méthodique qui nous a permis de progresser de manière ordonnée tout en respectant les délais. Les échéances, comme la date de rendu prévue pour le 20/01/2024, ont servi de repères pour ajuster nos priorités.

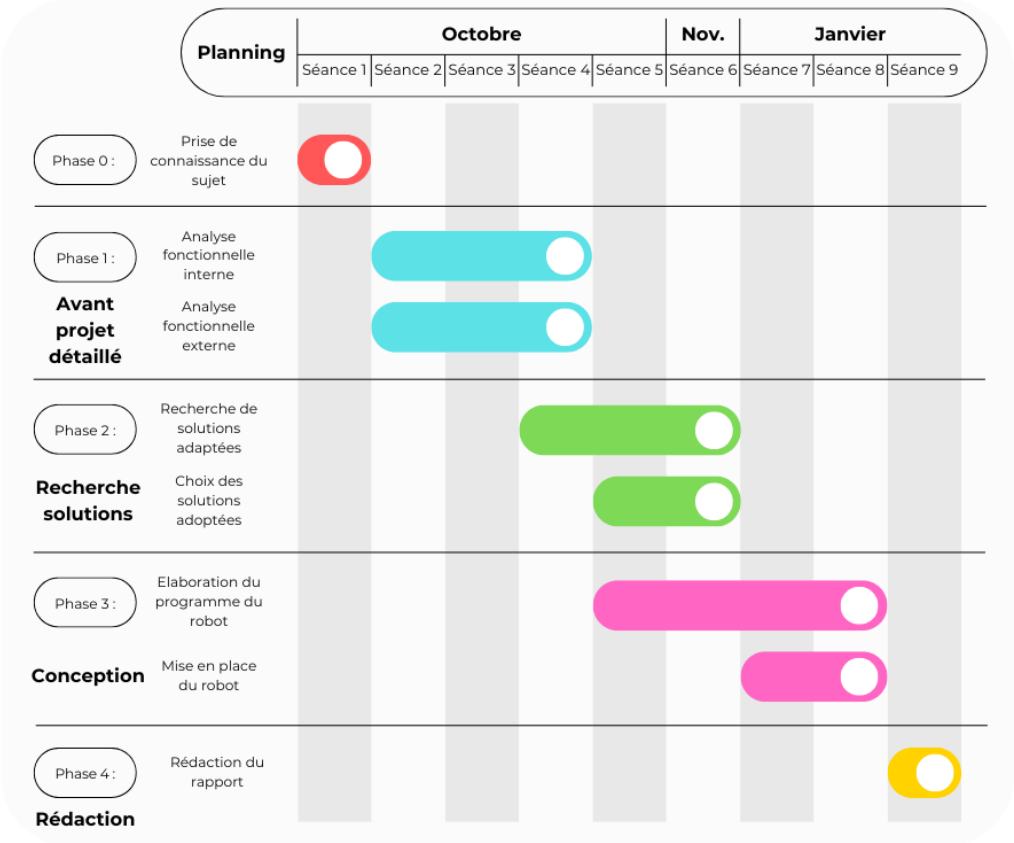


Figure 1 : Planning prévisionnel

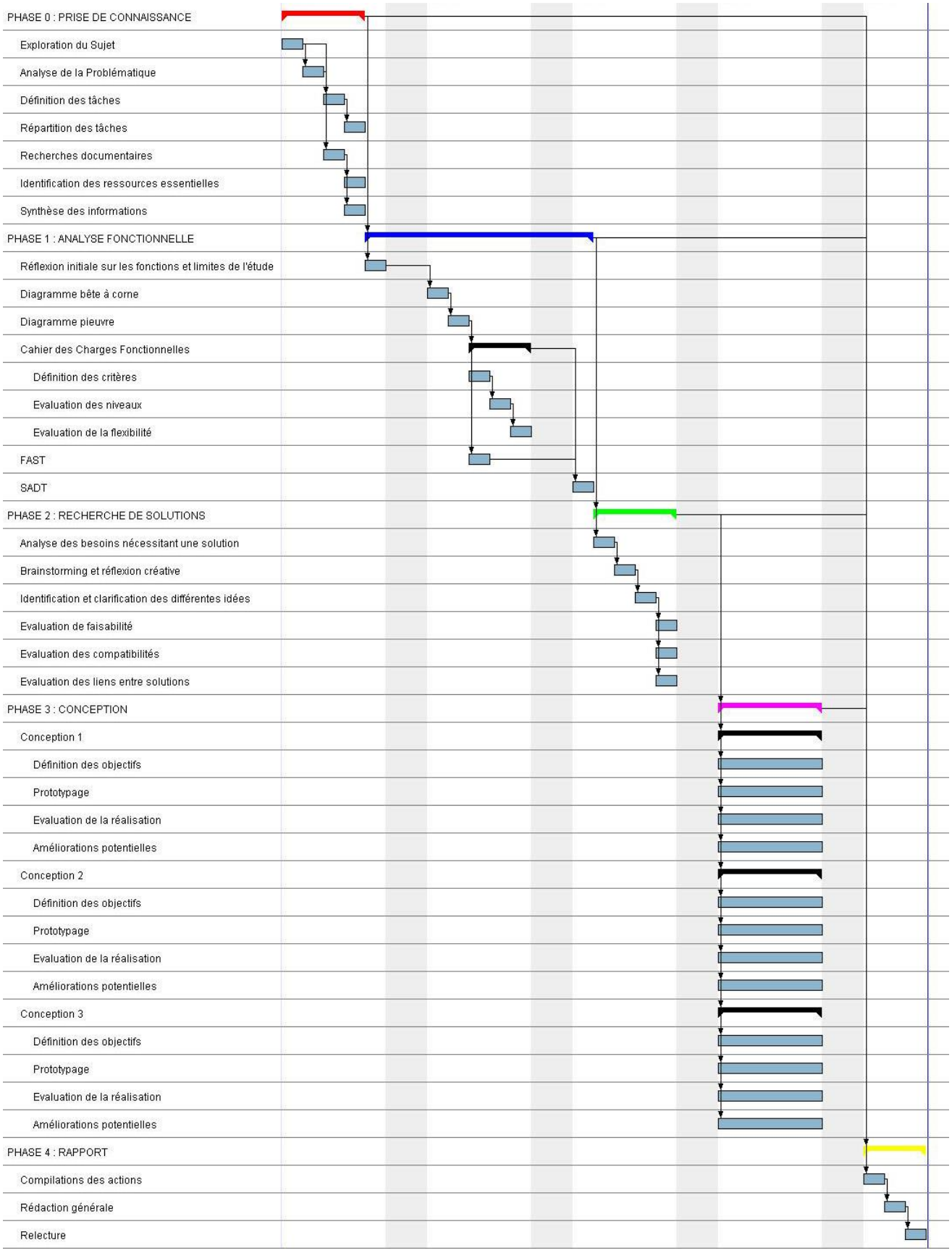


Figure 2 : Diagramme de GANTT

Nous avons fait le choix de les répartir en 5 phases. Voici le déroulement de ces phases et les actions menées :

- Phase 0 : Découverte et prise de connaissance du projet

Cette étape introductive a été réalisée dès les premières séances, permettant à toute l'équipe de bien comprendre les objectifs et le périmètre du projet.

- Phase 1 : Avant-projet détaillé

Les séances 2 à 4 ont été dédiées à l'analyse fonctionnelle, utilisant des outils comme le diagramme bête à cornes, la pieuvre, et la méthode FAST. Cela a aidé à formaliser le cahier des charges et à clarifier les besoins. Nays et Laurette se sont chargées de cette partie tandis qu'Adam et Mathis se sont concentrés sur le robot notamment sur la prise de connaissances d'informations le concernant (recherche d'informations, de solutions...).

- Phase 2 : Recherche de solutions

Durant les séances 4 à 6, un travail collaboratif de brainstorming et d'évaluation des idées a permis de choisir les solutions les plus adaptées. Ces solutions ont été validées sur la base de critères de faisabilité et de compatibilité. Un début de rédaction de la partie analyse fonctionnelle a été lancé.

- Phase 3 : Conception et mise en œuvre

Les séances 5 à 8 ont été consacrées à la programmation du robot et à la mise en place des solutions imaginées. Les tâches ont été réparties entre Adam et Mathis pour la programmation et la réalisation de la boîte d'approvisionnement, tandis que Nays et Laurette ont continué l'avancement de la rédaction des parties précédentes en veillant à ce que les solutions et réalisations mises en place correspondent bien à l'analyse fonctionnelle et le cahier des charges émis précédemment.

- Phase 4 : Rédaction du rapport

Enfin, dans la dernière étape à la séance 9, nous nous sommes concentrés sur la rédaction et la finalisation du rapport et de la conception.

II) ANALYSE FONCTIONNELLE

L'analyse fonctionnelle est une démarche essentielle dans le développement et l'installation du robot Ned2. Elle permet de déterminer et quantifier les besoins et les attentes des utilisateurs et ainsi les transformer en fonction technique mesurable. Dans le cas d'une cellule flexible de production, l'analyse fonctionnelle garantit que le robot réponde aux contraintes et s'intègre dans la chaîne automatisée, tout en assurant la manipulation efficace des cartons.

1) Diagramme bête à cornes

Le diagramme bête à cornes est un schéma qui répond à trois questions fondamentales : à qui rend-il service ? sur quoi agit-il ? dans quel but ? Cet outil permet de structurer la réflexion des besoins fondamentaux et d'identifier le besoin auquel doit répondre le système. Nous avons donc déterminé le but de l'utilisation du robot sur la cellule flexible de production par la réalisation suivante.

