Rapport de projet temps réel 4AE

Nom du binôme : JUMIN Noël, MARCÉ Clément

Enseignant de TP : Thibaud LASGUIGNES

4AE
2023/2024

Résumé

Ce rapport a pour but d'expliquer le déroulement du bureau d'étude « Robot Mobile » du binôme Noël JUMIN et Clément MARCÉ. Il s'agit d'un projet s'inscrivant dans le cursus d'ingénieur Automatique Électronique de l'INSA de Toulouse et plus particulièrement de l'enseignement de Temps Réel en 4ème année.

L'objectif consiste à réaliser une entité logicielle de supervision des opérations d'un petit véhicule-robot. Pour cela, nous avons dans un premier temps dû nous accommoder aux ressources à notre disposition telles que le cahier des charges du client ou encore le système physique dans lequel notre solution doit être implémentée. Nous avons par la suite déroulé une phase de conception qui vise à s'approprier le besoin du client pour proposer une solution théorique réalisable avec nos moyens. Suite à cela, il nous a été possible de réaliser le superviseur grâce à un travail de programmation suivi de tests d'implémentation. Finalement, nous avons pu présenter les résultats de cette étude et conclure sur nos performances vis-à-vis du besoin initial.

Abstract

The purpose of this report is to explain the progress of the « Mobile Robot » project carried out by Noël JUMIN and Clément MARCÉ. This project is part of the Automatic Electronics engineering cursus at INSA Toulouse, and more specifically the Real Time course in 4th year.

The aim was to create a software entity to supervise the operations of a small robotic vehicle. To do this, we first had to familiarise ourselves with the available resources, such as the customer's specifications or the physical system in which our solution would be implemented. We then carried out a design phase aimed at appropriating the customer's needs to propose a theoretical solution that we could provide. Following this, we were able to create the supervisor through programming work and implementation tests. Finally, we were able to present the results of this study and to conclude on our performance regarding the initial requirements.

Sommaire

I. Introduction 1
II. Architecture fonctionnelle 2
III. Architecture physique 5
IV. Codage et livraisons incrémentales 14
V. Analyse et validation du logiciel livré par rapport aux exigences 16
VI. Commentaires et conclusion 17

Définitions

Nom	Définition
Xenomai	Système d'exploitation basé sur l'utilisation de Linux en tant que tâche pour répondre aux contraintes du temps réel.
Xbee	Module de communication sans fil assurant un échange d'informations à faible consommation et débit.
Netbeans	Environnement de programmation permettant de compiler du code C et C++ sur carte Raspeberry Pi.
Raspberry Pi	Ordinateur miniature permettant la réalisation de tâches simples.

I. Introduction

Dans le cadre de la formation d'ingénieur Automatique Électronique de l'INSA de Toulouse et de son enseignement en systèmes temps réel, nous avons eu l'occasion de prendre part au bureau d'étude « Robot Mobile ».

L'objectif principal de ce projet consiste en la réalisation d'une unité de supervision des opérations d'un robot-véhicule. Cette solution technique doit d'abord être conçue à partir des besoins de supervision établis. Elle devra ensuite être programmée puis implémentée dans le système physique.

Les ressources à disposition sont :

- Un Rasperrby Pi 4 avec l'OS Xenomai et un module de communication Xbee. Il s'agit du composant qui viendra accueillir le code de notre superviseur et assurera sa communication avec le robot ainsi qu'avec notre moniteur. La carte dispose également d'un module caméra.
- Un robot véhicule avec un module de communication Xbee et un microcontrôleur. Les fonctions de déplacement du robot sont préalablement codées.
- Une arène dans laquelle circulera le robot.
- Un PC opérateur équipé d'un moniteur faisant office d'IHM pour l'envois de consignes au robot. C'est également l'ordinateur qui servira au développement du superviseur grâce à l'IDE Netbeans.
- Un cahier des charges des tâches à superviser.

Cette étude est réalisée en 4 séances de TP et couvre un vaste panel d'activités de l'ingénieur. En commençant par la prise en main d'un nouvel environnement de travail et l'établissement de besoins, il sollicite également les phases de conception et de développement d'une solution technique, jusqu'à sa livraison au client.

Il met finalement en place différents aspects théoriques et pratiques, tant sur des bases acquises comme la programmation C que sur de nouveaux concepts fondamentaux des systèmes temps réel.

Nous allons par la suite explorer ces axes en entrant plus en détails dans le cœur du projet.

II. Architecture fonctionnelle

Dans un premier temps, il nous a fallu nous intéresser au cahier des charges, c'est-à-dire la description des besoins du client. Il s'agit concrètement de la définition des tâches que devra réaliser notre superviseur.

Afin de prendre en main ce cahier des charges et débuter une démarche d'organisation de notre travail, nous avons regroupé les besoins du projet en fonctions.

Recensement des fonctions :

