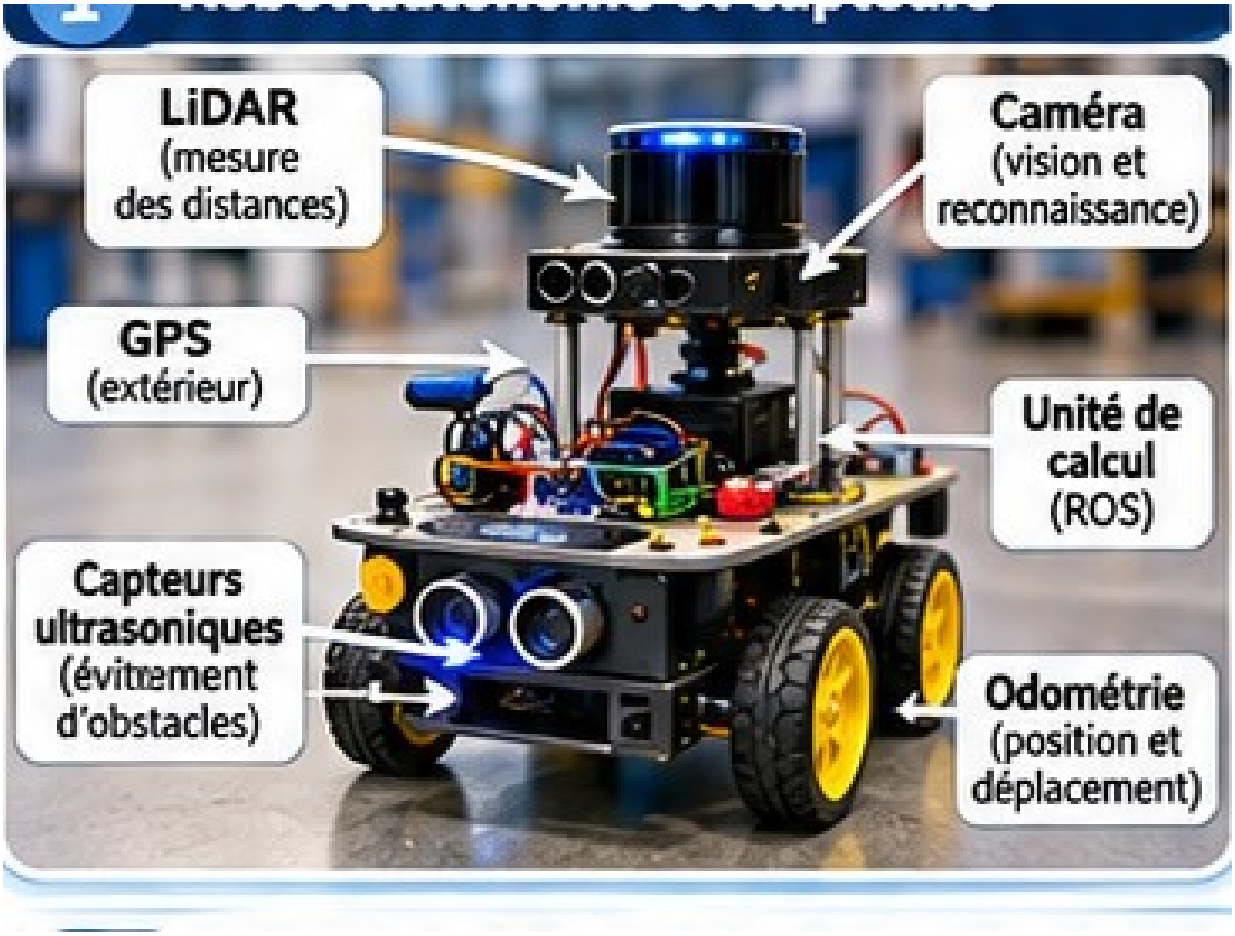
ROB-104 — Leçon 5

Navigation autonome avec ROS 2 et Nav2

Manuel universitaire enrichi — Collège du Sacré-Cœur de Gatineau, Québec

Auteur : Angelo Nibizi, recteur du Collège du Sacré-Cœur de Gatineau



Robot mobile et capteurs : observation du matériel de laboratoire.