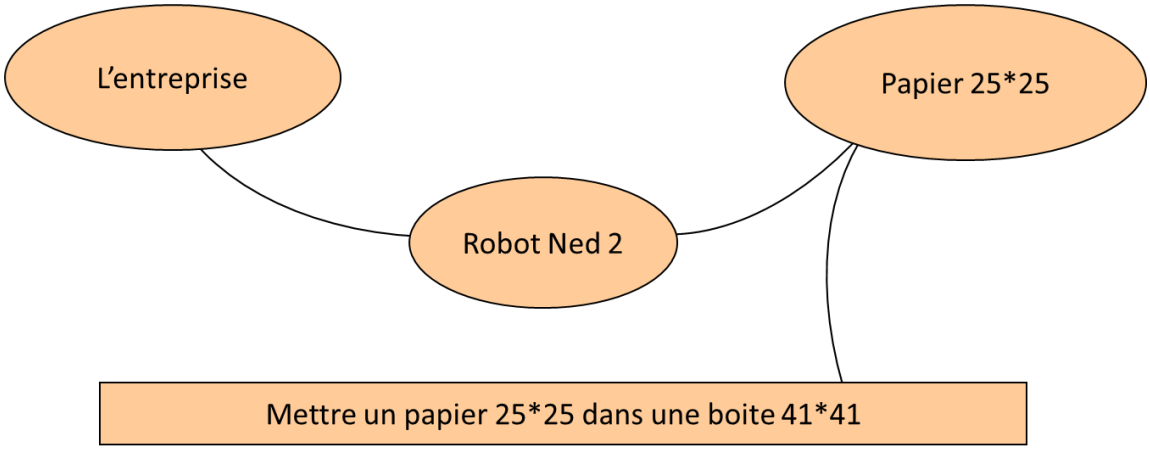


Figure 3 : Diagramme bête à cornes

2) Diagramme pieuvre

Le diagramme pieuvre est un élément graphique permettant de définir les relations du système avec son environnement. Cependant les environnements peuvent être variés. Il est donc nécessaire de préciser le cadre de notre étude. Dans notre cas, nous avons fait le choix d'étudier le système en fonctionnement, lors de sa phase d'utilisation. Il permet de visualiser les interactions et les flux d'informations, de matériaux ou d'énergie entre le système à analyser et ses différents éléments externes. Pour cela, il faut inventoriser les fonctions. Il en existe deux types : les fonctions principales, répondant à la question « pourquoi le produit a été créé », et les fonctions contraintes, qui limitent la liberté de conception avec des critères définis. Le diagramme pieuvre est donc un outil essentiel pour comprendre l'écosystème d'un système, en clarifiant ses interactions et en identifiant ses besoins et contraintes. Nous avons obtenu le diagramme et la liste des fonctions suivants :

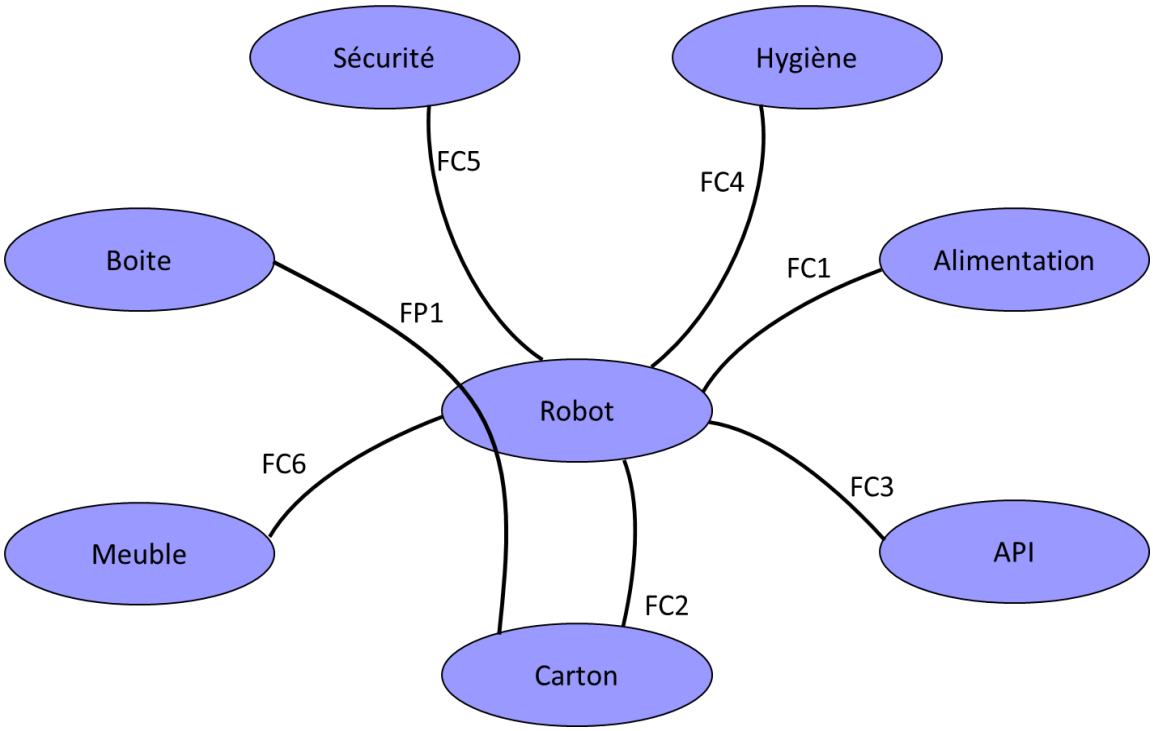


Figure 4 : Diagramme pieuvre

FP1 : Placer des cartons dans les boîtes.
FC1 : Le robot doit pouvoir se connecter à un réseau d'énergie.
FC2 : Le robot doit être en mesure de prendre un carton de 25 x25 mm.
FC3 : Le robot doit pouvoir communiquer avec l'API.
FC4 : Le robot ne doit pas compromettre l'hygiène.
FC5 : Le robot ne doit pas mettre en danger la sécurité d'autrui.
FC6 : Le robot ne doit pas abîmer le meuble.

3) Cahier des charges fonctionnel (Cdcf)

Le cahier des charges fonctionnel joue un rôle crucial pour l'installation du robot. Il définit précisément les besoins du client, les attentes spécifiques ainsi que les exigences techniques et fonctionnelles. Il sert de guide tout au long du projet, de la conception à la mise en service du robot. Il recueille les besoins du client en précisant les objectifs. Cela inclut tant les tâches à réaliser que les différentes contraintes qui s'appliquent, mais aussi les critères de performance quantifiés. Le cahier des charges fonctionnel est représenté sous forme de tableau où la quantification des performances repose sur trois aspects : les critères d'appréciation, un niveau d'acceptation et une flexibilité éventuelle. Nous avons dans notre cas pu élaborer le cahier des charges fonctionnel suivant à l'aide des diagrammes effectués précédemment.

Fonction	Critère	Niveau	Flexibilité	
FP1 : Placer des cartons dans les boîtes.	Cadence	1 boîte en 5 s	Aucune	F0
	Taille	Cartons : 25*25 mm Boîtes : 41*41 mm	25 ± 1 mm Aucune	F1 F0
FC1 : Le robot doit pouvoir se connecter à un réseau d'énergie.	Tension	AC 100-240V (50-60Hz ; 2,5A)	Aucune	F0
	Type de prise	Type E	Aucune	F0
FC2 : Le robot doit être en mesure de prendre un carton de 25 x25 mm.	Taille	25*25 mm	± 1 mm	F1
	Masse	< 300 g	Aucune	F0
FC3 : Le robot doit pouvoir communiquer avec l'API.	Délai de transmission des données	t ≤ 50ms	± 10 ms	F1
	Moyen de communication	Câble Ethernet ou Wi-Fi	Aucune	F0
FC4 : Le robot ne doit pas compromettre l'hygiène.	Stérilité	NAS 10-6	Aucune	F0
FC5 : Le robot ne doit pas mettre en danger la sécurité d'autrui.	Zone de travail	1008 mm de diamètre 350°	Aucune	F0
FC6 : Le robot ne doit pas endommager le meuble.	Masse / Surface	< 120 kg/m^2	± 5 kg/m²	F1
	Rayure	0	Aucune	F0

Tableau 1 : Cahier des charges fonctionel

Le cahier des charges fonctionnel nous permet ainsi de faire le lien entre l'analyse fonctionnelle externe et l'analyse fonctionnelle interne.

4) Méthode FAST

La méthode FAST (Function Analysis System Technique) est un outil utilisé dans l'analyse fonctionnelle. Son rôle principal est de permettre une compréhension et une définition claire des fonctions à réaliser. Elle permet ainsi, pour chaque fonction de service, d'en déduire une solution technologique qui sera par la suite mise en œuvre. Cette methode permet ainsi de passer d'un inventaire de fonctions à la mise en place de solutions techniques. Le FAST rend alors possible une analyse et une optimisation des fonctions du système étudié, garantisant sa performance, son efficacité et que les solutions mises en place répondent concrètement aux besoins établis.