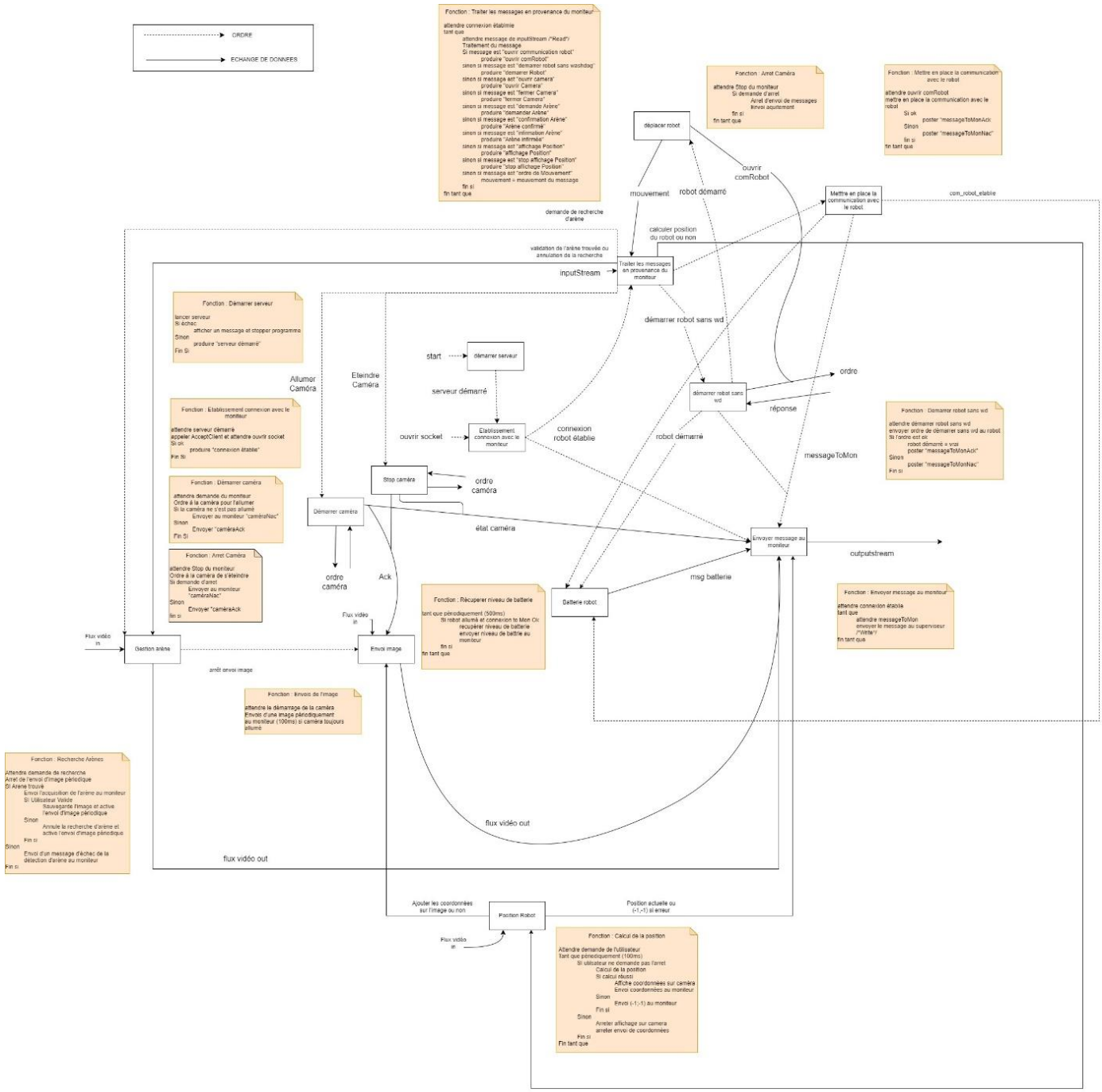
Nom de la fonction	**Description du comportement**	**Entrées**	**Sorties**
Démarrer serveur	Démarre le serveur	Démarrage du système	État de démarrage du serveur
Établissement connexion avec moniteur	Ouvre la communication du moniteur avec le robot	État de démarrage du serveur	État connexion du moniteur
Traiter les messages en provenance du moniteur	Gère les messages du moniteur	État connexion du moniteur Messages du moniteur	Réponses aux messages du moniteur
Envoyer messages au moniteur	Transmet les informations vers le moniteur	État connexion du moniteur Informations pour le moniteur	Informations pour le moniteur
Démarrer robot sans watchdog	Démarre le robot sans watchdog	Ordre de démarrage robot sans wd	État démarrage robot
Mettre en place la communication avec le robot	Ouvre la communication avec le robot	Ordre d'ouverture de la communication robot	État communication robot
Déplacer robot	Déplace le robot	État démarrage robot Ordre de déplacement	Mouvement du robot
Batterie robot	Récupère le niveau de batterie du robot et le transmet au moniteur.	État démarrage robot État communication avec robot	Niveau de batterie
Position robot	Calcule la position du robot et les transmet vers l'image de la caméra et le moniteur périodiquement (100 ms)	Flux vidéo entrant Ordre de calcul de la position	Coordonnées calculées Message d'erreur
Démarrer caméra	Allume le module caméra	Ordre de démarrage caméra	État caméra
Arrêter caméra	Ferme le module caméra	Ordre d'arrêt caméra	État caméra
Envoi image	Transmet un flux d'images périodiquement (100 ms)	Flux vidéo entrant État caméra Demande d'arène Demande de position	Flux vidéo sortant
Gestion arène	Recherche et transmission d'une image de l'arène. Sauvegarde l'image ou non selon le retour utilisateur. Modifie la fonction Envoi image pour centrer sur l'arène.	Ordre de recherche d'arène Validation de l'arène par l'utilisateur Flux vidéo entrant	Flux vidéo sortant Ordre d'arrêt de la fonction Envoi image

Ce travail préliminaire nous permet de mettre en lumière des blocs fonctionnels que nous devrons réaliser pour remplir notre mission.

C'est un bon moyen de segmenter les tâches, ce qui permettra de coder et valider leur fonctionnement séparément, étape par étape (branches git différentes, répartition des tâches dans l'équipe).

Il s'agit également d'une base pour visualiser les différents liens entre ces tâches et les éléments du système qui entrent en jeux dans chacune de leur réalisation. C'est ce que nous avons fais par la suite avec le diagramme d'architecture fonctionnelle.

Architecture fonctionnelle statique :



Une fois ce travail réalisé, nous avons à présent une excellente vision des tâches de notre futur superviseur et de la façon dont elles s'articuleront entre les différents éléments du système.

Ce premier concept reste néanmoins théorique et ne considère que les besoins du client à proprement parler. Pour s'approcher d'une solution faisable, il est nécessaire d'intégrer cette première étude dans le cadre de nos outils et moyens de réalisation de la solution.

III. Architecture physique

À présent, nous allons faire le lien entre les fonctions théoriques évoquées précédemment et nos outils de travail.

Comme évoqué en introduction, nous avons à disposition un Raspberry Pi dans lequel nous allons implémenter notre programme superviseur. Le code en question est développé en C++, tout en ayant recours à l'API Xenomai qui permet d'utiliser des fonctions typiquement orientées temps réel.

Entre autres, ces fonctions vont nous permettre de mettre en place la base de l'ordonnancement des tâches en temps réel : les sémaphores et les mutex. Les sémaphores nous serviront à synchroniser l'accès à une tâche par les différents éléments du système, tandis que les mutex serviront à bloquer l'accès à une variable par plusieurs threads simultanément.