Objectifs

- Comprendre les composants Nav2 et les repères ROS 2.
- Configurer carte, localisation, costmaps et contrôleur.
- Exécuter une mission simulée et diagnostiquer les anomalies.
- Mesurer la sécurité, la précision et la robustesse.

1. Chaîne complète de navigation

ROS 2 assure les communications; Nav2 orchestre localisation, carte de coûts, planification, contrôle et comportements de reprise. Chaque composant possède des entrées, sorties et conditions de validité. Le robot doit disposer de données récentes, de repères cohérents et de limites de mouvement vérifiées.



Planche 1 — illustration technique en grands caractères.

Analyse du système

Identifier les entrées et sorties de cette étape, une panne possible, le symptôme attendu et la vérification instrumentale ou logicielle appropriée. Décrire la mesure de correction et la preuve de son efficacité.

Exercice appliqué

Dans un scénario où le robot doit parcourir 8 mètres, expliquer comment cette fonction intervient dans la navigation, puis indiquer comment vérifier sa contribution dans RViz ou dans les journaux ROS 2.

2. Repères TF et localisation

Les repères map, odom et base_link décrivent la pose globale, l'odométrie continue et le châssis. La transformation map→odom corrige la dérive. Le LaserScan et les autres capteurs doivent être horodatés et associés à leur repère. Une transformation absente bloque souvent la navigation.

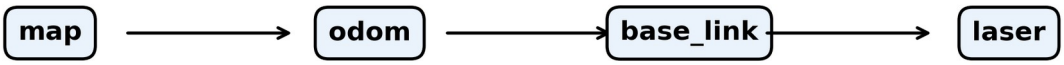


Planche 2 — illustration technique en grands caractères.

Analyse du système

Identifier les entrées et sorties de cette étape, une panne possible, le symptôme attendu et la vérification instrumentale ou logicielle appropriée. Décrire la mesure de correction et la preuve de son efficacité.

Exercice appliqué

Dans un scénario où le robot doit parcourir 8 mètres, expliquer comment cette fonction intervient dans la navigation, puis indiquer comment vérifier sa contribution dans RViz ou dans les journaux ROS 2.

3. Cartes et inflation

La carte d’occupation sépare espace libre, occupé et inconnu. La costmap ajoute des coûts pour les obstacles et leur voisinage. Le rayon d’inflation doit être cohérent avec le gabarit du robot et la marge souhaitée. Une inflation excessive ferme des passages; une inflation insuffisante augmente le risque.



Planche 3 — illustration technique en grands caractères.

Analyse du système

Identifier les entrées et sorties de cette étape, une panne possible, le symptôme attendu et la vérification instrumentale ou logicielle appropriée. Décrire la mesure de correction et la preuve de son efficacité.

Exercice appliqué

Dans un scénario où le robot doit parcourir 8 mètres, expliquer comment cette fonction intervient dans la navigation, puis indiquer comment vérifier sa contribution dans RViz ou dans les journaux ROS 2.

4. Planification et Behavior Tree

Le planificateur global calcule un chemin; le contrôleur local produit des vitesses. Le Behavior Tree coordonne objectifs, calcul, suivi et reprises. Une trajectoire doit tenir compte des limites cinématiques, de l’accélération, des obstacles et des arrêts.



Planche 4 — illustration technique en grands caractères.

Analyse du système

Identifier les entrées et sorties de cette étape, une panne possible, le symptôme attendu et la vérification instrumentale ou logicielle appropriée. Décrire la mesure de correction et la preuve de son efficacité.

Exercice appliqué

Dans un scénario où le robot doit parcourir 8 mètres, expliquer comment cette fonction intervient dans la navigation, puis indiquer comment vérifier sa contribution dans RViz ou dans les journaux ROS 2.