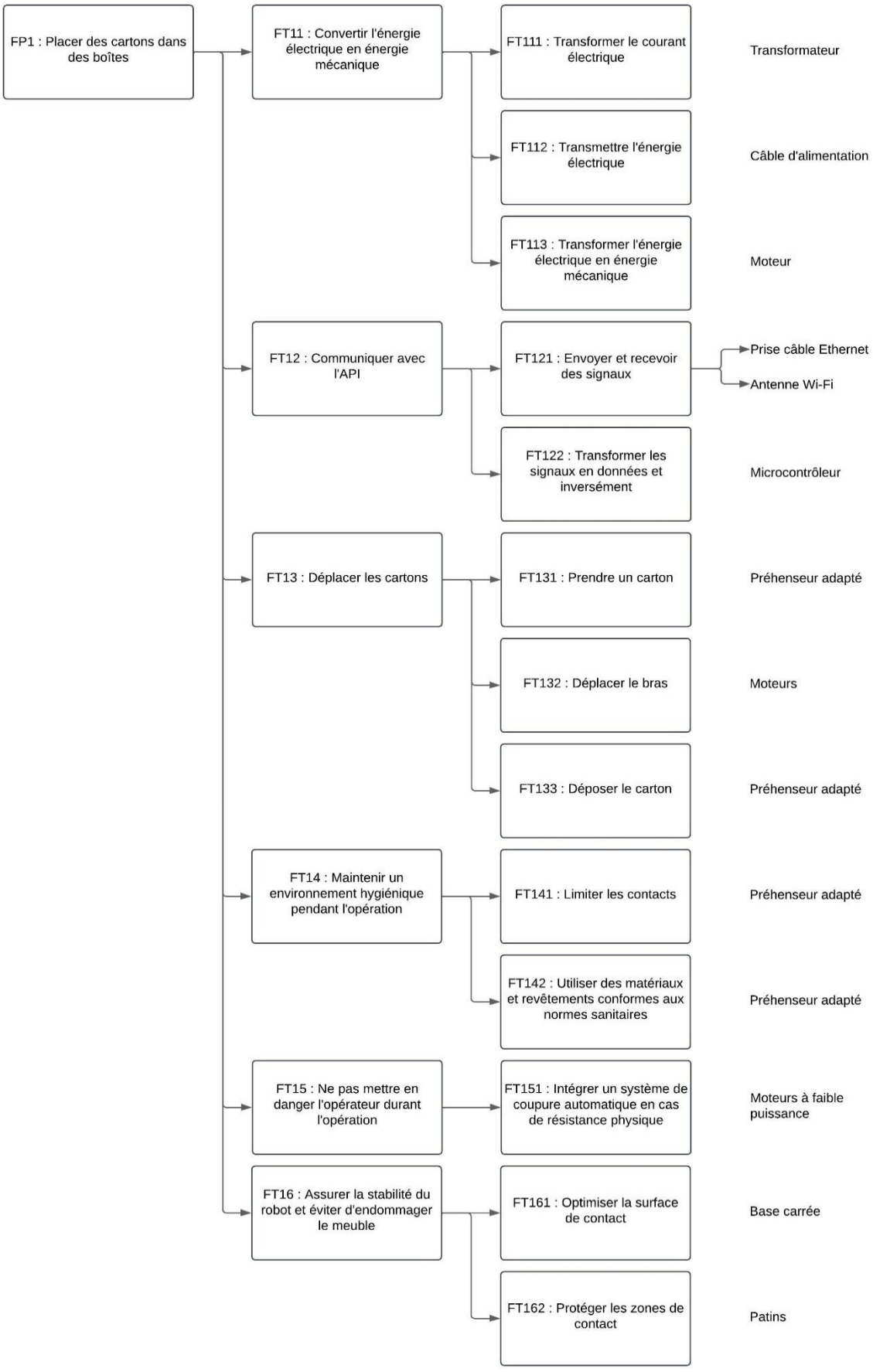
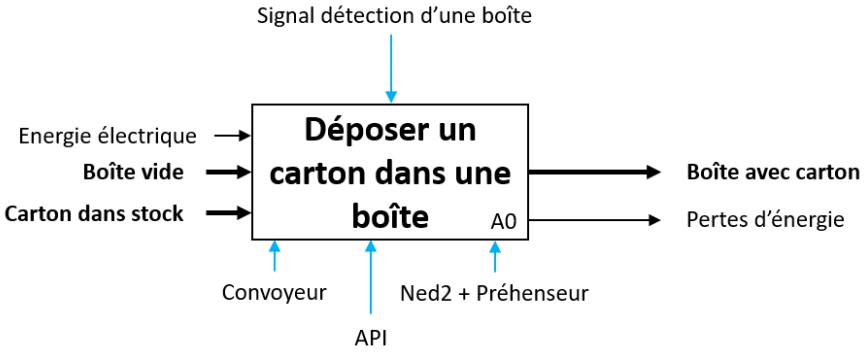


Figure 5 : Diagramme FAST

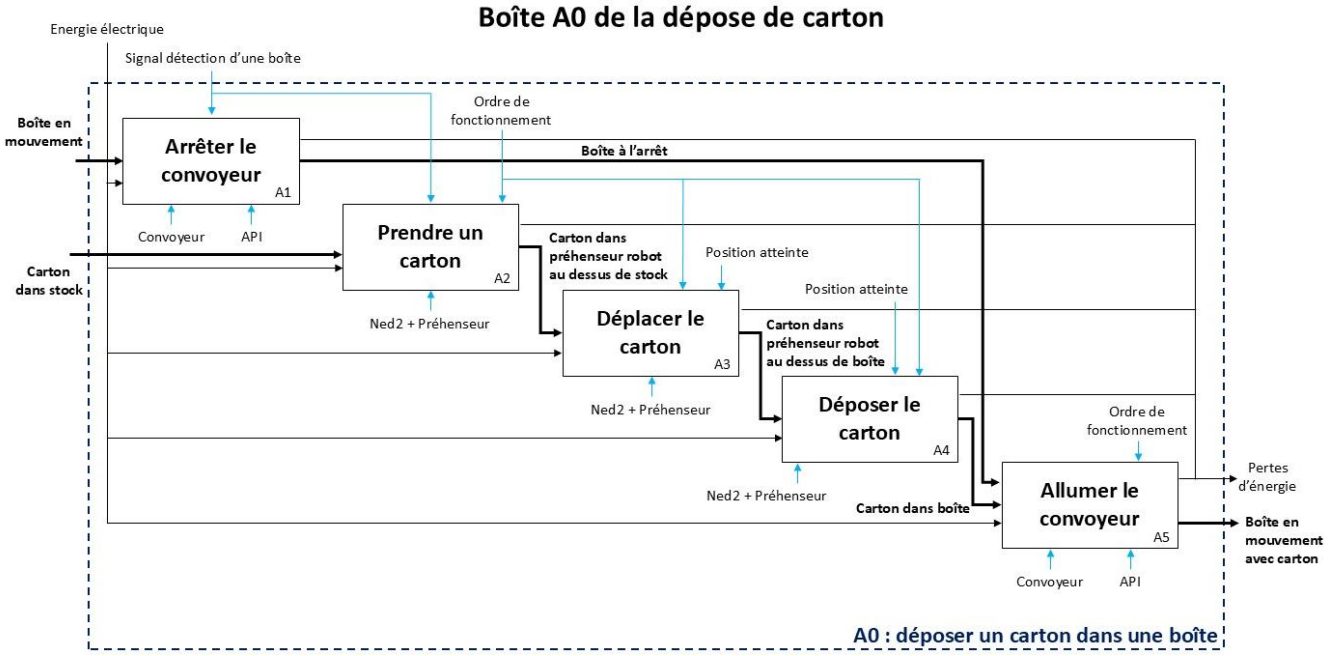
5) Méthode SADT

La méthode SADT (Structured Analysis and Design Technic : Technique Structurée d'Analyse et de modélisation des systèmes) permet d'analyser de façon structurée l'ensemble du système étudié. Elle permet de décrire les activités, les entrées et les sorties des processus, ainsi que les interactions entre les différents éléments du système. Cela aide à comprendre comment chaque partie du système contribue à l'ensemble de ce dernier. La méthode SADT permet de créer des représentations visuelles des systèmes, ce qui facilite la communication entre les différents acteurs du projet.

Dans notre cas, nous avons réalisé une première boîte « A0 : Déposer un carton dans une boîte » qui correspond à ce que nous devons concevoir et installer dans ce projet. Cette boîte est composée de 5 boîtes, correspondant aux différentes actions réalisées de la détection d'une boîte sur le convoyeur jusqu'à ce que la boîte sur le convoyeur soit munie d'un carton.



Figures 6-7 : Diagrammes SADT



La réalisation d'une analyse fonctionnelle nous a permis de clarifier la demande du client afin de répondre au mieux à ses attentes, en mettant en avant les fonctions principales et les contraintes à respecter. Cela nous a alors permis d'en déduire des idées et solutions répondants à la demande. Il sera nécessaire au fur et à mesure de ce projet de se référer à cette analyse afin de choisir au mieux la solution la plus adéquate et de la mettre en œuvre.

III) SOLUTIONS ET CONCEPTION

Cette partie du projet se concentrera sur les solutions techniques proposées, en détaillant les choix de conception, les spécifications du robot Ned2, ainsi que les moyens mis en œuvre pour assurer une intégration harmonieuse du système robotisé dans la chaîne de production. La mise en œuvre de cette solution vise à améliorer l'efficacité, la fiabilité et la flexibilité du processus de production tout en minimisant les risques d'erreurs humaines et d'interruptions. Nous déterminerons ainsi la solution mise en œuvre et sa conception.