Pour mettre en place ce réseau de gestion des tâches et de communication entre elles, il est important dans un premier temps de toutes les définir précisément.

Choix et justification d'une organisation en constituants (découpage/regroupement des fonctions en tâches), caractérisation des tâches :

Nom de la tâche	Rôle	Entrées	Sorties	Activation / Période	Priorité
T_SEND_TO_MON	Envoyer des informations au moniteur.	Information pour moniteur	Information transmise au moniteur	Unique, automatique après démarrage serveur	22
T_RECEIVE_FROM_MON	Traiter les informations du moniteur.	Information envoyée par moniteur	Traitement de l'information	Unique, automatique après démarrage serveur	25
T_SERVER	Démarrer le serveur de communication moniteur / superviseur	Démarrage système	Serveur démarré	Unique, automatique au démarrage système	30
T_OPEN_COM_ROBOT	Démarrer la communication entre le superviseur et le robot	Ordre d'ouverture de la com robot	État com robot	Unique, au démarrage système	20
T_START_ROBOT	Démarrer le robot.	Ordre démarrage robot	Robot démarré	Unique, demande utilisateur	20
T_MOVE	Déplacer le robot sur réception d'une consigne.	Ordre de déplacement du robot	Mouvement du robot	Périodique : 100 ms	20
T_BATTERY_STATE	Acquérir et transmettre le niveau de batterie.	État démarrage robot	Niveau de batterie	Périodique : 500 ms	19
T_START_CAMERA	Démarrer la caméra.	Ordre démarrage caméra	Caméra démarrée	Unique, demande utilisateur	21

T_STOP_CAMERA	Arrêter la caméra.	Ordre de stop caméra	Caméra arrêtée	Unique, demande utilisateur	22
T_SEND_IMG	Envoyer des images.	État caméra démarrée, État recherche d'arène, État recherche position	Flux vidéo	Périodique : 100 ms	19
T_SEARCH_MY_ARENA	Recherche une image de l'arène.	Ordre de recherche d'arène	Image de l'arène et demande de validation	Unique, demande utilisateur	20
T_FIND_POSITION	Calcule les coordonnées du robot.	Ordre de recherche de position	Coordonnées ou message d'erreur	Périodique : 100 ms	19

Une fois ce travail effectué, nous avons pu déterminer pour chaque tâche la nécessité ou non de protéger leur accès par un mutex ou de synchroniser leur accès par un sémaphore. Ces choix ont été basés sur les données communiquées entre les différentes tâches.

Choix et justification des moyens de communication et de synchronisation

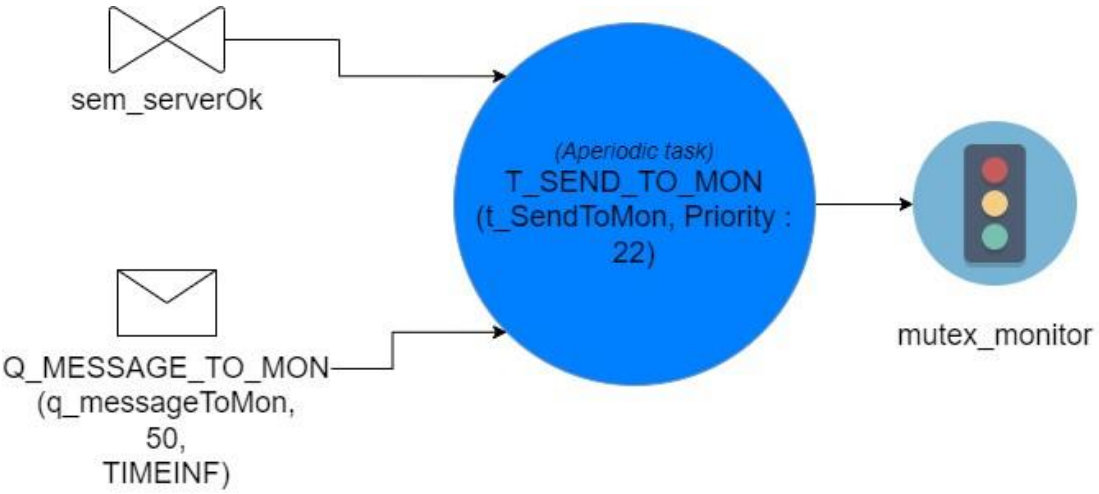
Donnée échangée entre des tâches (voir diagramme d'architecture logique statique)	**Mode de communication (variable globale, messageQueue, …) et caractérisation (Id, nom, taille, timeout, ..)**	**Protection (ou pas) par Mutex et Id du Mutex**	**Justification**
Accès fonctions moniteur	Variable globale	Mutex_monitor	Donnée accédée par plusieurs tâches
Accès fonctions robots	Variable globale	Mutex_robot	Donnée accédée par plusieurs tâches
État démarrage robot	Variable globale	Mutex_robotStarted	Donnée accédée par plusieurs tâches
Ordre déplacement robot	Variable globale	Mutex_move	Donnée accédée plusieurs fois par la même tâche
État démarrage caméra	Variable globale	Mutex_Cam	Donnée accédée par plusieurs tâches
Communication caméra	Variable gloable	Mutex_Cam	Donnée accédée par plusieurs tâches
Activation recherche d'arène	Variable globale	Mutex_SearchingArena	Donnée accédée par plusieurs tâches
Validation d'arène par utilisateur	Variable globale	Mutex_UseArena	Donnée accédée par plusieurs tâches
Image de l'arène	Variable globale	Mutex_ArenaResult	Donnée accédée par plusieurs tâches

