

# Sommaire

I. Introduction.....	2
Contexte.....	2
Résumé de l'existant.....	3
Attentes des clients potentiels.....	4
II. Élaboration.....	5
Périmètre.....	5
Diagrammes UML.....	6
Planning prévisionnel.....	8
Répartition des tâches.....	9
III. Mise en œuvre & résultats.....	10
Détection des couleurs.....	10
Algorithme de résolution.....	11
Robotique.....	12
IV. Bilan.....	14
Conclusions.....	14
Comment le refaire.....	14
Perspectives.....	15
Bilans personnels.....	15
V. Remerciements.....	16
VI. Annexes.....	17

# I. INTRODUCTION

## 1.1 Contexte

Durant notre cursus du DUT Informatique, nous avons eu à choisir pour notre troisième projet tuteuré un sujet parmi une liste d'environ 10 à 15 sujets. Après avoir composé notre équipe, notre choix s'est rapidement porté vers le robot résolvant un Rubik's cube, pour diverses raisons :

- Nous avons avec ce sujet un **projet intéressant et complexe**. En effet, il reposait sur trois parties bien distinctes (détection des couleurs, algorithme de résolution du cube et partie robotique) qui ne nécessitaient pas les mêmes qualités. De plus, des objectifs variés évitaient que nous ne tombions dans la monotonie.
- Point suivant : nous avons une certaine **connaissance du thème**. En effet, 2 des 4 membres de l'équipe (Loïc et Loris) savent résoudre un Rubik's cube en moins de quelques minutes. Cette expérience dans le domaine était donc un atout évident pour réaliser le sujet.
- Il était également important pour nous d'avoir un **projet capable d'être poursuivi au quatrième semestre**. En effet, savoir que nous avons déjà un sujet pour ce travail était intéressant, sujet, qui plus est, dont nous aurions une connaissance approfondie grâce au troisième semestre.
- Enfin, ce paragraphe s'accorde avec le premier point : Nous avons une **liberté importante et de grandes possibilités techniques**. Étant donné que nous avons trois grandes parties à réaliser, nous pouvions donc choisir l'ordre dans lequel les réaliser, et surtout nous répartir les rôles. Et, trois parties signifient également trois fois plus de possibilités techniques.

Une fois que notre sujet nous était attribué, nous avons pu commencer à collaborer avec notre tuteur de projet, M. Villard, afin de voir quelles étaient ses attentes vis-à-vis du projet. Suite à cela, nous avons donc décidé de commencer par le traitement des couleurs, en parallèle de la réalisation de l'algorithme de résolution, avant de pouvoir réaliser la partie robotique, nécessitant les deux autres parties. Concernant les compétences techniques utilisées, nous avons jugé optimal d'utiliser les langages Java et Python, que nous avons étudiés au cours de notre DUT, et que nous savons donc maîtrisés par nos professeurs en cas de besoins.

## 1.2 Résumé de l'existant

Pour mener à bien notre projet, nous avons dû faire des recherches préalables, afin d'étudier le marché actuel, et de savoir si nous avons de potentiels concurrents.

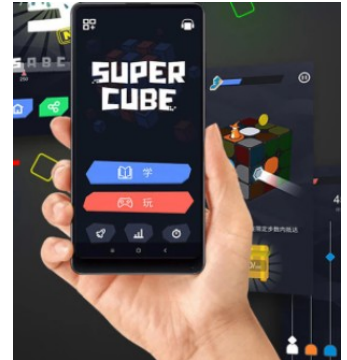
Nous avons pu recenser **3 concurrents directs** sur lesquels s'appuyer :

Tout d'abord, un cube intelligent de la marque Xiaomi qui, par le biais de l'application « SuperCube », enregistre les performances du joueur et lui permet d'apprendre différents algorithmes de résolution. Ce dernier est vendu au prix de 43 €.



Cube  
intelligent  
Xiaomi

Application  
associée



Ensuite, un robot semblable au nôtre de la marque GAN qui résout également le Rubik's cube de manière automatisée. Ce dernier vendu 125 € possède un design très sobre et épuré, et résous en un temps inférieur à 15 secondes n'importe quelle combinaison.



Robot de la marque GAN,  
notre principal concurrent.

Enfin, notre dernier concurrent n'est pas commercialisé, mais a battu le record de vitesse pour la résolution d'un Rubik's cube ( Guinness World Record).

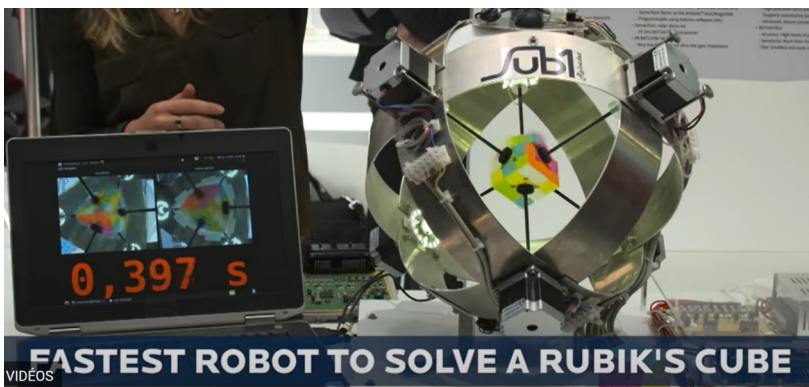


Image du robot ayant  
réalisé le record

### 1.3 Attentes des clients potentiels

Cependant, se comparer aux concurrents, peu nombreux qui plus est, ne suffit pas pour se positionner sur le marché, et pouvoir s'imposer comme le leader. En effet, il a également fallu se renseigner sur les besoins des clients.

Pour cela, chaque membre de l'équipe a pu réaliser une interview. Nous avons eu la chance de pouvoir interroger des profils différents, allant du simple novice au véritable compétiteur, en passant par un professeur de Reims. En parallèle, nous avons pu lire certains articles, nous confortant dans la direction qu'allait prendre notre projet.

Voici un petit résumé de ce que nous avons pu lire, et un condenser des réponses aux interviews. Pour commencer, parlons des attentes des **novices en la matière**. Ce qui se dégage, c'est que les débutants souhaitent avoir un **robot qui leur offre une aide**, qui leur montre quels coups sont à effectuer s'ils sont bloqués, et pouvoir revenir en arrière jusqu'au moment de leur erreur, s'ils en commettent une. Créer une sorte de sauvegarde et analyser l'état du cube à tous les instants. Il faudrait qu'il soit comme un tuteur, qu'il offre une « marche à suivre ». L'ajout d'une voix afin d'expliquer les mouvements effectués ainsi que d'expliquer la démarche pour les débutants.

**Le côté éducatif est un marché très intéressant à explorer.** Cependant, pour les professeurs interrogés, l'utilisation d'un robot retire une partie du plaisir à apprendre. Il est cependant à l'heure actuelle difficile de pouvoir se pencher sur l'ajout d'un côté « humain » au robot.

Ensuite, la seconde grande catégorie de personnes que nous avons interviewés est la catégorie des **joueurs très réguliers et expérimentés**. Et de ce côté, l'aspect ludique ne ressort pas vraiment, et laisse plutôt la place à un aspect compétitif.

En effet, selon notre étude autour des personnes plus expérimentées, dans l'apprentissage, ce qui est important ce sont les algorithmes qu'il faut connaître par cœur, et savoir se visualiser dans l'espace, tâches qui ne peuvent pas être accomplies par le robot. **La plupart veulent « se mesurer » au robot**, et le voir plutôt sur le marché de la compétition. Les suggestions dominantes seraient de pouvoir affronter le robot, afin de se préparer au mieux à une future échéance, ou alors de pouvoir optimiser ses coups et d'améliorer sa façon de résoudre le Rubik's cube. De plus, la proposition d'incorporer des « doigts » à notre robot pour apprendre à optimiser son positionnement sur le cube est une fonction à ne pas négliger.

Enfin, là où les deux parties se rejoignent, c'est sur **l'obligation de détecter les couleurs**, plutôt que de donner à la main notre configuration. On note également que pour la majorité, l'option de mélanger aléatoirement le cube par le robot et plus qu'optionnel.

Il a été suggéré de réaliser, en complément de ce robot, une application permettant de mieux apprendre, ainsi que de mieux visualiser le cube.

Pour faire une conclusion de l'ensemble de nos travaux de recherche, nous avons pu constater que le marché potentiel se divisait en 2 marchés bien distincts. En effet, nous pouvons nous pencher sur un robot éducatif, qui conviendrait parfaitement à l'apprentissage et à l'amélioration des novices, ou nous pourrions créer un robot qui rivaliserait avec les meilleurs compétiteurs, et qui leur permettrait d'améliorer encore plus leurs performances.

## II. ÉLABORATION

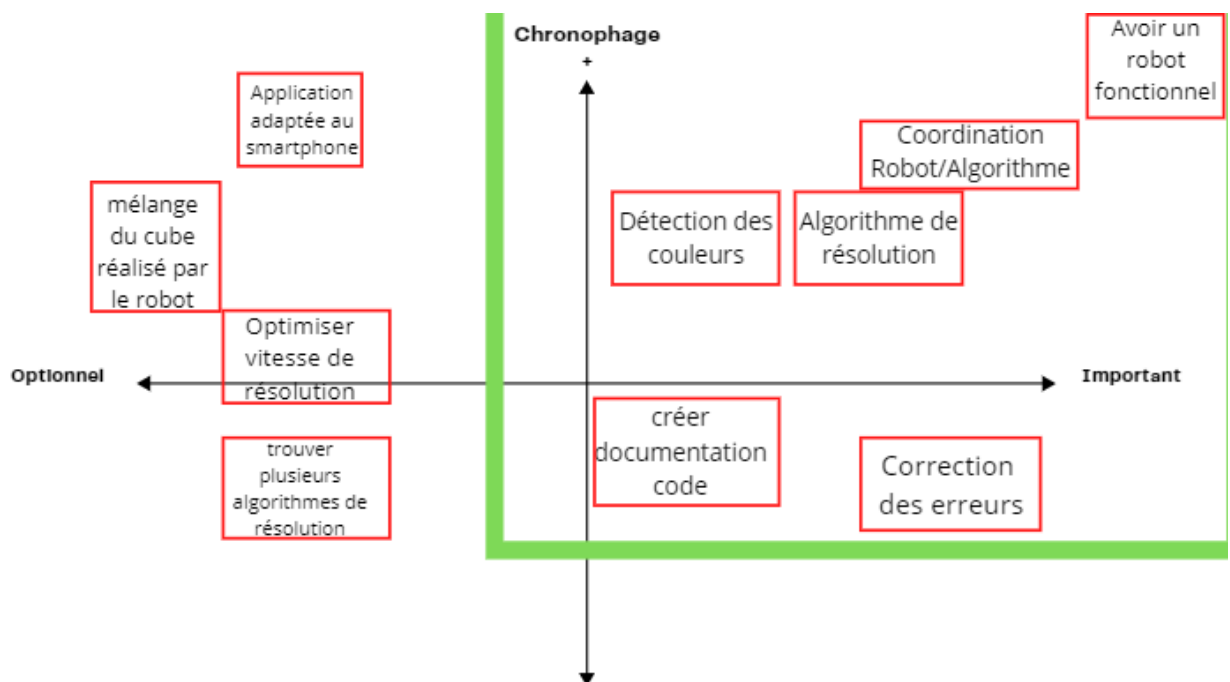
Maintenant que nous avons toutes les cartes en main pour connaître la direction que devait prendre notre projet, **il était important de préparer notre projet**. Notre projet était à réaliser selon la méthode agile, c'est-à-dire en livrant un produit fonctionnel à chaque fin de sprint. Sprints qui étaient au nombre de trois, d'une durée d'un mois chacun.

