

ROS2 : bibliothèques et outils pour le développement logiciel en robotique

Jules FARNAULT¹ - Sergio RODRIGUEZ² - Anthony JUTON³

Édité le
02/02/2026

¹ Elève normalien à l'ENS Paris Saclay, DER Sciences de l'Ingénierie Électrique et Numérique

² Maître de conférences au laboratoire SATIE, ENS Paris Saclay

³ Professeur agrégé à l'ENS Paris Saclay, DER Sciences de l'Ingénierie Électrique et Numérique

Cette ressource fait partie du N° 118 de La Revue 3EI du 1^{er} trimestre 2026.

Cette ressource a pour but de présenter ROS (du sigle en anglais Robotics Operating System version 2), un ensemble de bibliothèques C/C++ et python et d'outils de développement open-source pour la robotique, drones compris. Les laboratoires de robotique, les fabricants de matériel et les industriels de la robotique partagent dans une communauté dynamique leurs développements ROS, ce qui permet de réutiliser des briques logicielles de qualité [modules d'acquisition de capteurs complexes (LiDAR-Light Detection And Ranging, caméra RGBD, GPS/GNSS...), de contrôle d'actionneurs, algorithmes complexes (filtres à particules, génération de trajectoire...) et faciles à interfacer.

Cette ressource présente ROS et ses différents composants et guide le lecteur à travers la documentation de la version ROS2 pour sa mise en œuvre sur deux premiers exemples. Elle est suivie de la ressource « Mise en œuvre de ROS2 pour le contrôle d'une voiture autonome simulée sous Webots et réelle » [15] présentant la mise en œuvre de ROS2 réelle et simulée.

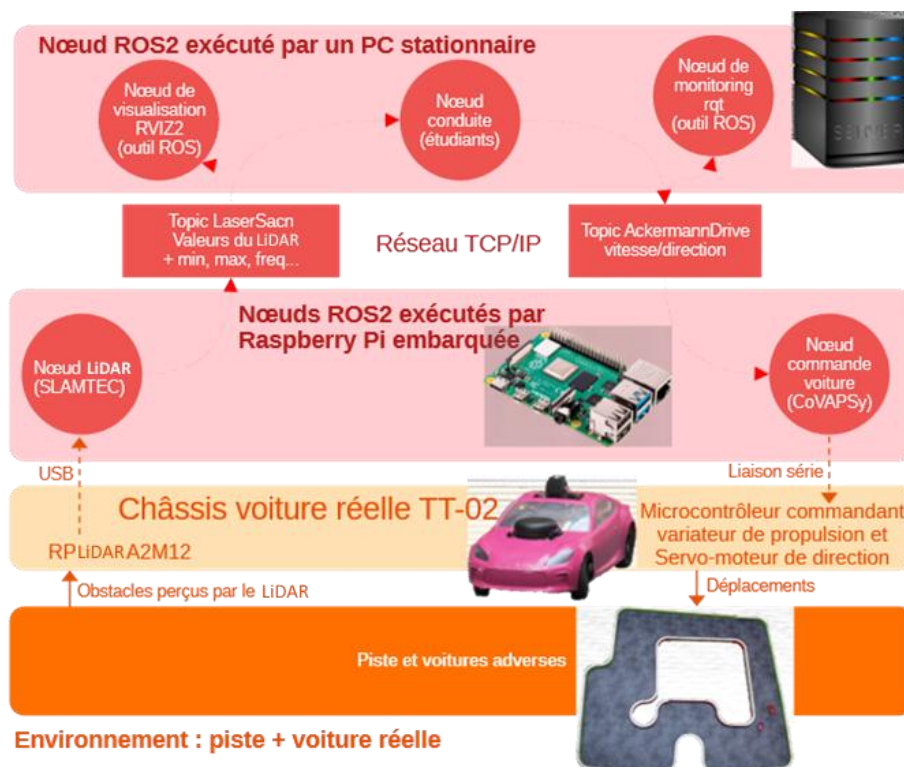


Figure 1 : Graphe ROS2 utilisé pour la conduite d'une voiture autonome 1 / 10^{ème}

1 - ROS, un écosystème de bibliothèques et outils pour la robotique

ROS (Robot Operating System), né en 2007, [1] constitue une surcouche logicielle d'Ubuntu destiné au développement d'applications pour la robotique. Il offre des services standardisés essentiels tels que la gestion des capteurs, la gestion des actionneurs, la gestion de la navigation, ainsi que l'enregistrement et le rejeu de données. En outre, ROS met à disposition des outils de visualisation, de simulation, d'analyse et de débogage facilitant le développement et la maintenance des systèmes robotiques.