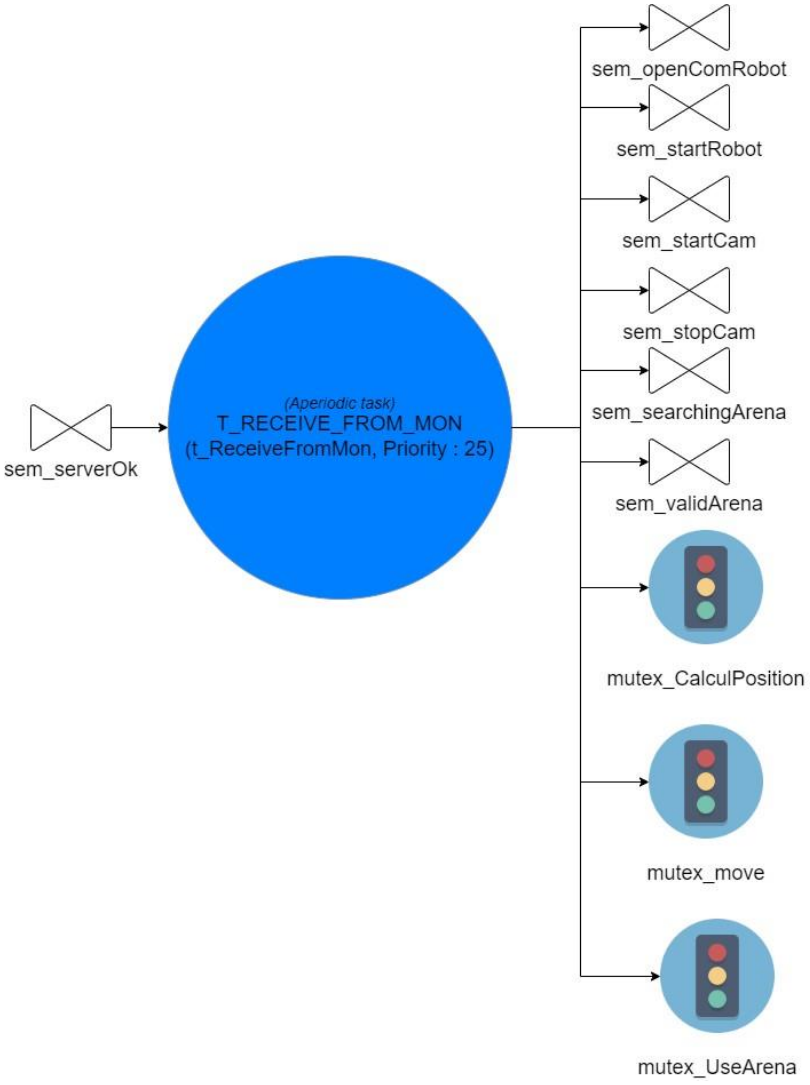
Activation du calcul de position	Variable globale	Mutex_CalculPosition	Donnée accédée par plusieurs tâches
Coordonnées robot	Variable globale	Mutex_robotPosition	Donnée accédée par plusieurs tâches
État com robot	messageQueue	-	Donnée non utilisée par d'autres tâches
Flux vidéo	messageQueue	-	Donnée non utilisée par d'autres tâches
Niveau de batterie	messageQueue	-	Donnée non utilisée par d'autres tâches
État caméra	messageQueue	-	Donnée non utilisée par d'autres tâches
État démarrage robot	messageQueue	-	Donnée non utilisée par d'autres tâches
Message moniteur	messageQueue	-	Donnée non utilisée par d'autres tâches

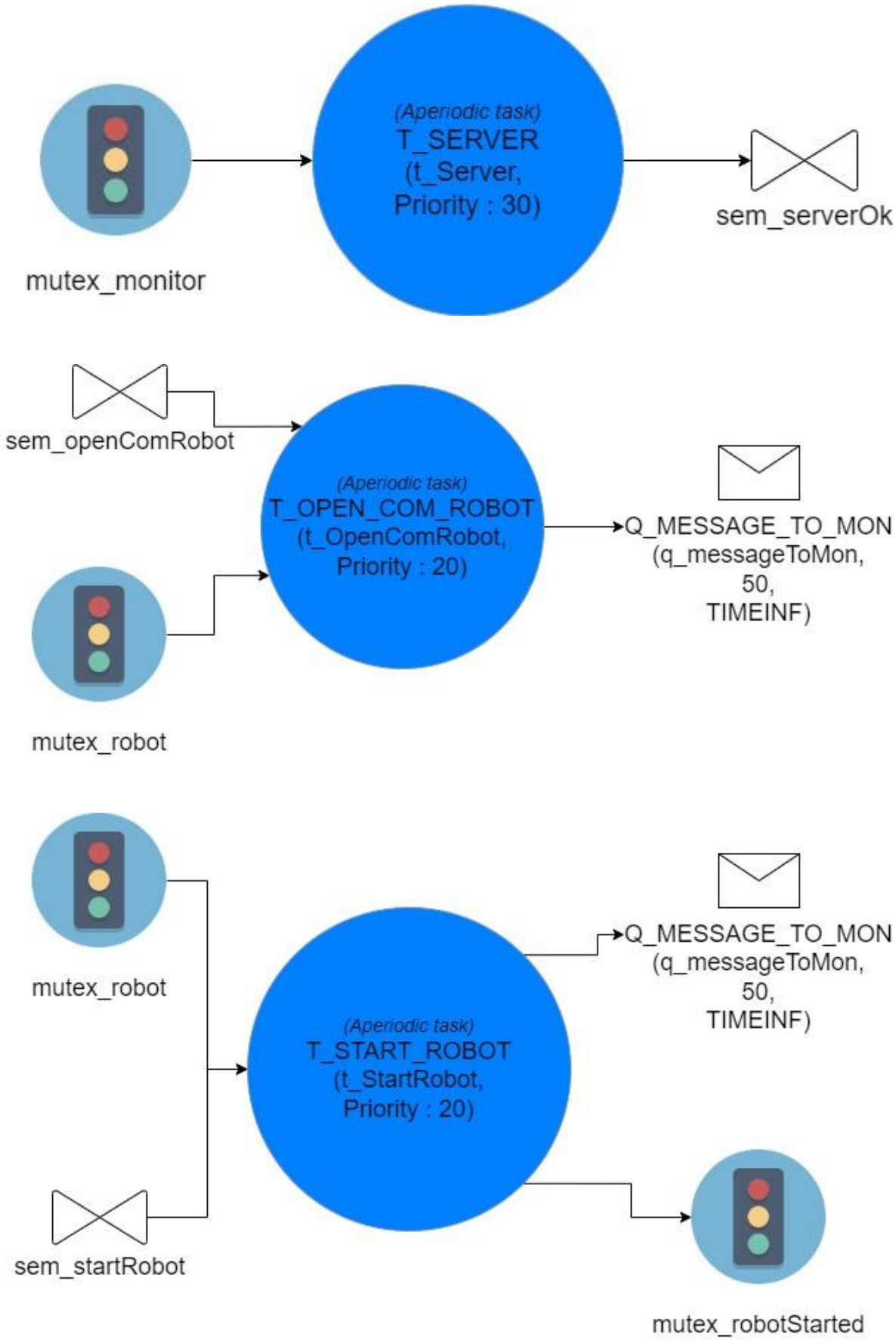
Tâches à synchroniser	**Événement à signaler**	**Id du sémaphore binaire qui représente l'événement**	**Justification**
Toutes les tâches	Démarrage système	Sem_Barrier	Permet de lancer toutes les tâches simultanément au démarrage.
T_OPEN_COM_ROBOT	La communication avec le robot est demandée	Sem_OpenComRobot	La communication avec le robot doit être initiée.
T_SEND_TO_MON, T_RECEIVE_FROM_MON	La communication entre le superviseur et le moniteur est établie	Sem_ServerOK	Le serveur doit être correctement démarré avant de tenter de communiquer avec le moniteur.
T_START_ROBOT	Le démarrage du robot est demandé	Sem_StartRobot	Le démarrage du robot doit être demandé par l'utilisateur.
T_START_CAMERA	L'ouverture de la caméra est demandée	Sem_StartCam	L'ouverture de la caméra doit être demandée par l'utilisateur.
T_STOP_CAMERA	La fermeture de la caméra est demandée	Sem_StopCam	La fermeture de la caméra doit être demandée par l'utilisateur.
T_SEARCH_MY_ARENA	L'arène trouvée est validée	Sem_ValidArena	L'arène trouvée doit être validée par l'utilisateur.
T_SEARCH_MY_ARENA	La recherche d'arène est demandée	Sem_SearchingArena	La recherche d'arène doit être demandée par l'utilisateur.