1) Recherches de solutions : les avantages et inconvénients

Il est nécessaire avant de choisir une solution, de mettre au clair toutes les idées et solutions répondant au besoin. Dans cet objectif, nous avons échangé nos différentes idées avant d'élaborer les tableaux suivants. Ils permettent de regrouper, pour chaque fonction contrainte, toutes les idées avec leurs avantages et les inconvénients. Pour réaliser cette étude de recherche de solution, nous avons souhaité ne pas nous limiter aux contraintes et aux fonctions émises dans notre analyse fonctionnelle. En effet, cette analyse se concentre principalement sur la phase d'utilisation. Nous tâcherons ici de nous intéresser également aux autres phases de son cycle de vie et d'anticiper les liens de ce robot avec le reste de la chaîne de production.

a) Fonction principale

Nous avons d'abord commencé par la fonction la plus importante de notre système, à savoir la « FP1 : Placer des cartons dans les boîtes ». Nous avons déjà une solution donnée pour y répondre, le choix du robot à utiliser étant imposé par le sujet du projet. Il s'agit du robot collaboratif Ned2. Cependant, afin de s'assurer qu'il convienne, nous devons rechercher dans sa documentation ses caractéristiques dont le critère de cadence, qui nous seront utiles lors de l'élaboration du code et de la mise en place du robot. En effet, il nous faut connaître les trajectoires du robot afin de déterminer sa cadence.

b) Fonction contrainte 1 : connexion à l'énergie

Pour rappel, voici l'intitulé de la première fonction contrainte de notre analyse fonctionnelle : le robot doit pouvoir se connecter à un réseau d'énergie. En effet, le robot Ned2 a besoin d'une source d'alimentation électrique afin de se mouvoir. Il fonctionne via un courant électrique continu en 5 ou 12 V et une intensité de 7 A. Le robot est fourni avec une alimentation électrique qui doit être relié à un réseau ayant comme caractéristiques : 100 à 240 V en courant alternatif, fréquence de 50 à 60 Hz et une intensité de 2,5 A. Pour cette contrainte, voici la liste des solutions que nous avons envisagées.

Solutions	Descriptions	Avantages	Inconvénients
Connexion à une prise	Prise du réseau électrique de l'entreprise	- Câble d'alimentation déjà fourni - Réseau électrique déjà existant - Pas de limitation d'énergie	- Nécessite un raccordement au réseau - Limitation de distance prise-robot
Batterie / pile	Mise en place d'une batterie mobile ou utilisation de piles	- Ne nécessite pas de raccordement au réseau (autonome)	- Durée de vie limitée (quantité d'énergie) - Nécessite un raccordement non fourni

Tableau 2 : Comparaison des solutions pour l'énergie

c) Fonction contrainte 2 : préhension du carton

La deuxième fonction contrainte indique que le robot doit être en mesure de prendre un carton. D'après la demande du client, il est nécessaire de placer un carton de taille 25x25 mm et d'une masse inférieure à 0,5 g. Il doit être en capacité de le déplacer afin de le mettre en place dans une boîte sans l'abîmer. Ci-dessous se trouve le comparatif des solutions pensées.

Types de préhenseur	Modèles	Avantages	Inconvénients
Pince	Grippeur adaptatif (Ned2)	- Compatible avec le Ned2 - Fourni lors de l'achat du robot - Charge utile de 217 g	- Préhension de carton compliquée - Abîme les cartons
Ventouse	Pompe à vide (Ned2)	- Compatible avec le Ned2 - Charge utile de 117 g - Diamètre de la ventouse : 20 mm	- Pression du vide d'air à régler selon l'épaisseur du carton - Achat de la pompe et de la ventouse coûteux
	Pompe à vide + capteur de pression	- bonne précision	- Non-compatibilité avec le robot - Coût
	Pompe à vide + caméra	- contrôle visuel	- Non-compatibilité avec le robot - Coût

Tableau 3 : Comparaison des solutions pour la préhension



Figure 8 : Photographie des divers préhenseurs du Ned2

d) Fonction contrainte 3 : communication avec l'API

La troisième fonction contrainte émise porte sur la communication entre le robot et l'API. L'API est une interface de programmation qui permet au robot et au reste de la chaîne de production de communiquer entre eux. Le robot Ned2 prend en charge les langages de programmation Blockly et Python, et il interagit avec des équipements comme le Siemens TIA Portal pour gérer les entrées et sorties. La chaîne de production utilise des équipements comme le Siemens Simatic S7-1500 avec une CPU 1512C-1 PN. Une attention particulière doit être portée à l'utilisation des entrées analogiques pour la communication entre les différents composants. Les entrées et sorties analogiques du Ned2 sont unipolaires, ce qui signifie qu'elles varient de 0 à 5 V. En revanche, le processeur Siemens peut gérer des tensions bipolaires, allant de -10 V à +10 V.

Compte tenu des informations établies au préalable, nous avons pu émettre deux solutions afin de permettre la communication entre le robot et l'API :

Solutions	Avantages	Inconvénients
Connexion Wi-Fi	- Ne nécessite pas de câble	- Nécessite un réseau Wi-Fi sécurisé avec un haut débit
Câble Ethernet	- Connexion sécurisée (filaire) - Transmission instantanée	- Achat du câble - Nécessite d'avoir un câble

Tableau 4 : Comparaison des solutions pour la communication

e) Fonction contrainte 4 : respect de l'hygiène

La fonction contrainte numéro quatre est une fonction primordiale aux vues de secteur d'activité qu'est la pharmaceutique. Le robot ne doit donc pas compromettre l'hygiène. Pour cela, il est donc nécessaire qu'il réponde au niveau de stérilité NAS10-6, qui est une norme appliquée à toute industrie du domaine médical et pharmaceutique. Il s'agit d'un niveau de stérilité élevé correspondant à une probabilité d'une chance sur un million qu'un produit soit contaminé. Ainsi, il convient de limiter les contacts entre le robot et les boîtes/produits. De même, il faudra s'assurer que le système de préhension puisse être stérilisé régulièrement. Ces critères devront être pris en compte lors du choix de la ou des solutions apportées aux autres contraintes.

f) Fonction contrainte 5 : sécurité

La cinquième contrainte porte sur la sécurité et spécifie que le robot ne doit pas mettre en danger la sécurité d'autrui. Afin d'éviter les contacts avec l'opérateur, il est nécessaire de définir une zone de sécurité qui correspond à la zone de travail du robot. La documentation nous permet de déterminer cette zone qui correspond à un cercle de 1008 mm de diamètre sur 350°, que nous considérerons comme un cercle parfait de 360°. Il s'agit d'un robot collaboratif dont le bras est léger et dont la force et la puissance de transmission sont limitées. La notice de sécurité nous informe qu'il est possible d'arrêter le robot à la main. Il ne représente donc pas un danger important pour l'opérateur. Il convient tout de même de limiter les interactions avec toute personne, notamment en raison de la chaleur engendrée par les moteurs à la suite d'une longue utilisation. De plus la prise en compte des instructions de mise en service et de sécurité est primordiale. Voici un tableau des divers solutions abordées dans la mise en place du Ned2.

Solutions	Avantages	Inconvénients
Arrêt d'urgence avec bouton	- Arrêt instantané du robot - Possibilité d'interrompre le robot sans contact	- Chute du bras du robot, faire attention à l'utilisation
Signalisation au sol	- Visualisation de la zone de sécurité - Peu coûteux et simple à mettre en place - Permet un accès au robot en cas d'urgence	- Possibilité de rentre dans la zone de travail - Faible visibilité étant donné le placement en hauteur du robot
Grille de protection	- Garantit le respect de la zone de sécurité - Zone délimitée matériellement	- Coûteux - Installation encombrante
Affichage de sécurité	- Permet de connaître les risques et les procédures - Avertissement intemporel pour toute personne à proximité du robot	- Pas toujours visible
Formation du personnel	- Permet de connaître précisément les risques et les procédures	- Coûteux - Limité aux salariés présents lors de la formation
Mise en place d'équipements de lutte contre incendie (extincteur)	- Limiter la propagation des incidents - Prévenir d'un risque potentiel	- Coûteux - Nécessite un suivi régulier - Installation supplémentaire à définir - Formation nécessaire pour l'utilisation

Tableau 5 : Comparaison des solutions pour la sécurité

g) Fonction contrainte 6 : limite de l'endommagement/positionnement sur le meuble

La sixième fonction contrainte nous oblige à réfléchir à des solutions afin que le robot n'endommage pas le meuble sur lequel il sera installé, qu'il s'agisse de déformations, de rayures… Pour cela, nous devons planifier son positionnement et s'assurer d'une installation réfléchie afin d'éviter toute altération de l'état du meuble.

Solutions	Avantages	Inconvénients
Patins anti-dérapants	- Inclus - Limite le glissement du robot - Protège la surface du meuble	- S'use avec le temps
Plateau de travail ou film de protection	- Protéger contre les rayures et l'usure - Simple à mettre en œuvre	- Non fourni avec le robot

Tableau 6 : Comparaison des solutions pour l'endommagement

Cette contrainte est directement liée à la contrainte de positionnement du robot. Etant donné que le robot se trouve sur une table en hauteur, il faut veiller à ce qu'il ne chute pas et également essayer de le maintenir à une position identique pour que le bras fasse toujours les mêmes mouvements sans adaptation à chaque repositionnement. Nous avons donc identifier de nouvelles solutions afin de contrer ces problèmes.

Solutions	Avantages	Inconvénients
Capteurs électroniques	- Grande précision	- Coûteux - Complexe à mettre en œuvre
Cales	- Meuble fourni déjà adapté	- Positionnement manuel - Précision relative
Repères visuels	- Simple à installer - Peu coûteux	- Faible précision

Tableau 7 : Comparaison des solutions pour le positionnement

h) Approvisionnement du carton

La fonction principale étant de placer des cartons dans les boîtes de granulés, il convient de concevoir une solution de distribution de ceux-ci. Voici les solutions émises afin de répondre à ce besoin.

Solutions	Descriptions	Avantages	Inconvénients
Distributeur à friction automatique	Rouleau rotatif attrapant les cartons un par un et les poussant vers une sortie	- Automatisable - Convient à des volumes importants	- Coûteux - Encombrant - Nécessite une installation supplémentaire
Distributeur par gravité	Empilement des cartons dans un réservoir avec glissement le long d'une rampe	- Autonome en énergie - Installation simple	- Limitation des formats d'objets distribués
Distributeur à friction automatique avec capteur de presion	Rouleau rotatif attrapant les cartons un par un et les poussant vers une sortie avec capteur de pression vérifiant la présence du carton	- Automatisable - Convient à des volumes importants - Contrôle de la distribution de cartons	- Coûteux - Encombrant -Nécessite une installation supplémentaire
Boîte de stockage verticale	Empilement vertical des cartons avec préhension du carton le plus haut	- Installation simple - Peu coûteux	- Variation de la position du papier au cours du temps

Tableau 8 : Comparaison des solutions pour l'approvisionnement

Une fois toutes nos idées et solutions émises, il est possible de passer à l'etude de la compatibilité, d'interactions et de faisabilité avant de déterminer les solutions retenues.

