POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

UNIVERSITÉ D'INGÉNIERIE

Département de génie informatique et génie logiciel

INF3995

Projet de conception d'un système informatique

Documentation du projet répondant à l'appel d'offres no. H2024-INF3995 du département GIGL.

Conception d'un système aérien d'exploration

Équipe No 106

Anh Pham
Anas Barbouch
Andy Tran
Nour Asmani
Justin Lefrançois

Février 2024

1. Vue d'ensemble du projet

1.1 But du projet, porté et objectifs (Q4.1)

Le but de ce projet est de concevoir un logiciel pour une équipe de deux robots afin que ces derniers explorent leur entourage de façon efficace. Le résultat de cette exploration devra être reporté sur une interface web auquel seront connectés les robots. Une carte en deux dimensions doit afficher tous les obstacles détectés par les robots à l'aide de leurs différents capteurs. L'interface web doit permettre à ses utilisateurs de pouvoir démarrer, arrêter ainsi que suivre l'avancement d'une mission des robots. En plus de communiquer avec la station au sol, les robots devront communiquer entre eux à l'aide d'un signal 2.4 ou 5 GHz afin de s'informer de leur progression et de différentes informations. Enfin, un simulateur Gazebo doit être disponible afin de pouvoir simuler le comportement et l'algorithme d'exploration des robots sans avoir les avoirs physiquement.

En complément, la réalisation de ce projet doit s'assurer de respecter différentes contraintes prédéterminées. Par exemple, un budget nous est imposé et ne doit pas être dépassé; une contrainte de temps s'impose et finalement un esprit d'équipe doit être conservé tout au long du projet.

Au niveau des livrables, ce projet est composé de trois remises différentes. D'abord, la remise du PDR (Preliminary Design Review) qui est ce document, ensuite la CDR (Critical Design Review) et enfin la RR (Readiness Review).

1.2 Hypothèse et contraintes (Q3.1)

Au niveau des hypothèses, nous croyons d'abord que plusieurs librairies seront en mesure de nous aider. Par exemple, l'exploration autonome sera probablement issue d'une librairie tout comme la détection d'obstacles. De plus, la carte sera probablement généré à l'aide de la librairie SLAM qui permet au robot de naviguer tout en générant une map automatiquement. Pour le front-end, plusieurs plugins Javascript sont disponibles afin d'accélérer grandement le processus de développement. À titre d'exemple, nous croyons utiliser un plugin intitulé 'rviz' qui est une librairie avec interface ROS permettant d'afficher facilement des cartes deux et trois dimensions sur une interface web.

Ensuite, pour les contraintes, il y a le temps et le budget. Le temps sera très limité pour l'équipe étant donné que nous avons tous plusieurs travaux sur lesquels nous devons travailler dans les mêmes délais que ce projet. Un document hebdomadaire spécifiant ce qui a été fait et ce qui sera fait est aussi une contrainte importante pour le suivi de l'Agence Spatiale. On suppose que l'Agence Spatiale couvrira tous les coûts de développement, de matériel, de logiciel et toute dépense liée. On s'attend aussi à ce que l'équipe soit engagée

durant tout le long du développement du projet. On suppose aussi que les exigences techniques seront respectées et que l'entrepôt Git permettra un bon suivi de l'avancement du développement.

1.3 Biens livrables du projet (Q4.1)

En ce qui concerne les artéfacts qui devront être créés durant le projet, il y a d'abord bien entendu les trois principaux documents tel que la PDR, CDR et RR. Ces documents doivent être remis respectivement aux dates suivants :

PDR: 16 février 2024
CDR: 22 mars 2024
RR: 16 avril 2024

Requis du PDR: Pour la PDR, les requis sont les suivants :

- Avoir une interface web qui peut interagir avec le robot et donc avec la station au sol (backend). C'est-à-dire pouvoir envoyer les commandes démarrer mission, arrêter mission ainsi que localiser, directement au(x) robots.
- Avoir une simulation fonctionnelle dans Gazebo comportant les deux robots ainsi que différents obstacles.
- Être en mesure de contrôler le robot physiquement.

Requis du CDR: Pour la CDR maintenant, le robot doit pouvoir explorer son environnement de manière autonome et éviter les obstacles. Les données obtenues de cette exploration seront sauvegardées dans une database.