ROS est utilisé par de nombreux laboratoires de recherche et industriels pour le développement de logiciels de robots. Dans une optique open-source, ils développent des paquets (*ROS package*) que tout utilisateur peut ajouter à son installation afin de bénéficier de ses fonctionnalités. Des projets open-source pour les drones (PX4 autopilot), les bras robotisés (ROS-industrial), la navigation des robots (Nav2) sont basés sur ROS. De plus, les fabricants de capteurs (Intel Realsense pour les caméras RGBD, Slamtec ou Velodyne pour les LiDARs, ainsi que Analog Device (centrales inertielles) fournissent des paquets ROS permettant d'acquérir les données de leurs équipements. Par ailleurs, les fabricants de robots (Boston Dynamics, Unitree Husarion...) proposent également des paquets ROS permettant de s'interfacer avec leurs robots.

Un répertoire des paquets documentés disponibles est fourni par ROS : <https://index.ros.org>

La communauté des développeurs ROS [2] communique principalement à travers un forum [3], un canal Discord [4] et se rassemble chaque année lors de conférences ROScon nationales [6] et une conférence internationale [5]. L'accès public à ces discussions, ainsi qu'aux et les documentations [7], tutoriels et wiki [8] facilitent une prise en main rapide de ROS et des paquets complémentaires.

ROS2, dont la première distribution date de 2017, est une évolution majeure rendant les paquets ROS2 incompatibles avec les paquets ROS1. Aujourd'hui, la plupart des projets et paquets ont été migrés sur ROS2 et le nom générique ROS désigne souvent des travaux sur ROS2. Les évolutions mineures sont portées par des distributions (un ensemble de paquets compatibles entre eux). Pour cette ressource, la distribution LTS (Long Term Support) *Jazzy*, compatible avec *Ubuntu 24.04 LTS*, a été choisie. Elle est moderne et sera supportée jusqu'à mai 2029. Les paquets les plus populaires sont disponibles pour Jazzy.

ROS2 et la plupart des paquets complémentaires sont développés en C++ pour des critères de performances. La suite montrera que la modularité de ROS2 permet d'écrire des programmes en python s'interfaçant avec ces bibliothèques en C++.

2 - Nodes, Topics, Services... les différents composants de ROS

Un système robotique fonctionnant sous ROS possède une architecture construite en nodes qui communiquent via des topics ou des services. Cette modularité, en nodes, permet de faire cohabiter des nodes ROS officiels (par exemple, node fourni par le fabricant d'un capteur ou développé par un laboratoire...) et des nodes développés spécifiquement pour répondre à des besoins particuliers.

La messagerie (topics, services) s'appuie sur un middleware nommé DDS (de l'anglais *Data Distribution Service*) utilisant des mécanismes d'échange par mémoire partagée ou les protocoles IP [9]. Les nodes peuvent donc indifféremment être sur la même machine ou sur des machines différentes, ce qui simplifie le calcul déporté pour des systèmes embarqués aux ressources limitées. Évidemment, si les nodes sont sur des machines différentes, la latence entre les envois et réceptions de message sera plus importante.