2) Choix des solutions

Pour la suite de notre travail, il est essentiel de déterminer les solutions les plus adaptées. Dans cet objectif, il nous faut comparer les solutions et faire attention aux compatibilités des différentes solutions émises précédemment. Pour cela, nous allons d'abord déterminer les liens entre les diverses solutions relatives aux contraintes. Nous pourrons par la suite choisir les solutions et donc la conception à réaliser.

a) Etude de compatibilité et d'interactions

Dans cette partie de l'étude, nous avons souhaité comparer la possibilité de réalisation de l'ensemble de nos solutions les unes avec les autres. Pour cela, nous avons fait le choix d'éviter toute contradiction lors de la sélection d'une solution pour être certain qu'elle ne s'oppose pas à une autre contrainte/solution. Nous avons ainsi réalisé un tableau. Les croix (X) correspondent à des liens, des interactions ou des incompatibilités entre la solution de la ligne et celle de la colonne de la case correspondante. Il s'agit donc de relations à prendre en compte lors du choix des solutions. Les ronds (0), quant à eux, n'impliquent aucun lien, incompatibilité ou implication entre les deux solutions comparées.

		FC1 : énergie		FC2 : préhension				FC3 : API		FC4 : sécurité						FC5 : endommagement/position					approvisionnement			
		1 Prise électrique	2 Batterie/Pile	3 Grippeur adaptatif	4 Pompe à vide NED2	5 Ventouse avec capteur	6 Ventouse avec caméra	7 Wi-Fi	8 Câble ethernet	9 Bouton AU	10 Signalisation au sol	11 Grille de protection	12 Affichage sécurité	13 Formation personnel	14 Lutte incendie	15 Patins	16 Plateau/Film	17 Capteurs	18 Cales	19 Repères visuels	20 Distributeur friction auto	21 Distributeur gravité	22 Distributeur friction auto + capteur	23 Boite stockage verticale
FC1	1		X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FC2	3				X	X	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X	X	X	X
	4					X	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X	X	X	X
	5						X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X	X	X	X
	6							0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X	X	X	X
FC3	7								X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8									0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FC4	9										0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10											X	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	11												X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	12													0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13														X	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	14															0	0	0	0	0	0	0	0	0
FC5	15																X	0	X	0	0	0	0	0
	16																	0	X	X	0	0	0	0
	17																		X	X	X	X	X	X
	18																			X	X	X	X	X
	19																				X	X	X	X
Approvisionnement	20																					X	X	X
	21																						X	X
	22																							X
	23																							

Tableau 9 : Etude de compatibilité et d'interactions entre les solutions

Comme nous pouvons le voir, les solutions 1 (prise électrique) et 2 (batterie / pile) sont incompatibles. En effet, elles s'opposent et ne peuvent être réalisées en même temps. Elles répondent certes à un même besoin et ont exactement la même utilité, mais elles s'opposent dans leur réalisation étant donné qu'une seule de ces solutions satisfait le besoin et qu'elles ne peuvent se cumuler. A contrario, certaines solutions d'une même contrainte viennent s'ajouter et se compléter les unes les autres, comme il s'agit du cas des solutions répondant à la contrainte de mise en sécurité de l'utilisateur par exemple.

De même, il existe des liens et interactions entre certaines solutions. Il s'agit par exemple du cas des solutions 4 (préhenseur pompe à vide Ned2) et 21 (distributeur par gravité) pour lesquelles la détermination de notre choix de conception doit prendre en compte ces deux solutions de manière simultanée.

Ce tableau nous facilite ainsi la réalisation de nos choix de solutions afin de connaître les solutions en opposition ou en lien avec d'autres solutions. Nous serons ainsi certains d'avoir des solutions viables ensembles sans compromettre le fonctionnement de l'installation.

b) Comparaison et choix des solutions

Afin de comparer au mieux les solutions émises, nous allons établir des comparaisons avec des critères de sélection. Pour chaque critère, une note entre 0 et 3 sera octroyée. Un 0 correspondra à une note éliminatoire. Cela signifie que la solution est inadéquate. Une note de 1 correspond à une réponse au critère jugée insuffisante ou insatisfaisante, un 2 à une réponse jugée correcte et un 3 à une réponse jugée excellente.

A partir du tableau d'incompatibilité et d'interactions, nous observons que les solutions apportées à certaines contraintes ne sont nullement liées d'une manière ou d'une autre aux autres solutions et qu'elles sont compatibles entre elles. Il est ainsi possible de les étudier séparément pour plus de simplicité.

FC1 : Le robot doit pouvoir se connecter à un réseau d'énergie.	Critère 1 : Raccordement au réseau	Critère 2 : Autonomie du dispositif	Critère 3 : Simplicité de mise en place	Note (/9)
Connexion à une prise	1	3	3	7
Batterie/pile	3	1	1	5

Tableau 10 : Evaluation des solutions pour l'énergie

A partir ce premier tableau comparatif, nous pouvons tout de suite nous apercevoir que la solution la plus adaptée est la connexion à une prise électrique car le câble d'alimentation nous est déjà fourni, ce qui limite les coûts, tandis qu'une prise utilisable est également à disposition vers le poste de travail.

FC3 : Le robot doit pouvoir communiquer avec l'API.	Critère 1 : Simplicité de mise en place	Critère 2 : Délai de transmission	Critère 3 : Sécurisation des données	Note (/9)
Connexion Wi-Fi	2	2	2	6
Câble Ethernet	3	3	3	9

Tableau 11 : Evaluation des solutions pour la communication

A partir de cette deuxième comparaison, nous constatons que le câble Ethernet répond davantage à nos besoins que l'utilisation d'une connexion Wi-Fi dans le cadre de notre installation.

FC5 : Le robot ne doit pas mettre en danger la sécurité d'autrui.	Critère 1 : Simplicité de mise en place	Critère 2 : Coût	Critère 3 : Sécurité apportée	Critère 4 : Encombrement	Note (/12)
Bouton d'arrêt d'urgence	2	2	2	3	9
Signalisation au sol	3	3	1	3	10
Grille de protection	1	1	3	2	7
Affichage de sécurité	3	3	2	3	11
Formation du personnel	1	1	2	3	7
Mise en place d'équipements de lutte contre incendie	1	2	3	2	8

Tableau 12 : Evaluation des solutions pour la sécurité

Grâce à ce tableau, nous pouvons observer que l'affichage de sécurité répond le mieux aux critères, et est par ailleurs une obligation légale. Cependant, plusieurs solutions sont cumulables. La sécurité étant une partie essentielle dans la mise en place d'un robot, elle n'est pas négligeable car elle permet un fonctionnement sans risque. Nous avons donc fait le choix d'appliquer plusieurs solutions qui, réunies, garantissent une sécurité optimale. Nous allons donc mettre en place un bouton d'arrêt d'urgence, qui est également obligatoire lors de l'installation du Ned2, ainsi qu'une signalisation au sol limitant l'accès à la zone de travail du robot. Nous conseillerons aussi à l'entreprise de former son personnel à l'utilisation du robot et de disposer d'extincteurs de classe B (extincteur au CO_2) à proximité.

Enfin, les trois prochaines catégories sont intimement liées entre elles. En effet, le choix d'un préhenseur influence directement le choix de la solution d'approvisionnement tout comme les solutions portant sur le positionnement du robot. Il est également à noter que nous ne devons choisir qu'une solution pour le préhenseur et une solution pour l'approvisionnement. Il n'est possible de choisir qu'une solution pour le positionnement, qui impliquera à son tour les choix de solutions de protection du meuble.

Le préhenseur est ici le choix primordial. Nous avions deux types différents de préhenseurs : des pinces et des ventouses. Nous avons assez vite éliminé le choix des pinces qui ont une prise importante et complexe sur le papier, qui risque d'être abîmé. Nous nous sommes focalisés sur les ventouses. Parmi les trois ventouses, nous avions une ventouse avec une dépressurisation de l'air, une autre fonctionnant sur le même principe avec un capteur et une troisième avec caméra. Notre choix s'est porté sur la ventouse simple. Celle-ci est en effet conçue pour une utilisation sur le robot Ned2 et correspond aux dimensions des cartons employés. Le choix d'utiliser une ventouse permet également de limiter le contact avec la boîte des granules et les granules elles-mêmes. Cependant, la ventouse est en contact avec le carton. Conformément à nos contraintes sur l'hygiène, il est possible de la démonter et de la stériliser par plusieurs procédés (alcool, rayons gamma, autoclave) étant donné qu'elle est fabriquée en silicone.

A partir de ce choix de préhenseur, nous avons déterminé la solution portant sur notre contrainte d'approvisionnement des cartons. Nous avions trois types de distributeurs : distributeur à friction automatique, distributeur par gravité et boîte de stockage verticale. La première solution est dans notre cas trop onéreuse et encombrante. Elle pourrait servir de solution à la place du robot Ned2 mais n'est pas adapté pour un usage en complément de ce robot. Ces machines, dont la précision est très importante, sont surdimensionnées par rapport à l'usage que nous pourrions en faire avec le robot Ned2. La deuxième solution, à savoir le distributeur par gravité, est une solution que nous avons essayé pour ses avantages, dont le positionnement identique du carton au fur et à mesure de la distribution et l'autonomie en énergie. Enfin, la boîte de stockage verticale est une solution envisageable à ce stade étant donné sa simplicité de mise en œuvre et qu'elle ne s'oppose pas aux autres solutions de préhenseurs, bien que la position variable du carton à déplacer aura une importance notable sur notre conception à venir. Etant donné le faible coût de cette solution et du distributeur par gravité, nous avons essayé ces deux solutions dont nous reparlerons dans la partie conception.