Requis du RR: Terminer tous les requis pour le bon fonctionnement du système. Compléter toutes les features restants comme le retour à la base, détection d'élévation négative, zone de sécurité, affichage de la position et affichage des cartes sauvegardées lors des missions précédentes.

2. Organisation du projet

2.1 Structure d'organisation (Q6.1)

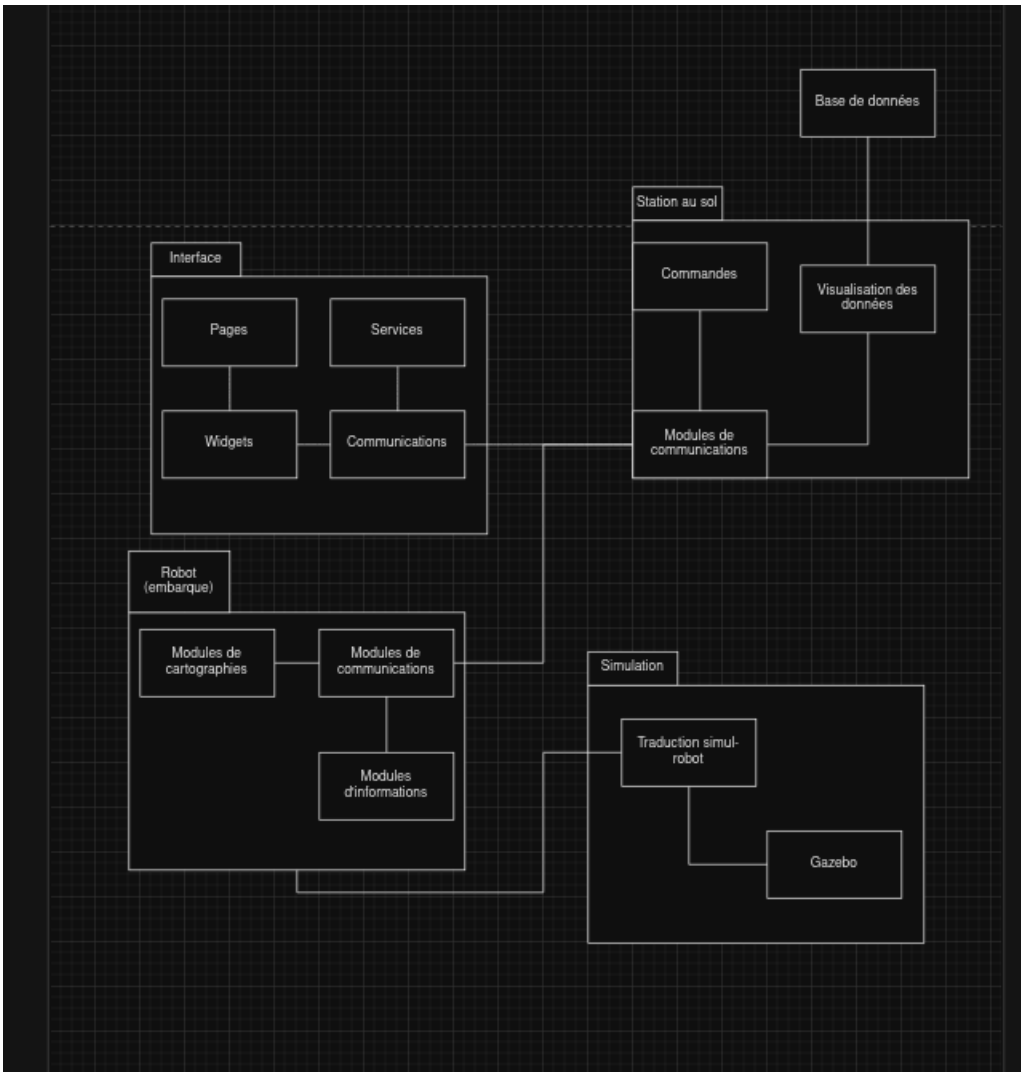
Notre équipe a choisi une structure décentralisée en raison de la complexité prolongée du projet. Bien que cela demande plus de temps à organiser, cette approche favorise des échanges efficaces entre les membres, les maintenant impliqués et motivés tout au long du processus. Chaque membre a un rôle crucial: planificateur (Anh), vendeur (Justin), pacificateur (Andy), scrum master (Anas) et critique (Nour).