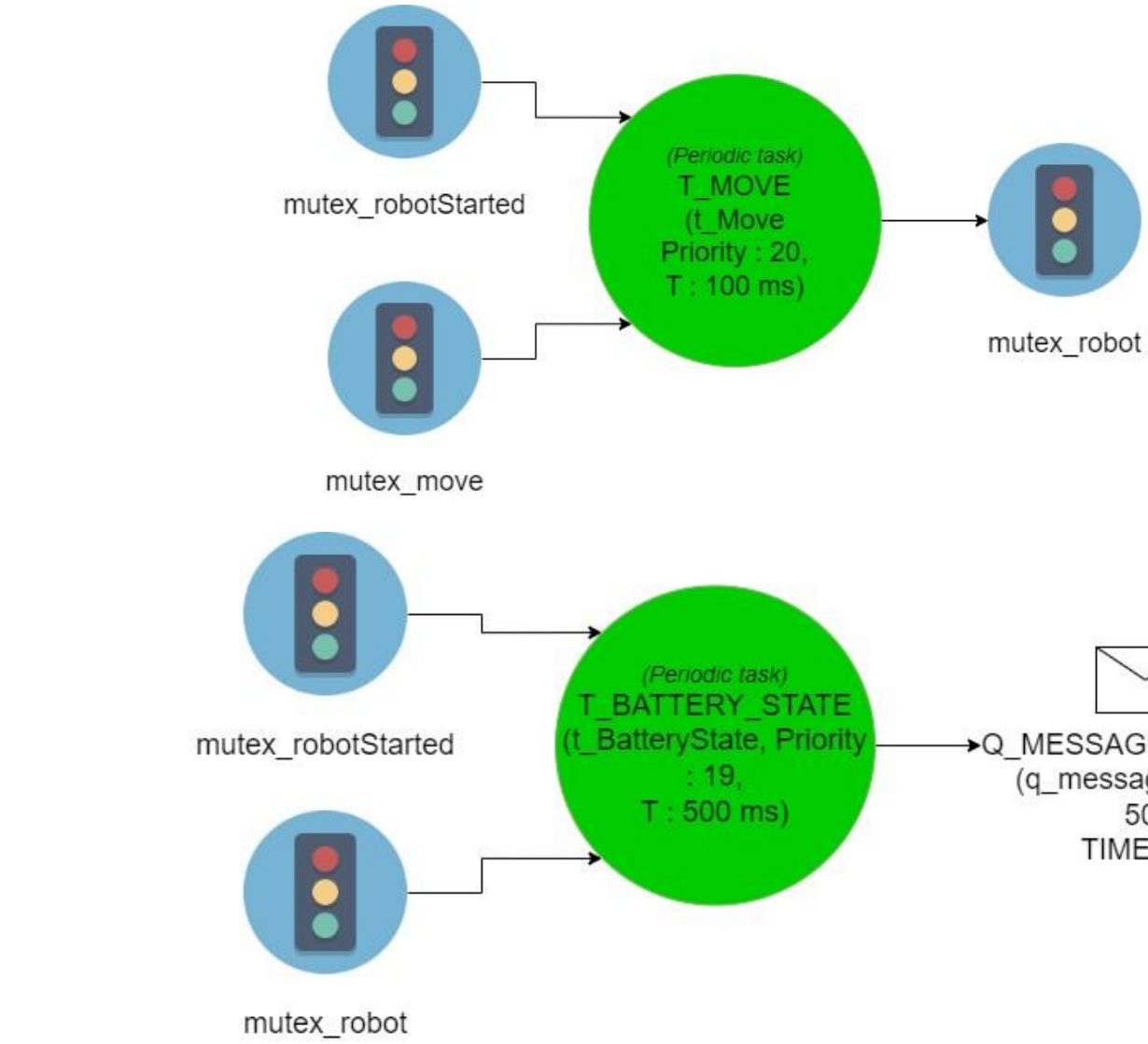
À présent, il nous est possible de construire un diagramme pour visualiser l'ensemble de notre réseau de tâches.