Avant de commencer les aspects purement techniques, nous avons réalisé différents travaux nous permettant d'optimiser la partie technique, et de ne pas nous retrouver perdus lors de la réalisations.

### 2.1 Périmètre

Selon sa définition, Le périmètre du projet représente tous les éléments nécessaires à la réalisation d'un projet, notamment les tâches, les délais et les ressources. En d'autres termes, **le périmètre va servir à mesurer ce qui sera réalisable et réalisé durant le projet**.

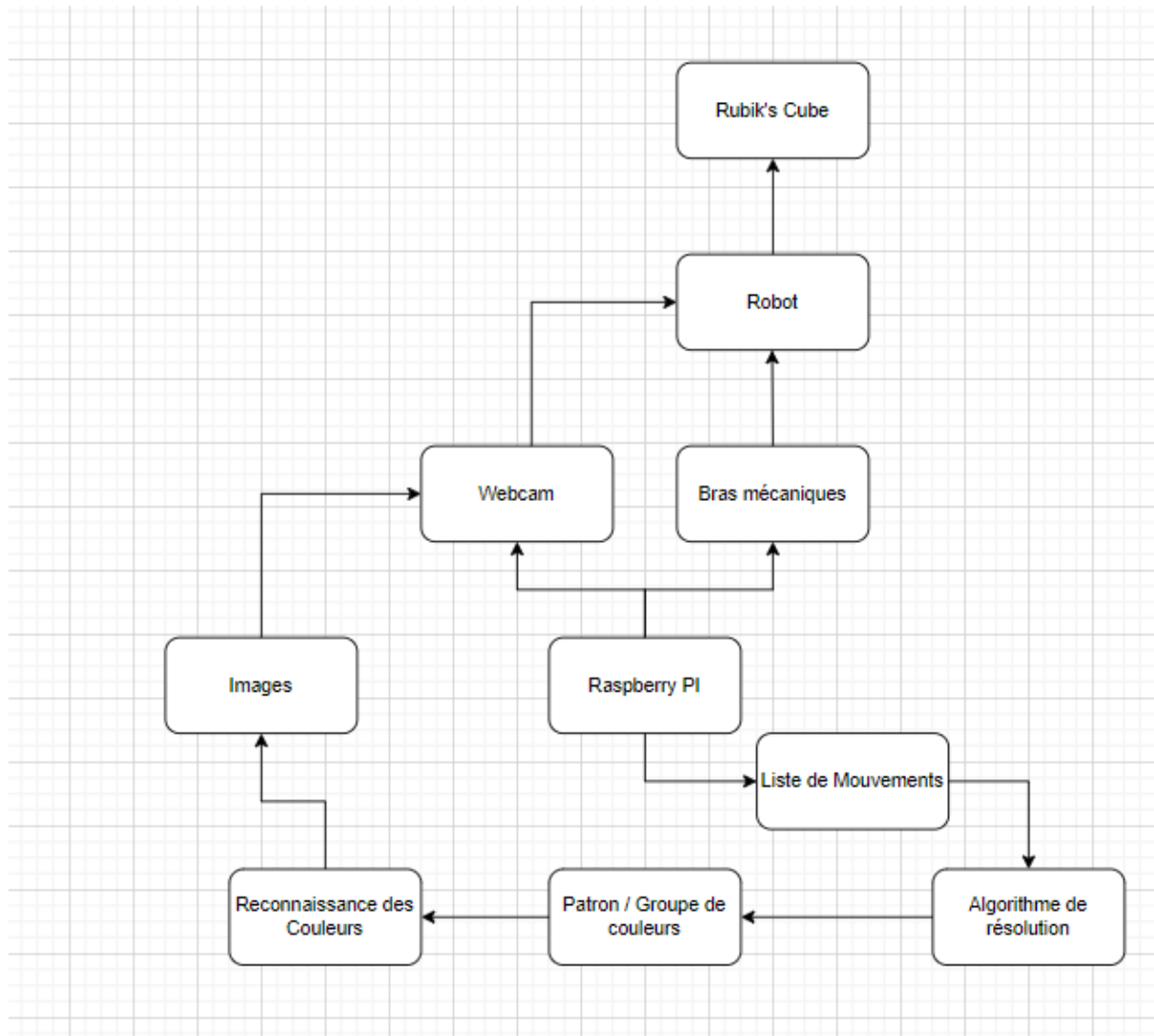
C'est ainsi que nous avons rédigé la présentation suivante, afin d'établir le périmètre de notre projet.



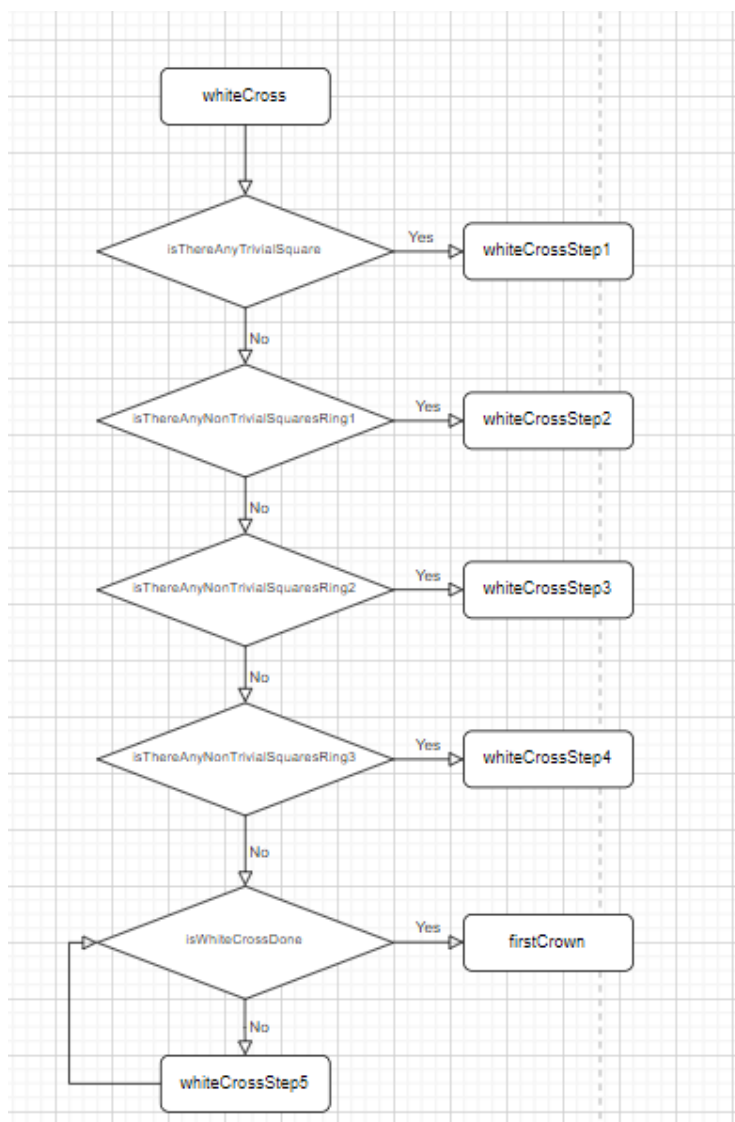
Toutes les tâches et fonctions à réaliser se retrouvent donc à l'intérieur du carré vert, et les tâches trop chronophages, ou non importantes au projet ne seront alors pas prises en compte dans le périmètre, afin de pouvoir réaliser un produit fonctionnel dans les temps. C'était un document technique très important, car il dirigeait la suite de notre projet, et permettait de situer là où le travail était le plus important à réaliser.

## 2.2 Diagrammes UML

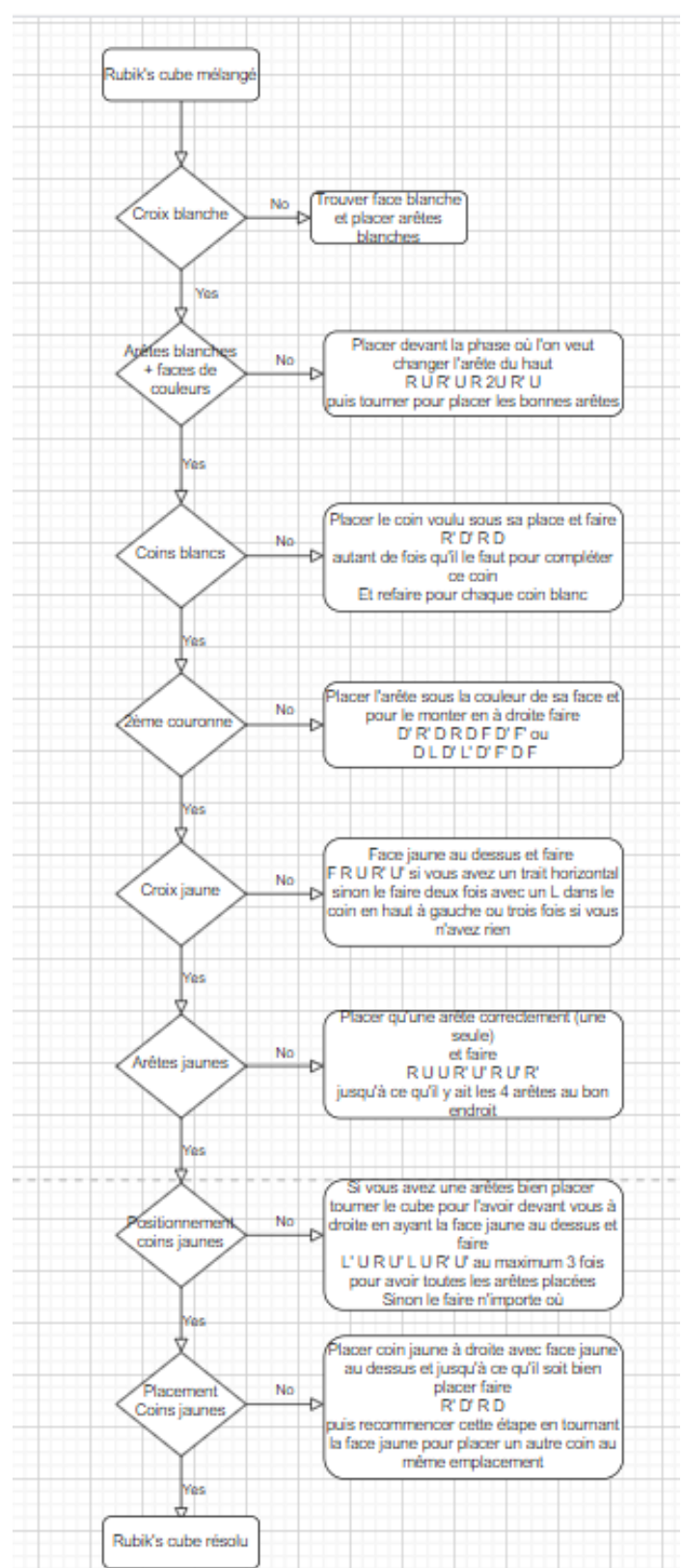
Par la suite, nous avons réalisé es diagrammes UML afin de nous faire une idée de comment réaliser la partie technique de nos travaux. Nous avons donc travaillé sur les diagrammes de la partie détection des couleurs, mais également sur la partie résolution d'algorithmes, en réalisant les diagrammes permettant de résoudre le cube.