2.2 Entente contractuelle (Q11.1)

En ce qui concerne l’entente contractuelle, nous avons décidé d'aller avec le contrat à prix ferme et ce pour plusieurs raisons. Tout d’abord, il est attendu de nous de livrer un produit et non seulement un certain montant d'effort. Cette distinction est très importante car elle souligne l'importance de la réalisation concrète des objectifs du projet, plutôt que de se limiter à des contributions de travail mesurables en temps. Ensuite, nous avons une connaissance exacte de la demande grâce au document d'exigences techniques. En effet, ce document offre une compréhension précise et détaillée de ce qui est attendu du projet. Cela nous donne donc la capacité de fournir un contrat à prix ferme car nous savons exactement à quoi nous attendre et donc bien planifier les ressources, les délais et les coûts associés. Finalement, cette approche offre au promoteur, qui est sous pression d'avoir un prototype fonctionnelle pour un coût minimal, une assurance des coûts finaux.

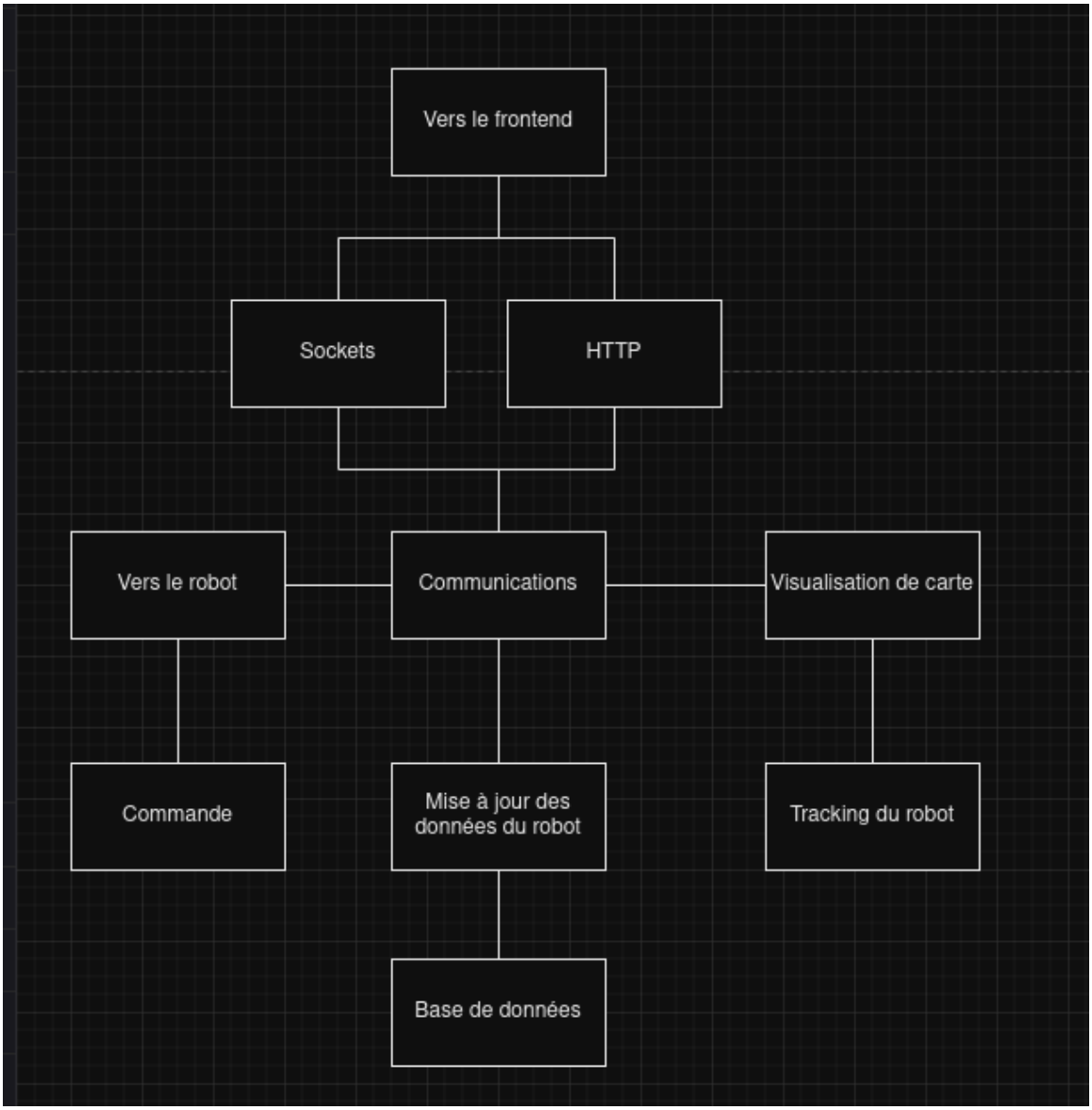
3. Description de la solution

3.1 Architecture logicielle générale (Q4.5)