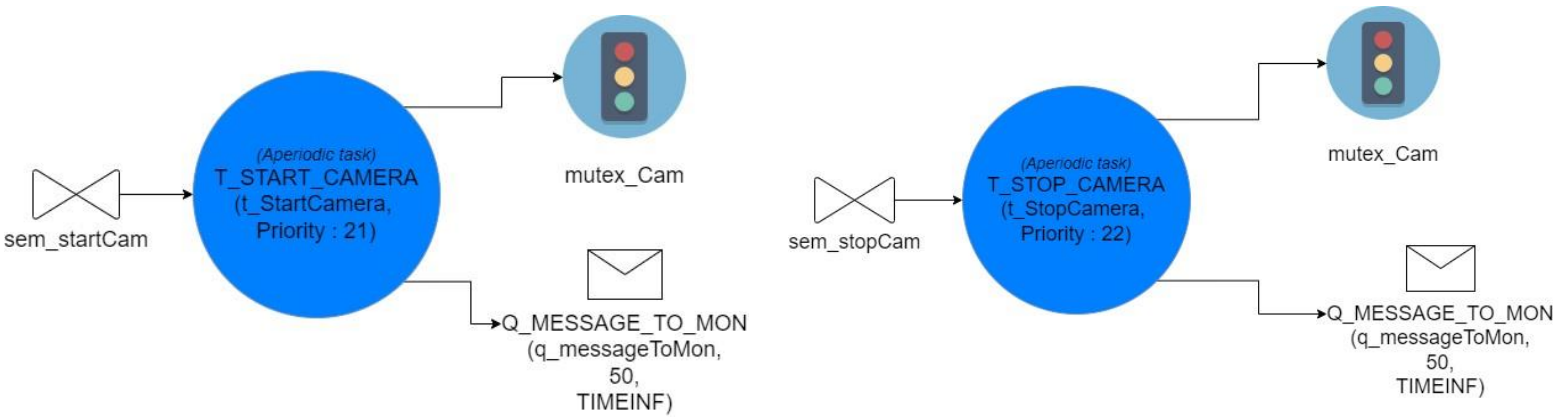
Architecture physique statique :

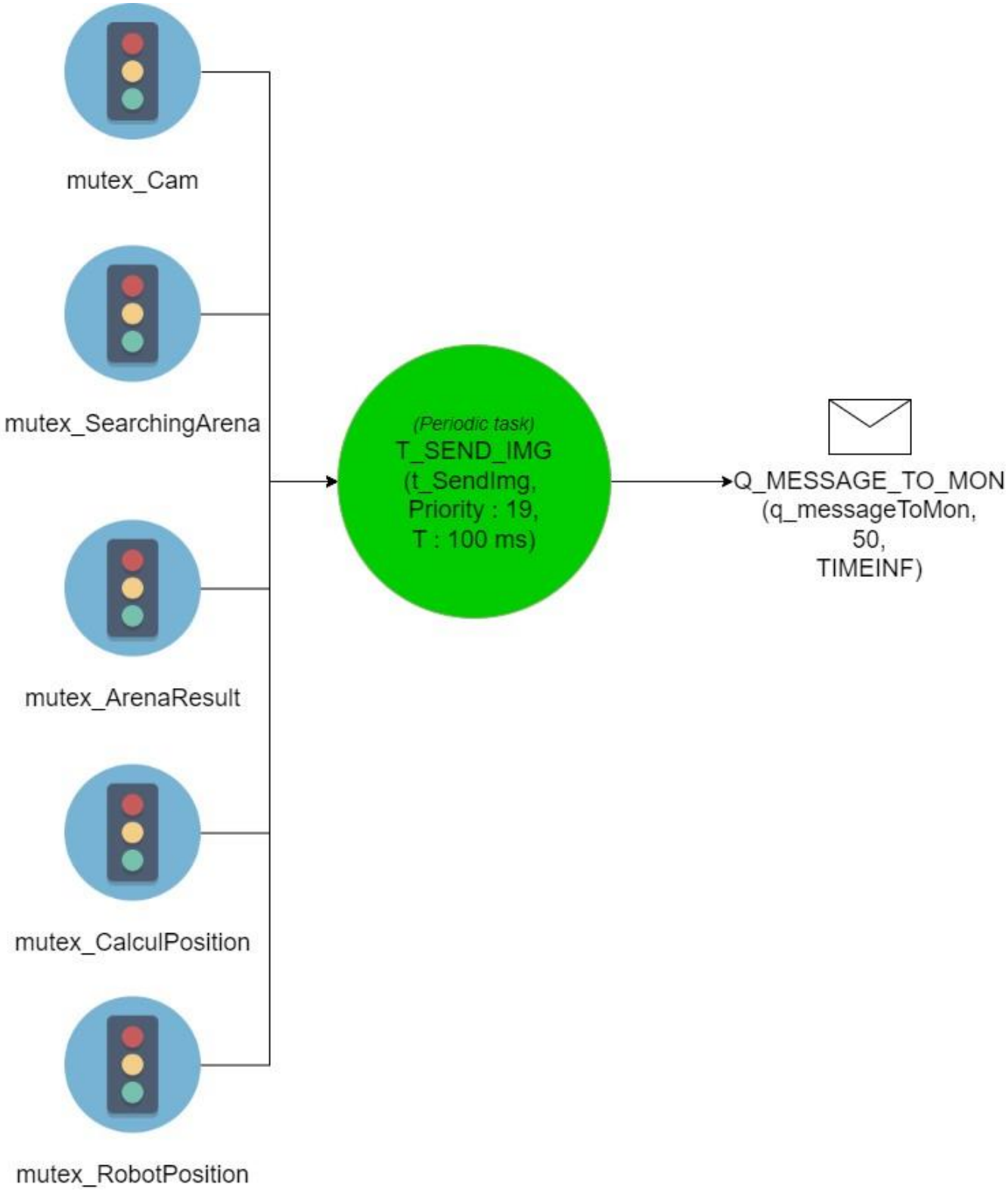

sem_serverOk
(Aperiodic task)
T_SEND_TO_MON
(t_SendToMon, Priority :
22)
mutex_monitor
Q_MESSAGE_TO_MON
(q_messageToMon,
50,
TIMEINF)