La dernière fonction contrainte à prendre en compte est la mise en place du robot sur le meuble. Il faut éviter tout endommagement mais aussi permettre une mise en position correcte du robot afin de ne pas altérer son fonctionnement. Pour éviter d'abîmer le meuble, nous avons réfléchi à deux solutions : les patins ou l'utilisation d'un plateau/film. Nous avons pris la décision d'opter pour les patins car ceux-ci sont directement fournis lors de l'achat ce qui limite les coûts. Bien qu'il puisse y avoir une usure des patins, l'usure restera faible tandis que l'utilisation d'un film reste lui aussi temporaire et doit également être changé régulièrement. Pour assurer le maintien en position du robot et donc assurer la précision de la prise de carton, trois solutions sont ressorties. Nous pouvons trouver l'utilisation de capteurs, de cales ou encore de repères visuels. Etant donné que la précision de répétabilité du robot était assez faible (± 0,5mm) et que le coût des capteurs est important, nous avons pris le choix d'éliminer cette solution. En ce qui concerne les marquages visuels, ils sont quant à eux trop imprécis. Ils ne permettent pas d'assurer une position avec suffisamment de précision pour l'usage que nous devons faire du robot. A contrario, les cales permettent quant à elles un positionnement convenable mais également un maintien en position, c'est-à-dire que malgré les vibrations ou autres éléments pouvant faire bouger le robot, celui-ci restera en place.

À la suite de cette étude, nous pouvons en déduire les solutions choisies afin d'implanter le robot. Voici donc le récapitulatif des choix pour chaque contrainte avant de passer à la phase de conception.

Contraintes	Solutions adoptées
FP1 : Placer des cartons dans les boîtes.	Robot Ned2
FC1 : Le robot doit pouvoir se connecter à un réseau d'énergie.	Connexion à une prise
FC2 : Le robot doit être en mesure de prendre un carton de 25 x25 mm.	Ventouse : pompe à vide (NED2)
FC3 : Le robot doit pouvoir communiquer avec l'API.	Câble Ethernet
FC4 : Le robot ne doit pas compromettre l'hygiène.	Niveau de stérilité NAS10-6
FC5 : Le robot ne doit pas mettre en danger la sécurité d'autrui.	Bouton d'arrêt d'urgence Signalisation au sol Affichage de sécurité + Formation du personnel + Extincteur
FC6 : Le robot ne doit pas endommager le meuble.	Patins anti-dérapants Cales de fixation

Tableau 13 : Récapitulatif des solutions adoptées

En ce qui concerne l'approvisionnement, à ce stade, notre choix n'est pas encore fait. Nous devons encore voir lors de la conception lequel des deux systèmes, entre le distributeur gravitationnel et la boîte de stockage verticale, sera le plus adapté.

3) Conception

Suite à la détermination des solutions, nous pouvons passer à la phase de conception. Afin de mettre en usage le robot sur la cellule flexible de production, il est nécessaire d'établir un plan de la mise en position afin de respecter les contraintes de sécurité. Nous établirons ensuite un programme permettant d'actionner le robot et ainsi de réaliser la mise en place des cartons, tout en déterminant au préalable quel sera le système d'approvisionnement. En effet, celui-ci a une influence importante sur notre mise en place et sur le programme.

a) Système d'approvisionnement

Dans un premier temps, il faut donc essayer les deux systèmes de distribution. Pour cela, nous avons fait des tests qui furent un peu complexe avec le distributeur par gravité. En effet, les cartons, étant d'une faible épaisseur et très légers, ne s'arrêtaient pas les uns derrières les autres lors de leur chute/glissement dans le distributeur, engendrant une disposition désordonnée et inutilisable. L'approvisionnement par la boîte de stockage verticale est quant à lui plus fonctionnel, bien que la consommation progressive de cartons entraîne une différence de hauteur qui complexifie légèrement la programmation.



Figure 9 : Photographie d'un distributeur par gravité

Nous sommes donc partis, à la vue des éléments, sur la boîte de stockage verticale. Pour cela, nous avons fait un modèle simple, à partir d'un logiciel de conception assistée par ordinateur, que nous avons ensuite produit en impression 3D. Voici le modèle obtenu ainsi qu'une mise en plan de la boîte.

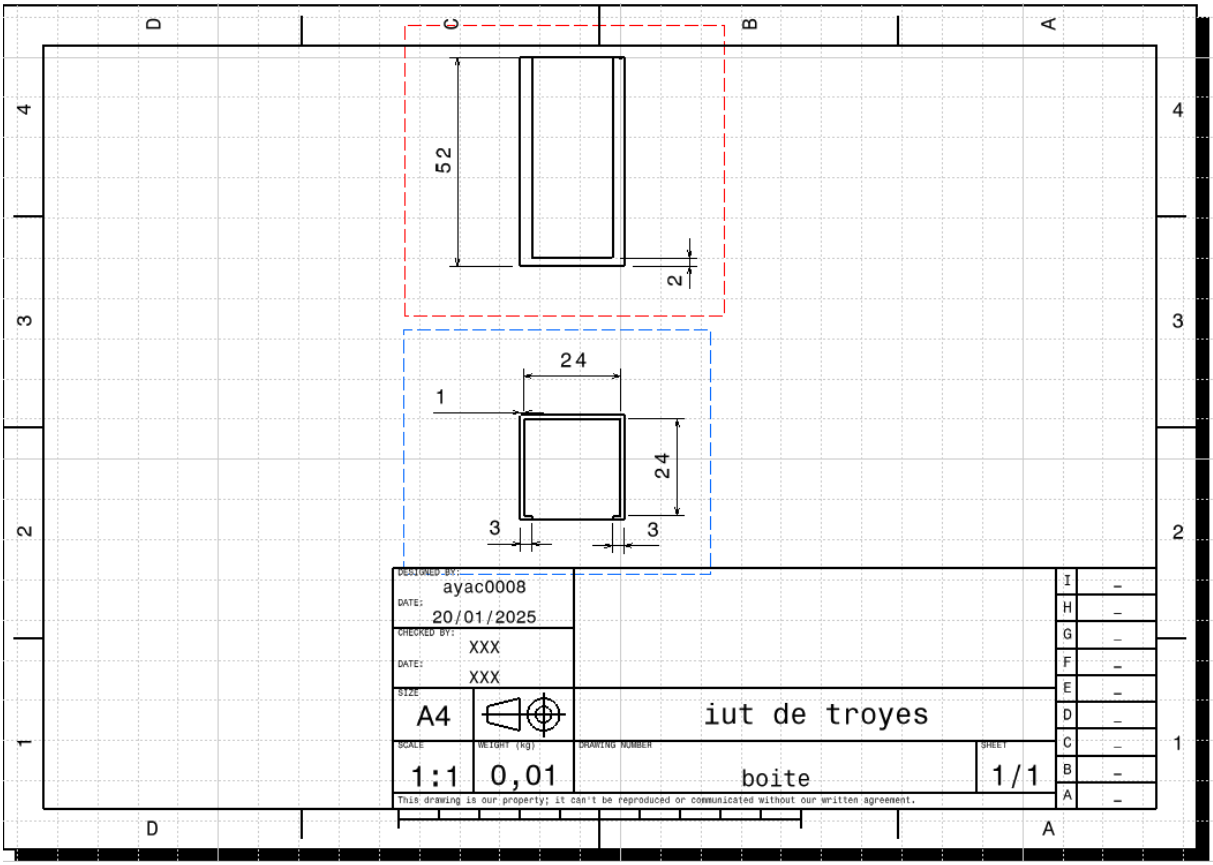


Figure 10 : Mise en plan de la boîte de stockage verticale

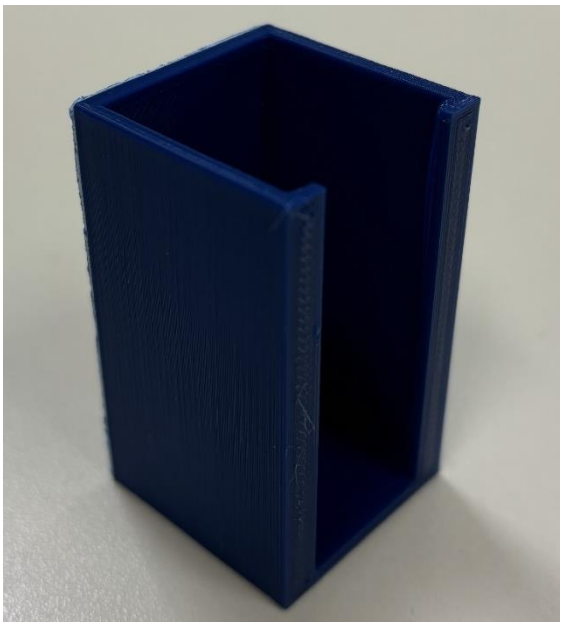


Figure 11 : Photographie de la boîte de stockage verticale produite par impression 3D

Cette étape nous a permis de passer à la mise en place du robot Ned2. En effet, celui-ci doît être installé sur la table déjà présente. Pour cela, il faut faire attention à sa zone de travail afin d'éviter les collisions. Il est également obligatoire de le poser sur une table plus grande que sa base, qui est de 19x19 cm. De plus, il nous faut le placer à une distance optimale du convoyeur afin d'optimiser les déplacements et donc le temps et la cadence. Dans la même optique, la boîte d'approvisionnement doit être suffisamment proche. Nous avons pu élaborer le plan de mise en place suivant.