La station au sol doit communiquer les informations qu'elle a reçues du robot et de la base de données à l’interface utilisateur. Elle doit également envoyer les informations à la base de données [Requis R.F.17]. La simulation doit pouvoir exécuter la plupart des fonctions du robot. La simulation sera donc probablement le logiciel du robot avec quelques ajouts qui font fonctionner certaines choses, comme les roues. L’interface doit pouvoir afficher les informations du robots et donc, les recevoir.

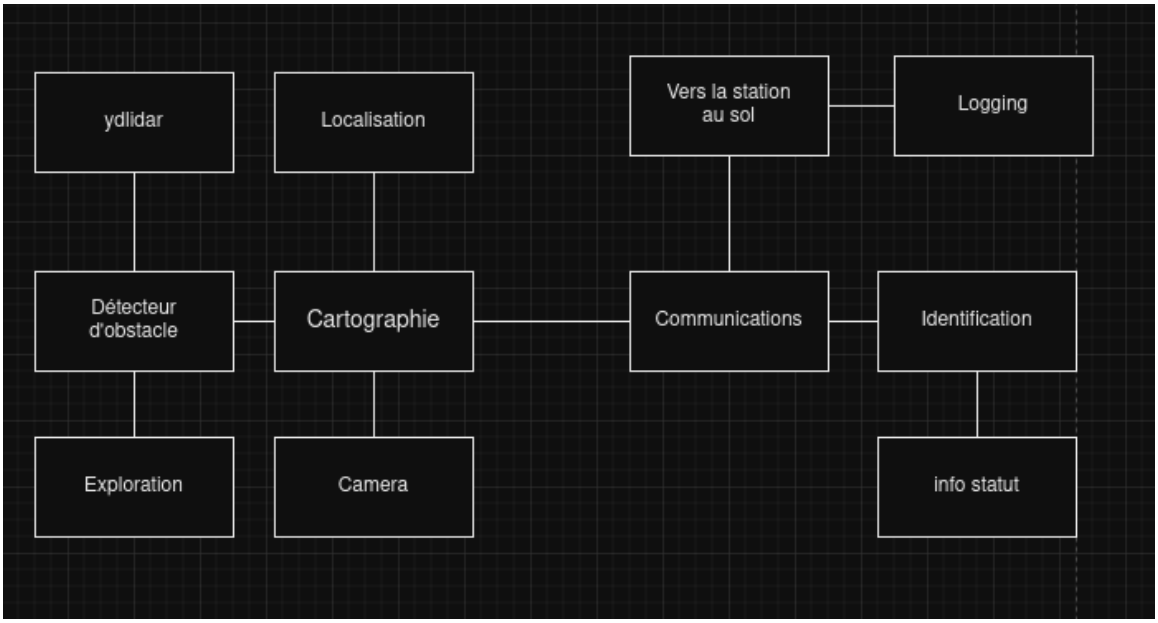
3.2 Station au sol (Q4.5)



Pour communiquer avec l'interface, les protocoles HTTP et WebSockets sont utilisés. Le protocole WebSockets est utilisé dans les communications récurrentes comme les informations sur les robots. Pour le protocole HTTP, c'est surtout utiliser pour envoyer des commandes à l'appui de bouton sur l'interface web ainsi que pour recevoir de l'information une seule fois. Le backend de la station au sol va se charger de communiquer avec le robot grâce aux topics et services ROS2 avec la librairie rclnodejs dans Node.js. Le backend va recevoir les informations depuis les robots à une fréquence de ~1 Hz en étant un subscriber au topic ROS correspondant puis va les envoyer sous forme de websocket au frontend. Quand le frontend va envoyer les commandes cliquées par l'utilisateur de l'interface Web, le backend va envoyer au topic correspondant à la commande et aux robots qui doivent l'exécuter [R.F.1, R.F.2, R.F.6]. Pour la

