

Année Académique : 2021-2022

MEMOIRE DU PROJET D'ENTREPRISE LICENCE 3

**ÉTUDE ET MISE EN OEUVRE D'UN SYSTÈME DE VISION PAR
ORDINATEUR POUR UN MANIPULATEUR MOBILE :
CAS DE ZBOT**

Présenté par :

KOUAKOU konan Joel, Licence 3 Systèmes Réseaux Informatiques et Télécoms (SRIT)

N'DA Yapi Georges, Licence 3 Système Informatiques et Génie Logiciel (SIGL)

Tagraud Zokou Romaric, Licence 3 Réseaux et Telecom (RTEL)

Encadrants :

Dr. PANDRY Ghislain, Enseignant Chercheur à L'ESATIC

M. YAO Kouame Alain, Chef de projet à la SIIN

SOMMAIRE

INTRODUCTION

PREMIÈRE PARTIE : PRÉSENTATION GÉNÉRALE

CHAPITRE I : ORGANISME D'ACCEUIL

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART

CHAPITRE III : ÉTUDE PRÉALABLE

DEUXIÈME PARTIE : ANALYSE ET CONCEPTION

CHAPITRE IV : MÉTHODES D'ANALYSE ET DE CONCEPTION

CHAPITRE V : PHASE DE CONCEPTION

TROISIÈME PARTIE : RÉALISATION DU PROJET

CHAPITRE VI : CADRE DE DÉVELOPPEMENT

CHAPITRE VII : RÉALISATION DU SYSTÈME

CONCLUSION

SIGLES ET ABRÉVIATIONS

ASACI	Association des S ociétés d'Assurances de Côte d'Ivoire
APTE	A pplication aux T echniques d' E ntreprise
AADL	Architecture A nalysis and D esign L anguage
BDD	B lock D efinition D iagram
CNN	C onvolutional N eural N etworks
FAST	F unction A nalysis S ystem T echnique
GPS	G lobal P ositioning S ystem
IA	I ntelligence A rtificielle
IBD	I nternal B lock D iagram
ICR	I ntelligent C haracter R ecognition
MERISE	M éthode d' E tude et de R éalisation I nformatique par les S ous- E nsembles
MIT	M assachusetts I nstitute of T echnology
NASA	N ational A eronautics and S pace A dministration
OCR	O ptical C haracter R ecognition
OMG	O bject M anagement G roup
RNN	R ecurrent N eural N etwork
ROS	R obot O perating S ystem
SWOT	S trengths W eaknesses O pportunities T hreats
SYSML	S ystems M odeling L anguage
TIC	T echnologies de l' I nformation et de la C ommunication
UML	U nified M odeling L anguage

GLOSSAIRE

Algorithme : Un algorithme ou programme est une suite d'instructions rigoureuses bien établies dans le but de résoudre une classe de problèmes (calculs).

Cortex-visuel : Le cortex visuel est une partie du cerveau ayant pour rôle d'analyser et de traiter toutes les informations visuelles perçues par l'œil.

Image: Une image est une représentation matricielle composée d'une multitude de points appelés pixels et dont la valeur est comprise entre 0 et 255 selon l'éclaircissement du pixel.

Manipulateur mobile : Un manipulateur mobile est un système robotique.

Matrice de convolution : Une matrice de convolution est une matrice utilisée dans le but d'améliorer la qualité d'une image.

Modèle: Un modèle est un fichier généré par une machine (un ordinateur) à la suite d'un apprentissage automatique en vue de prédire un résultat.

ZBOT : robot conçu par l'étudiant ZADI.

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Les activités de la SIIN.....	4
Figure 2: Organigramme de la SIIN.....	6
Figure 3: La vision par ordinateur et la vision humain	8
Figure 4: Apprentissage supervisé [3].....	9
Figure 5: Illustration de l'apprentissage par renforcement [5].....	10
Figure 6: Réseau de neurones artificiels [7].....	11
Figure 7: Architecture d'un réseau neuronal [9]	12
Figure 8: Illustration d'une opération de convolution [10].....	13
Figure 9: Opération de pooling [11].....	13
Figure 10: Persévérance rover, robot d'exploration sur MARS [13].....	15
Figure 11: Le robot stamina [14]	16
Figure 12: Moxi, un robot autonome utile dans les hôpitaux [15].....	16
Figure 13: Mir1000, robot industriel [16]	17
Figure 14: Diagramme de Gantt du projet	24
Figure 15: Diagramme des cas d'utilisation.....	29
Figure 16: Diagramme des exigences	30
Figure 17: Organigramme de fonctionnement du système	31
Figure 18: Installation de OpenCV en utilisant l'invide de commandes	37
Figure 19: Processus d'installation de ROS Noetic [23]	38
Figure 20: Identification de quelques objets	39
Figure 21: Calcul de distance entre une caméra et un objet [24].....	40
Figure 22: Test de distance entre la caméra et une bouteille de 8,5 cm.....	40
Figure 23: Mode de fonctionnement du système de vision par ordinateur	41
Figure 24: Illustration de la publication de données	42
Figure 26: Montage de base de tout système d'éclairage automatique [25].....	43

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Etude comparative de certaines catégories d'apprentissage automatique	10
Tableau 2: Matrice SWOT de ZBOT	23
Tableau 3: Etude comparative entre les méthodes de conception.....	26
Tableau 4: Composants électroniques.....	33
Tableau 5: Matériels informatiques	34
Tableau 6: Estimation financière pour la réalisation du projet	44

INTRODUCTION

Le handicap désigne l'incapacité d'un individu à interagir avec son environnement du fait d'une insuffisance physique, morale ou intellectuelle. Selon le rapport de la Coordination des Associations de Personnes handicapées de Côte d'Ivoire (CAPH-CI) paru le 13 janvier 2022 relativement au recensement général de la population et de l'habitat, la Côte d'Ivoire compte plus de 453 453 personnes présentant un handicap dont 38,80% d'handicapés moteurs [1]. À ce jour, aucune solution technologique n'a encore été mise en place pour pallier voire aider ces personnes en situation de mobilité réduite vivant en Côte d'Ivoire.

Une solution de lutte contre ce handicap serait la conception de systèmes robotiques d'assistance aux personnes en situation de handicap. De nombreux robots télécommandés ont été conçus dans le but d'aider les handicapés dans des tâches spécifiques. Cependant, ces inventions ne sont utiles qu'aux utilisateurs capables de se servir et de manipuler un objet tel que la télécommande, d'où la nécessité de créer des robots autonomes pour les handicapés n'ayant pas cette capacité.

Aujourd'hui, la vision par ordinateur s'impose comme domaine indispensable à la robotique pour la création de systèmes robotiques autonomes dans l'exécution de tâches quotidiennes. Vu l'importance qu'a la vision par ordinateur dans le domaine de la robotique, la SIIN envisage automatiser son système robotique en nous confiant comme projet de fin d'étude <<**ÉTUDE ET MISE EN OEUVRE D'UN SYSTÈME DE VISION PAR ORDINATEUR POUR UN MANIPULATEUR MOBILE : CAS DE ZBOT**>>. L'objectif de ce système est de doter le robot ZBOT d'une capacité à identifier chaque objet se trouvant dans son environnement, calculer la distance le séparant d'un objet et déterminer un parcours en fonction des obstacles. Afin de mieux cerner le sujet, plusieurs questions nous viennent à l'esprit à savoir :

- Quelles sont les différentes catégories de robots autonomes d'assistance conçus ?

- Quelles sont les insuffisances présentées par ces systèmes robotiques ?
- Quels aspects de la vision par ordinateur utiliser pour concevoir des robots autonomes ?

Les réponses à ces questions apparaîtront progressivement dans le corps de notre mémoire qui est composé de 3 grandes parties. Dans la première partie, il s'agira de faire une description générale de l'entreprise d'accueil tout en identifiant les différents besoins de cette dernière. Ensuite, nous présenterons les différentes méthodes d'analyses et de conception puis la méthode utilisée pour la conception de notre système dans la deuxième partie. Dans la troisième partie, il s'agira de présenter la réalisation du système en indiquant les outils technologiques utilisés et en montrant les résultats obtenus.

PREMIÈRE PARTIE : PRÉSENTATION GÉNÉRALE

*L'objectif de cette partie est de présenter la structure d'accueil et faire l'état de l'art
de la vision par ordinateur.*

CHAPITRE I : ORGANISME D'ACCUEIL

I- PRÉSENTATION DE LA SIIN

1- Historique de la SIIN

Créée le 25 avril 2017, la SIIN (Société Ivoirienne d'Intelligence Numérique) naît d'une collaboration entre le Cabinet d'Expertise de Conseil et de Courtage en assurance (CECC-ASSUR) et l'Association des Sociétés d'Assurances de Côte d'Ivoire (ASACI).

C'est une entreprise de type SAS (Société par Actions Simplifiées) dont le siège social est situé à Abidjan Treichville zone 3 km4 du boulevard de Marseille.

2- Objectif

L'entreprise s'est donnée pour mission, la mise en place d'un environnement numérique essentiellement basé sur la sécurité et la rapidité des opérations qui existent entre assureurs et clients.

3- Activités de la SIIN

Afin d'atteindre ses objectifs, la Société Ivoirienne d'Intelligence Numérique exerce principalement dans le secteur tertiaire à savoir :



Le domaine de l'assurance maladie



Le domaine de l'assurance santé



Le domaine de l'assurance accident

Figure 1: Les activités de la SIIN

II- ORGANISATION DE LA SIIN

1- Organisation interne de la SIIN

1.1- Le Président

Le président de la SIIN, représentant légal de l'entreprise a le devoir, l'obligation d'interagir avec le comité consultatif pour mettre en place des stratégies, moyens destinés à la bonne marche et au rayonnement de la structure. Monsieur COULIBALY HABIB est l'actuel président.

1.2- Le Comité Consultatif

Il s'agit de l'organe de contrôle et de direction de la SIIN. Ses membres se réunissent une fois par an pour statuer sur les travaux réalisés, estimer les conséquences des travaux sur la croissance de l'entreprise et planifier de nouvelles orientations pour la bonne marche de l'organisation.

1.3- Le Chargé des Relations

Il a pour tâche de signer des partenariats avec d'autres structures publiques et privées. Professeur PASCAL OLIVIER ASSEU est l'actuel chargé des relations.

1.4- Le Coordonnateur

Le coordonnateur est l'intermédiaire entre la SIIN et l'ESATIC. Il collabore avec le président et le chef de projet pour mettre en œuvre tout projet issu d'un partenariat extérieur. L'actuel coordonnateur est Docteur FRANKLIN KOUASSI.

1.5- Le Chargé de la Formation

Le chargé de la formation, Mme HOUNDJE LAURELLE a pour mission la formation du personnel du call center et de l'équipe d'ingénierie dans le domaine de l'assurance.

1.6- Le Call Center

Ce département représente la clé de l'entreprise, il est chargé de collecter les préoccupations et inquiétudes des clients.

1.7- Le Département d'ingénierie

Il a pour fonction de diriger et réaliser tous les projets de l'entreprise. C'est le département dans lequel nous avons travaillé

1.8- Le chef projet

Monsieur SEVAN AKOUMA, chef projet, est chargé du suivi et de la gestion du département d'ingénierie. Il rend compte au président et au coordonnateur.

2- Organigramme de la SIIN

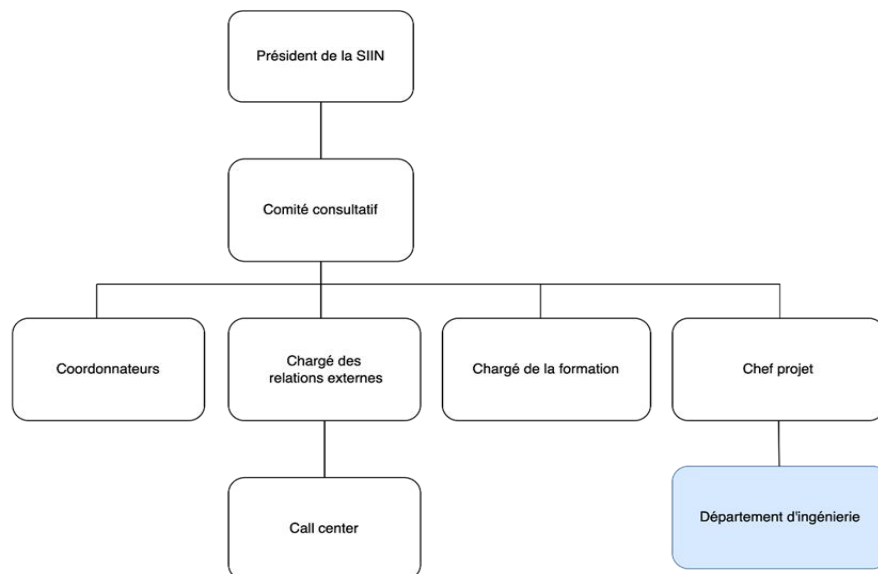



Figure 2: Organigramme de la SIIN

Légende :  Le département dans lequel nous avons réalisé notre système

CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART

Cette étape de notre travail consiste à établir un bilan des différentes inventions et toutes les connaissances qui englobent le domaine de la vision par ordinateur.

I- LA VISION PAR ORDINATEUR

1. Historique

Depuis les années 60, les scientifiques essaient de mettre en place des moyens permettant aux machines de récupérer des informations grâce aux données visuelles telles que les images et vidéos. En 1962, Hubel et Wiesel ont tenté de comprendre le système de vision d'un chat en lui présentant un ensemble d'images. L'expérience a montré que les neurones de l'animal étaient excités lorsqu'il identifiait les contours et les limites des différents objets sur ces différentes images. Ce qui signifie que la reconnaissance d'objets s'opère par la détection de contours.