Nous avons ici un premier **diagramme général** nous permettant de relier toutes les fonctionnalités de notre projet, et de voir comment elles sont reliées.



Ce deuxième diagramme permet la réalisation de **l'algorithme de résolution de la « croix blanche »** du Rubik's cube, première étape essentielle de l'algorithme de résolution.



Enfin, ce dernier diagramme présente **l'algorithme**, que nous avons choisi pour résoudre le cube, **dans son intégralité**.

## 2.3 Planning prévisionnel

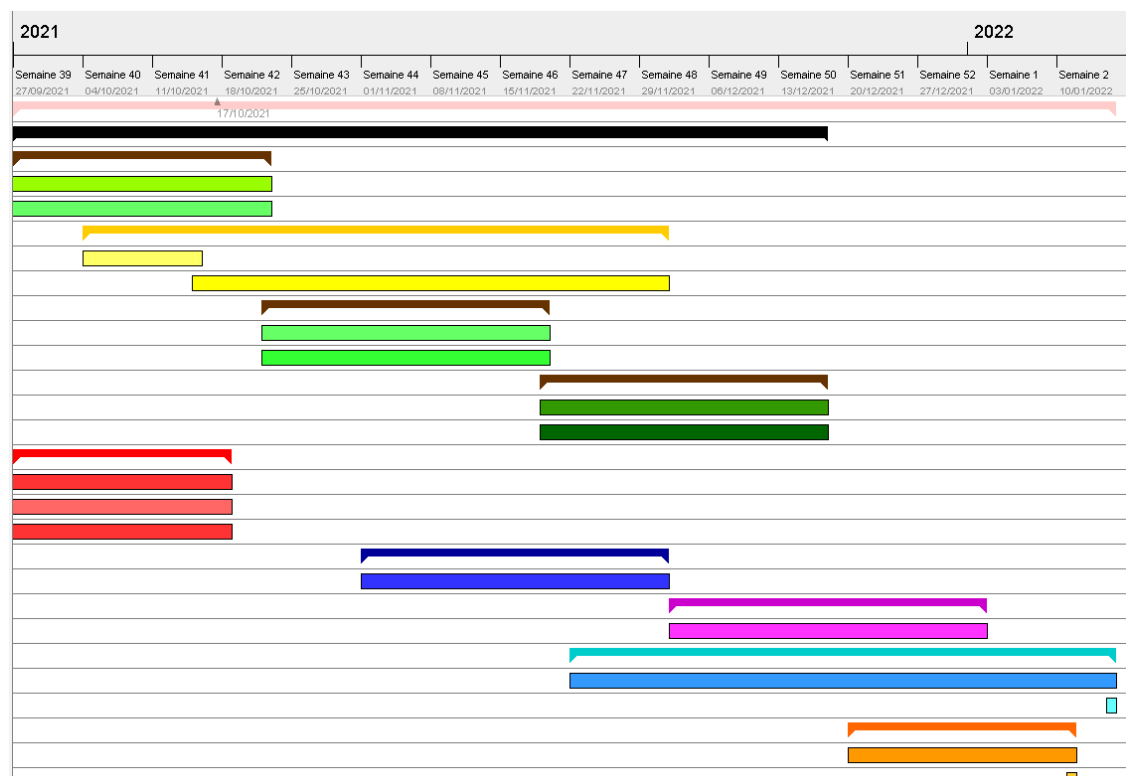
Afin de programmer notre planning prévisionnel, nous avons utilisé **GanttProject**. Nous avons recensé tous les travaux à réaliser, aussi bien la réalisation informatique que les travaux annexes, comme la réalisation d'une affiche de communication. Ainsi, chaque tâche provenant d'une matière différente est colorée d'une manière spécifique, et chaque sous-tâche différente possède également une couleur spécifique. Prenons ici l'exemple du Sprint 2. Il se trouve à l'intérieur de la partie informatique (en noir) qui se trouve elle-même dans la partie projet tutoré 3, en rose. Dans ce deuxième sprint, on retrouve deux sous tâches, la partie algorithme en vert clair et la partie robotique en vert foncé.

Nom	Date de début	Date de fin
Projet_tutore3	02/09/2021	15/01/2022
Partie_Informatique	02/09/2021	17/12/2021
Sprint 1	02/09/2021	22/10/2021
Traitement_des_couleurs	02/09/2021	22/10/2021
Algorithme_de_resolution	02/09/2021	22/10/2021
DiagrammeUML	04/10/2021	01/12/2021
UML_Brouillon	04/10/2021	15/10/2021
UML_definitif	15/10/2021	01/12/2021
Sprint 2	22/10/2021	19/11/2021
Algorithme_de_resolution	22/10/2021	19/11/2021
Partie_robotique	22/10/2021	19/11/2021
Sprint 3	19/11/2021	17/12/2021
Partie_robotique	19/11/2021	17/12/2021
Finitions_et_ameliorations	19/11/2021	17/12/2021
ACDS	20/09/2021	18/10/2021
Analyse_des_besoins	20/09/2021	18/10/2021
Planification	20/09/2021	18/10/2021
Cahier_des_charges	20/09/2021	18/10/2021
Communication	01/11/2021	01/12/2021
Affiche	01/11/2021	01/12/2021
Anglais	02/12/2021	02/01/2022
Resume_en_anglais	02/12/2021	02/01/2022
Rapport	22/11/2021	15/01/2022
Elaboration_rapport	22/11/2021	15/01/2022
Rendu_rapport	15/01/2022	15/01/2022
Soutenance	20/12/2021	11/01/2022
Preparation_soutenance	20/12/2021	11/01/2022
Expose_soutenance	11/01/2022	11/01/2022

Cependant, comme il s'agit d'un planning prévisionnel, certaines estimations sont, au final, erronées.

Prenons ainsi l'exemple de la soutenance, qui était initialement prévue le 11 janvier, et qui a dû être avancée au 14 décembre par soucis d'organisation.

Ici, on retrouve la répartition dans le temps des différentes tâches, qui s'étalent de septembre 2021 à la mi-janvier 2022.





## 2.4 Répartition des tâches

Avant notre projet, et durant tout son déroulé, nous avons réalisé et ajusté un tableau de répartition des tâches comme celui-ci :

Partie informatique		Clément	Loïc	Loris	Raphaël
	Détection des couleurs				X
	Algorithme de résolution		X	X	
	Robotique				X
	Documentation		X	X	X
Partie non-informatique	Diagrammes UML		X	X	
	Analyse des besoins	X			
	Planification	X			
	Cahier des charges	X			
	Affiche	X			X
	Résumé en anglais		X	X	
	Rapport	X	X	X	X
	Soutenance	X	X	X	X

Comme nous pouvons le constater, nous avons essayé de nous répartir équitablement le travail, en effectuant **pour chaque membre de l'équipe, 6 tâches parmi les 12 déterminées**. Nous avons également décidé d'effectuer les tâches par binôme, ou individuellement (sauf pour la soutenance évidemment, et le rapport qui est un travail très chronophage).

Par ce tableau, on peut également analyser que notre **équipe était assez complémentaire**, puisque nous avons des personnalités différentes, comme cela se ressent au niveau de la répartition des tâches. (Certains étaient plus à l'aise sur la partie techniques, et d'autres étaient plus intéressés par l'encadrement du projet.)

## III. Mise en œuvre & résultats

### 3.1 Reconnaissance visuelle du Rubik's Cube

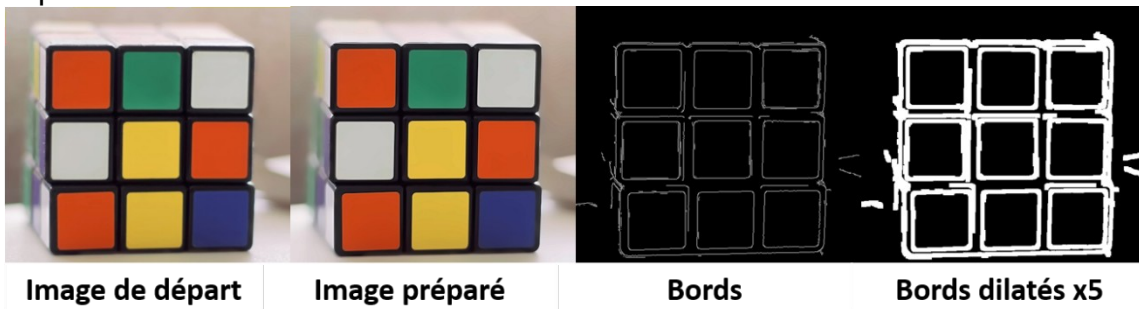
Cette partie consiste en l'exploitation de photos du Rubik's Cube par la caméra du robot pour déterminer la couleur de chaque carré de chaque face. Le résultat est ensuite transmis à la partie de résolution algorithmique du Rubik's Cube. Les manipulations de l'image dans cette partie sont réalisées à l'aide de la bibliothèque libre OpenCV (Open Computer Vision).