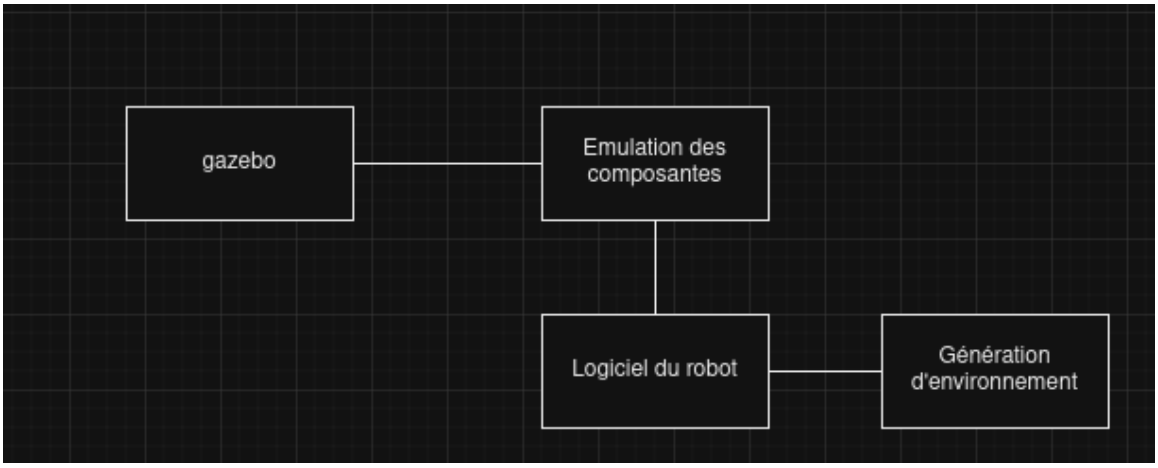
visualisation de la carte, le backend va recevoir l'information sur la carte analysée par le robot puis il va pouvoir la transmettre au frontend quand l'interface web fera la requête nécessaire [R.F.18]. Le backend se chargera aussi de mettre à jour la base de données où sont enregistrées toutes les informations nécessaires à garder [R.F.17, R.F.8].

3.3 Logiciel embarqué (Q4.5)



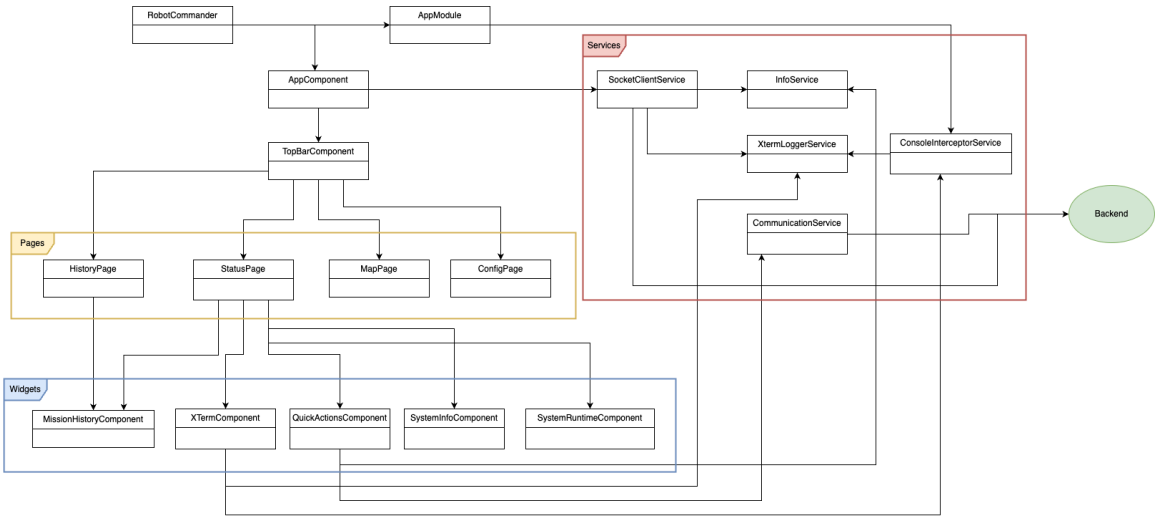
Pour cartographier la carte, nous aurons besoin d'interfacer avec le ydlidar pour trouver les obstacles [Requis R.F.8]. Le ydlidar est aussi nécessaire pour détecter les changements de terrains [Requis R.F.13]. La localisation doit communiquer avec les logiciels de cartographie pour maintenir la position du robot dans la carte [Requis R.F.9]. Le robot doit pouvoir communiquer et envoyer la carte et les autres informations du robot vers la station au sol [Requis R.F.8-R.F.9-R.F.10-R.F.18]. La station doit aussi communiquer l'orientation initiale du robot [Requis R.F.12].