Dès 1963, les ordinateurs ont eu la capacité d'associer une image bidimensionnelle (2D) à son portrait tridimensionnel (3D).

En 1966, la notion de vision par ordinateur apparaît à l'occasion d'un projet de jeunes étudiants de MIT. Les recherches sur la vision par ordinateur aboutissent en 1974. La reconnaissance optique de caractères (OCR) et la reconnaissance intelligente de caractères (ICR) furent les premiers résultats de ces dernières. En effet L'OCR reconnaît du texte imprimé dans une police de caractères quelconques tandis que l'ICR déchiffre du texte écrit à la main. L'année 1982 a été marquée par la découverte du scientifique David Marr qui a permis de comprendre que le fonctionnement de la vision par ordinateur est un processus hiérarchique. Pendant cette période, il a conçu des programmes (algorithmes) permettant aux ordinateurs d'identifier et de détecter les contours, limites et courbes d'objets se trouvant sur une image.

De l'année 2000 à aujourd'hui, les recherches dans le domaine de la vision par ordinateur sont orientées sur la reconnaissance faciale et d'objets. En 2010, différentes applications de la reconnaissance faciale apparaissaient [2].

2. Définition

La vision par ordinateur est un domaine de l'intelligence artificielle (IA) permettant aux ordinateurs et systèmes d'informations, d'extraire des informations d'images digitales, vidéos et autres entrées visuelles. Elle s'apparente à la vision humaine qui a la capacité de s'auto-entraîner à faire la distinction entre différents objets, à estimer la distance entre ces derniers et à déterminer s'ils sont en mouvement. En effet, la vision par ordinateur entraîne les machines à exécuter des fonctions telles que celles de la vision humaine, mais en très peu de temps en utilisant des données visuelles, des algorithmes et des caméras plutôt que le cortex visuel et la rétine, organes de l'être humain.



Figure 3: La vision par ordinateur et la vision humaine

Plusieurs domaines englobent la vision par ordinateur notamment la biologie, la physique (l'optique), les mathématiques, l'informatique et le machine learning.

II- APPLICATION ET RÉALISATION DE LA VISION PAR ORDINATEUR DANS LA ROBOTIQUE

1- Fonctionnement de la vision par ordinateur

La vision par ordinateur nécessite un certain nombre d'entrées que sont les données visuelles (images, vidéos) qu'elle analyse afin de percevoir les caractéristiques et distinctions aidant à la reconnaissance d'images ou d'objets. Pour fonctionner, la vision par ordinateur nécessite deux concepts fondamentaux que sont l'apprentissage automatique et un réseau de neurones convolutifs (CNN).

L'apprentissage automatique encore appelé machine learning en anglais est un sous domaine de l'intelligence artificielle basé sur des théories mathématiques, donnant la capacité aux ordinateurs d'apprendre à partir de données et non à l'aide d'une programmation explicite. L'objectif de ce dernier est de laisser la machine (l'ordinateur) concevoir son modèle d'analyse sans avoir à définir des algorithmes. Il comprend deux phases à savoir la phase d'apprentissage et celle de la mise en production. Pendant la phase d'apprentissage, la machine se base sur plusieurs exemples (images, données) d'un même prototype (un objet) dans le but d'identifier les caractéristiques du modèle. La mise en production permet la mise en application des modèles d'apprentissage automatique dans la vie réelle. Il existe différentes catégories d'apprentissages automatiques parmi lesquelles figurent l'apprentissage supervisé, l'apprentissage par renforcement et l'apprentissage non supervisé.

L'apprentissage supervisé consiste à entraîner la machine en lui montrant des exemples de la tâche à réaliser. En d'autres termes, il s'agit d'un processus qui consiste à apprendre à l'ordinateur une fonction de prédiction en lui présentant plusieurs exemples. En effet, elle peut apprendre une relation $h : x \longrightarrow y$ qui a une valeur x associe y en se référant aux millions d'exemples d'associations $x \longrightarrow y$.

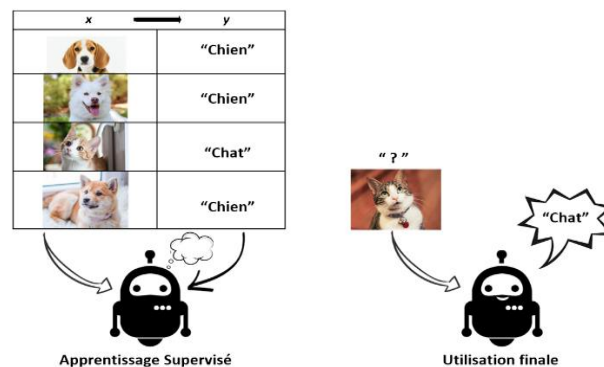


Figure 4: Apprentissage supervisé [3]

L'apprentissage par renforcement est une méthode d'apprentissage automatique dans laquelle l'ordinateur exécute une tâche avec précision au fur et à mesure qu'il rencontre des erreurs au cours des réalisations de travaux antérieurs. Il fonctionne comme le mécanisme humain. En effet, la performance d'un être humain dans un

domaine (la physique) dépend du nombre d'exercices qu'il a traité dans ce secteur. Dans ce système d'apprentissage, la machine ne dispose pas de données préalables pour effectuer des entraînements. Elle est directement confrontée à des tests dans le but de développer sa méthode d'apprentissage à partir des erreurs [4].

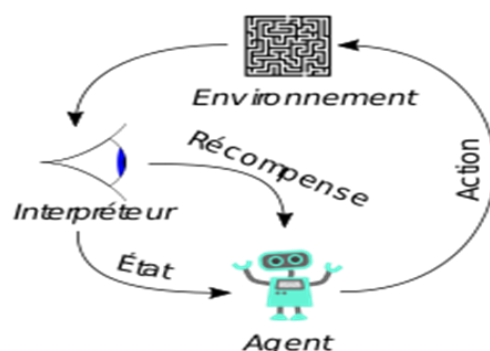


Figure 5: Illustration de l'apprentissage par renforcement [5]

Dans l'apprentissage non supervisé, la machine prédit des réponses à partir d'analyses et de groupements de données. Elle trie et rassemble les données liées grâce à certaines caractéristiques. L'apprentissage de la machine se fait de manière indépendante. Des données lui sont fournies sans que nous lui montrions des exemples de résultats. Le système de détection de transactions frauduleuses est une parfaite illustration de l'apprentissage non supervisé [6].

Tableau 1: Etude comparative de certaines catégories d'apprentissage automatique

Critères	Apprentissage Supervisé	Apprentissage non Supervisé	Apprentissage par renforcement
Données d'entrée	Données fournies à l'avance	Données inconnues en entrée	Données inconnues en entrée
Complexité informatique	Complexe	Moins complexe	Moins complexe

Précision	Les résultats sont précis	Les résultats moins précis	Résultats au fur et à mesure deviennent précis
------------------	---------------------------	----------------------------	--

Le réseau de neurones convolutifs, deuxième concept fondamental de la vision par ordinateur est un type de réseau artificiel de neurones dans lequel l'architecture de connexion entre les neurones se rapproche du cortex visuel des animaux. Un neurone artificiel est l'unité de travail de base de tout système d'intelligence artificielle. Il exprime généralement une fonction sigmoïde : $f(x) = (1 + e^{-x})^{-1}$.

Il représente le moteur de transfert de toute information circulant dans ce dernier (système d'intelligence artificielle). Un réseau de neurones est une structure composée de neurones répartis en plusieurs couches connectées entre elles. Chaque couche reçoit des données qu'elle transforme pour transférer à la couche suivante.

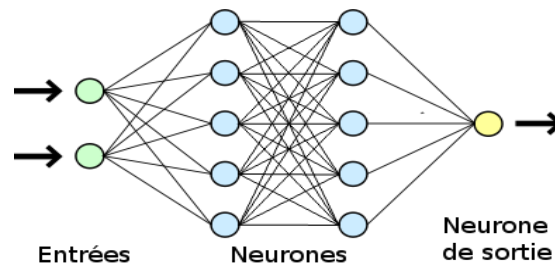


Figure 6: Réseau de neurones artificiels [7]

La forme d'un réseau de neurones diffère selon la donnée qu'il traite, selon sa complexité et selon la méthode de traitement qu'il suit. Les architectures d'un réseau de neurones ont leurs forces et faiblesses [8]. Elles peuvent être combinées pour obtenir de meilleurs résultats. Le choix de l'architecture est important voire primordial et est déterminé par l'objectif à atteindre. Elle se subdivise en 4 grandes familles :

- Réseaux de neurones feed forwarded ;
- Réseaux de neurones récurrents (RNN) ;
- Réseaux de neurones à résonance ;
- Réseaux de neurones auto-organisés.

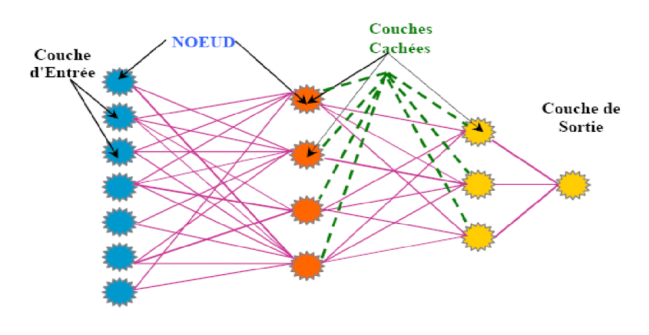


Figure 7: Architecture d'un réseau neuronal [9]

La particularité des réseaux de neurones convolutifs est que chaque neurone de chaque couche intermédiaire est exposé à un champ récepteur. Ainsi l'analyse de ce champ récepteur par un neurone est la même qu'effectue un autre neurone de la même couche avec son propre champ récepteur. Une architecture d'un réseau de neurones convolutifs est formée par un ensemble de couches de traitements empilées que sont :

- La couche de convolution qui traite les données d'un champ récepteur ;
- La couche de pooling (POOL), qui réduit la taille d'une image tout en compressant l'information que présente l'image ;
- La couche de correction ;
- La couche de perception ;
- La couche de perte.

La couche de convolution utilise des filtres qui scannent l'image d'entrée suivant ses dimensions en effectuant des opérations de convolution. L'objectif est de repérer la présence d'un ensemble de *features* dans une image reçue en entrée. Pour cela, on réalise un filtre de convolution. L'idée est de faire glisser une fenêtre représentant la *feature* sur l'image, et de calculer le produit de convolution entre la *feature* et chaque portion de l'image balayée. Le produit de convolution consiste en une opération de multiplication de deux matrices de tailles différentes mais de mêmes dimensions produisant une nouvelle matrice de même dimension. La convolution est le fait de traiter une matrice (image) par une autre matrice appelée matrice de convolution ou kernel.

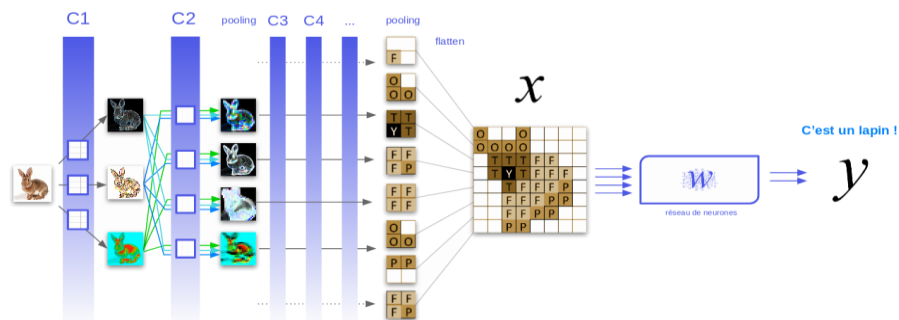


Figure 8: Illustration d'une opération de convolution [10]

La couche de pooling est une opération appliquée après une couche de convolution. Elle découpe l'image d'entrée en une série de rectangles de plusieurs pixels. Chaque rectangle est appelé tuile. Le pooling réduit la taille d'une image intermédiaire, ainsi la quantité de paramètres et de calculs dans le réseau. Il est donc fréquent d'insérer périodiquement une couche de pooling entre deux couches convolutives successives d'une architecture de réseaux de neurones convolutifs pour réduire le sur-apprentissage.

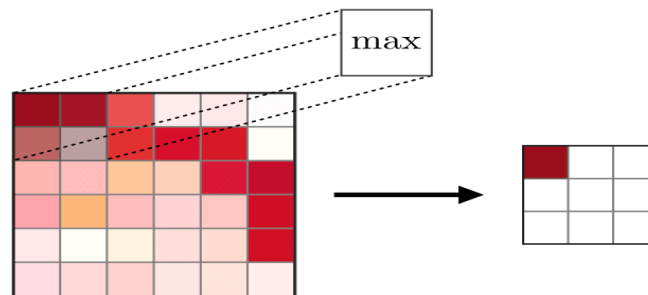


Figure 9: Opération de pooling [11]

La couche de perception encore appelée fully connected s'applique sur une entrée préalablement aplatie où chaque entrée est connectée à tous les neurones. Les couches de perception sont généralement disposées à la fin des architectures des réseaux de neurones convolutifs (CNN).