5. Sécurité et mode dégradé

Une perception insuffisante, une localisation incohérente ou une commande périmée imposent une réaction définie : ralentir, arrêter, replanifier ou demander de l’aide. Les mécanismes de reprise ne remplacent pas les arrêts d’urgence ni les contrôles matériels.

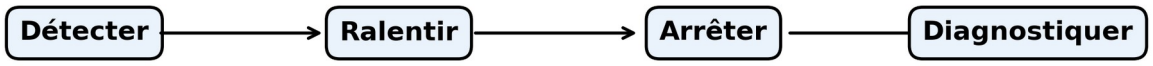


Planche 5 — illustration technique en grands caractères.

Analyse du système

Identifier les entrées et sorties de cette étape, une panne possible, le symptôme attendu et la vérification instrumentale ou logicielle appropriée. Décrire la mesure de correction et la preuve de son efficacité.

Exercice appliqué

Dans un scénario où le robot doit parcourir 8 mètres, expliquer comment cette fonction intervient dans la navigation, puis indiquer comment vérifier sa contribution dans RViz ou dans les journaux ROS 2.

6. Cartographie et mission complète

L’étudiant charge ou construit une carte, vérifie l’alignement de la pose, envoie un objectif dans RViz et observe chemin, costmaps et commandes. Il consigne l’écart final, la durée et les événements imprévus.

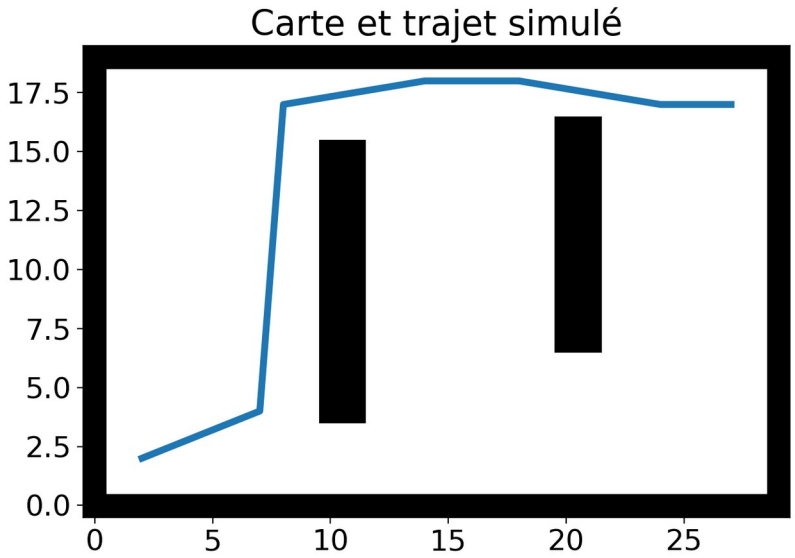


Planche 6 — illustration technique en grands caractères.

Analyse du système

Identifier les entrées et sorties de cette étape, une panne possible, le symptôme attendu et la vérification instrumentale ou logicielle appropriée. Décrire la mesure de correction et la preuve de son efficacité.

Exercice appliqué

Dans un scénario où le robot doit parcourir 8 mètres, expliquer comment cette fonction intervient dans la navigation, puis indiquer comment vérifier sa contribution dans RViz ou dans les journaux ROS 2.