3.4 Simulation (Q4.5)



La simulation utilise toutes les composantes du logiciel utilisées dans le robot. Il y a certaines composantes qui doivent être utilisées pour contrôler des parties du robot dans la simulation. Par exemple, limo_chassis est utilisé pour contrôler les roues.

3.5 Interface utilisateur (Q4.6)



Nous avons implémenté les pages comme suit : une page indiquant le statut du/des robot(s) en marche, c'est-à-dire leur nom, temps de fonctionnement, logs, historique, boutons d'actions, etc; une page qui montre uniquement l'historique avec des options pour chaque mission effectué; une page qui affichera dans le futur la carte généré en 2D avec des options; et finalement une page qui permettra de régler certains paramètre du/des robot(s). La StatusPage (page principale) utilise le plugin Javascript 'Gridster' qui permet de facilement

réorganiser la vue en déplaçant les composantes (widgets) afin de rendre l'affichage facile d'utilisation pour chacun. Il sera aussi possible d'ajouter et d'enlever certains widgets au goût de l'utilisateur.

Pour les requis au niveau du UI/UX, notre interface web les respectent bel et bien. D'abord, le statut du système est toujours visible et actualisé afin de garder l'utilisateur informé de tout changement. Ces informations sont communiquées clairement dans un langage compréhensible par quiconque tout en affichant aussi une console de log plus technique. La plateforme web est assez standard et intuitive afin que l'utilisateur puisse s'en servir facilement. Enfin, les erreurs sont bien présenté à l'utilisateur à l'aide de la console de log et l'utilisateur à la possibilité de supprimer et modifier l'historique des missions des robots en cas d'erreur. Ceci conclut donc les attentes en termes de UI/UX de l'interface web.

3.6 Fonctionnement général (Q5.4)

Afin de faire fonctionner notre système aisément, il faut d'abord avoir ROS2 Humble sur Ubuntu Jammy installé avec tous les requis qui vont avec ROS2. Pour le robot, il faut aussi installer YLidar-sdk pour pouvoir avoir accès au lidar installé sur le robot physique. Il faudra aussi le logiciel Ignition Gazebo Fortress pour pouvoir lancer la simulation. Les dépendances peuvent être installées en utilisant le script install.sh dans le repo public https://github.com/Sh3mm/INF3995-Templates. Le script se trouve sous Installation/Ubuntu22.04/install.sh. Pour ce qui est de YLidar-sdk, il peut être trouvé dans ce repo : https://github.com/YDLIDAR/YDLidar-SDK.

Installation de ROS2 et Gazebo :

```
Unset
# installation de ROS2 et Gazebo
sudo ./install.sh

# installation de npm v18.19.0
curl -o- https://raw.githubusercontent.com/nvm-sh/nvm/v0.39.3/install.sh
| bash
source ~/.nvm/nvm.sh
nvm install 18.19.0
nvm use 18.19.0
```

```
Unset
git clone
https://gitlab.com/polytechnique-montr-al/inf3995/20241/equipe-106/INF399
5-106.git
```

```
rosdep init
rosdep update
rosdep install --from-paths src --ignore-src -r -i -y --rosdistro humble

# installation de package python important
sudo pip install setuptools==58.2.0
sudo pip install playsound
```

Installation de YLidar-sdk :

```
Unset
# installation de YLidar-sdk
git clone https://github.com/YDLIDAR/YDLidar-SDK.git
cd YLidar-SDK
mkdir build
cd build
cmake ..
make
sudo make install
cd ../../
rm -r YLidar-SDK
```

Démarrage du front-end :

```
Unset
# Démarrage du frontend
cd ./frontend/robot-commander
npm i
npm start
```

Démarrage du backend :

```
Unset
# Démarrage du backend
# Il faut avoir fait colcon build dans la simulation_ws ou
# dans robot_physique_ws puis faire un source install/setup.bash
# Puis revenir dans le répertoire ./backend_server avec cd
npm i
npx generate-ros-messages
npm start
```

Démarrage du robot physique :

```
Unset
# Démarrage du robot physique
cd ./robot_physique_ws
colcon build
source install/setup.bash
ros2 launch robot_bringup robot.launch.py
```