Il est possible d'améliorer l'efficacité du traitement d'une image en implantant une couche de correction entre les couches de traitements qui se chargent d'opérer une fonction mathématique. Nous avons :

La correction par tangente hyperbolique : $f(x) = \tanh(x)$

La correction par la tangente hyperbolique saturante : $f(x) = |\tanh(x)|$

La correction par la fonction sigmoïde : $f(x) = (1 + e^{-x})^{-1}$

La couche de perte mesure l'impact de l'entraînement du réseau sur le signal réel prévu. Elle est la dernière couche dans l'architecture d'un réseau de neurones convolutifs [12].

2- Application de la vision par ordinateur dans la robotique

La vision confère aux robots, la capacité à remplacer l'homme dans la réalisation de plusieurs tâches. L'utilisation de machines et d'algorithmes de vision par ordinateur pour visualiser et agir pour le changement de l'environnement peut être primordiale. Les applications de la vision par ordinateur dans la robotique incluent les éléments suivants :

- La robotique spatiale ;
- La robotique industrielle ;
- La robotique militaire ;
- La robotique médicale.

2.1 - La robotique spatiale

Le robot **rover** est une parfaite illustration de la robotique spatiale. Il est composé de 6 roues qui lui permettent de se mouvoir sur la surface de Mars et dispose également de 23 caméras ayant pour objectif la prise de clichés de l'environnement (Mars) afin de les transmettre à la NASA. En effet, ce robot est un véhicule à moteur pour voyager à la surface de Mars.

Il est utilisé pour divers programmes d'exploration sur Mars. Ces programmes sont effectués dans le but de :

- Déterminer si la vie n'est jamais apparue sur Mars ;
- Caractériser le climat de Mars ;
- Caractériser la géologie de Mars.

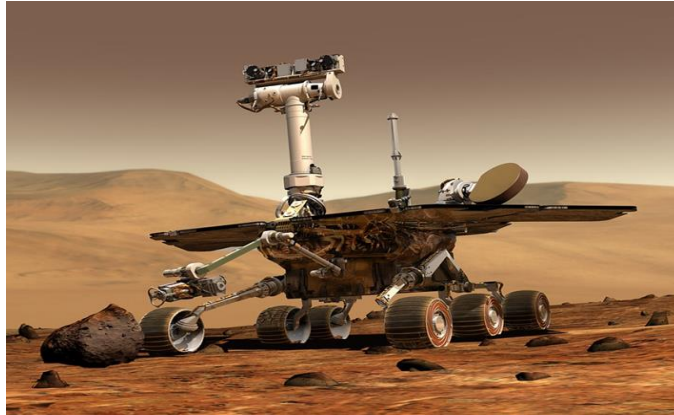


Figure 10: Persévérance rover, robot d'exploration sur MARS [13]

2.2 - La robotique militaire

L'intégration de la vision par ordinateur dans la robotique joue un rôle important dans les opérations militaires. L'utilité de cette intégration est la conception de robots capables de :

- Détecter et désamorcer des mines ;
- Intervenir lors des incendies ;
- Effectuer des opérations d'espionnage.

Nous pouvons citer comme exemple le robot **Stamina** de l'armée française. **Stamina** est un robot autonome près à être utilisé par l'armée française du fait de sa capacité à transporter du matériel, à se déplacer sans GPS et à effectuer des patrouilles de surveillances à la frontière. Il est équipé d'une caméra embarquée qui lui permet de se déplacer tout en évitant les obstacles. Il a été conçu par une entreprise française nommée Stamina.



Figure 11: Le robot stamina [14]

2.3 - La robotique médicale

Moxi est un robot utilisé dans les hôpitaux pour aider les infirmières et autres personnels de la santé. Il est utilisé pour effectuer environ 30% des travaux de ces derniers comme faire le dépôt des échantillons à analyser dans un laboratoire.



Figure 12: Moxi, un robot autonome utile dans les hôpitaux [15]

Il est équipé d'un bras robotisé et d'un système jouant le rôle de roues qui lui permettent de se mouvoir tout en récupérant des objets médicaux (seringues, échantillons à analyser). Il dispose également de capteurs pour la perception de son environnement comme la caméra et le laser.

2.4 - La robotique industrielle

Aujourd'hui, grâce à la vision par ordinateur, les robots exécutent des tâches industrielles de façon autonome. L'avantage des robots industriels est de permettre

l'augmentation de la productivité et l'amélioration de la qualité de production. Nous pouvons citer comme exemple de robot industriel, le Mir1000.

Le Mir1000 est un robot autonome utilisé généralement dans les industries pour l'automatisation du transport des matériaux et des charges logistiques de près de 1000kg. En effet, il dispose de deux caméras 3D lui donnant une vision de 30 à 20000 mm et d'une technologie de balayage au laser qui offre une vision à 360°. Les industries utilisent de Mir1000 dans le but d'augmenter leurs productivités.



Figure 13: Mir1000, robot industriel [16]

CHAPITRE III : ÉTUDE PRÉALABLE

Ce chapitre consiste à présenter le cahier des charges, énumérer les installations existantes et à établir un planning de travail pour la réalisation du projet.

I- CAHIER DES CHARGES

1- Contexte du projet

Ce mémoire s'inscrit dans le cadre de l'aide apportée aux personnes en situation de mobilité réduite qui est l'un des principaux objectifs du projet SMARTCITY. Un robot d'assistance a été mis en place pour améliorer la mobilité de ces personnes. Pour se mouvoir, ce dernier (robot) nécessite une intervention humaine, ce qui constitue une tâche fastidieuse pour l'utilisateur. C'est dans l'optique de pallier ce problème qu'il nous a été demandé de mettre en place un système permettant au robot d'être autonome en ayant la capacité de reconnaître, identifier les objets se trouvant dans son environnement.

2- Etude de l'existant

L'enquête menée au sein de la SIIN en matière de robotique dans le cadre du projet SMART-CITY nous a permis de faire ressortir des particularités et spécificités du projet en rapport avec ce domaine. Dans le but d'aider les personnes en situation de mobilité réduite dans l'exécution de tâches quotidiennes, un robot d'assistance nommé ZBOT a été conçu. En effet, ce dernier est équipé de :

- Un servomoteur ou bras robotique permettant au robot de récupérer un certain nombre d'objets (bouteille pleine d'eau, une tasse de café) ;
- Un motoréducteur chargé de faire tourner les roues de ZBOT en lui fournissant un courant continu ;
- Un châssis ayant pour objectif de surmonter les obstacles sur le chemin du robot ;
- Une tablette utilisée comme une télécommande, permettant la manipulation du robot à distance (dans un rayon de 2 m) ;
- Un module bluetooth permettant la connexion entre la tablette et le robot ;

- Des capteurs ultrasons calculant la distance entre le robot et des objets quelconques ;
- Un raspberry pour l'intégration des programmes (algorithmes) nécessaires au fonctionnement du robot.

3- Critiques de l'existant

Dans l'ensemble, nous pouvons signifier que ZBOT, le robot d'assistance joue un rôle primordial dans la vie des personnes en situation de mobilité réduite dans la mesure où il leur permet d'exécuter des tâches quotidiennes, basiques de façon autonome. Cependant, l'analyse des différentes fonctionnalités du robot ZBOT nous a permis de relever des insuffisances qui empêchent le maximum d'handicapés moteurs de s'en servir. Ces insuffisances sont à plusieurs niveaux :

- ZBOT se meut uniquement grâce à une tablette utilisée comme une télécommande ;
- L'utilisation de ZBOT est restreinte uniquement aux handicapés moteurs capables de manipuler des objets tels que la tablette, le téléphone, la télécommande. En d'autres termes, les handicapés moteurs souffrant de problèmes musculaires ne peuvent utiliser ZBOT, ne peuvent manipuler ZBOT du fait de la télécommande ;
- La manipulation de ZBOT s'opère dans un rayon de 2 m. En effet la télécommande est connectée à un module Bluetooth qui permet la manipulation de ZBOT à distance ;
- Dans l'obscurité, le robot est inutile car il ne dispose pas de modules lui permettant de diffuser de la lumière.

Dans le but de résoudre ces insuffisances, nous devons réaliser une analyse fonctionnelle des besoins des handicapés moteurs afin de déterminer les attentes de ces derniers.

4- Intérêts du sujet

- Intérêts personnels

Ce sujet a un intérêt capital dans la mesure où il nous permet d'apprendre plus sur l'intelligence artificielle précisément sur la vision par ordinateur. De plus, il élargit notre champ de vision sur l'impact positif qu'a la vision par ordinateur dans le domaine de la robotique.

- Intérêts sociaux

Ce sujet est bénéfique pour les handicapés moteurs dans la mesure où il réduit les coûts d'assistances de ces handicapés en mettant à leur disposition un robot mobile leur permettant d'exécuter de façon aisée leurs tâches.

5- Objectif Général

L'objectif général de notre système est de pallier aux insuffisances de ZBOT en concevant un module de vision par ordinateur dans le but de permettre à ZBOT d'être plus utile aux handicapés moteurs par son autonomie dans l'exécution de tâches quotidiennes.

6- Objectifs spécifiques

Nos objectifs sont basés essentiellement sur 4 phases :

- ✓ Mettre en place une méthode permettant au robot de reconnaître son environnement ;
- ✓ Doter le robot d'une capacité à calculer la distance qui le sépare d'un objet ;
- ✓ Permettre au robot de distinguer chaque objet se trouvant dans son espace ;
- ✓ Autonomiser le déplacement et le fonctionnement du manipulateur mobile (robot) ;
- ✓ Permettre au robot d'éviter les obstacles se présentant sur son chemin ;
- ✓ Améliorer la vue du robot dans l'obscurité en ayant la capacité de s'auto-éclairer.

7- Contraintes

Les contraintes liées à ce projet se situent au niveau du temps qu'il a fallu pour avoir une base solide en intelligence artificielle principalement sur la vision par ordinateur et la robotique qui sont deux domaines dans lesquels nous avons peu de connaissances.

II- ANALYSE FONCTIONNELLE DES BESOINS

L'analyse fonctionnelle est un processus permettant d'ordonner et de faire valoir les fonctions du produit attendues par le client.

1- La méthode APTE

La méthode APTE (Application aux Techniques d'Entreprise) est une méthode de gestion de projet. Elle permet d'estimer les obstacles, contraintes, les difficultés que rencontre un projet, un produit solutionnant un besoin ressenti [17]. Elle est constituée de deux types d'analyses que sont l'analyse fonctionnelle interne et l'analyse fonctionnelle externe.

2- Analyse fonctionnelle externe

L'analyse fonctionnelle externe décrit les besoins d'un client. En effet, elle sert à effectuer une analyse du besoin de ce dernier sous forme de fonctions indépendamment de toutes solutions. Cette analyse nous permet d'obtenir plusieurs diagrammes dont le **diagramme pieuvre** et le **diagramme bête à cornes**.

2.1- Diagramme bête à cornes

Un diagramme bête à cornes est un outil utilisé pour l'analyse fonctionnelle des besoins. Il s'agit de la première étape de la méthode APTE. L'utilité de cet outil est de définir au préalable les différentes orientations du travail à suivre. Ce diagramme est présenté à l'annexe 1 [18].

2.2 - Diagramme pieuvre

Le diagramme pieuvre décrit la relation existante entre un produit et son environnement. L'objectif de ce diagramme est d'améliorer un produit en identifiant ses faiblesses et ses forces. Ce diagramme est présenté à l'annexe 2 [19].

3- Analyse fonctionnelle interne

L'analyse fonctionnelle interne suit l'analyse fonctionnelle externe. En effet, elle consiste à définir les méthodes, rôles techniques du produit afin de réaliser les fonctions services demandées par le client. Elle se décline en un **diagramme FAST**.

3.1- Diagramme FAST

Le **diagramme FAST** permet de décomposer une fonction principale en différentes sous fonctions techniques qui aboutissent à plusieurs solutions techniques. Il est présenté à l'annexe3.

III- PLANIFICATION DU PROJET

1- Objectif smart

Il s'agit de permettre à 90% des personnes handicapés et âgées de se servir, d'utiliser un manipulateur mobile (ZBOT) de façon aisée par la mise en place d'un système de vision par ordinateur afin de le rendre autonome.

2- Livrables attendus

Les livrables attendus à la fin de la réalisation du projet sont :

- ✓ Un rapport décrivant les étapes de la conception d'un système de vision par ordinateur pour un robot ;
- ✓ Les outils utilisés pour la conception d'un système de vision par ordinateur ;
- ✓ Un robot ayant la capacité de reconnaître son environnement, se mouvoir dans ce dernier et déterminer un parcours pour éviter les obstacles ;
- ✓ Un robot pouvant s'auto-éclairer en absence de lumière (obscurité).

3- Matrice SWOT

La matrice **SWOT** est une technique d'entreprise utilisée dans le but d'identifier les objectifs de cette dernière et les paramètres internes ou externes qui agissent sur la réalisation de ses buts fixés. Elle permet de mettre en place une stratégie de marketing en évaluant les données, les atouts et les défauts de l'entreprise.

Tableau 2: Matrice SWOT de ZBOT

Forces	Faiblesses
<ul style="list-style-type: none"> - Ce système aide les personnes handicapées à exécuter des tâches quotidiennes. - Il facilite l'utilisation d'un manipulateur mobile à toute sorte de personnes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Le module de calcul de distance du système est approximatif. - Le robot ne peut repérer des objets qui se trouvent à une distance de 5m. - La caméra utilisée pour ce projet n'est pas conçue pour ces types de projets.
Opportunités	Menaces
<ul style="list-style-type: none"> - Évolution des technologies nées de la 4^{ème} révolution industrielle. - Possibilité de concevoir des systèmes robotiques répondant à des problèmes et moins coûteux. 	<ul style="list-style-type: none"> - Disparition du métier d'assistance des personnes en situation de mobilité réduite. - Augmentation du taux de chômage.