#### Préparation de l'image

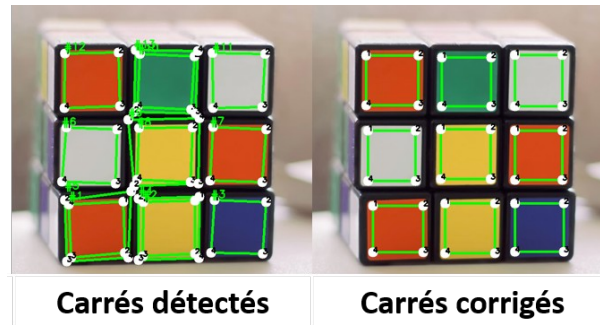
Dans un premier temps il est nécessaire de préparer l'image pour qu'elle soit utilisable par les algorithmes de reconnaissance de formes.

L'image de départ est de qualité médiocre et la lumière provenant du robot peut entraîner des bruits sur l'image. Pour remédier à ce problème on commence par faire une réduction de bruit (denoising), une augmentation de la netteté (sharpening) et un flou gaussien (gaussian blur). La réduction et l'augmentation de la netteté permettent d'éviter la détection de formes provenant du bruit et de renforcer les bords sur l'image. Le flou gaussien permet d'unifier les couleurs sans perdre les bords nécessaires à la détection des couleurs.

Une fois l'image correctement préparée le filtre de Canny de détection de bord est utilisé pour détecter les bords sur l'image. Les bords pouvant ne pas être parfaitement continu, une dilation des bords est alors nécessaire. Pour cela on entoure chaque pixel blanc sur l'image des bords par plusieurs autres pixels blancs. L'image est alors prête à être exploitée.



C'est à cette étape que la détection des formes prend place. L'image des bords dilatés est utilisée par l'algorithme Ramer–Douglas–Peucker de reconnaissance de formes approximatives. Puisque nous ciblons des carrés les formes retenues sont avec 4 côtés, des angles proches de  $90^\circ$  entre côtés et une taille de côté de maximum d'un tiers de l'image puisque le Rubik's Cube contient 3 carrés par ligne ou colonne. Les résultats obtenus sont inexploitable pour extraire les couleurs : Il peut y avoir trop de carrés, les carrés ne sont pas triés sur une même face, les 4 points de chaque carré ne sont pas triés. Après un trie, une suppression des carrés contenant eux même un carré et une régularisation des coordonnées, si nous possédons bien 56 carrés la détection des couleurs peut commencer.

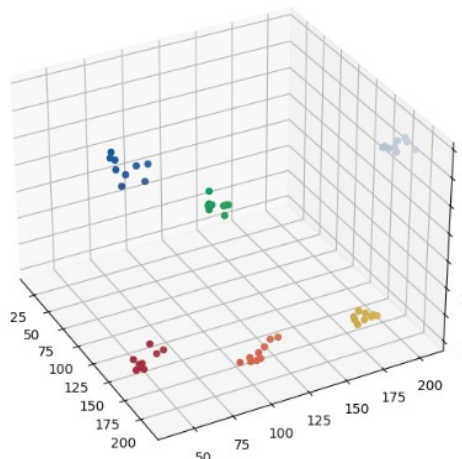


## Création des groupes de couleurs

Maintenant que nous possédons les images du Rubik's Cube et les coordonnées des 56 carrés il est possible de calculer la moyenne de couleur RGB de chaque carré en traitant l'image comme un tableau à deux dimensions de pixels. On dispose maintenant d'une liste de 56 couleurs et des coordonnées du carré correspondant à la couleur. Par exemple : couleur RGB (45,65,201) et coordonnées 6,4 sur le Rubik's Cube (6<sup>ème</sup> face, 4<sup>ème</sup> carré). Il nous reste maintenant à créer 6 groupes de 9 carrés en fonction de leur couleur. Le choix que nous avons fait pour l'algorithme de groupage est de traiter les couleurs comme des coordonnées dans l'espace RGB.

L'algorithme de groupage répète 6 fois les actions suivantes :

- Création d'un groupe de couleur vide (taille 0 et couleur moyenne (0,0,0) et liste de coordonnées du carré vide)
- La couleur du groupe devient la première couleur de la liste des couleurs et la taille du groupe devient 1, les coordonnées du carré de la première couleur est ajouté à la liste des coordonnées
- Suppression de la première couleur de la liste des couleurs
- Répéter 8 fois :
  - Sélectionner la couleur la plus proche de la couleur du groupe dans la liste des couleurs
  - Incrémenter la taille du groupe
  - La couleur du groupe devient la moyenne entre la couleur du groupe et la couleur sélectionnée
  - Ajouter les coordonnées du carré correspondant à la couleur sélectionnée à la liste des coordonnées du groupe
  - Suppression de la couleur sélectionnée de la liste des couleurs
- Ajouter le groupe à une liste de groupe



## Limites et problèmes

Les choix que nous avons faits dans cette partie peuvent entraîner divers problèmes. Tout d'abord la partie de traitement des images et de reconnaissance de formes est très lourde pour une machine comme le Raspberry Pi dont nous disposons pour ce projet. De plus un reflet sur une photo ou un contraste faible entre les couleurs peut entraîner une erreur de groupage. Par exemple un reflet blanc sur une face rouge peut amener une moyenne de couleur orange. Ensuite le groupage ne tient pas compte des propriétés d'un Rubik's Cube. Normalement il est impossible que deux carrés d'une même couleur soient au milieu de deux faces différentes.

### 3.2 Résolution de l'algorithme

Cette partie consiste en l'analyse d'une configuration (un mélange) produite au préalable via la reconnaissance visuelle, ainsi que la déduction d'une suite de mouvements menant à une configuration résolue du cube. Pour représenter au mieux cette étape nous avons choisi le langage Java, étudié en cours, notamment pour sa simplicité et son panel de méthodes utiles à l'algorithmie.

#### Principes généraux :

La structure du programme est définie comme telle:

1. On part d'une représentation virtuelle du cube, sous forme textuelle dans un fichier créé par la partie détection des couleurs qu'on va placer dans une variable pour pouvoir l'altérer plus facilement. Cette variable est un tableau bidimensionnel (une dimension pour la face, et une pour la couleur).
2. On possède plusieurs méthodes correspondants aux rotations qui modifient la représentation virtuelle en direct (passée en argument et en retour), exemples:
  - rotation
  - liste de rotations
  - mélange
  - récupération de la couleur d'une arête
  - etc...
3. On peut potentiellement utiliser des méthodes de vérification pour chaque sous-étape, afin d'optimiser les résultats, exemples:
  - vérification de l'existence de certaines configurations.
  - vérification de la complétion d'une étape de la résolution.
4. Chaque mouvement effectué dans l'étape validée est ajouté à une liste, cette liste est passée dans une méthode de refactoring qui va tenter de la réduire en simplifiant les mouvements inutiles par exemple.
5. Le fichier textuel contenant la représentation initiale est mis à jour pour y ajouter la suite de mouvements obtenus.

Voici une modélisation de notre résolution :

1. Croix blanche (abouti)



2. Face blanche (abouti)



3. Couronne médiane (abouti)



4. Croix jaune

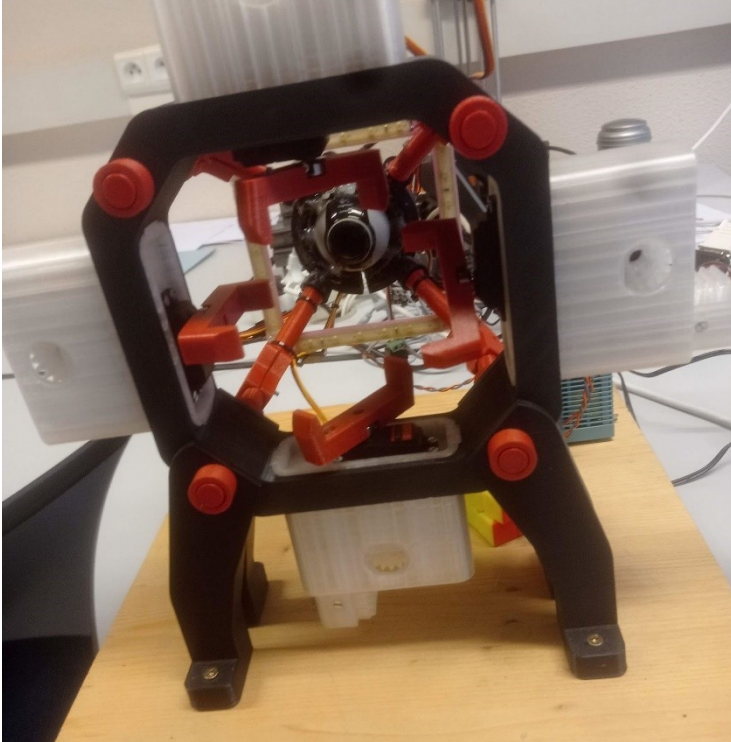


5. Face jaune



### 3.3 Partie robotique

Voici le robot qui nous a été prêté par l'IUT en vue de notre projet :



Voici une présentation succincte du robot :

Tout d'abord, nous avons une webcam qui sera la base de notre résolution de Rubik's cube, cette webcam prendra une photo du cube avant que n'importe quel mouvement soit effectué, afin de comprendre sa configuration de base. Ensuite cette photo, avec le programme de reconnaissance des couleurs, va permettre de connaître la configuration du cube.

Dans un deuxième temps, le robot possède 4 bras mécaniques qui peuvent bouger en translation ainsi qu'en rotation, ce qui permet de tenir le cube et de faire bouger ses faces. Enfin, la Raspberry Pi, qu'on inclut ici dans la partie robotique, va exécuter les programmes et donner des ordres au robot.

Son utilisation :

Après toutes les étapes réalisées par les différents programmes, allant de la photo de la webcam aux mouvements des bras, nous aurons une suite d'instructions données par le code de résolution du cube. Cette suite d'instructions sera traduite, dans un autre programme, en suite de mouvements pour les bras de notre robot.

Essayons de vous donner un exemple :

moteur n°1 : moteur contrôlant la pince du haut  
moteur n°2 : moteur contrôlant la pince de droite  
moteur n°3 : moteur contrôlant la pince du bas  
moteur n°4 : moteur contrôlant la pince de gauche

Prenons l'instruction « L », c'est à dire que nous tournons le cube vers la gauche, Cette instruction deviendra alors :

- translation maximum pour bloquer le cube par 1 et 3 - rotation de 2 et 4 90° horaire
- translation maximum
- translation maximum pour bloquer le cube par 1 et 3
- rotation de 2 et 4 90° horaire
- translation maximum pour bloquer le cube 2 et 4
- rétraction de 1 et 3
- rotation de 1 et 3 90° horaire ou antihoraire
- blocage du cube par 1 et 3
- rotation de 4 de 90° horaire pour bloquer le cube 2 et 4
- rétraction de 1 et 3
- rotation de 1 et 3 90° horaire ou antihoraire
- blocage du cube par 1 et 3
- rotation de 4 de 90° horaire

Comme on peut se l'imaginer, chaque instruction demande beaucoup de mouvements pour les pinces, rallongeant ainsi le temps de résolution.