Démarrage de la simulation :

```
Unset
# Démarrage de la simulation
cd ./simulation_ws
colcon build
source install/setup.bash
ros2 launch simulation_bringup diff_drive.launch.py
```

En cas de problème avec tf2_geometry_msgs :

```
Unset
cd /usr/local/include/
sudo ln -s /opt/ros/humble/include/tf2_geometry_msgs/tf2_geometry_msgs .
```

Par la suite, pour avoir accès à l'interface, accédez à l'adresse http://localhost:4200 sur le navigateur de la station au sol. Vous pourrez y voir sur la première page la liste des robots connectés dans le widget 'Actions Rapides'. Vous pouvez maintenant lancer la mission pour les robots en appuyant sur le bouton Démarrer et vous pouvez l'arrêter à tout moment en appuyant sur le bouton Arrêter. Vous pouvez aussi identifier chaque robot en appuyant sur son bouton Localiser.

4. Processus de gestion

4.1 Estimations des coûts du projet (Q11.1)

Pour ce qui est du coût, l'ensemble du matériel (robots, salle pour tester) a été fourni et les outils de développement sont gratuits, donc les seuls coûts à prendre en compte pour le projet est le salaire des contracteurs. On estime qu'un développeur va travailler sur le projet 8h par semaine et que le concepteur/développeur va mettre 4h dans la conception et 4h en

développement par semaine. Le salaire du développeur est 130$/h et 145$/h pour le concepteur.

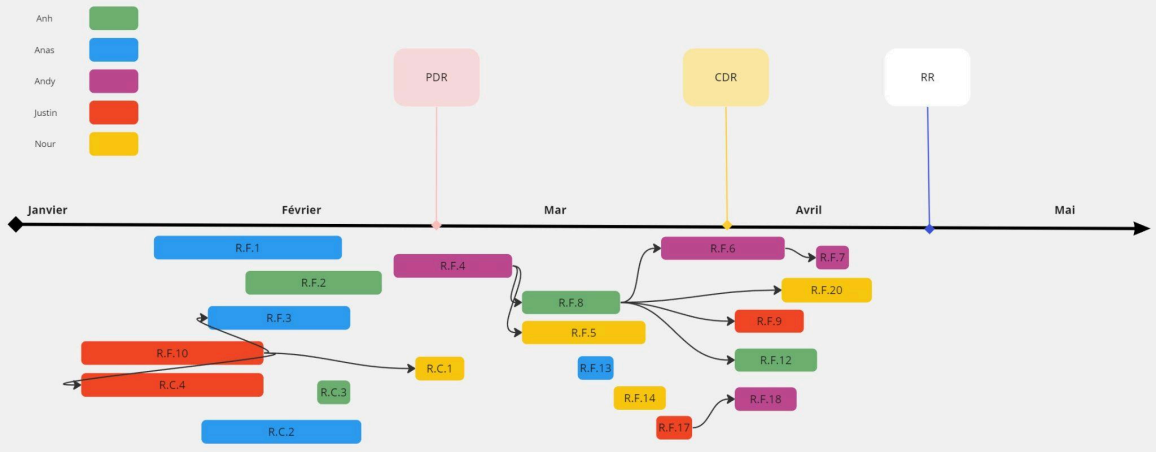
L'estimation des coût va donc ainsi :

4 pers. x 130$ x 8h
+ 1 pers. x 145 $ x 4h
+ 1 pers. x 130$ x 4h
= 5260 $/semaine

5260 $/semaine x 11 semaines totales = 57860 $

Notre estimation du coût total est donc de **57860 $**

4.2 Planification des tâches (Q11.2)



4.3 Calendrier de projet (Q11.2)

Semaine	Remise	Tâches
29 janvier		Simulation gazebo Début interface web Document de conception
5 février		Identification robot Fonction lancer mission Affichage état robot
12 février	PDR	Logs

19 février		Fonction retour à la base
26 février		Carte interface
4 mars		Communication entre 2 drones Algorithme de parcour
11 mars		Base de données (avec carte)
18 mars	CDR	Software update
25 mars		Fonction de spécification position et orientation initiale
1 avril		Détection élévation négative
8 avril		Zone de sécurité Logiciel complet dans docker
15 avril	RR	