4- Diagramme de Gantt

Le diagramme de Gantt est un outil de gestion de projet utilisé dans le but de représenter l'état d'avancement d'un projet en fonction du temps. En effet, il permet de mesurer l'impact des facteurs externes, imprévus tout au long de la réalisation du projet. Il se présente comme suit :

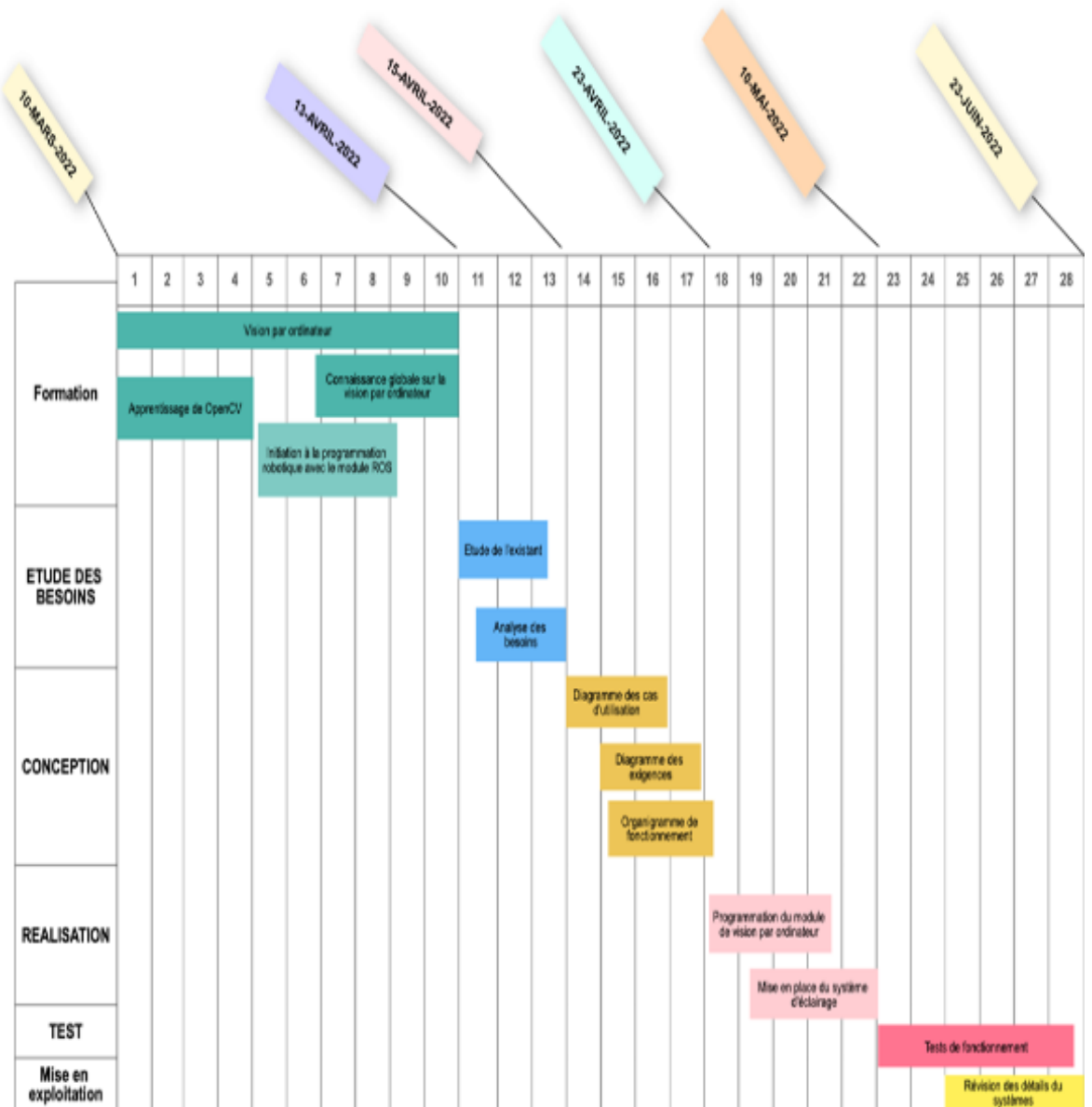


Figure 14: Diagramme de Gantt du projet

DEUXIÈME PARTIE : ANALYSE ET CONCEPTION

Dans cette partie, nous présentons et analysons les différentes méthodes de conception afin de définir la méthode adaptée à notre projet.

CHAPITRE IV: MÉTHODES D'ANALYSE ET DE CONCEPTION

La méthode d'analyse et de conception est un processus ayant pour but l'établissement des étapes de développement, d'élaboration d'un système afin de se rapprocher plus des besoins et attentes du client. Elle représente une étape nécessaire à la réalisation de tous systèmes technologiques. En effet, elle comprend deux phases, une phase d'analyse qui consiste à énumérer les performances et les fonctionnalités du système puis une phase de conception permettant de décrire l'architecture du fonctionnement de ce système afin de faciliter sa réalisation.

I- PRÉSENTATION DES MÉTHODES

1- MERISE

Créée dans les années 1970, MERISE est une méthode de modélisation née en France dans le but de définir un plan de conception de système d'information. Elle se base sur l'analyse séparée des données et des traitements dans le but d'effectuer une bonne modélisation du système d'information bien qu'ils soient liés.

MERISE fonctionne selon 3 axes : un cycle de vie ou niveau physique représentant la phase de conception du projet, un cycle de décision ou niveau logique consistant à définir les étapes de la mise en place du système et le niveau conceptuel ou cycle d'abstraction pour la représentation schématique de la structure du système et celle du traitement [20].

2- SYSML

SYSML est un langage de modélisation courant dans le domaine de l'ingénierie système. En effet, Il décrit la structure de fonctionnement de tout système technique. Il a été mis en place par L'OMG (Object Management Group) dans l'optique d'étendre le champ d'application de la méthode UML dans la conception des systèmes technologiques [21].

3- AADL

AADL (Architecture Analysis and Design Language) est un langage de modélisation qui a été développé par la SAE (International Society of Automotive Engineers) dans le but de rendre la conception des systèmes complexes dans les domaines comme la robotique, l'automobile plus aisée. En effet, il dispose d'une notation graphique et textuelle qui permet de modéliser des architectures logicielles et matérielles. Il effectue également des analyses dans l'optique d'en savoir plus sur la performance et le mode de fonctionnement d'un système [22].

II- ANALYSE COMPARATIVE ENTRE MÉTHODES DE CONCEPTION

1- Analyse des différentes méthodes

Ce tableau nous présente une analyse comparée des différentes méthodes d'analyse et de conception afin de sélectionner la mieux adaptée.

Tableau 3: Etude comparative entre les méthodes de conception

METHODES	AVANTAGES	INCONVENIENTS
MERISE	<ul style="list-style-type: none">- Outil généralement utilisé par les entreprises- Outil mieux adapté aux projets de conception d'applications informatiques (application web et mobile)- Distinction entre les données et le traitement de données au cours de la modélisation	<ul style="list-style-type: none">- Inadaptée aux projets de conception de systèmes techniques (systèmes robotiques et automobiles)- Moins adaptée à la conception de projets basés sur les données à caractère sémantique (Données utiles au concepteur pour améliorer ses réalisations)

AADL	<ul style="list-style-type: none"> - Adaptée aux projets de conception des systèmes avioniques, automobiles, robotiques - Elle offre une multitude de composants pour la modélisation de systèmes embarqués 	<ul style="list-style-type: none"> - Utilisation d'outils, composants spécifiques aux domaines de l'électronique dans la modélisation des systèmes. Ce qui rend difficile la compréhension des personnes - Généralement utilisée pour la modélisation des projets de conception des systèmes automobiles
SYSML	<ul style="list-style-type: none"> - Mieux adaptée pour la modélisation de projets d'ingénierie - Généralement utilisée pour la modélisation de systèmes d'intelligence artificielle et robotiques - La syntaxe de la méthode SYSML est flexible et riche 	<ul style="list-style-type: none"> - Nécessite une connaissance en UML - L'accent est mis sur le design de la modélisation

2- Choix de la méthode

L'étude et l'analyse détaillées des avantages et inconvénients des différentes méthodes de conception de projets définies ci-dessus nous contraignent à porter notre choix sur la méthode SYSML. SYSML est une méthode de modélisation graphique pour l'analyse, la vérification des systèmes complexes pouvant inclure du matériel technologique, électronique (hardware) et un système logiciel (software). En effet, cette méthode est beaucoup orientée sur l'analyse et la conception de modèles d'ingénierie (système électronique, système robotique).

CHAPITRE V : PHASE DE CONCEPTION

Ce chapitre est consacré à la présentation de la méthode de conception utilisée et à la modélisation de notre système en présentant les diagrammes de fonctionnement de ce dernier.

I- PRÉSENTATION DE LA MÉTHODE CHOISIE

1- SYSML

SYSML est un langage de modélisation dont le but est de décrire l'architecture de fonctionnement de tout système technique, système robotique. Il s'articule autour de 3 diagrammes principaux que sont :

- Le diagramme transversal montrant une approche fonctionnelle d'un projet technique ;
- Le diagramme structurel décrivant une approche structurelle de ce projet ;
- Le diagramme comportemental appelé approche comportementale d'un système ou projet.

2- Présentation générale des diagrammes

2.1 - Diagramme transversal

Il s'agit du diagramme des exigences d'un système. En effet, Il décrit les exigences du cahier des charges fonctionnelles. Une exigence peut être désignée comme étant une fonction dont le système doit satisfaire pour son bon fonctionnement.

2.2- Diagramme structurel

Le diagramme structurel permet la mise en relation des différents éléments du système et leur disposition, agencement, interaction. Il est composé du diagramme de définition des blocs (BDD) pour la description de l'architecture du système et le diagramme de bloc interne (IBD) pour la description de la structure interne du système.

3- Diagramme comportemental

Le rôle du diagramme comportemental est d'identifier toutes les fonctionnalités dont le système doit satisfaire.

II- MODÉLISATION DU SYSTÈME

1- Diagramme des cas d'utilisation

Il s'agit de la première étape pour analyser un projet d'ingénierie. Le rôle de ce diagramme est de montrer les besoins de l'utilisateur tout en énumérant toutes les fonctionnalités du système (système de vision par ordinateur). Un cas d'utilisation est perçu comme étant une interaction entre un utilisateur (handicapé, personne âgée) et notre système de vision par ordinateur appliqué à la robotique.

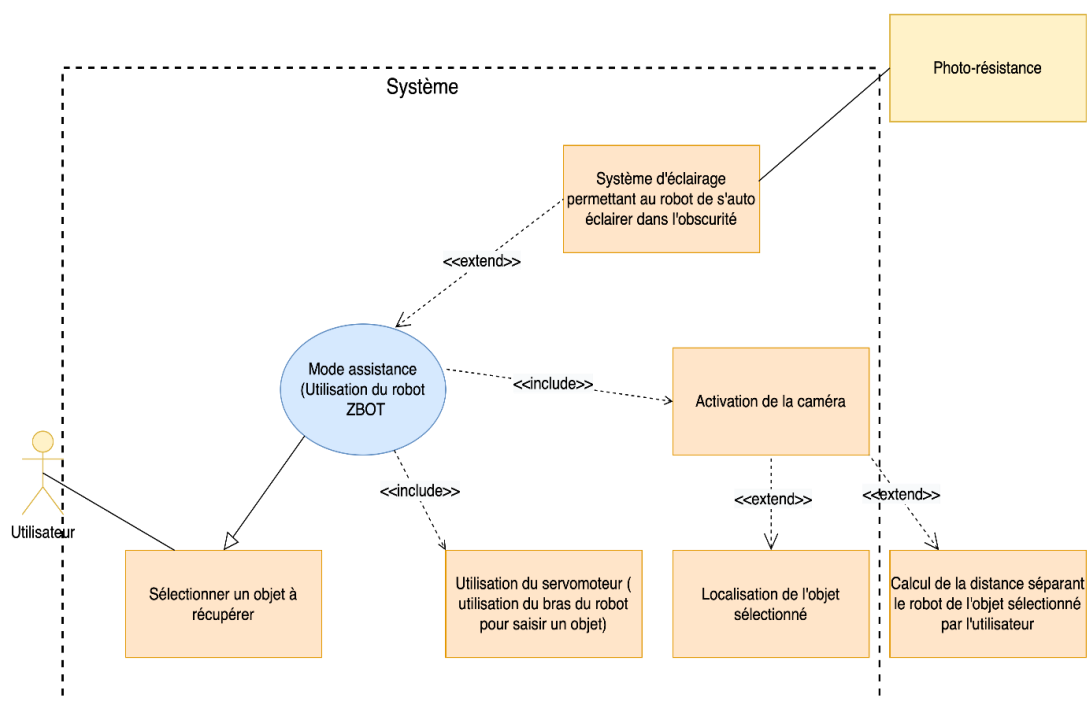


Figure 15: Diagramme des cas d'utilisation

2- Diagramme des exigences

Le diagramme des exigences permet d'identifier, d'analyser les performances et les contraintes de notre système de vision par ordinateur. En effet, il décrit les exigences du cahier des charges fonctionnelles et présente toutes les fonctionnalités de notre système.