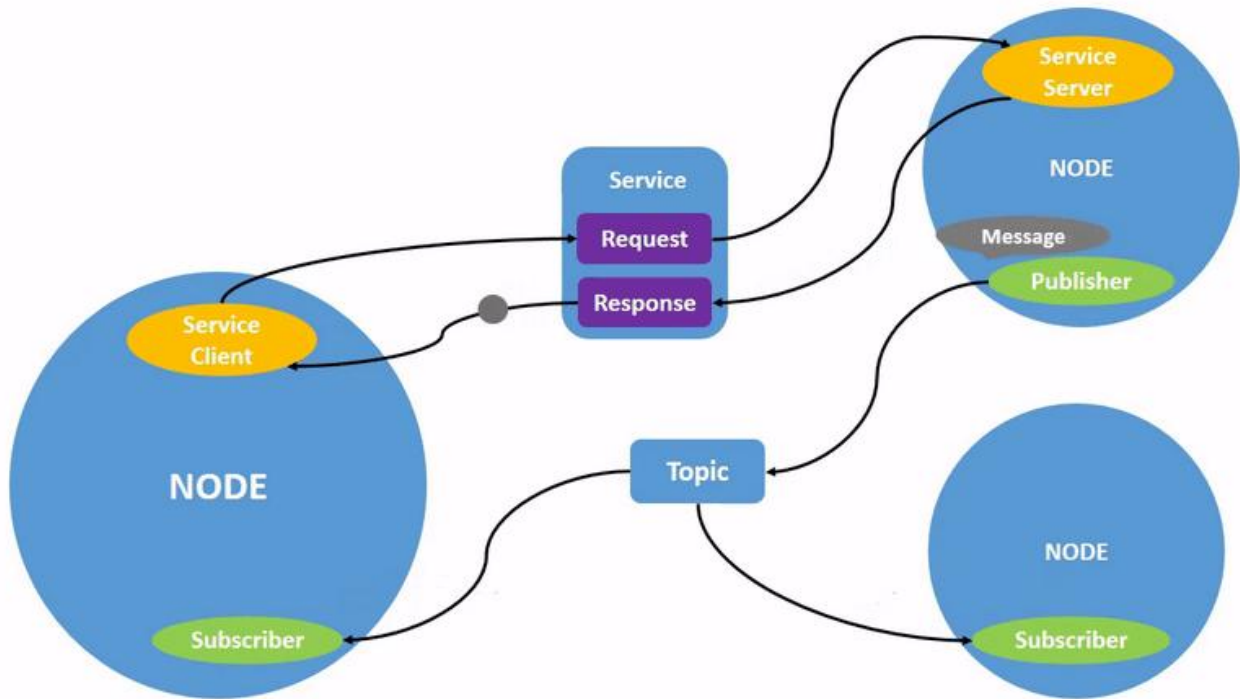


Figure 2 : Architecture d'un système robotique sous ROS, source : ROS.org

2.1 - Nodes (Nœuds)

Un node est un processus indépendant. Un nœud programmé en C++ peut donc cohabiter avec un nœud programmé en python. Les nodes s'exécutent en parallèle au sein du système d'exploitation, chaque node pouvant ainsi utiliser une CPU différente sur un microprocesseur multicœurs.

Pour communiquer entre eux, les nodes utilisent des topics ou des services.

2.2 - Topics (canaux)

Les topics sont une communication en mode publisher/subscriber. Ce sont des canaux de communication qui permettent à différents nodes d'échanger des messages. Un ou plusieurs nodes peuvent publier des messages dans un topic, tandis qu'un ou plusieurs nodes peuvent s'abonner à ce topic pour recevoir ces messages. La messagerie inter-processus TCP utilisée dans ROS1 et a été remplacée dans ROS2 par une communication nommée DDS. Cette solution combine l'utilisation conjointe des protocoles TCP, UDP et mémoire partagée selon les contraintes de l'application.

2.3 - Services et actions

Les services sont une communication en mode client serveur. Ils sont utilisés plutôt pour la modification de configuration d'un node, les topics étant plus adaptés pour les messages de process (valeurs des capteurs et commandes des actionneurs).

Les actions sont similaires aux services mais avec une différence clé : elles renvoient un feedback continu. C'est intéressant pour un service qui nécessite du temps pour s'exécuter. Par exemple si on demande à un robot d'atteindre une position absolue, il est intéressant de pouvoir suivre l'évolution de son déplacement.