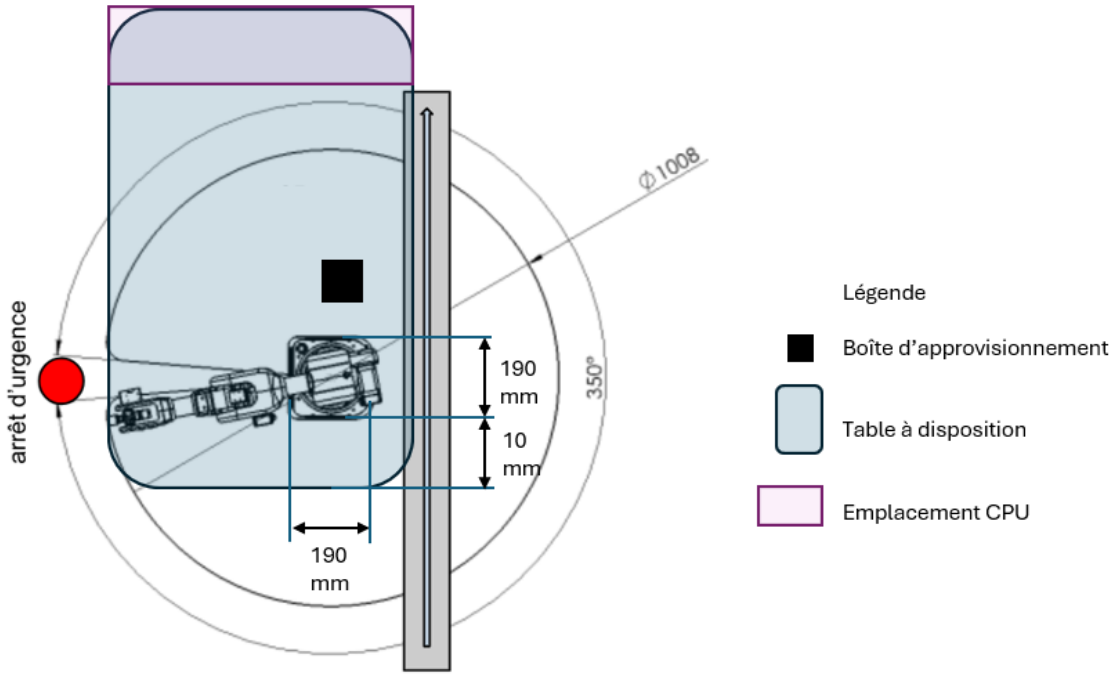


Figure 12 : Schéma de la mise en place du robot Ned2 dans la cellule flexible de production

b) Programmation du robot Ned2

En dernier lieu, nous avons pu concevoir le programme. Pour ce faire, nous utilisons le logiciel dédié fourni lors de l'achat du robot Ned2 : NiryoStudio. Ce logiciel nous permet de coder les déplacements de notre robot et l'activation de la ventouse à l'aide de Blockly, rendant possible l'utilisation de blocs de code pour simplifier la démarche.

Ne pouvant pas réellement installer notre robot, nous avons simulé son fonctionnement dans la cellule flexible de production. Nous avons utilisé le convoyeur du robot Ned2 afin de remplacer le convoyeur du client. Lors de la réelle installation, il faudra utiliser l'API afin d'arrêter notre convoyeur.

Dans notre code, nous commençons ici par créer une boucle de 100 opérations. Cette étape n'est pas souhaitée et devrait correspondre à la détection par laser IR d'une boîte sur le convoyeur, entraînant l'arrêt de ce dernier et le déplacement du bras. Cependant, ce capteur ne fonctionnait pas lors de nos tests. Nous avons ainsi utilisé cette boucle pour simuler le fonctionnement. Lorsqu'une boîte est détectée, ou ici dans le cas de la boucle, nous pouvons alors déplacer le bras, puis activer la pompe afin que la ventouse fasse un vide d'air et prenne ainsi un carton. Puis, nous redéplaçons le bras au-dessus de la boîte et relâchons la pression afin de lâcher le carton. Nous pouvons alors revenir à notre position initiale et enfin réactiver le convoyeur. Nous avons élaboré deux versions de notre code : la première ne prend pas en compte le changement progressif de hauteur lié à la consommation du stock de cartons dans leur boîte d'approvisionnement. Dans la deuxième version, nous avons ajouté une variable afin d'ajuster au fur et à mesure la hauteur de la position de la ventouse afin de s'adapter à la diminution progressive de cartons.

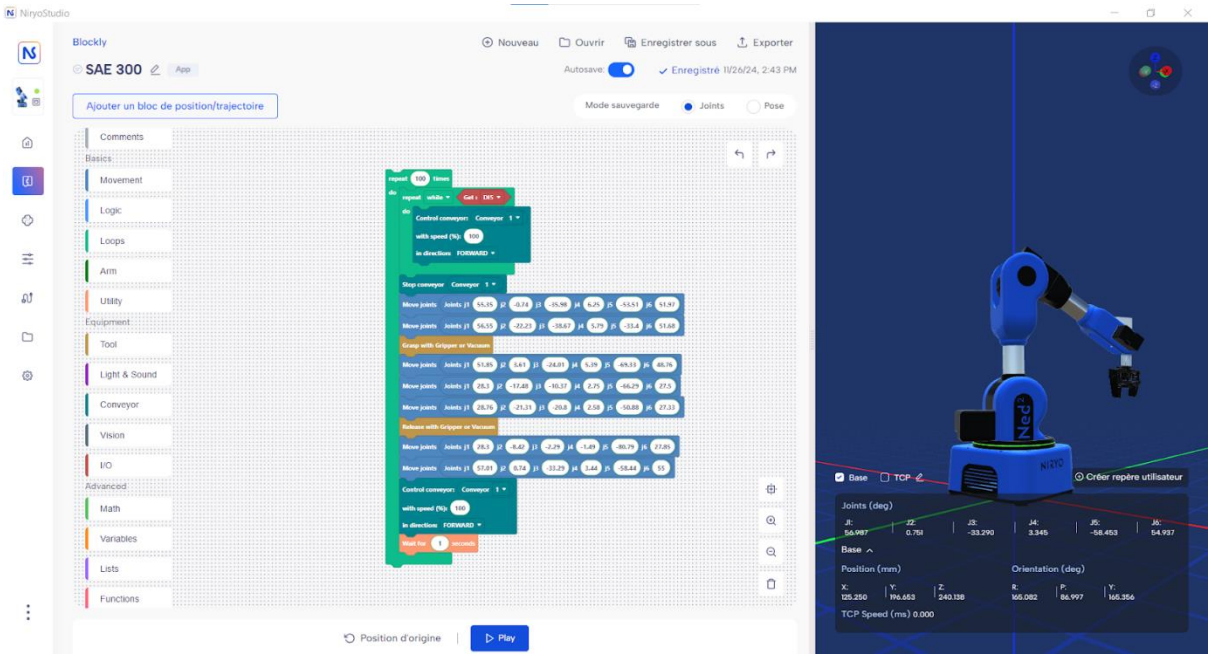
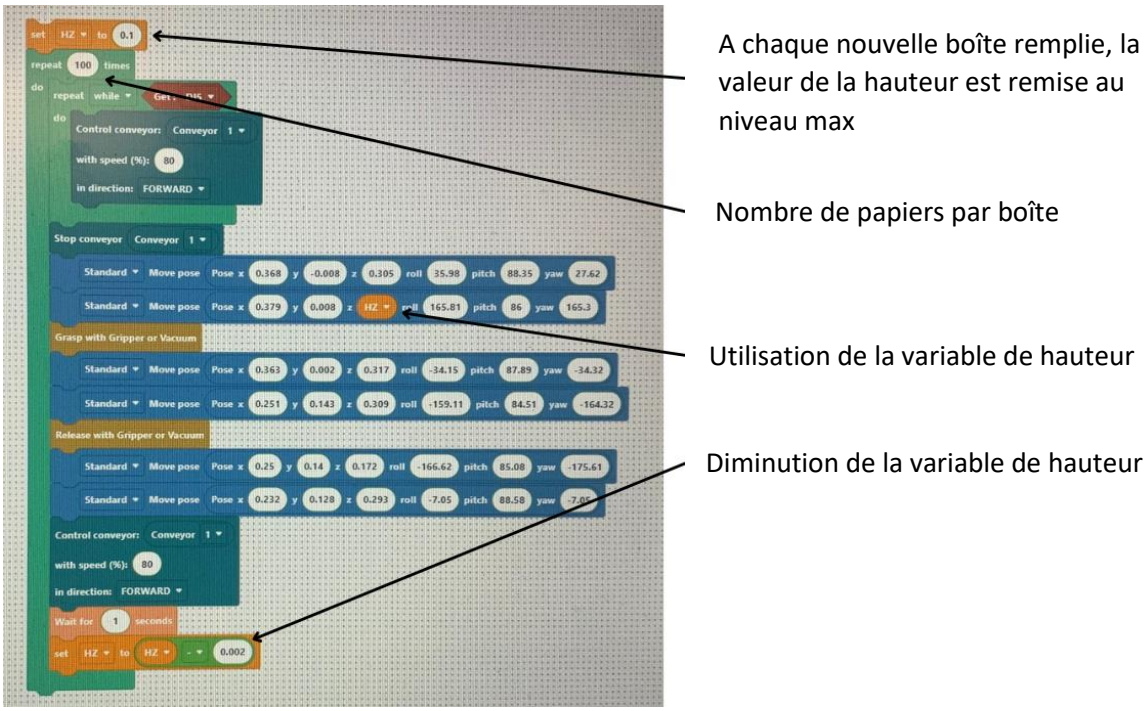


Figure 13 : Première version du code sur NyrioStudio – sans ajustements de hauteur



A chaque nouvelle boîte remplie, la valeur de la hauteur est remise au niveau max

Nombre de papiers par boîte

Utilisation de la variable de hauteur

Diminution de la variable de hauteur

Figure 14 : Seconde version du code sur NyrioStudio – avec ajustements de hauteur

CONCLUSION

1) Conclusion technique

Au cours de ce projet, nous avons étudié l'utilisation d'un robot Ned2 pour automatiser le processus de placement de petits cartons de dimensions 25 x 25 mm dans des boîtes de granules. Le robot devait être capable de saisir les cartons, de les manipuler avec précision et de les placer correctement dans chaque boîte, tout en respectant les contraintes de sécurité et de rapidité propre à un environnement de production pharmaceutique.