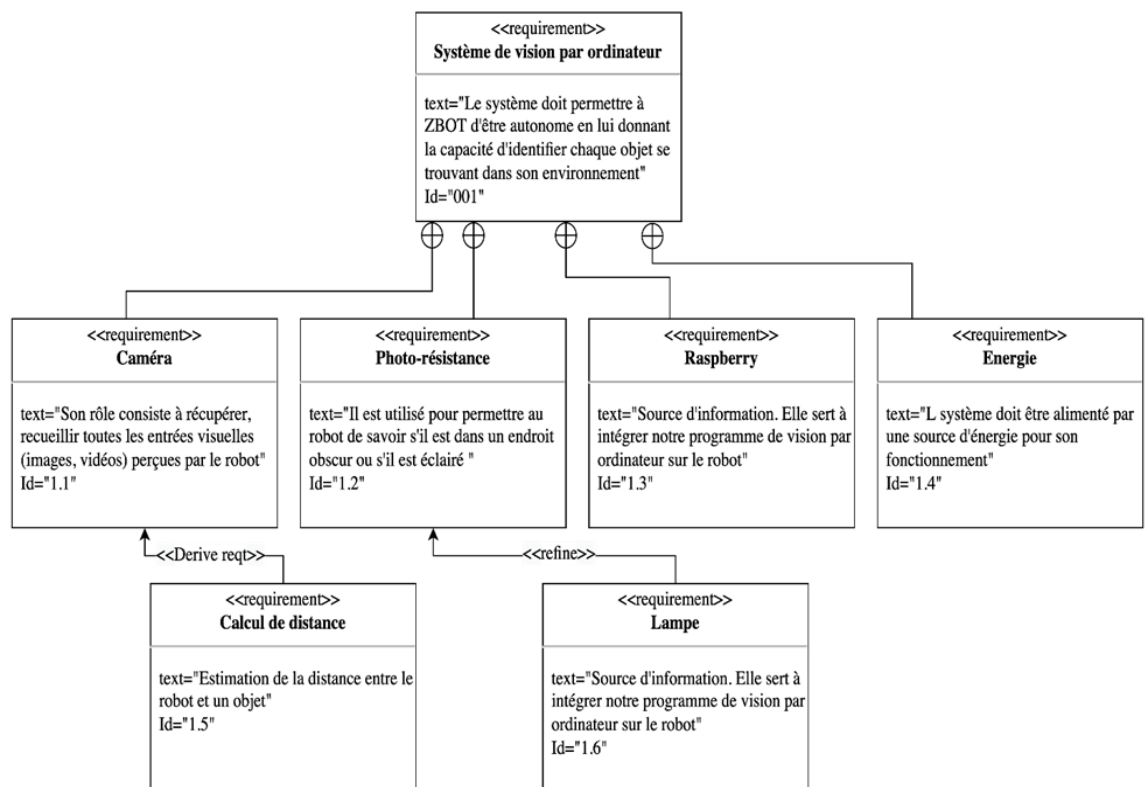


Figure 16: Diagramme des exigences

3- Organigramme de fonctionnement

La figure ci-dessous représente le schéma de fonctionnement de notre système de vision par ordinateur appliqué à la robotique. En effet, lorsque le système est mis en marche, l'utilisateur sélectionne l'objet qu'il veut récupérer (une bouteille par exemple), ensuite après avoir sélectionné ce dernier, l'on assiste à l'activation de la caméra. Dans le cas où l'objet se trouve dans un endroit obscur, la photorésistance envoie des données au système qui se charge d'activer la lampe pour éclairer la vue du robot. Une fois ce processus terminé, le robot fait la recherche de l'objet en faisant des pivotements de 10°. Enfin, si l'objet est trouvé alors il avance vers l'objet tout en évitant les obstacles et dit qu'il a trouvé l'objet.

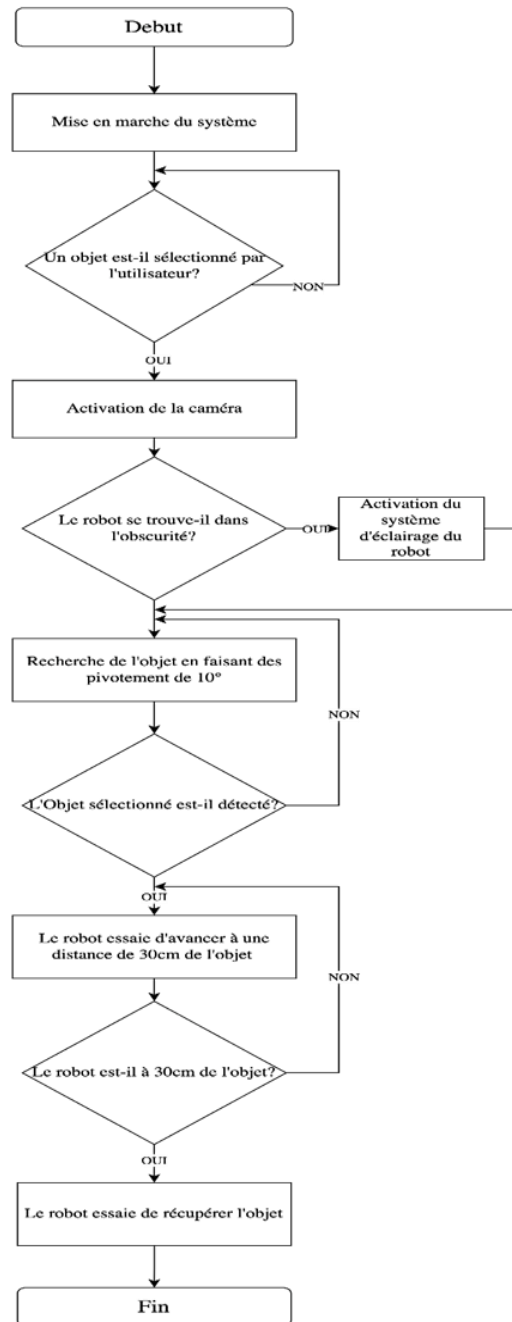


Figure 17: Organigramme de fonctionnement du système

TROISIÈME PARTIE : RÉALISATION DU PROJET

Cette partie a pour objectif de présenter l'environnement de réalisation, de développement de notre système ainsi que tous les outils qui nous ont aidés lors de la conception de notre projet.

CHAPITRE VI : CADRE DE DÉVELOPPEMENT

I- ENVIRONNEMENT DE DÉVELOPPEMENT

1- Composants électroniques

Pour la conception de ce projet, nous avons eu recours à différents composants électroniques qui nous ont été indispensables. Ils sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 4: Composants électroniques

Nom du composant	Description
Carte Arduino	Un arduino Uno ou méga permettant de récupérer les informations des capteurs et composants électroniques.
LED	Permet d'éclairer un endroit obscur.
Résistance	Permet de protéger les LED d'une intensité de courant élevée.
Capteur de luminosité	Permet de nous fournir des informations relatives à l'état d'éclaircissement d'un endroit.
Un relais électronique	Permet d'ouvrir et de fermer un circuit électrique automatiquement.
Un raspberry Pi	Permet d'intégrer notre système de vision par ordinateur au fonctionnement du robot.

Nous avons présenté les caractéristiques de chaque composant électronique utilisé à l'annexe 6.

2- Environnement matériel

Nous présentons les outils, les machines informatiques utilisés pour la réalisation de notre système. Ils sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 5: Matériels informatiques

Nom	Description
Ordinateur	IMac (Retina 4K, 21.5-inch, 23017) 3GHz intel core i4
Une caméra USB	Permet au robot de visualiser son environnement. Distance focale :3.6 mm ; Résolution photo : 1600 x 1200 ; Capteur : 2Mpx ; Hauteur : 5.5 cm ; Largeur : 6 cm ; Profondeur : 5.5 cm.
Haut-parleur	Permet au robot de dire l'objet qu'il perçoit. Fréquence du son : 70Hz.

II- ENVIRONNEMENT LOGICIEL

1- Système d'exploitation

Pour la réalisation de notre projet, nous avons travaillé sous différents systèmes d'exploitation.

1.1- Raspberry pi Os



Il s'agit d'un système d'exploitation basé sous une distribution linux, conçu pour fonctionner sur un Raspberry.

Son utilisation : Nous avons eu recours à ce système d'exploitation car nous devons intégrer notre programme sur le Raspberry placé sur ZBOT.

1.2- Ubuntu



Ubuntu est un système d'exploitation Linux open-source ayant une interface sécurisée et simple.

Son utilisation : Il nous a été recommandé dans le cahier des charges.

1.3- Mac Os



MAC OS est un système d'exploitation développé par Apple et fait partie des systèmes d'exploitation UNIX.

Son utilisation : Il a été utilisé pour l'exécution de nos programmes de vision par ordinateur.

2- Logiciel développement

2.1- Visual Studio code



Visual Studio Code est un éditeur de codes multiplateforme, open-source, développé par Microsoft. Il est utilisé pour l'exécution de différents codes dans plusieurs langages de programmation tels que JavaScript, C++ et Python, etc.

Son utilisation : Ce logiciel nous a été très bénéfique dans la mesure où il nous a permis de saisir notre code python. Son système d'identification d'erreurs d'indentations et de codes nous a été également très utile.

2.2- Arduino IDE



Arduino IDE est un logiciel (un éditeur de codes) pour la programmation, le développement de modules électroniques. Il dispose d'une interface graphique destinée à la compilation de codes.

Son utilisation : Nous avons réalisé le système électronique (le hardware) d'éclairage automatique à l'aide de ce module.

3- Langage de développement

3.1- Python 3.9



Python est un langage de programmation interprété, multiplateforme. Il permet de réaliser des projets simples ou complexes grâce à ses multiples bibliothèques. Il a été mis en place par le Néerlandais Guido Rossum. La première version de ce langage date du 20 février 1991.

Son utilisation : Nous avons utilisé ce langage pour la conception de notre système de vision par ordinateur grâce aux librairies **OpenCV** et **ROS**.

3.2- Arduino



Arduino est un langage de programmation généralement utilisé pour la réalisation des projets d'ingénierie principalement des projets d'électroniques. Il a été écrit en différents langages tels que C, C++ etc.

Son utilisation : Nous avons eu recours au langage de programmation Arduino pour la mise en place de notre système d'éclairage automatique.

python(Rospy). Pour installer ROS, il faut se diriger sur le site officiel de ROS <https://wiki.ros.org/noetic> et télécharger la version ROS Noetic que nous avons utilisée pour réaliser notre programme de récupération de données. Les instructions de l'installation se trouvent listées sur la plateforme de ROS.

1. Installation

1.1 Configure your Ubuntu repositories

Configure your Ubuntu repositories to allow "restricted," "universe," and "multiverse." You can [follow the Ubuntu guide](#) for instructions on doing this.

1.2 Setup your sources.list

Setup your computer to accept software from packages.ros.org.

```
sudo sh -c 'echo "deb http://packages.ros.org/ros/ubuntu $(lsb_release -sc) main" > /etc/apt/sources.list.d/ros-latest.list'
```

[Mirrors](#) [Source Debs](#) are also available

1.3 Set up your keys

```
sudo apt install curl # if you haven't already installed curl  
curl -s https://raw.githubusercontent.com/ros/rosdistro/master/ros.asc | sudo apt-key add -
```

1.4 Installation

First, make sure your Debian package index is up-to-date:

```
sudo apt update
```

Now pick how much of ROS you would like to install.

Desktop-Full Install: (Recommended) : Everything in **Desktop** plus 2D/3D simulators and 2D/3D perception packages

```
sudo apt install ros-noetic-desktop-full
```

or [click here](#)

Desktop Install: Everything in **ROS-Base** plus tools like [rqt](#) and [rviz](#)

```
sudo apt install ros-noetic-desktop
```

or [click here](#)

ROS-Base: (Bare Bones) ROS packaging, build, and communication libraries. No GUI tools.

```
sudo apt install ros-noetic-ros-base
```

Figure 19: Processus d'installation de ROS Noetic [23]

II- CONCEPTION DU SYSTÈME DE VISION PAR ORDINATEUR

1- Détection et identification d'objets

Nous avons débuté notre programme en important différents paquets à savoir **cv2** pour la visualisation avec la caméra et **numpy** pour nous fournir une matrice d'identification de l'objet que cette caméra perçoit. En effet, nous mettons en marche la caméra de l'appareil sur lequel nous travaillons (iMac).

Nous appliquons ensuite l'algorithme de détection d'objets qui identifie un objet en créant autour de ce dernier une zone rectangulaire. La détection d'objets se fait en temps réel.

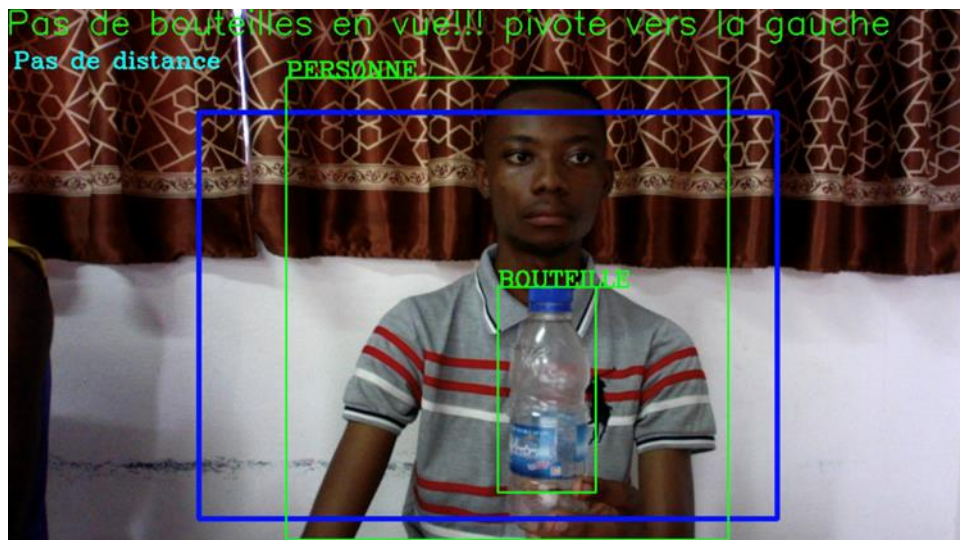


Figure 20: Identification de quelques objets

2- Distance entre la caméra et un objet

Nous avons ajouté une nouvelle fonctionnalité à notre système de vision par ordinateur à savoir le calcul de distance entre la caméra et un objet donné. Pour effectuer un calcul de distance entre une caméra et un objet, un calcul mathématique s'impose. Il s'agit de disposer de plusieurs données telles que :

- La distance focale de la caméra (la distance focale de notre caméra est 3,6 cm) que nous nommons D ;
- La longueur réelle de l'objet nommée A ;
- La longueur de l'objet mesurée par la caméra que l'on note a ;

→ Une caméra représentée par un point O.