Problèmes rencontrés :

Lors de notre projet, le robot a rencontré plusieurs problèmes, en premier lieu, nous avons eu un problème avec la webcam qui ne prenait pas des photos de bonne qualité. Ce problème a été résolu après un certain temps par l'équipe technique de l'IUT. Suite à cela nous nous sommes rendus compte que nous aurions une complication avec les pinces, avec ce problème du nombre conséquent de mouvements, et une saisie du robot plus ou moins puissante, les risques de faire tomber le cube était grande ce qui nous a largement ralenti dans la concrétisation du projet.

## IV. Bilan

### 4.1 Conclusions

Après ce travail du troisième semestre qui aura duré plus de 4 mois, et qui est sur le point de se terminer, **il est l'heure de faire le bilan** sur les travaux que nous avons réalisés. Reprenons donc, point par point, ce qui a été réalisé :

- **Détection des couleurs** : Cette partie, bien que chronophage et assez technique, a pu être réalisée extrêmement rapidement. En effet, à l'expiration du premier sprint, malgré les difficultés imprévues rencontrées, notre algorithme permettant de détecter les 9 carrés de chaque face était opérationnel, et donc cela nous a permis de nous concentrer sur le reste du travail assez rapidement.
- **Algorithme de résolution du Rubik's cube** : Cette partie a certainement été la plus conséquente. En effet, il nous aura fallu travailler dessus pendant la totalité des 3 sprints pour qu'il soit opérationnel. En effet, chaque mouvement possible a dû être codé à la main, ce qui prend un temps considérable. Cependant, malgré le niveau technique demandé pour le réaliser, le code pour la résolution du cube par le robot est donc utilisable.
- **Robotique** : Enfin, la partie qui devait rendre visible notre travail, celle où le robot utilisait nos différents travaux précédents, n'a malheureusement pas pu aboutir. Comme vous l'avez lu plus haut, nous avons rencontré des soucis techniques indépendants de notre volonté, qui nous ont empêchés de terminer entièrement notre projet. Nous avons commencé cette partie lors du dernier sprint, et étant donné le peu de temps qu'il nous restait, cela nous était impossible de travailler efficacement sur le robot une fois tous les problèmes réglés, ce qui nous a coûté la fin du projet.

Globalement, notre contrat a été partiellement rempli, étant donné que la partie la plus importante n'a pas pu être entièrement réalisée, en raison des problèmes liés au robot, et en dépit de nos efforts pour terminer à temps.

### 4.2 Si c'était à refaire ?

Nous avons, à l'heure actuelle, **acquis de nombreuses compétences**, aussi bien sur le point technique que relationnel du groupe, **qui nous permettraient de refaire le projet avec une bien meilleure efficacité**. Cependant, les points sur lesquels nous devrions nous pencher pour refaire ce travail seraient sûrement la gestion du temps et être attentif plus tôt à la partie robotique.

En effet, après un premier sprint plutôt bien mener, nos travaux ont été plus ou moins mis de côté, en raison des nombreux travaux à rendre dans les autres matières du DUT et des évaluations régulières. Il aurait donc été judicieux d'améliorer ce point, et d'**essayer d'être plus régulier sur nos travaux**, en consacrant, peut-être, un moment dans la semaine à nos travaux. Ensuite, en refaisant ce travail, nous irions certainement **tout de suite analyser le robot à utiliser**, afin de voir s'il comportait des problèmes, comme ça a été le cas durant ce projet.



Sinon, mis à part ce point, nous sommes **tous les quatre assez satisfait de notre travail, de l'ambiance du groupe et de la répartition du travail**, comme vous pourrez le retrouver dans nos bilans personnels par la suite.

### 4.3 Perspectives futures

### 4.4 Bilans personnels

Clément : Ce projet à une nouvelle fois permis le travail en équipe, qui est quelque chose que j'affectionne particulièrement. Nous avons eu la chance de tomber sur un sujet assez libre et intéressant, qui nous à inspiré tout au long du projet. De plus, notre équipe était assez complémentaire et talentueuse. Ce fut une très bonne expérience.

Loïc : Ce troisième projet tutoré à pour moi été une bonne occasion de mettre à profit la théorie apprise en cours, notamment en Java ou j'ai pu me familiariser plus longuement avec les logiques et mécaniques utilisées. D'un point de vue organisationnel j'ai trouvé l'équipe bien soudée, même s'il était pour moi parfois difficile de me concentrer sur les parties adjacentes, étant concentré sur la partie code. Le sujet était à la fois intéressant et exploitable, même en faisant une résolution partielle on a tout de même pu travailler sur chaque partie (détection, résolution et robotique) car chacune pouvait fonctionner indépendamment, donc impossible de retarder l'ensemble si une partie pose problème. En résumé l'expérience était plutôt enrichissante pour moi.

Loris : J'ai vraiment trouvé ce projet intéressant que ce soit du point de vue technique (informatique) ou théorique (EGO). Je pense qu'on a pris un très bon sujet, après en avoir parlé avec les autres groupes. L'ambiance dans le groupe était plutôt bonne sachant qu'on se connaissait déjà d'avant le PT.

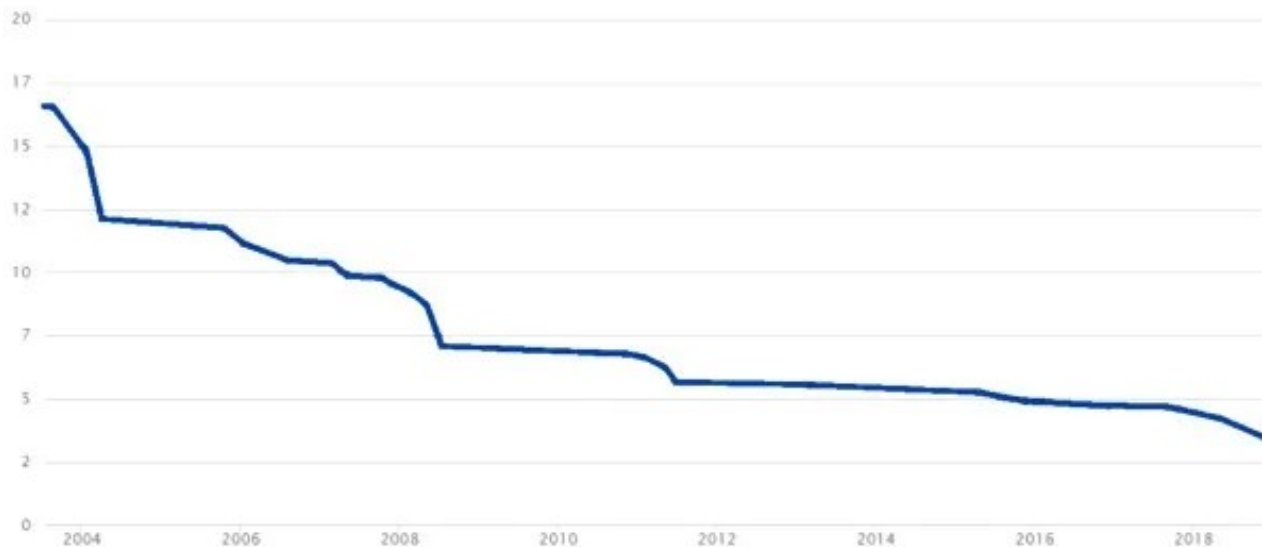
Raphaël : Ce projet a pour moi été très intéressant sur le plan technique. Le Rubik's Cube est un objet simple mais qui demande une grande quantité de connaissances pour être résolue par ordinateur. La partie reconnaissance visuelle est très intéressante et facilement applicable à d'autres problèmes traitant de la vision par ordinateur. Je suis relativement content du résultat mais j'aurais aimé avoir plus de temps pour pouvoir finir la partie robotique qui a rencontrée des problèmes lors de l'utilisation du robot.

## V.Remerciements

Nous tenons à remercier les professeurs, les personnes interrogées, les acteurs extérieurs, et toutes les personnes qui nous ont aidés à réaliser ce projet, et sans notre projet n'aurait pas vu le jour. Nous remercions en particulier M. Villard, notre tuteur, qui nous a beaucoup appris et guidé durant ces 4 mois et demi de projet.

# VI. Annexes

## 1.2 Résumé de l'existant



Graphique du temps nécessaire pour résoudre un rubik's cube (en secondes) en fonction des années

source : <https://retforgetful.blogspot.com/2021/04/record-du-monde-rubiks-cube-1x1.html>

## 1.3 Attentes des clients potentiels

Guide d'entretien :

### I. Présentation du profil

1. Présentez-vous, (nom, age,...)
2. Quel est votre rapport au Rubik's cube ?
3. Avez-vous déjà résolu un Rubik's cube ?
4. Quelle méthode utilisez-vous ( ou utiliserez-vous) pour le résoudre ?
5. Dans quel contexte avez-vous découvert le rubik's cube ?
6. Combien de temps cela vous prend-t-il ?
7. Depuis combien de temps cela vous intéresse-t-il ?
8. Avez-vous déjà regardé ou participé à des compétitions ?

### II. Questions en rapport au robot rubik's cube

1. Seriez-vous intéressé par l'utilisation d'un robot résolvant un rubik's cube
2. Si oui en quoi pourrait-il vous être utile ?
3. Quelles sont vos attentes vis-à-vis des capacités du robot ?
4. Serait-il intéressant de l'utiliser dans un but éducatif, pour apprendre à résoudre le rubik's cube ?
5. Un robot vous aurait-il aidé à vous améliorer dans ce domaine ?
6. Quel montant seriez-vous prêt à investir pour vous le procurer ?

7. Quelles modifications seraient à apporter selon vous ?
8. Pour vous, la solution proposée doit-elle être obligatoirement la plus efficace ?
9. La détection des couleurs vous semble-t-elle obligatoire (ou seriez-vous prêt à rentrer la configuration du cube)?
10. Quel temps devrait mettre le robot pour résoudre le rubik's cube selon vous pour que cette durée soit acceptable ?
11. Pour vous, apprendre par mimétisme serait une solution d'apprentissage efficace ?
12. Mélanger le cube de manière aléatoire est-il une fonction utile pour l'entraînement à la résolution ?
13. Pour vous, un mode « résolution étape par étape » serait-il une bonne idée ?
14. Auriez-vous des suggestions pour améliorer notre robot ?