7. Laboratoire Ubuntu — installation et vérifications

Adapter les commandes à la distribution ROS 2 installée : Humble sur Ubuntu 22.04 ou Jazzy sur Ubuntu 24.04 sont des exemples de combinaisons compatibles. Vérifier les versions et ne pas mélanger les dépôts.

```
lsb_release -a
printenv ROS_DISTRO
source /opt/ros/$ROS_DISTRO/setup.bash
sudo apt update
sudo apt install ros-$ROS_DISTRO-navigation2 ros-$ROS_DISTRO-nav2-bringup
```

Le robot ou simulateur doit publier /tf, /tf_static, /odom et les données de capteurs nécessaires. Vérifier les flux avant de lancer Nav2.

```
ros2 topic list
ros2 topic echo /odom --once
ros2 topic echo /scan --once
ros2 run tf2_ros tf2_echo odom base_link
```

Exemple de lancement avec une carte et un fichier de paramètres préparés pour le robot :

```
ros2 launch nav2_bringup bringup_launch.py \
 map:=/chemin/carte.yaml \
 params_file:=/chemin/nav2_params.yaml \
 use_sim_time:=true
```

Dans RViz 2, afficher Map, LaserScan, TF, RobotModel et Path; définir la pose initiale puis envoyer un but Nav2 Goal. Le test physique nécessite une zone sécurisée et un arrêt d’urgence fonctionnel.

8. Calculs résolus

Distance d’arrêt : $v = 0{,}60$ m/s, décélération $a = 0{,}50$ m/s^2. $d = v^2/(2a) = 0{,}36$ m. Avec 0,20 s de latence, ajouter 0,12 m, soit 0,48 m avant marge.

Résolution cartographique : salle 12 × 8 m à 0,05 m/cellule : 240 × 160 = 38 400 cellules. Une inflation de 0,30 m représente environ six cellules.

Durée de mission : chemin 12,4 m à 0,35 m/s de moyenne : 35,4 s hors arrêts et replanifications.

9. Diagnostic de terrain

- Robot absent — Vérifier RobotModel, TF et /odom.
- Aucun chemin — Vérifier but, carte, costmap et inflation.
- Robot immobile — Vérifier /cmd_vel, contrôleur et sécurités.
- Localisation instable — Vérifier AMCL, scans, odométrie et horodatages.
- Oscillations — Comparer vitesse, limites et paramètres du contrôleur.

10. Cinq séances de laboratoire à distance

A — Préparation

Inspecter les capteurs, les topics et l'arbre TF.

B — Carte

Charger une carte et vérifier résolution, obstacles et inconnus.

C — Navigation

Envoyer trois buts et mesurer durée, distance et erreur.

D — Obstacle imprévu

Ajouter un obstacle en simulation et analyser ralentissement et replanification.

E — Panne

Supprimer temporairement le LaserScan et documenter le retour à l'état sûr.

11. Évaluation et corrigés

Quelle différence entre carte et costmap ?

Corrigé : La carte décrit l'occupation; la costmap attribue les coûts utiles à la navigation.

À quoi sert AMCL ?

Corrigé : À estimer la pose du robot dans une carte connue.

Pourquoi vérifier les TF ?

Corrigé : Pour exprimer toutes les données dans des repères cohérents.

Que faire si le LiDAR devient indisponible ?

Corrigé : Appliquer la politique de sécurité, souvent ralentir ou arrêter, puis diagnostiquer.

12. Film pédagogique — storyboard dialogué

Scène 1 — Atelier

Le professeur présente le robot; les étudiants identifient LiDAR, odométrie et calculateur.

Scène 2 — RViz

Une étudiante explique les repères et la pose initiale.

Scène 3 — Mission

Un étudiant envoie un but et commente la trajectoire affichée.

Scène 4 — Obstacle

Le robot ralentit et le professeur demande pourquoi.

Scène 5 — Panne

Le LaserScan disparaît en simulation; les étudiants expliquent la réaction.

Scène 6 — Conclusion

Chaque étudiant présente une mesure et une preuve de fonctionnement.

13. Livrables et références

- Schéma ROS 2/Nav2 et arbre TF.
- Carte, captures RViz et trois résultats de navigation.
- Journal d’une panne simulée et de sa résolution.
- Rapport de laboratoire et vidéo courte de démonstration.

Documentation de référence : docs.ros.org et docs.nav2.org. Les graphiques de cette leçon sont des illustrations pédagogiques simulées.