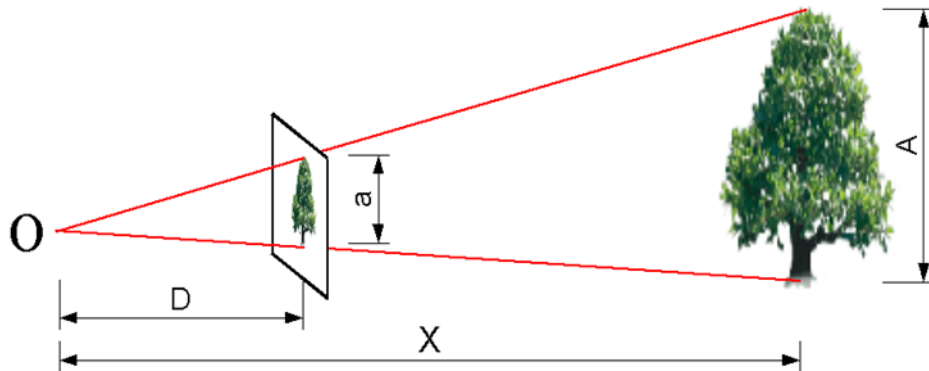


Figure 21: Calcul de distance entre une caméra et un objet [24]

La distance réelle entre la caméra et l'objet s'effectue en utilisant la propriété de Thalès :

$$\frac{a}{A} = \frac{D}{X} \Rightarrow X = \frac{AD}{a}$$

Nous avons fait nos tests avec une bouteille de 8.5 cm de longueur.

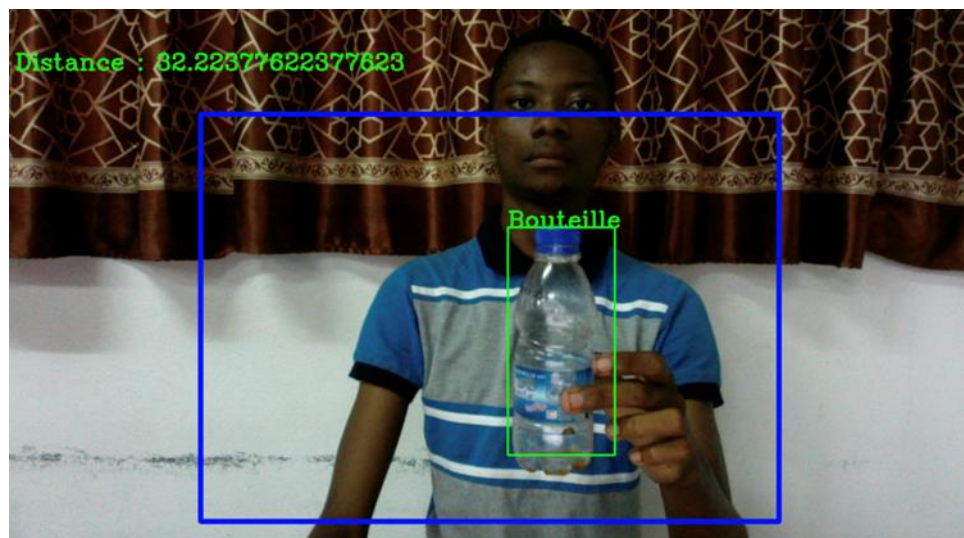


Figure 22: Test de distance entre la caméra et une bouteille de 8,5 cm

Nous pouvons voir que la bouteille est à distance de 32,22 cm de la caméra.

3- Mode de fonctionnement du système de vision par ordinateur

Pour rendre autonome ZBOT, nous avons mis en place un système qui lui envoie des informations en temps réel pour indiquer les tâches qu'il doit effectuer pour essayer de repérer l'objet que l'utilisateur veut récupérer.

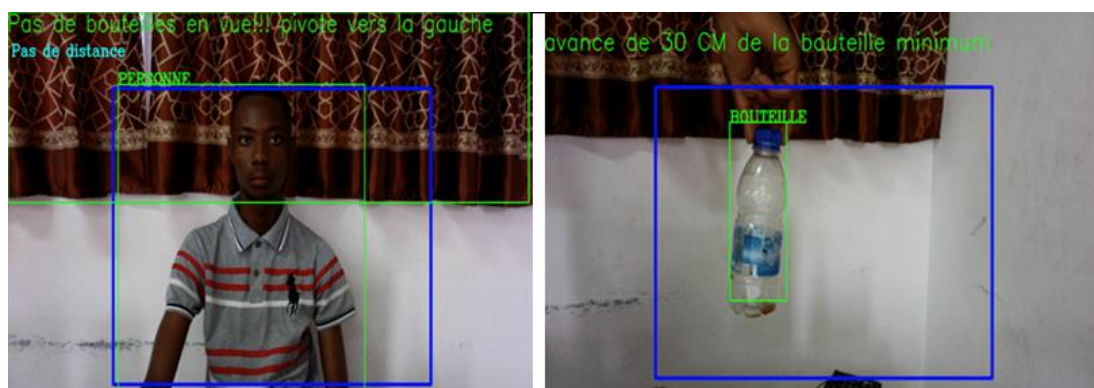


Figure 23: Mode de fonctionnement du système de vision par ordinateur

3.1 - Publication des données

Nous avons précédemment écrit des programmes de vision par ordinateur permettant d'extraire des informations importantes de la caméra à savoir le nom de l'objet perçu par la caméra, l'estimation de distance et les suggestions relatives à l'orientation à prendre afin de retrouver un objet précis. Cependant, nous devons récupérer ces informations afin de les rendre utiles au fonctionnement du robot. C'est dans cette optique que la publication des données joue un rôle important. Le programme de publication de données est présenté à l'annexe 7.

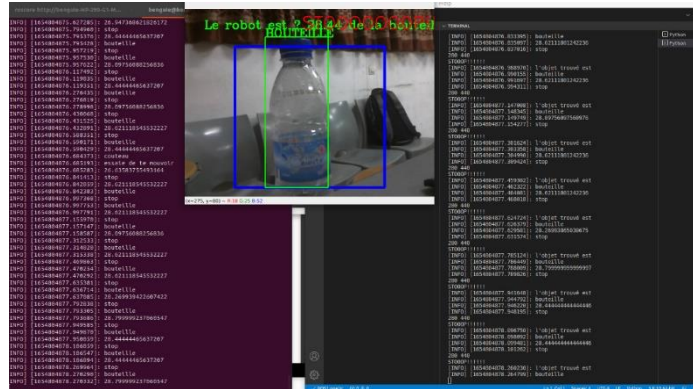


Figure 24: Illustration de la publication de données

Nous avons fait la publication des données grâce à plusieurs notions qui nous ont été indispensables.

a- Nœud

Un nœud est un exécutable, un programme, un algorithme permettant d'exécuter une tâche précise. Un nœud peut s'apparenter à un capteur, un moteur. Il existe deux types de nœuds:

- ✓ Un nœud publisher dont le rôle est d'émettre les informations qu'il recueille en temps réel ;
- ✓ Un nœud subscriber qui est chargé de récupérer les données émises par un nœud publisher.

Nous avons conçu un nœud publisher nommé talker permettant de calculer la distance entre un objet et une caméra, identifier le nom d'un objet perçu par la caméra et envoyer des suggestions d'orientation afin de retrouver un objet donné.

b- Message

Un message est une information émise par un nœud. L'information peut être les données d'un capteur (la température, le taux d'humidité...). Dans notre programme, les messages circulant sont le nom d'objets perçus par la caméra, la distance entre cette dernière et un objet puis des suggestions d'orientation.

c- Topic

Les topics sont des canaux dans lesquels transitent tous les messages. En effet, un nœud ne peut émettre ou recevoir des données que grâce à un topic. En d'autres termes,

tous les nœuds peuvent accéder à une information circulant uniquement dans des topics. Nous avons créé un topic nommé **chatter** dans lequel circule 3 données essentielles à savoir :

- ✓ Le nom de l'objet perçu par la caméra ;
- ✓ La distance entre un objet et une caméra ;
- ✓ Une suggestion permettant au robot de retrouver un objet précis.

d- Master

Le master est un outil essentiel dans l'architecture du fonctionnement de ROS. En effet, son rôle est de créer un réseau local dans lequel tous les nœuds peuvent communiquer. En d'autres termes, tous les nœuds appartenant au même réseau (ayant le même master) s'échangent mutuellement les données. Pour activer le master, nous avons entré la commande **roscore**.

L'architecture du fonctionnement de la publication de données se trouve à l'annexe 4.

4- Système d'éclairage automatique

Afin de mettre en place notre système d'éclairage automatique, nous avons utilisé certains composants électroniques pour faire des tests. Nous avons réalisé notre montage comme suit :

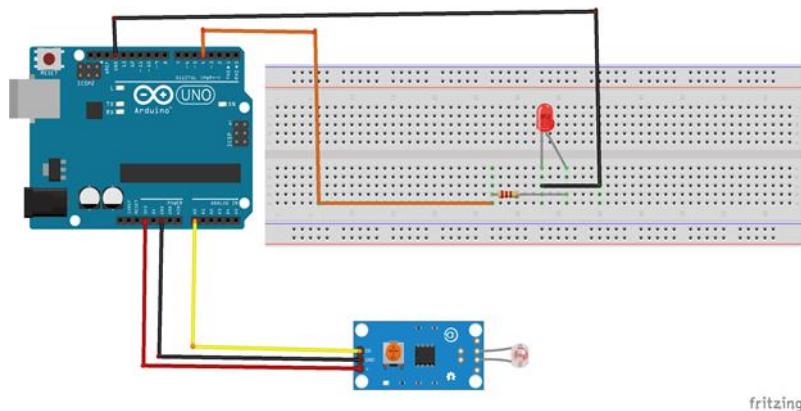


Figure 25: Montage de base de tout système d'éclairage automatique [25]

En effet l'objectif de ce montage est de permettre au robot ZBOT de s'auto éclairer lorsqu'il se trouve dans un endroit obscur afin de mieux visualiser l'environnement dans lequel il se trouve. Notre schéma du montage est présenté à l'annexe 5.

III- DISCUSSIONS

1- Estimation financière

Nous avons évalué le budget de réalisation de ce projet. Il est présenté ci-dessous

Tableau 6: Estimation financière pour la réalisation du projet

Matériels	Quantité	Prix
Une caméra USB	1	90.000 FCFA
Robot (ZBOT)	1	2.500.000 FCFA
Un kit arduino	1	25.000 FCFA
Un ordinateur iMAC	1	1.500.000 FCFA
Main d'œuvre		800.000 FCFA
TOTAL		4.950.000FCFA

2- Résultats

L'objectif de notre projet est de solutionner les problèmes d'autonomie d'un manipulateur mobile (ZBOT). Nous avons mis en place notre système de vision par ordinateur et d'éclairage automatique pour combler ses insuffisances. En effet, ce système de vision par ordinateur permet au robot d'interpréter chaque information visuelle qu'il perçoit et réagir en conséquence. De plus, la particularité avec notre projet est le fait que ZBOT est doté d'une capacité à reconnaître un environnement obscur et éclairer ce dernier en conséquence sans l'intervention d'une personne extérieure. Ces réalisations permettent ainsi à un utilisateur principalement une personne âgée ou un handicapé moteur d'utiliser aisément ce robot sans toutefois avoir à effectuer d'autres efforts physiques pour la manipulation de ce dernier. Ce projet cependant comprend des limites à savoir les erreurs qui surviennent suite à la reconnaissance d'objets. En effet, le pourcentage de réussite lors de l'identification d'un objet est de 75% ce qui représente des failles pour notre système de vision par ordinateur.

CONCLUSION

En somme, nous pouvons retenir qu'il s'agissait de faire une étude et une mise en place d'un système de vision par ordinateur pour un manipulateur mobile. La réalisation de ce processus fût précédée de la présentation générale de la SIIN suivie de celle des différentes activités qu'elle exerce et la description détaillée des différents départements de cette dernière.