Avez-vous d'autres remarques ?

## Documents techniques :

### analyse du besoin

#### I. Présentation du projet

Le thème de notre projet tutoré de ce semestre se trouve être l'élaboration d'un robot capable de résoudre un Rubik's cube.

Notre produit est axé sur une niche bien précise, celle des joueurs et associations de Rubik's cube. En effet, bien qu'étant une activité ouverte à tous, la résolution de Rubik's cube, ce marché ne cible pas une grande part de la population, malgré un certain regain d'intérêt de la population pour le petit cube multicolore, qui est passé de 47 000 exemplaires vendus en 2002 à 850 000 en 2016, soit près de 15 ans plus tard. Nous devons donc chercher à créer un produit utile à tous les joueurs, aussi bien les novices, ceux en cours d'apprentissage, que les associations amateurs de speedcubing et cherchant à améliorer sans cesse leurs résultats (Comme nous le montre le graphique situé en annexe, les records du monde ne cessent de s'enchaîner).

#### II. Analyse du marché

##### II.1. Analyse de l'existant

Pour ce faire, nous avons d'abord commencé par analyser l'existant, et les différents robots concurrents, afin de pouvoir nous donner une idée sur notre future position sur le marché.

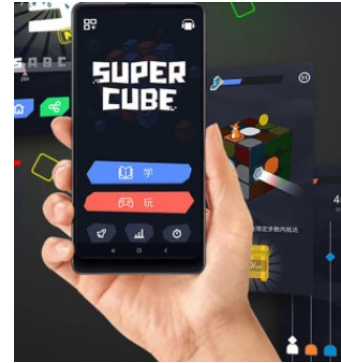
Nous avons pu recenser 3 concurrents directs sur lesquels s'appuyer :

**A.** Un cube intelligent de la marque Xiaomi qui, par le biais de l'application « SuperCube », enregistre les performances du joueur et lui permet d'apprendre différents algorithmes de résolution. Ce dernier est vendu au prix de 43 €.



Cube  
intelligent  
Xiaomi

Application  
associée



**B.** Un robot semblable au nôtre de la marque GAN qui résout également le Rubik's cube de manière automatisée. Ce dernier vendu 125 € possède un design très sobre et épuré, et résous en un temps inférieur à 15 secondes n'importe quelle combinaison.



Robot de la marque GAN, notre  
meilleur concurrent.

**C.** Enfin, notre dernier concurrent n'est pas commercialisé, mais a battu le record de vitesse pour la résolution d'un Rubik's cube ( Guinness World Record).

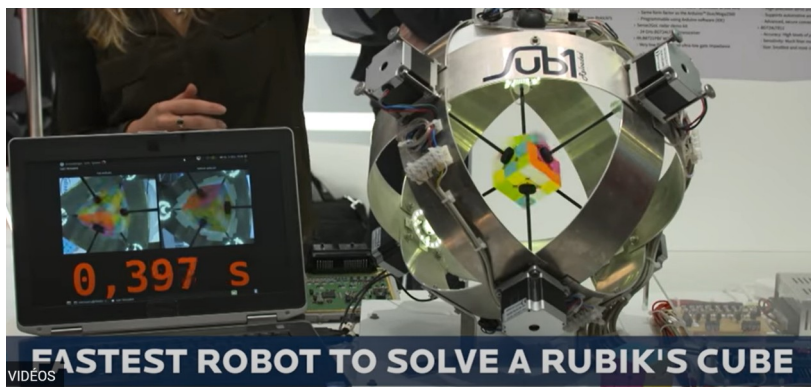


Image du robot ayant réalisé  
le record

## II.2 Etude de marché

Nous avons par la suite nous avons pu recueillir les témoignages, et réaliser des entretiens avec tous types de profils.

Pour commencer, nous avons pu nous entretenir avec des novices en la matière. Ce qui se dégage de ces échanges, c'est que les débutants souhaitent avoir un robot qui leur offre une aide, qui leur montre quels coups sont à effectuer s'ils sont bloqués, et pouvoir revenir en arrière jusqu'au moment de leur erreur, s'ils en commettent une. Créer une sorte de sauvegarde et analyser l'état du cube à tous les instants. Il faudrait qu'il soit comme un tuteur, qu'il offre une « marche à suivre ». L'ajout d'une voix afin d'expliquer les mouvements effectués ainsi que d'expliquer la démarche pour les débutants.

Le côté éducatif est un marché très intéressant à explorer. Cependant, pour les professeurs interrogés, l'utilisation d'un robot retire une partie du plaisir à apprendre. Il est cependant à l'heure actuelle difficile de pouvoir se pencher sur l'ajout d'un côté « humain » au robot.

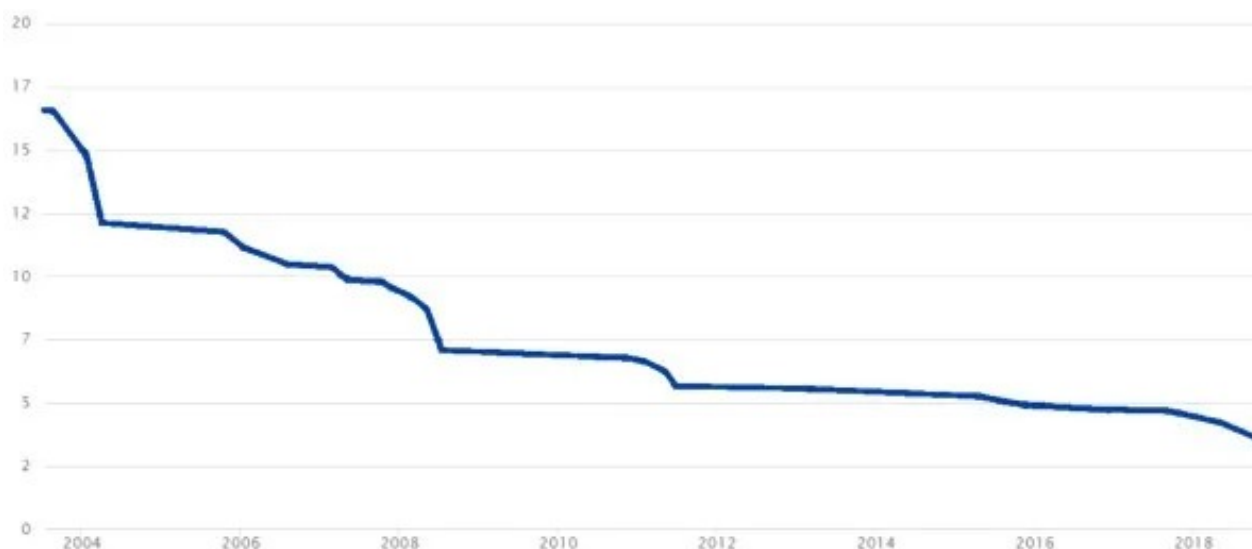
Ensuite, la seconde grande catégorie de personnes que nous avons interviewés est la catégorie des joueurs très réguliers et expérimentés. Et de ce côté, l'aspect ludique ne ressort pas vraiment, et laisse plutôt la place à un aspect compétitif. En effet, selon notre étude autour des personnes plus expérimentées, dans l'apprentissage, ce qui est important ce sont les algorithmes qu'il faut connaître par cœur, et savoir se visualiser dans l'espace, tâches qui ne peuvent pas être accomplies par le robot. La plupart veulent « se mesurer » au robot, et le voir plutôt sur le marché de la compétition. Les suggestions dominantes seraient de pouvoir affronter le robot, afin de se préparer au mieux à une future échéance, ou alors de pouvoir optimiser ses coups et d'améliorer sa façon de résoudre le Rubik's cube. De plus, la proposition d'incorporer des « doigts » à notre robot pour apprendre à optimiser son positionnement sur le cube est une fonction à ne pas négliger.

Enfin, là où les deux parties se rejoignent, c'est sur l'obligation de détecter les couleurs, plutôt que de donner à la main notre configuration. On note également que pour la majorité, l'option de mélanger aléatoirement le cube par le robot est plus qu'optionnel. Il a été suggéré de réaliser, en complément de ce robot, une application permettant de mieux apprendre, ainsi que de mieux visualiser le cube.

### III. Conclusion

Pour conclure, nous avons pu constater que le marché potentiel se divisait en 2 marchés bien distincts. En effet, nous pouvons nous pencher sur un robot éducatif, qui conviendrait parfaitement à l'apprentissage et à l'amélioration des novices, ou nous pourrions créer un robot qui rivaliserait avec les meilleurs compétiteurs, et qui leur permettrait d'améliorer encore plus leurs performances.

Annexes :



Graphique du temps nécessaire pour résoudre un rubik's cube (en secondes) en fonction des années

source : <https://retforgetful.blogspot.com/2021/04/record-du-monde-rubiks-cube-1x1.html>

Sitographie :

Rubik's cube intelligent Xiaomi :

[https://fr.aliexpress.com/item/32955718138.htmlspm=a2g0o.productlist.0.0.7b592a85THi9OR&algo\\_pvid=233e2e90-c5fe-4bde-8089-7a51b8471dcf&algo\\_exp\\_id=233e2e90-c5fe-4bde-8089-7a51b8471dcf-11&pdp\\_ext\\_f=%7B%22sku\\_id%22%3A%2210000011429368413%22%7D](https://fr.aliexpress.com/item/32955718138.htmlspm=a2g0o.productlist.0.0.7b592a85THi9OR&algo_pvid=233e2e90-c5fe-4bde-8089-7a51b8471dcf&algo_exp_id=233e2e90-c5fe-4bde-8089-7a51b8471dcf-11&pdp_ext_f=%7B%22sku_id%22%3A%2210000011429368413%22%7D)

Machine pour résoudre automatiquement un Rubik's cube | GAN :

[amazon.fr/GAN-Automatic-Artificial-Intelligence-Compatible/dp/B081CWHMNL/ref=asc\\_df\\_B081CWHMNL/?tag=googshopfr-21&linkCode=df0&hvadid=454928742931&hvpos=&hvnetw=g&hvrand=13417161001952571704&hvpone=&hvptwo=&hvqmt=&hvdev=c&hvdvcmdl=&hvlocint=&hvlocphy=1006179&hvtargid=pla-882792516633&psc=1](https://amazon.fr/GAN-Automatic-Artificial-Intelligence-Compatible/dp/B081CWHMNL/ref=asc_df_B081CWHMNL/?tag=googshopfr-21&linkCode=df0&hvadid=454928742931&hvpos=&hvnetw=g&hvrand=13417161001952571704&hvpone=&hvptwo=&hvqmt=&hvdev=c&hvdvcmdl=&hvlocint=&hvlocphy=1006179&hvtargid=pla-882792516633&psc=1)

Robot le plus rapide pour résoudre un « puzzle cube » :

<https://www.guinnessworldrecords.com/world-records/fastest-robot-to-solve-a-rubiks-cube>

Page Wikipédia du Rubik's cube :

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Rubik%27s\\_Cube#Championnats\\_et\\_records](https://fr.wikipedia.org/wiki/Rubik%27s_Cube#Championnats_et_records)

Pourquoi le Rubik's Cube nous passionne toujours autant :

[https://www.lepoint.fr/pop-culture/pourquoi-le-rubik-s-cube-nous-passionne-toujours-autant-19-07-2017-2144221\\_2920.php](https://www.lepoint.fr/pop-culture/pourquoi-le-rubik-s-cube-nous-passionne-toujours-autant-19-07-2017-2144221_2920.php)

# Cahier des charges

## 1.Mise en situation :

Nous voyons ici le cahier des charges que se doit de remplir notre projet tutoré 3 ; le robot permettant de résoudre un Rubik's Cube. Le but de nos travaux est, afin de répondre au sujet de notre projet tutoré 3, et à partir d'un robot qui nous est fourni, de faire en sorte que ce dernier analyse les couleurs de chaque face du cube, et qu'à partir de la lecture de ces couleurs ainsi que d'un algorithme de résolution, le robot soit capable de résoudre le Rubik's cube.