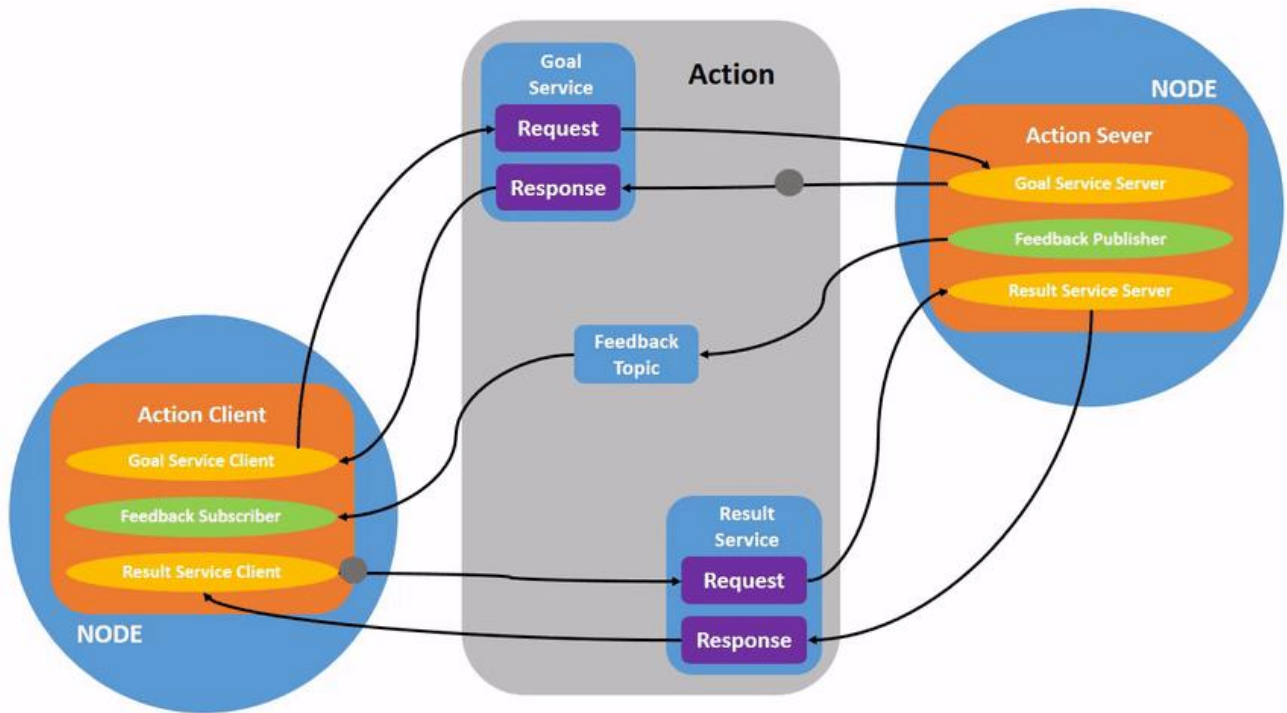


Figure 3 : Architecture d'un système robotique sous ROS utilisant les actions, source : ROS.org

2.4 - ROS bag, enregistrement de jeu de données

ROS permet d'enregistrer un jeu de données constitué des messages échangés sur les topics, services et actions dans un format standardisé, appelé ROS bag. Cette fonctionnalité facilite la collecte et rejoue des données. Par exemple, il est possible d'enregistrer des acquisitions capteurs pour les traiter hors ligne (segmentation d'image, reconstruction cartographique...) ou d'enregistrer des jeux de données (capteurs, actions) afin de réaliser de l'apprentissage supervisé.

3 - Premiers pas avec ROS2 sous Ubuntu 24.04

Un des points forts de ROS est la qualité de sa documentation. Celle-ci est conçue pour vous guider efficacement à travers l'ensemble de ressources disponibles, en insistant sur l'importance de suivre toutes les étapes pour acquérir une connaissance approfondie du potentiel de ROS et une maîtrise minimale de ses fonctionnalités.

La solution la plus simple, celle retenue ici, est d'installer ROS2 Jazzy sur une distribution Ubuntu 24.04. Pour débuter, il est préférable d'utiliser Ubuntu 24.04 Desktop, afin de disposer d'un environnement graphique pour les outils graphiques de ROS. Cet environnement peut être installé sur un PC, une machine virtuelle ou un nano-ordinateur Raspberry Pi. L'environnement graphique par défaut de Ubuntu 24, Gnome, n'est pas très fluide pour la Raspberry Pi4.