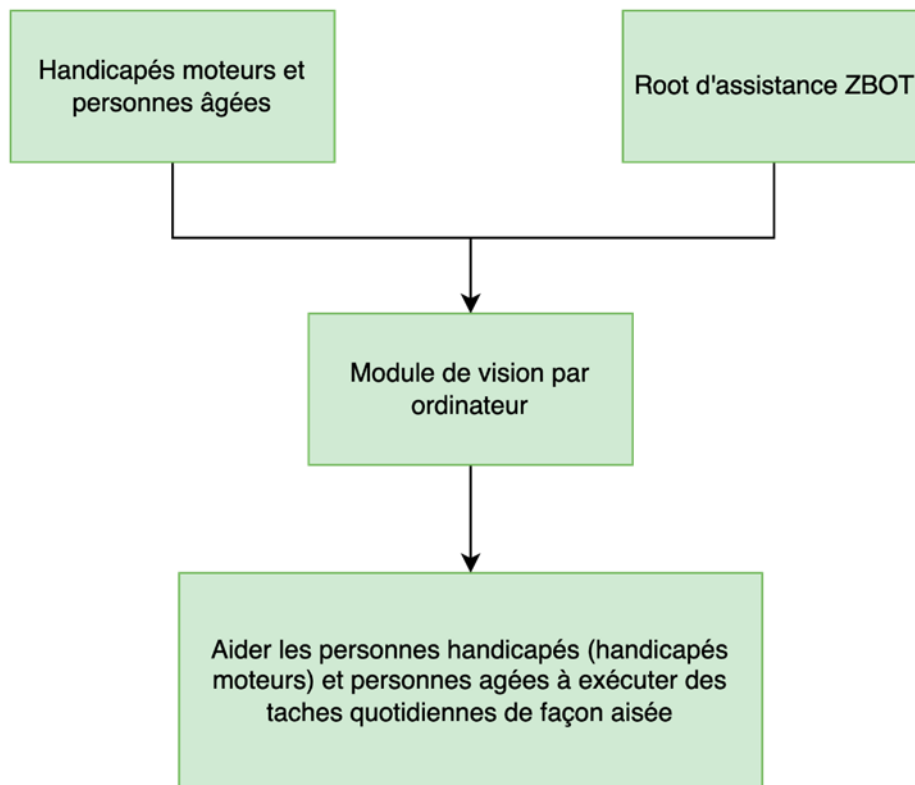
Ensuite, nous avons procédé à l'élaboration du cahier de charge de l'entreprise dans lequel est présenté toutes les informations relatives au système robotique existant avant de montrer les insuffisances sur lesquelles nous nous sommes attardés à résoudre avec notre système. Nous avons par la suite fait une analyse conceptuelle dans laquelle nous avons réalisé la modélisation du fonctionnement de notre système grâce à un organigramme et des diagrammes. Le langage de modélisation utilisé est spécialisé dans la conception de systèmes d'ingénierie (systèmes robotiques et systèmes électroniques).

Enfin nous avons décrit les différentes étapes de réalisation du projet. Notre système présente des résultats satisfaisants permettant ainsi d'améliorer les capacités du robot ZBOT à savoir la reconnaissance d'objets, l'éclairage automatique, l'estimation de distance et la détermination de parcours en fonction des obstacles. Nous pouvons dire que nous avons mené à bien notre projet. Pour notre part, nous pouvons dire que notre projet a consolidé nos connaissances théoriques, pratiques dans le domaine de la vision par ordinateur et a développé notre capacité à analyser et solutionner un problème.

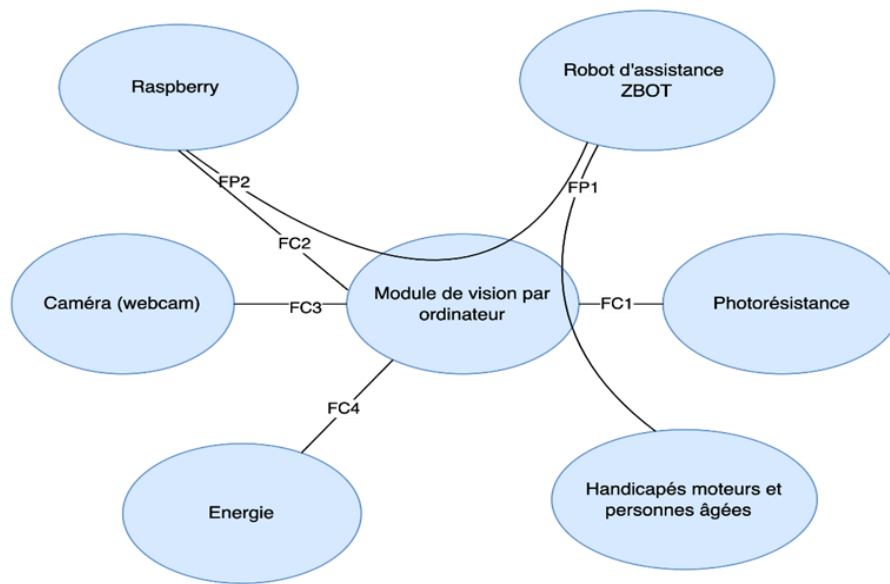
Bien que notre système offre plusieurs avantages, il serait plus judicieux d'ajouter d'autres fonctionnalités à savoir doter ZBOT de la capacité à exécuter des tâches par une commande vocale ou améliorer l'aspect vision du robot.

ANNEXES

Annexe 1 : Diagramme bête à cornes



Annexe 2 : Diagramme pieuvre



Légende :

FONCTIONS PRINCIPALES

FP1 : Aider les handicapés et personnes âgées

FP2 : Intégrer tous les programmes

FONCTIONS CONTRAINTES

FC1 : Récupérer des informations

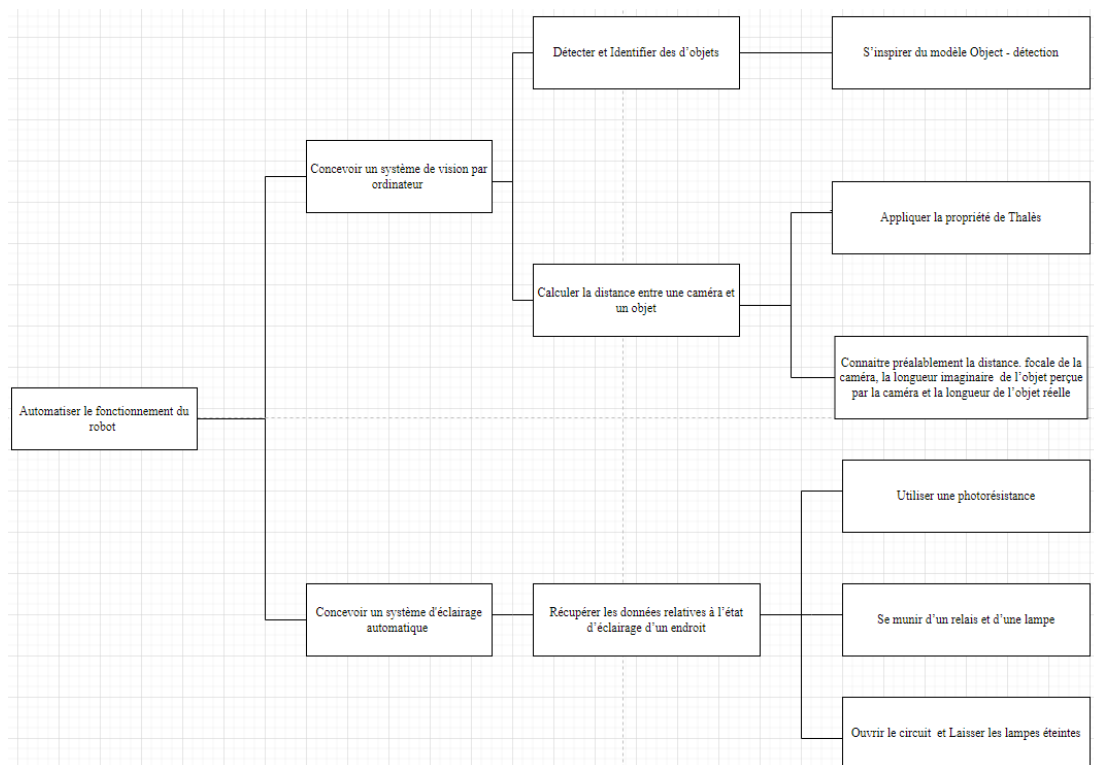
FC2 : Transférer toutes les données du module

FC3 : Visualiser les objets environnant le robot

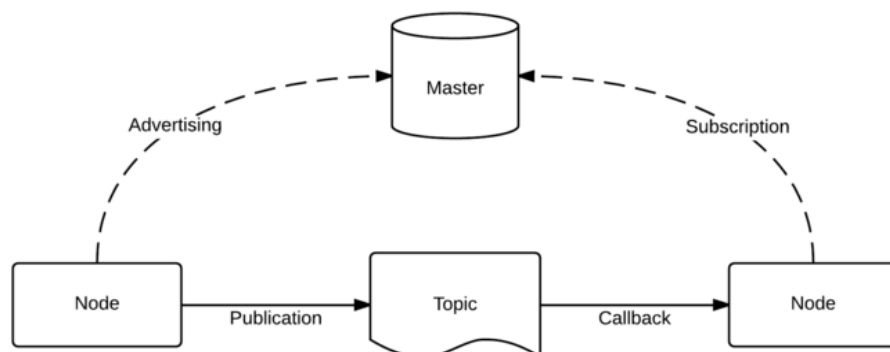
FC4 : Faire fonctionner les programmes (modules)



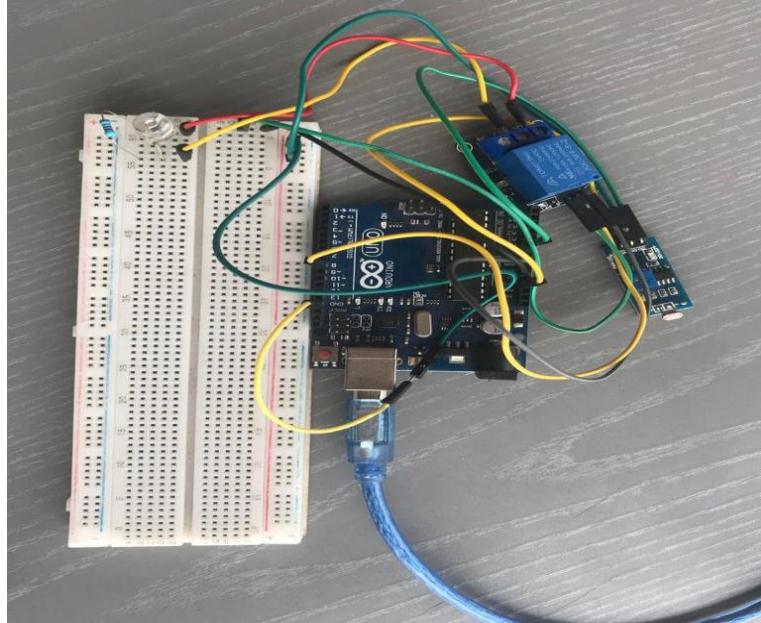
Annexe 3 : Diagramme FAST



Annexe 4 : Architecture de publication de données

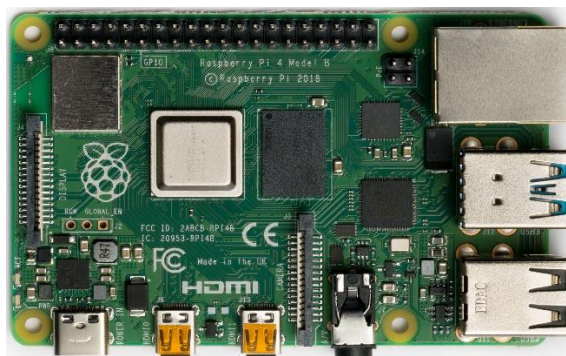


Annexe 5 : Montage du système d'éclairage automatique



Annexe 6 : Caractéristiques des composants électroniques utilisés

Raspberry



- Carte mère Raspberry Pi 4 ;

- **Processeur** : ARM-Cortex-A72 4 x 1.50 GHZ ;
- **RAM** : 4 Go ;
- **Technologie de connectivité** : Bluetooth, Usb_2.0, WiFi ;
- **Modèle du CPU** : Cortex ;
- **Vitesse du CPU** : 1500 MHZ ;
- **Technologie de mémoire RAM** : DDR3L SDRAM ;
- **Port HDMI** : 2 x Micro HDMI ;
- **Nombre de ports USB** : 4 ;
- **Alimentation** : Une alimentation de 2.5A.

LED



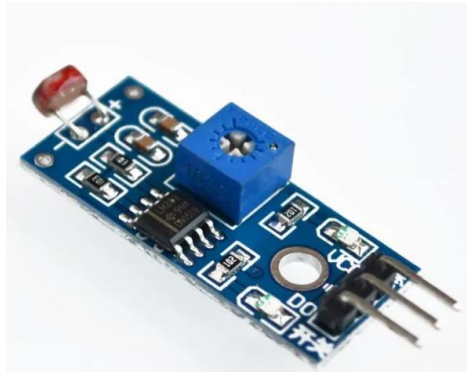
- **Puissance** : 8 Watts ;
- **Couleur** : blanc.

Résistance



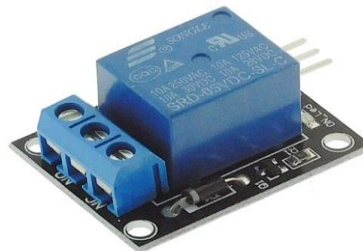
- **Valeur** : 1.5 ohm.

Capteur de luminosité



- **Nom** : P103T020 ;
- **Alimentation** : Il fonctionne de 3.3v à 5v;
- **Sortie** en tension analogique;
- **GND** : GND;
- **Puce LM 393** : photorésistance;

Relais électronique



- **Nom** : SRD-05VDC-SL-C ;
- **Alimentation** : 0 à 5 v ;
- **Utilisation** : Il joue le rôle d'interrupteur dans un circuit.