## 2.Objectifs :

Nous voulons à travers ce projet **faire fonctionner totalement le robot**, c'est-à-dire qu'il faut que celui-ci soit prêt à la vente une fois la date de rendu dépassée. **Nous voulons offrir le meilleur outil disponible sur le marché du Rubik's cube**. Le robot doit faire une bonne détection des couleurs et se doit de répondre rapidement lors de la résolution du cube.

## 3.Contraintes :

Nous aurons lors de ce projet un bon nombre de contraintes.

-Tout d'abord **d'un point de organisationnel**. Afin de pouvoir tester nos différents algorithmes et nos différents travaux, il faudra emprunter le robot, qui n'est disponible que lors des horaires d'ouvertures de l'IUT. Nous allons devoir avancer nos travaux en dehors de l'IUT, et faire des « phases de tests » spécifiques lorsque nous serons en possession du robot. Il va également falloir se répartir intelligemment le travail, et apprendre à communiquer entre nous, afin que le projet avance sans trop de fausses notes et de désaccords.

-**D'un point de vue temporel** désormais, la coordination de l'équipe sera encore une fois essentielle, puisque notre temps est limité. En effet notre projet se décompose en trois sprints d'un mois chacun environ, ce qui nous laisse 3 mois pour créer, progresser, régler les problèmes, peaufiner, ... notre projet. C'est un temps court qui nous impose de nous limiter quant à la quantité de travail et de fonctionnalités que possédera notre robot.

-**Techniquement**, nous ne sommes qu'en deuxième années de DUT informatique, et certaines choses seront hors de portée de nos connaissances. Le robot, principalement, puisque nous ne pourrions pas effectuer de changement de luminosité de caméra, de réglages sur les bras, ... et nous sommes finalement à la merci du robot. De plus, nous devons certainement beaucoup nous renseigner sur l'entière du projet, car nous ne savons pas encore ce qu'il sera possible de faire, et ce qui est réalisable par le robot.

De plus, si nous revenons sur l'équipement, le Raspberry Pi est moins puissant qu'un ordinateur, il faut donc **optimiser nos codes et notre travail**. Il faut faire attention à la



vitesse d'exécution des rotations du robot, qui paraissent assez lentes, et donc il faut éviter un algorithme trop long et complexe. Enfin la qualité d'images proposées par la webcam n'est pas optimale, il va donc falloir travailler minutieusement sur la détection des couleurs.

-D'un point de vue budgétaire, en dehors des 4 salaires colossaux de l'équipe de travail, le robot appartient à l'IUT, et le Rubik's cube est une propriété de Loïc. Nous n'avons aucune contrainte budgétaire, puisque nous n'avons pas de dépenses à réaliser.

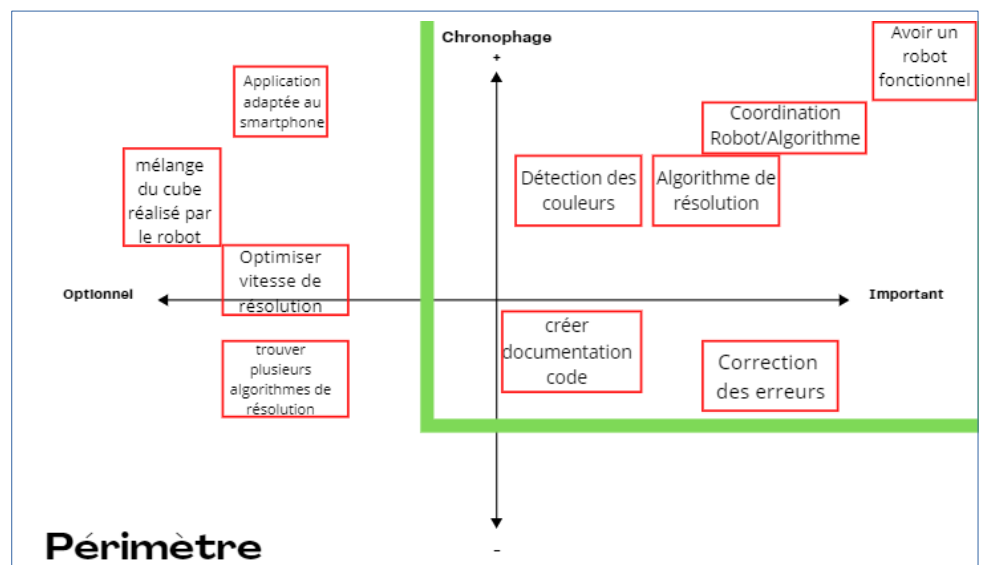
-Enfin, aucune contraintes réglementaire, que ce soit de nature d'autorisation administratives, ou de respect de normes spécifiques ne sont à noter.(Si ce n'est l'emprunt du robot).

#### 4.Périmètre :

Notre périmètre peut être défini grâce à ce schéma :

En effet, nous établissons la liste des tâches à effectuer, et les classons selon ces deux critères que sont le temps nécessaire pour les réaliser, mais surtout l'importance de ces différentes tâches. Une fois cela effectué, les tâches se

trouvant à droite de notre ligne verte entrent dans le périmètres des tâches que nous allons effectuer durant le projet, et les travaux se trouvant à gauche de cette ligne sont malheureusement sortis du périmètre de notre projet.



#### 5.Description Fonctionnelle :

-La première fonction que doit réaliser le robot est de résoudre le Rubik's cube. Pour se faire, cette fonction aura besoin de toutes les autres. C'est la fonction principale du robot, celle que l'on va mettre en valeur d'un point de vue marketing.

-La deuxième fonction est la détection des couleurs. Elle va permettre de faire démarrer le processus de résolution. Grâce à la webcam, nous allons pouvoir récupérer les couleurs des 9 carrés se trouvant face à la caméra. Une fois cette démarche effectuée sur les six faces, le robot aura en mémoire la configuration de notre cube, et va pouvoir remplir la fonction suivante.

-La troisième fonction est l'exécution de l'algorithme. En effet, lorsque le robot a le patron en mémoire, il va pouvoir réaliser l'algorithme que nous avons codé permettant de résoudre le cube.

-La quatrième fonction est liée au déplacement effectué par ses bras. En effet, afin d'exécuter l'algorithme, le robot doit avoir la fonction de tourner les faces du cube grâce à ses bras.

## 6. Enveloppe Budgétaire :

Les coûts engendrés par ce robot sont peu importants, comme expliqué précédemment. En effet, en dehors d'un éventuel cube pouvant être acheté afin d'être optimisé pour la webcam et la reconnaissance des couleurs, aucun coût n'est à prévoir, grâce au prêt du robot. Une meilleure webcam et un meilleur éclairage sont également des points sur lesquels se pencher.

## 7. Délais :

Notre projet doit être achevé pour le 17 décembre 2021. Nous allons répartir notre travail en trois sprints, d'un mois chacun (comme révélé plus tôt dans le cahier). Pour voir le détail des tâches à effectuer pour chacun de ces sprints, nous pouvons nous référer à notre diagramme de Gantt.

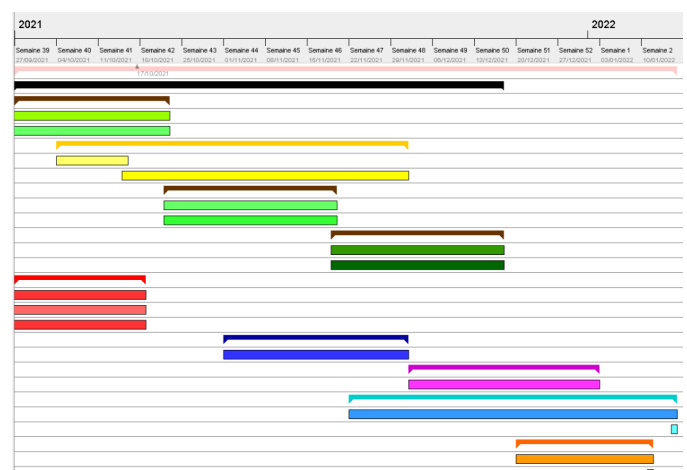
Date de fin du 1<sup>er</sup> Sprint : 22/10/21