Pour le travail sur un système embarqué, il peut être intéressant d'utiliser Ubuntu 24 Server (sans interface graphique, accessible par ssh) sur le système embarqué (par exemple, un nano-ordinateur Raspberry Pi). En complément, Ubuntu 24 Desktop peut être installé sur un PC situé sur le même réseau, pour bénéficier des outils de visualisation/diagnostic.

3.1 - Installation d'une machine Ubuntu 24.04 - ROS2

L'installation de la machine virtuelle Ubuntu 24.04 est indiquée en annexe 1 et 2 [16].

L'installation Desktop ou Sever sur un nano-ordinateur Raspberry Pi se fait via Raspberry Imager :



Figure 4 : Raspberry Imager : logiciel de création d'image disque pour Raspberry Pi

3.2 - Installation de ROS2 sur la machine Ubuntu 24.04

Les différentes étapes pour installer ROS2 sur Ubuntu 24.04 sont décrites sur la page web officielle : <https://docs.ros.org/en/Jazzy/Installation/Ubuntu-Install-Debs.html>¹

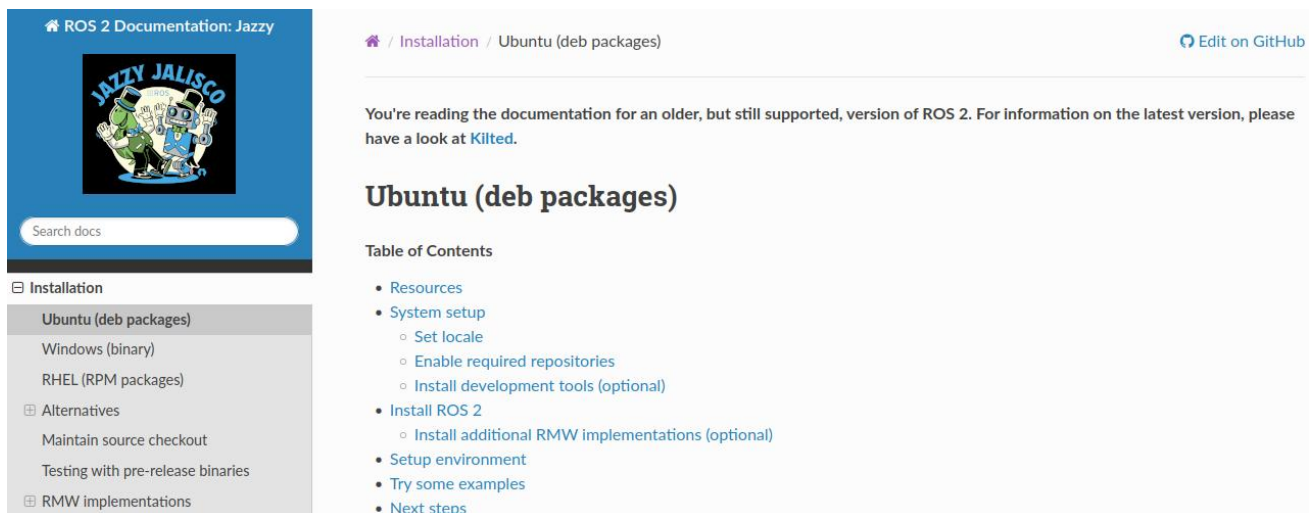


Figure 5 : Page d'accueil de l'installation de ROS2 Jazzy

Suivre scrupuleusement ce qui est demandé permet d'être efficace. Pour ces premiers pas, sur le PC comme sur la raspberry Pi, il est conseillé d'installer la version Desktop, ce qui permet d'avoir quelques outils intéressants. Pour le bon fonctionnement d'un robot par la suite, il suffit d'installer sur le système embarqué la version ROS-Base et de garder sur un PC la version Desktop pour les outils de visualisation/diagnostic.

¹ Consulté le 19/01/2026
La Revue 3EI n°118

Desktop Install (Recommended): ROS, RViz, demos, tutorials.