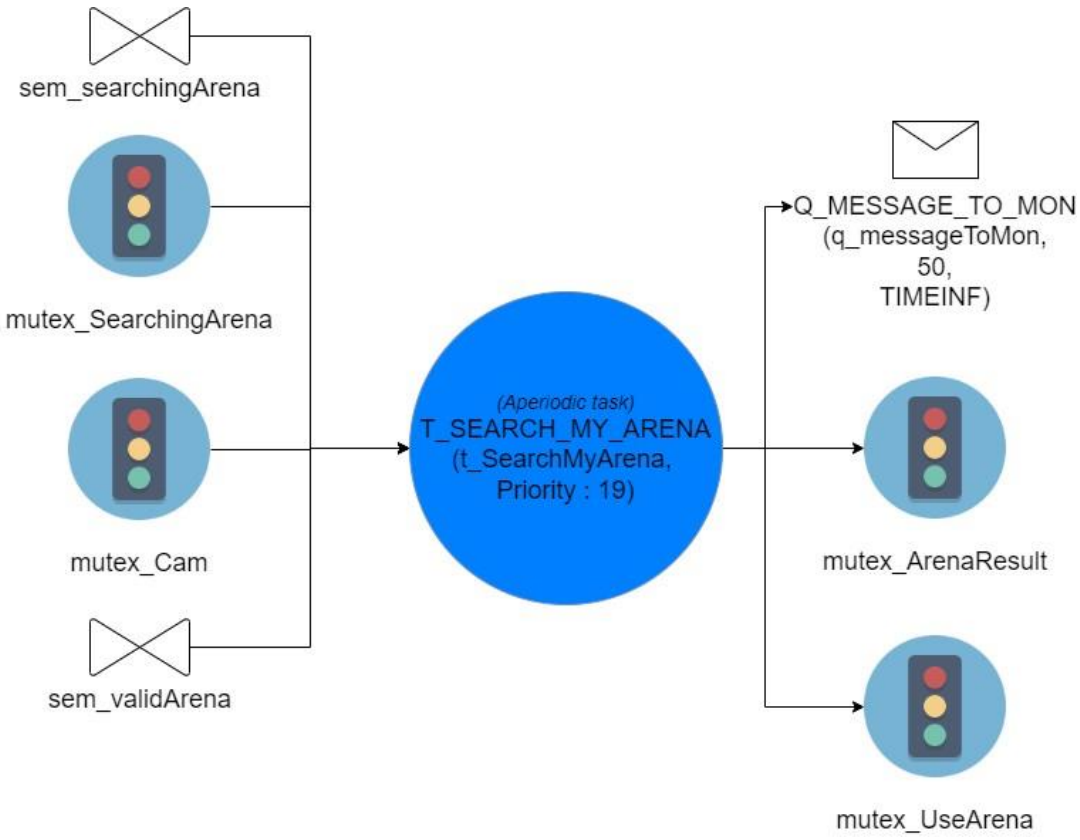

sem_openComRobot
sem_startRobot
sem_startCam
sem_stopCam
sem_searchingArena
sem_validArena
sem_serverOk
(Aperiodic task)
T_RECEIVE_FROM_MON
(t_ReceiveFromMon, Priority : 25)
mutex_CalculPosition
mutex_move
mutex_UseArena

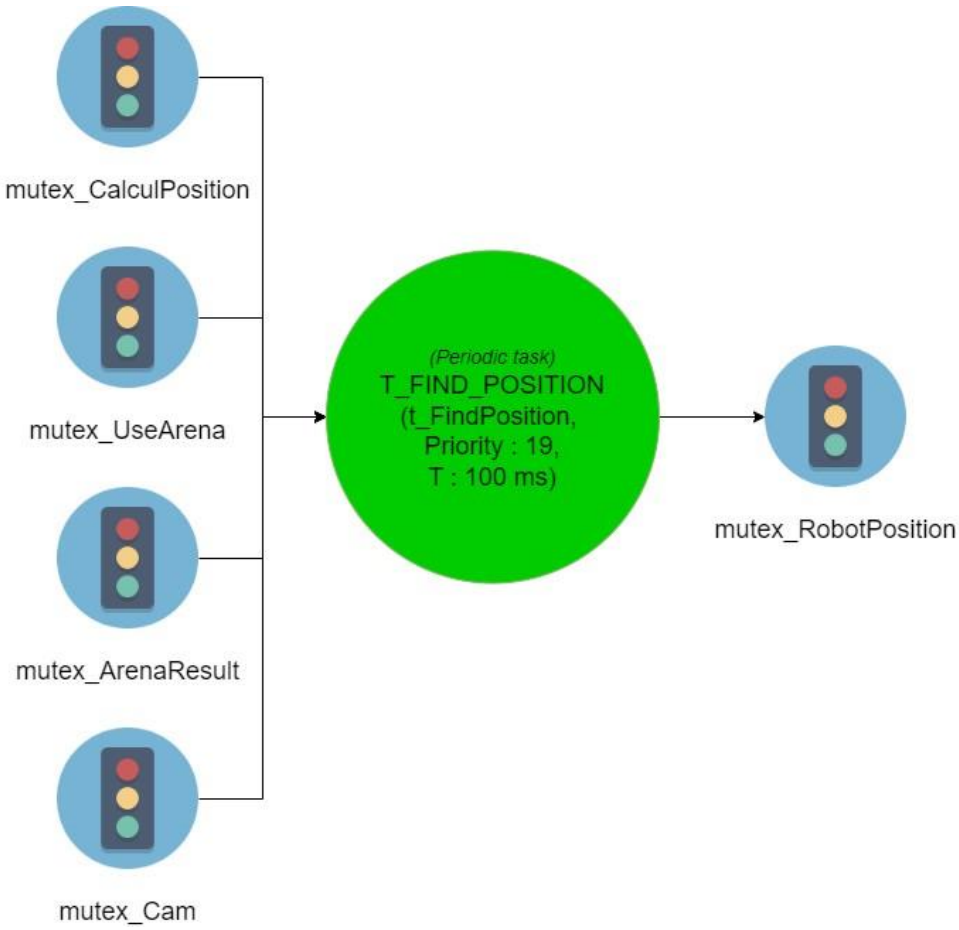

(Aperiodic task)
T_SERVER
(t_Server,
Priority : 30)
mutex_monitor
sem_serverOk
sem_openComRobot
(Aperiodic task)
T_OPEN_COM_ROBOT
(t_OpenComRobot,
Priority : 20)
Q_MESSAGE_TO_MON
(q_messageToMon,
50,
TIMEINF)
mutex_robot
mutex_robot
Q_MESSAGE_TO_MON
(q_messageToMon,
50,
TIMEINF)
(Aperiodic task)
T_START_ROBOT
(t_StartRobot,
Priority : 20)
sem_startRobot
mutex_robotStarted