Date de fin du 2<sup>ème</sup> Sprint : 19/11/21

Date de fin du 3<sup>ème</sup> Sprint : 17/12/21

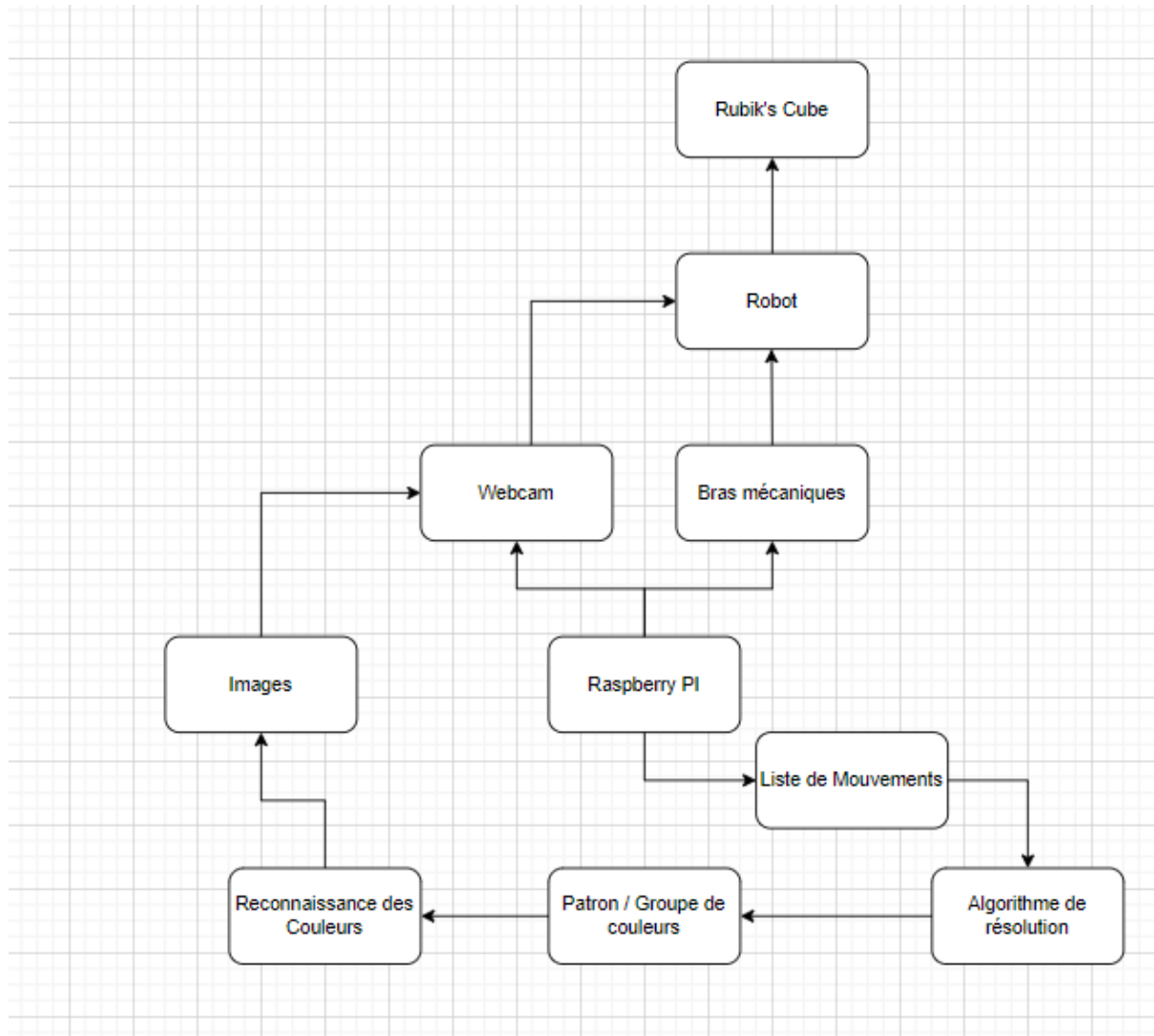
## Planification :

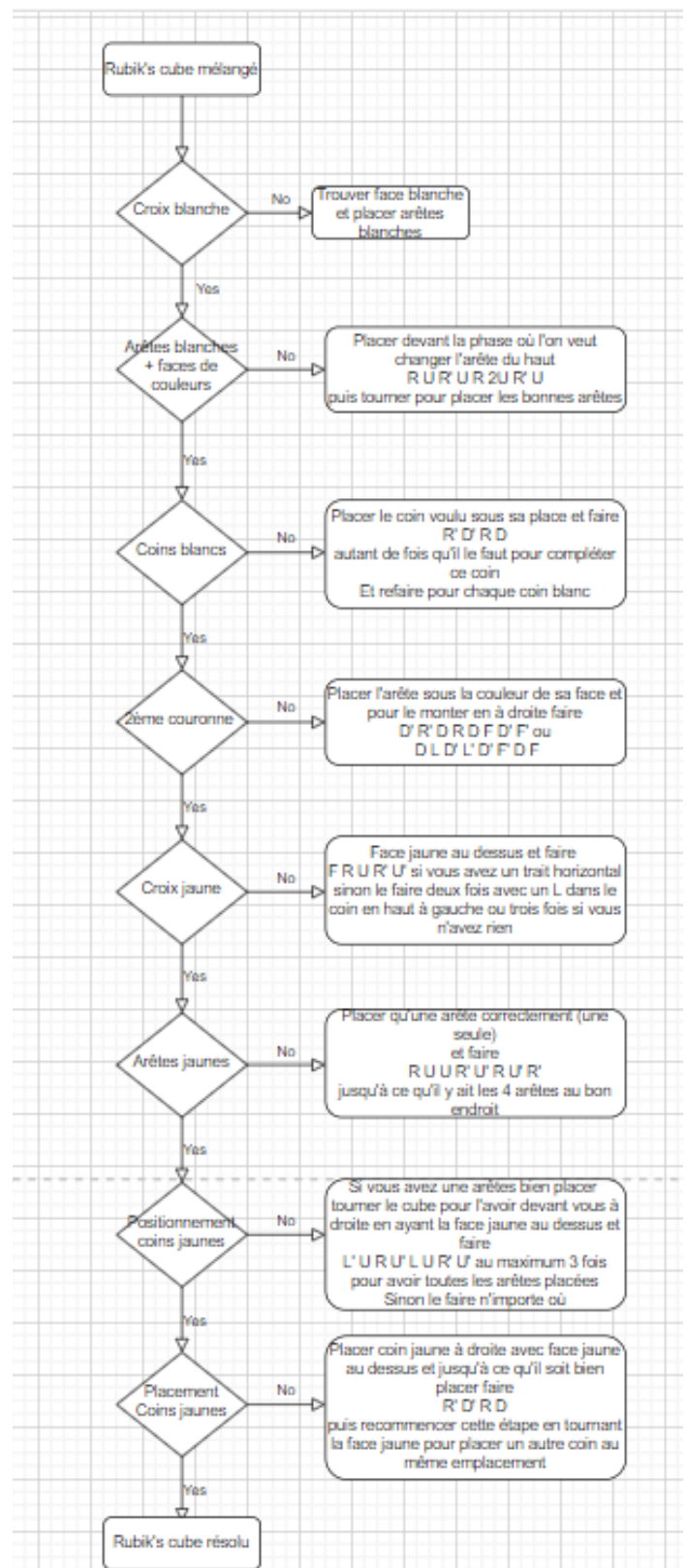
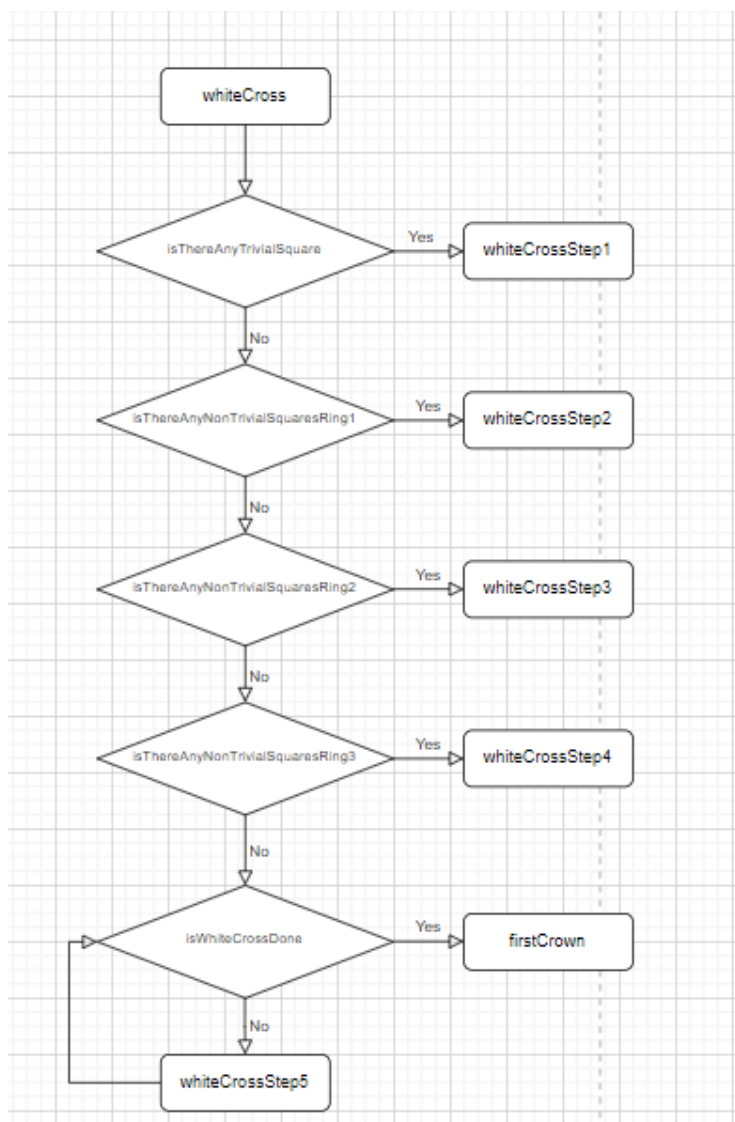
Nom	Date de début	Date de fin
Projet_tuteur3	02/09/2021	15/01/2022
Partie_Informatique	02/09/2021	17/12/2021
Sprint 1	02/09/2021	22/10/2021
Traitement_des_couleurs	02/09/2021	22/10/2021
Algorithme_de_resolution	02/09/2021	22/10/2021
DiagrammeUML	04/10/2021	01/12/2021
UML_Brouillon	04/10/2021	15/10/2021
UML_definitif	15/10/2021	01/12/2021
Sprint 2	22/10/2021	19/11/2021
Algorithme_de_resolution	22/10/2021	19/11/2021
Partie_robotique	22/10/2021	19/11/2021
Sprint 3	19/11/2021	17/12/2021
Partie_robotique	19/11/2021	17/12/2021
Finitions_et_ameliorations	19/11/2021	17/12/2021
ACDS	20/09/2021	18/10/2021
Analyse_des_besoins	20/09/2021	18/10/2021
Planification	20/09/2021	18/10/2021
Cahier_des_charges	20/09/2021	18/10/2021
Communication	01/11/2021	01/12/2021
Affiche	01/11/2021	01/12/2021
Anglais	02/12/2021	02/01/2022
Resume_en_anglais	02/12/2021	02/01/2022
Rapport	22/11/2021	15/01/2022
Elaboration_rapport	22/11/2021	15/01/2022
Rendu_rapport	15/01/2022	15/01/2022
Soutenance	20/12/2021	11/01/2022
Preparation_soutenance	20/12/2021	11/01/2022
Expose_soutenance	11/01/2022	11/01/2022



## Documents de conception

### Les différents diagrammes UML





## Budget et coûts

Aucune dépense faite, étant donnée que l'achat d'un Rubik's cube pour le projet était impossible, car il ne rentrait pas dans le budget.