4.4 Ressources humaines du projet (Q11.2)

	Anas Barbouch	Anh Pham	Andy Tran	Nour Asmani	Justin Lefrançois
Type	Concepteur, Développeur	Développeur	Développeur	Développeur	Développeur Frontend
Qualifications spéciales ou Expérience	Expérience en backend, en robotique et en gestion de projet	Expérience en développement fullstack et en devops	Expériences en système embarqués	Expériences en système embarquées	Expérience en développement web

5. Suivi de projet et contrôle

5.1 Contrôle de la qualité (Q4)

Pour contrôler la qualité du travail dans notre équipe de robotique, nous suivons un processus que nous avons décidé en équipe. Pour chaque feature

implémente, chaque membre de l'équipe font des tests pour assurer la qualité. De plus, chaque modification de code devra être approuvée par au moins un pair. Cette révision de code permet d'assurer le fonctionnement et la qualité du code.

5.2 Gestion de risque (Q11.3)

Le risque principal du projet est le dommage physique du robot, qui peut arriver en cas d'accident comme si on l'échappe de haut. Il y a une probabilité que cela arrive, mais les chances sont assez faibles. Dans le cas où un tel problème se produit, on a fait une entente avec l'agence pour remplacer les pièces. Notre solution pour éviter ce risque est de manipuler le robot avec attention. Un autre risque possible est le fait que ROS roule sur le local network, ce qui permet à d'autres utilisateurs de contrôler le robot. Il y a aussi des risques associés à l'échéancier qui peuvent être causés par une mauvaise estimation du temps ou un problème technique qui prend beaucoup de temps à résoudre. Pour éviter ce risque, nous terminons les tâches le plus tôt possible pour avoir du temps en cas de problème.

5.3 Tests (Q4.4)

Simulation et robot physique : Nous faisons la simulation de notre code sur gazebo avant de l'utiliser sur les vrais robots afin de voir s'il y a des problèmes et des risques. Nous utiliserons aussi pytest pour faire les tests unitaires de nos propres nœuds ROS.

Tests du frontend: Nous utilisons Jasmine pour faire des tests unitaires du front-end pour s'assurer que les fonctionnalités marchent.

Tests du backend: Nous utilisons Mocha pour faire un ensemble de tests sur les fonctionnalités de l'interface et la communication avec le robot.

5.4 Gestion de configuration (Q4)

Nous utilisons git et GitLab pour gérer notre code. Notre répertoire GitLab est divisé en modules pour chaque partie:

INF3995-106: Entrepôt qui contient toutes les autres parties. Le fichier docker-compose permet de rouler tous les autres conteneurs et permet de démarrer le tout avec une commande.

robot_physique_ws: Le workspace ros pour contrôler le robot physique

simulation_ws: Le workspace pour faire rouler la simulation

front-end: Contient le code angular pour faire rouler l'application web de l'interface. Dockerfile pour obtenir les dépendances et rouler.

backend_server: Le code du serveur qui interagit avec le front end et le robot. Contient aussi un Dockerfile pour obtenir les dépendances et rouler.

sounds: contient les fichiers de sons que le robot joue (ex: lors de l'identification)

5.5 Déroulement du projet (Q2.5)

[CDR et RR seulement]
[Dans votre équipe, qu'est-ce qui a été bien et moins bien réussi durant le déroulement du projet par rapport à ce qui était prévu dans l'appel d'offre initialement.]

6. Résultats des tests de fonctionnement du système complet (Q2.4)

[CDR et RR seulement]
[Qu'est-ce qui fonctionne et qu'est-ce qui ne fonctionne pas.]

7. Travaux futurs et recommandations (Q3.5)

[RR seulement]
[Qu'est-ce qui reste à compléter sur votre système? Recommendations et possibles extensions du système.]

8. Apprentissage continu (Q12)

[RR seulement]
[Un paragraphe par membre (identifié en début de paragraphe) de l'équipe qui doit aborder chacun de ces aspects de façon personnelle:

1. *Lacunes identifiées dans ses savoirs et savoir-faire durant le projet.*
2. *Méthodes prises pour y remédier.*
3. *Identifier comment cet aspect aurait pu être amélioré.]*

9. Conclusion (Q3.6)

[RR seulement]

[Par rapport aux hypothèses et à la vision que vous aviez du système lors du dépôt de la réponse à l'appel d'offre, que concluez-vous de votre démarche de conception maintenant que le système est complété?]

10. Références (Q3.2)

[Liste des références auxquelles réfère ce document. Un site web est une référence tout à fait valable.]

ANNEXES