mutex_robotStarted
mutex_move
(Periodic task)
T_MOVE
(t_Move
Priority : 20,
T : 100 ms)
mutex_robot
mutex_robotStarted
mutex_robot
(Periodic task)
T_BATTERY_STATE
(t_BatteryState, Priority
: 19,
T : 500 ms)
Q_MESSAGE_TO_MON
(q_messageToMon,
50,
TIMEINF)


sem_startCam
(Aperiodic task)
T_START_CAMERA
(t_StartCamera,
Priority : 21)
mutex_Cam
Q_MESSAGE_TO_MON
(q_messageToMon,
50,
TIMEINF)
sem_stopCam
(Aperiodic task)
T_STOP_CAMERA
(t_StopCamera,
Priority : 22)
mutex_Cam
Q_MESSAGE_TO_MON
(q_messageToMon,
50,
TIMEINF)


mutex_Cam
mutex_SearchingArena
mutex_ArenaResult
mutex_CalculPosition
mutex_RobotPosition
(Periodic task)
T_SEND_IMG
(t_SendImg,
Priority : 19,
T : 100 ms)
Q_MESSAGE_TO_MON
(q_messageToMon,
50,
TIMEINF)


sem_searchingArena
mutex_SearchingArena
mutex_Cam
sem_validArena
(Aperiodic task)
T_SEARCH_MY_ARENA
(t_SearchMyArena,
Priority : 19)
Q_MESSAGE_TO_MON
(q_messageToMon,
50,
TIMEINF)
mutex_ArenaResult
mutex_UseArena


mutex_CalculPosition
mutex_UseArena
mutex_ArenaResult
mutex_Cam
(Periodic task)
T_FIND_POSITION
(t_FindPosition,
Priority : 19,
T : 100 ms)
mutex_RobotPosition

IV. Codage et livraisons incrémentales

Après avoir terminé la phase de conception, nous avons pu entamer la phase de développement du logiciel de supervision.

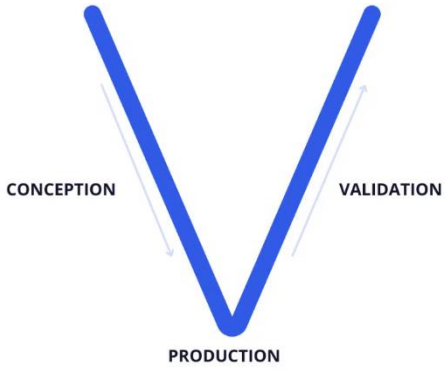
Les éléments théoriques vus précédemment nous ont permis de structurer cette partie du travail pour gagner en efficacité et optimiser les chances d'atteindre nos objectifs dans le temps imparti.

Stratégie de codage et d'intégration

L'intérêt d'avoir regroupé nos fonctions logicielles en tâches est que nous avons pu segmenter le codage et l'intégration de celles-ci.

En effet, notre stratégie de développement s'est basée sur le traitement complet d'une tâche avant de s'occuper de la suivante.

L'intérêt est ici de pouvoir compléter la seconde partie du cycle en V (production et validation) pour chaque tâche.



Ceci permet d'implémenter une tâche sur le système et de ne plus avoir à se préoccuper de celle-ci. Puisque nous allons jusqu'à la phase de test et validation de la tâche, nous éliminons les risques d'erreurs liés à celle-ci lorsque nous poursuivons le codage de la tâche suivante. Il s'agit donc d'une sécurité précieuse pour notre développement, d'autant plus que certaines tâches sont étroitement liées au fonctionnement des autres (ex. Envoi image doit être fonctionnelle pour implémenter Calcul position et Recherche arène).

Cette stratégie est également pertinente lorsqu'elle est couplée avec l'utilisation de git. Il est ainsi possible de sauvegarder une version du code pour chaque tâche complètement finalisée.

Au niveau de notre gestion personnelle, nous avons trouvé judicieux d'avancer le travail de programmation sur notre temps libre pour consacrer la majorité de nos séances avec matériel, aux tests et validations.
Nous avons principalement avancé de pairs pour coller à notre stratégie de codage.

Nous avons cependant pu nous distinguer lorsque le codage d'une tâche fut terminé. À ce moment, l'un d'entre nous a pu s'occuper de la validation de la tâche achevée, permettant au second de commencer la programmation de la tâche suivante. Ce petit gain de temps fut nécessaire compte tenu des délais que nous avions.

Il nous est tout de même arrivé de devoir nous resynchroniser sur la même tâche lorsque les tests de celles-ci n'étaient pas concluants.

L'avance de phase gagnée en divisant notre travail ne devait pas aller à l'encontre du principe de validation des tâches les unes à la suite des autres que nous avions fixée.

V. Analyse et validation du logiciel livré par rapport aux exigences

Suite au développement du superviseur, nous avons pu répondre aux contraintes initiales.

En voici un bilan détaillé :

Numéro exigence	Description de l'exigence	État
1	Récupérer le niveau de batterie du robot et l'afficher sur le moniteur.	Fonctionnel
2	Ouvrir la caméra.	Fonctionnel
3	Fermer la caméra.	Fonctionnel
4	Transmettre le flux d'images de la caméra au moniteur après ouverture de la caméra.	Fonctionnel
5	Détecter l''arène et la faire valider par l'utilisateur.	Fonctionnel
6	Calculer la position du robot et la transmettre au moniteur.	Fonctionnel

VI. Commentaires et conclusion

À l'issue de cette étude, nous sommes parvenus à répondre à la totalité des besoins du client.

En effet, les 6 exigences sont parfaitement prises en charge par la solution que nous avons développée. Nous sommes donc fiers de pouvoir présenter un outil fonctionnel et finalisé.

Une piste d'amélioration pour la suite de ce projet serait de détecter l'ID du cryptogramme de notre robot pour pouvoir différencier sa position de celle d'éventuels autres robots sur l'arène.