Carte Arduino



- **Nombre de broches** : 14 broches ;
- **Alimentation** : La carte arduino est alimentée avec un câble USB relié à un ordinateur;
- **6 broches d'entrées analogiques numérotées** de A0 à A5;
- **Microprocesseur** : ATmega328;
- **Mémoire flash** : 32kb;
- **Mémoire SRAM** : 2kb;
- **Mémoire EEPROM** : 1kb ;

BIBLIOGRAPHIE

Cette partie est réservée à l'ensemble des sites web et documents qui ont été indispensables à la compréhension de notre sujet et à sa réalisation.

- ✓ [1] Maria-Nellie Kesse, Les statistiques par catégorie en côte d'ivoire, <https://www.7info.ci/personnes-handicapees-les-statistiques-par-categorie-en-cote-divoire/>, [page consultée le 10-Mars-2022 à 09h45]
- ✓ [2] IBM, What Is Computer Vision, <https://www.ibm.com/topics/computer-vision>, [page consultée le 11-Mars-2022 à 15h35]
- ✓ [3] GUILLAUME Saint-Cirgue, Apprentissage Supervisé, <https://machinelearnia.com/apprentissage-supervise-4-etapes/>, [page consultée le 20-Mars-2022 à 09h30]
- ✓ [4] ILYES Talbi ,Apprentissage Par Renforcement, <https://larevueia.fr/apprentissage-par-renforcement/>, [page consultée le 21-Mars-2022 à 13h15]
- ✓ [5] ANDREW G. Barto, Apprentissage Par Renforcement, https://fr.wikipedia.org/wiki/Apprentissage_par_renforcement, [Page consultée le 20 Mars-2022 à 10h]
- ✓ [6] DataScientest, Apprentissage Non Supervise, <https://datascientest.com/apprentissage-non-supervise>, [page consultée le 22-Mars-2022 à 10h05]

- ✓ [7] Juri'Predis, Les Réseaux De Neurones Artificiels,
<https://www.juripredis.com/fr/blog/id-19-demystifier-le-machine-learning-partie-2-les-reseaux-de-neurones-artificiels>, [page consultée le 22-Mars-2022 à 11h]
- ✓ [8] IKRAM Chraibi Kaadoud, Architecture D'un Réseau De Neurones,
<https://scilogs.fr/intelligence-mecanique/architecture-des-reseaux-de-neurones-reseaux-de-neurones-artificiels-classiques-2-3/>, [page consultée le 23-Mars-2022 à 12h10]
- ✓ [9] DJALILA Boughareb, Architecture D'un Réseau Neuronal,
https://www.researchgate.net/figure/Figure-C2-Architecture-dun-reseau-de-neurones-artificiels_fig9_279712786, [page consultée le 23-Mars-2022 à 14h06]
- ✓ [10] PAUL Breton, Réseau De Neurones De Convolution ,
<https://blog.betomorrow.com/les-r%C3%A9seaux-de-neurones-de-convolutions-pour-les-n%C3%A9ophytes-2b36a59cf648>, [page consultée le 23-Mars-2022 à 14h37]
- ✓ [11] SHERVINE Amidi , Réseau De Neurones Convolutionnels ,
<https://stanford.edu/~shervine/l/fr/teaching/cs-230/pense-bete-reseaux-neurones-convolutionnels>, [page consultée le 23-Mars-2022 à 16h06]
- ✓ [12] David Eppstein, Convolutional neural network,
https://en.m.wikipedia.org/wiki/Convolutional_neural_network, [page consultée le 23-Mars-2022 à 13h09]
- ✓ [13] NASA, Mars Exploration Rovers, <https://mars.nasa.gov/mer/>, [page consultée le 23-Mars-2022 à 14h56]
- ✓ [14] ALAVER Manuel, Stamina, Le Robot Autonome Sans GPS Qui Intéresse L'armée Française, <https://www.capital.fr/entreprises-marches/stamina-le-robot-autonome-sans-gps-qui-interesse-larmee-francaise-1338721?amp>, [Page consultée le 24-Mars-2022 à 09h30]
- ✓ [15] CARLIER Mathieu, Moxi – Un Robot Pour Aider Les Infirmières A L'hôpital, <https://www.leblogdomotique.fr/robotique/moxi-robot-infirmieres-8687/amp>, [page consultée le 26-Mars-2022 à 14h22]

- ✓ [16] MIR, MIR1000, <https://www.mobile-industrial-robots.com/fr/solutions/robots/mir1000/>, [page consultée le 01-Avril-2022 à 9h42]
- ✓ [17] Techno-Science, Méthode APTE-Définition et Explications, <https://www.techno-science.net/definition/10849.html>, [page consultée le 01-Avril-2022 à 18h40]
- ✓ [18] Lucidchart, Bête A Cornes : Définition, Utilité Et Méthode, <https://www.lucidchart.com/pages/fr/bete-a-cornes> , [page consultée le 02-Avril-2022 à 12h30]
- ✓ [19] Lucidchart, Qu'est-Ce Qu'un Diagramme Pieuvre ? <https://www.lucidchart.com/pages/fr/diagramme-pieuvre> , [page consultée le 02-Avril-2022 à 15h03]
- ✓ [20] Techno-Science , Merise(informatique), <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Merise-informatique.html> , [page consultée le 05-Avril-2022 à 8h07]
- ✓ [21] AUBLIN Dufour, Analyse Par Methode Sysml, http://www.flats2i.fr/DC1_Décrire%20et%20communiquer%20sur%20un%20système/Cours/DC1-E2-%20Analyse%20par%20méthode%20SYSML.pdf, [page consultée le 05-Avril-2022 à 14h]
- ✓ [22] ANA-ELENA Rugina, Modélisation Et Évaluation De La Sûreté De Fonctionnement - De AADL Vers Les Réseaux De Pétri, <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00207502/document>, [page consultée le 07-Avril-2022 à 10h20]
- ✓ [23] ROS, Installation De ROS Noetic Sur Ubuntu, <http://wiki.ros.org/noetic/Installation/Ubuntu>, [page consultée le 07-Avril-2022 à 10h22]
- ✓ [24] DSisvphBot, Distance Orthoscopique, https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Distance_orthoscopique, [page consultée le 07-Avril-2022]
- ✓ [25] Robotique Tech, Système D'éclairage Automatique Avec Arduino, <https://www.robotique.tech/tutoriel/systeme-declairage-automatique-avec-arduino/>, [page consultée le 08-Avril-2022 à 11h39]

- ✓ [26] KOUEVIDJIN Miguel, Conception Et Réalisation D'une Plateforme De E-Recrutement, Mémoire de fin de cycle pour l'obtention de la licence en système réseau informatique et télécommunication, ESATIC,2020, 61 pages
- ✓ [27] ZADI Jonathan, Conception Et Réalisation D'un Robot D'assistance Aux Personnes En Situation De Mobilité Réduite, Mémoire de fin de cycle pour l'obtention de la licence en système réseau informatique et télécommunication, ESATIC,2020, 86 pages

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE	I
REMERCIEMENTS	II
AVANT-PROPOS	III
SOMMAIRE	IV
SIGLES ET ABRÉVIATIONS	V
GLOSSAIRE.....	VI
LISTE DES FIGURES.....	VII
LISTE DES TABLEAUX.....	VIII
INTRODUCTION	1
PREMIÈRE PARTIE : PRÉSENTATION GÉNÉRALE	3
CHAPITRE I : ORGANISME D'ACCUEIL.....	4
I- PRÉSENTATION DE LA SIIN	4
1- Historique de la SIIN.....	4
2- Objectif	4
3- Activités de la SIIN	4
II- ORGANISATION DE LA SIIN	5
1- Organisation interne de la SIIN	5
1.1- Le Président.....	5
1.2- Le Comité Consultatif	5
1.3- Le Chargé des Relations.....	5
1.4- Le Coordonnateur	5

1.5- Le Chargé de la Formation	5
1.6- Le Call Center	5
1.7- Le Département d'ingénierie	6
1.8- Le chef projet	6
2- Organigramme de la SIIN	6
CHAPITRE II : ÉTAT DE L'ART	7
I- LA VISION PAR ORDINATEUR	7
1. Historique	7
2. Définition	8
II- APPLICATION ET RÉALISATION DE LA VISION PAR ORDINATEUR DANS LA ROBOTIQUE	8
1- Fonctionnement de la vision par ordinateur	8
2- Application de la vision par ordinateur dans la robotique	14
2.1 - La robotique spatiale	14
2.2 - La robotique militaire	15
2.3 - La robotique médicale	16
2.4 - La robotique industrielle	16
I- CAHIER DES CHARGES	18
1- Contexte du projet	18
2- Etude de l'existant	18
3- Critiques de l'existant	19
4- Intérêts du sujet	20
5- Objectif Général	20
6- Objectifs spécifiques	20
7- Contraintes	21
II- ANALYSE FONCTIONNELLE DES BESOINS	21
1- La méthode APTE	21
2- Analyse fonctionnelle externe	21
2.1- Diagramme bête à cornes	21
2.2 - Diagramme pieuvre	21
3- Analyse fonctionnelle interne	22
3.1- Diagramme FAST	22
III- PLANIFICATION DU PROJET	22
1- Objectif smart	22

2- Livrables attendus.....	22
3- Matrice SWOT	22
4- Diagramme de Gantt	23
DEUXIÈME PARTIE : ANALYSE ET CONCEPTION	25
CHAPITRE IV: MÉTHODES D'ANALYSE ET DE CONCEPTION	25
I- PRÉSENTATION DES MÉTHODES	25
1- MERISE.....	25
2- SYSML.....	25
3- AADL	26
II- ANALYSE COMPARATIVE ENTRE MÉTHODES DE CONCEPTION	26
1- Analyse des différentes méthodes	26
2- Choix de la méthode	27
CHAPITRE V : PHASE DE CONCEPTION	28
I- PRÉSENTATION DE LA MÉTHODE CHOISIE.....	28
1- SYSML.....	28
2- Présentation générale des diagrammes.....	28
2.1 - Diagramme transversal	28
2.2- Diagramme structurel	28
3- Diagramme comportemental	28
II- MODÉLISATION DU SYSTÈME.....	29
1- Diagramme des cas d'utilisation.....	29
2- Diagramme des exigences.....	29
3- Organigramme de fonctionnement	30
TROISIÈME PARTIE : RÉALISATION DU PROJET.....	32
CHAPITRE VI : CADRE DE DÉVELOPPEMENT	33
I- ENVIRONNEMENT DE DÉVELOPPEMENT	33
1- Composants électroniques.....	33
2- Environnement matériel.....	33
II- ENVIRONNEMENT LOGICIEL	34
1- Système d'exploitation.....	34
1.1- Raspberry pi Os	34
1.2- Ubuntu	34
1.3- Mac Os	35
2- Logiciel développement	35

2.1-	Visual Studio code.....	35
2.2-	Arduino IDE	35
3-	Langage de développement	36
3.1-	Python 3.9.....	36
3.2-	Arduino.....	36
CHAPITRE VII : RÉALISATION DU SYSTÈME		37
I-	INSTALLATION DE L'ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL	37
1-	Installation de OpenCV.....	37
2-	Installation de ROS.....	37
II-	CONCEPTION DU SYSTÈME DE VISION PAR ORDINATEUR.....	38
1-	Détection et identification d'objets.....	39
2-	Distance entre la caméra et un objet.....	39
3-	Mode de fonctionnement du système de vision par ordinateur.....	41
3.1 -	Publication des données	41
a-	Nœud	42
b-	Message	42
c-	Topic.....	42
d-	Master	43
4-	Système d'éclairage automatique	43
III-	DISCUSSIONS.....	44
1-	Estimation financière.....	44
2-	Résultats.....	44
CONCLUSION		45
ANNEXES		IX
BIBLIOGRAPHIE		XVI
TABLE DES MATIÈRES		XIX
RÉSUMÉ		XXIII
ABSTRACT.....		XXIII

RÉSUMÉ

Les insuffisances présentées par les robots d'assistance non-autonomes, nous ont poussés à effectuer une série d'analyses et de recherches pour solutionner ces insuffisances. Le but de cette série de recherches et d'analyses est de concevoir un système permettant à ces robots d'assistance d'être autonomes en utilisant la vision par ordinateur appliquée aux manipulateurs mobiles. Pour ce faire, nous nous sommes orientés vers la question suivante: Comment rendre autonome un robot d'assistance pour un handicapé moteur?

Nous mettons en place un système de vision par ordinateur et d'éclairage automatique. Ainsi, nous avons utilisé la méthode SYSML pour la modélisation et la réalisation de ces systèmes. Ces conceptions ajoutent de nouvelles fonctionnalités au fonctionnement du robot ZBOT lui permettant de visualiser l'environnement dans lequel il se trouve. Dès lors, nous pouvons dire que cette série d'analyses et de recherche participe à l'élaboration et l'avancement de notre projet.

ABSTRACT

The shortcomings of non-autonomous assistive robots have prompted us to carry out a series of analyses and research to address these shortcomings. The aim of this series of research and analysis is to design a system that allows these assistance robots to be autonomous using computer vision applied to mobile manipulators. In order to do this,

we have focused on the following question: How to make an assistance robot for a motor disabled person autonomous?

We set up a computer vision and automatic lighting system. Thus, we used the SYSML method to model and implement these systems. These designs add new functionalities to the operation of the ZBOT robot, allowing it to visualise the environment in which it is located. Therefore, we can say that this series of analysis and research contributes to the development and progress of our project.