Tout d'abord, l'organisation et le planning prévisionnel ont permis de définir les étapes clés du projet et de respecter les délais impartis. L'analyse fonctionnelle du robot, réalisée en plusieurs étapes, a été essentielle pour comprendre les besoins spécifiques du système et garantir son bon fonctionnement. Grâce au diagramme pieuvre, nous avons pu identifier les principales fonctions et contraintes de ce robot. Le cahier des charges fonctionnel a permis de formaliser les exigences précises, et l'analyse avec FAST a permis d'optimiser les fonctions principales en déterminant les priorités et les meilleures solutions techniques. Enfin, le SADT a permis d'analyser de façon structurée l'ensemble du système étudié

Dans la phase de solutions et de conception, une étude approfondie des différentes solutions a été réalisée pour évaluer les avantages et inconvénients de chaque option. Après une étude de compatibilité et des interactions possibles entre les différentes solutions, nous avons pu faire un choix, garantissant l'optimisation du processus tout en respectant les contraintes spécifiques du secteur pharmaceutique. La solution retenue a été de concevoir une boîte de disposition des cartons verticalement pour assurer leur approvisionnement, et nous avons réalisé un programme informatique transmis au robot pour assurer une gestion automatisée et précise de la tâche.

2) Conclusion personnelle

a) Laurette

Pour conclure, la réalisation de cette SAE s'est dans l'ensemble bien déroulée, malgré les quelques difficultés rencontrées. En effet, l'un des principaux problèmes qui a pu nous empêcher d'évoluer lors de la réalisation de ce projet a été lors de l'élaboration du programme. Ce qui nous a causé le plus de tort a été le détecteur IR qui au début ne fonctionnait pas correctement, car même quand aucun objet n'était présent, il restait comme s'il y en avait un. Pour finir, afin d'optimiser le mieux la prise des cartons et être le plus efficace, la création d'une boite à l'imprimante 3D a été décidée et donc inclus dans le programme.

b) Adam

J'ai développé un programme fonctionnel pour le robot Ned2, dont l'objectif principal était de placer des étiquettes de 25x25 mm dans des boîtes de granulés. Toutefois, plusieurs défis techniques ont été rencontrés au cours du projet, notamment en ce qui concerne le détecteur IR et le système de préhension.

L'analyse du rayon d'action du robot Ned2 a permis de comprendre les capacités du robot à effectuer des tâches de manipulation et de placement d'objets. Bien que le robot possède une portée

suffisante pour couvrir une grande partie de la zone de travail, une attention particulière doit être portée à la configuration de l'espace de travail, ainsi qu'à l'optimisation des mouvements pour maximiser l'efficacité et garantir une précision optimale.

Problèmes rencontrés :

- Détecteur IR défectueux : Le détecteur infrarouge (IR) reste en état "True" même lorsqu'aucun objet n'est détecté. Cela posait un problème pour synchroniser le démarrage des fonctions du robot, car le robot ne pouvait pas attendre que le détecteur IR devienne "False". Après plusieurs tentatives sans succès pour inverser cet état, la solution trouvée a été de créer une boucle qui reste active tant que la valeur du détecteur IR est "True". La boucle s'arrête uniquement lorsque l'IR passe à "False".
- Système de préhension insuffisant : Le système de pince initialement utilisé pour saisir les étiquettes n'était pas suffisamment fiable pour garantir une manipulation stable et précise. La solution envisagée pour améliorer la prise des objets a été d'opter pour un système de préhension basé sur une ventouse, ce qui offrirait une prise plus stable et éviterait les glissements ou erreurs de placement des étiquettes.

La programmation adaptative a été intégrée dans le projet pour améliorer la préhension des objets, notamment les papiers ou les étiquettes que le robot devait manipuler. Dans ce cadre, la programmation s'ajuste dynamiquement en fonction de la situation de préhension. Bien que la programmation adaptative offre des avantages significatifs en termes d'automatisation et d'efficacité, elle nécessite un contrôle minutieux pour garantir que la préhension est réalisée de manière à la fois stable et sûre, sans causer de dommages aux objets manipulés.

Bien que le programme soit globalement fonctionnel, plusieurs ajustements ont été nécessaires pour surmonter les limitations du détecteur IR et du système de préhension. La solution de la ventouse, associée à une boucle de synchronisation pour l'IR et à une programmation optimisée des déplacements, a permis d'améliorer la fiabilité et la précision du robot Ned2 pour la tâche.

c) Mathis

En résumé, la réalisation de ce projet repose sur une approche méthodique englobant plusieurs étapes essentielles. La documentation technique du robot a permis de définir ses caractéristiques fonctionnelles et techniques, en s'assurant qu'il répond aux exigences de l'application visée. La modélisation et l'impression de la boîte offrent une solution sur mesure et adaptée à son environnement d'exploitation.

L'implantation du robot, incluant le choix du type de connexion, l'aide à la programmation et la détermination de la cadence, garantit une intégration fluide dans le processus. Enfin, l'élaboration d'un budget prévisionnel, associé à l'estimation du temps d'installation et de désinstallation, permet de contrôler les coûts et d'optimiser les délais.

Ce rapport constitue une base solide pour la mise en œuvre du projet, en assurant à la fois la faisabilité technique, la maîtrise des coûts et une approche structurée pour chaque étape du développement.

d) Nays

Plusieurs difficultés ont marqué le déroulement de ce projet. L'une des premières difficultés a été la planification des tâches. En effet, au début du projet, j'ai eu du mal à savoir quelles tâches devaient être réalisées avant laquelle.

Lors de la phase d'analyse fonctionnelle, l'étude s'est concentrée sur la phase d'utilisation du robot. Cela s'est avéré pertinent, étant donné les objectifs du projet, mais je me questionne sur l'utilité potentielle d'étudier aussi les autres phases, comme la phase d'installation ou de maintenance. Cela aurait pu permettre d'anticiper des problèmes potentiels à long terme. Bien que cela n'ait pas été fait dans cette analyse et qu'il n'en découle pas de réel manque à notre stade, lors d'un sujet plus complexe ou pour un client réel, cette étude supplémentaire aurait pu être nécessaire.

Un autre problème a été de ne pas pouvoir tester le robot en situation réelle. En effet, bien que nous ayons réfléchi à un code, il n'a pas été possible de tester directement sur la chaîne de conditionnement. Au-delà de l'impact sur la phase de conception, cela a eu un impact direct sur la rédaction du rapport, car nous avons dû nous appuyer sur des hypothèses pour évaluer des aspects tels que le rendement du robot. Cette absence de tests réels a aussi rendu difficile l'évaluation des performances concrètes du robot dans des conditions de production spécifiques.

Une autre difficulté importante a été l'absence d'un cahier des charges complet, notamment en ce qui concerne le budget. Le choix des solutions finales a été largement influencé par cette contrainte. En effet, plusieurs solutions ont été écartées en raison de leur coût élevé, même si elles auraient potentiellement offert des avantages supplémentaires. Si le projet avait réellement été mené et si le budget avait été mieux défini, certaines de ces solutions auraient pu être envisagées.

Enfin, l'un des défis récurrents a été de collecter des informations détaillées et actualisées sur le robot, les solutions possibles et les technologies associées.

Si j'avais la possibilité de réaliser de nouveau un tel projet, voici les aspects que je souhaiterais changer ou améliorer. Tout d'abord, j'aurais souhaité augmenter les échanges entre les membres du groupe, afin que chacun soit impliqué dans l'intégralité des tâches, et non répartir celles-ci unes par une. Cela aurait permis à chacun d'en apprendre plus sur chaque compétence développée/nécessaire (programmation, analyse fonctionnelle…) mais aussi que chaque membre ait une vision plus globale du projet de l'émission du besoin à la réalisation finale. De plus, pour la partie conception, avec du recul, il aurait été préférable de commencer plus tôt cette phase qui nous aurait permis de tester davantage de solutions et de développer d'autres idées en se rendant compte de potentiels problèmes. J'aurais également préféré que la partie conception soit plus concrète en testant le robot en situation réelle. Enfin, pour la réalisation de la boîte d'approvisionnement par stockage vertical, je trouve que cette solution pourrait être améliorée. L'idée nous est venue trop tard, à la fin du projet. Il s'agissait d'un aspect important de notre installation que nous n'avons pas donc pas eu le temps d'étudier en profondeur. Nous aurions par exemple pu utiliser des ressorts pour faire monter le carton.

Ce projet a été l'occasion de parfaire mes connaissances et compétences. J'ai tout d'abord appris comment gérer un projet d'implantation de robot de A à Z et quels sont les prérequis d'une telle installation. J'ai aussi renforcé mes connaissances en analyse fonctionnelle interne et externe. Cette expérience de travail en groupe m'a permis d'apprendre comment regrouper et développer l'imagination de chacun pour concevoir des solutions innovantes. Enfin, ce projet m'a permis d'être bien plus à l'aise avec le fonctionnement des différents éléments composant la cellule flexible de production.