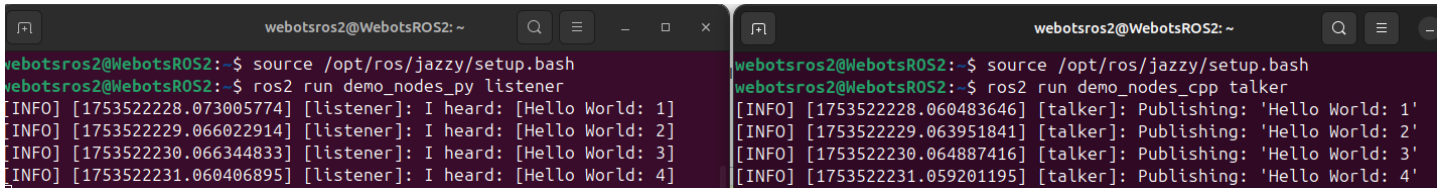
```
$ sudo apt install ros-jazzy-desktop
```

ROS-Base Install (Bare Bones): Communication libraries, message packages, command line tools. No GUI tools.

```
$ sudo apt install ros-jazzy-ros-base
```

Figure 6 : Lignes de commande pour installer la version desktop ou la version légère (ROS-base) de ROS2 Jazzy

Une fois ROS installé, il est proposé de tester sur un exemple :



```
webotsros2@WebotsROS2:~$ source /opt/ros/jazzy/setup.bash
webotsros2@WebotsROS2:~$ ros2 run demo_nodes_py listener
[INFO] [1753522228.073005774] [listener]: I heard: [Hello World: 1]
[INFO] [1753522229.066022914] [listener]: I heard: [Hello World: 2]
[INFO] [1753522230.066344833] [listener]: I heard: [Hello World: 3]
[INFO] [1753522231.060406895] [listener]: I heard: [Hello World: 4]

webotsros2@WebotsROS2:~$ source /opt/ros/jazzy/setup.bash
webotsros2@WebotsROS2:~$ ros2 run demo_nodes_cpp talker
[INFO] [1753522228.060483646] [talker]: Publishing: 'Hello World: 1'
[INFO] [1753522229.063951841] [talker]: Publishing: 'Hello World: 2'
[INFO] [1753522230.064887416] [talker]: Publishing: 'Hello World: 3'
[INFO] [1753522231.059201195] [talker]: Publishing: 'Hello World: 4'
```

Figure 7 : Exemple de système ROS2 minimaliste lancé sur deux consoles : une pour le récepteur du message (listener) et une pour l'émetteur du message (talker)

Pour permettre l'utilisation de plusieurs versions de ROS2 ou de différents jeux de paquets, il est possible de créer plusieurs workspaces. Cependant, pour commencer, on se limite à un seul workspace. Avant de lancer l'exemple sur chaque terminal, on configure l'espace de travail en exécutant le fichier `setup.bash`.

Pour éviter de lancer cette ligne à chaque ouverture de terminal sur notre système dédié à ROS2, il est conseillé de l'ajouter au fichier `.bashrc`. Ce fichier est automatiquement exécuté à chaque ouverture de terminal, ce qui permet de générer une configuration automatique pour l'environnement ROS2 :

```
echo "source /opt/ros/Jazzy/setup.bash" >> ~/.bashrc
```

Pour que les nodes de différents équipements ROS2 puissent dialoguer, ils doivent être dans le même domaine. Il est donc nécessaire d'ajouter une ligne de configuration pour utiliser domaine spécifique, par exemple 94 :

```
echo "export ROS_DOMAIN_ID=94" >> ~/.bashrc
```

Les terminaux doivent alors tous être fermés puis réouverts pour prendre en compte la modification de configuration.

3.3 - Découverte des fonctionnalités de ROS2 avec le tutoriel *Beginner* : CLI tools

Une fois ROS2 installé, la documentation propose plusieurs tutoriels pour débiter. Il est important de suivre scrupuleusement les deux premiers :

- *Beginner: CLI (Command Line Interface) tools* permet de découvrir les fonctionnalités de ROS2 ;
- *Beginner: Client libraries* enseigne comment créer des nodes et les faire communiquer.

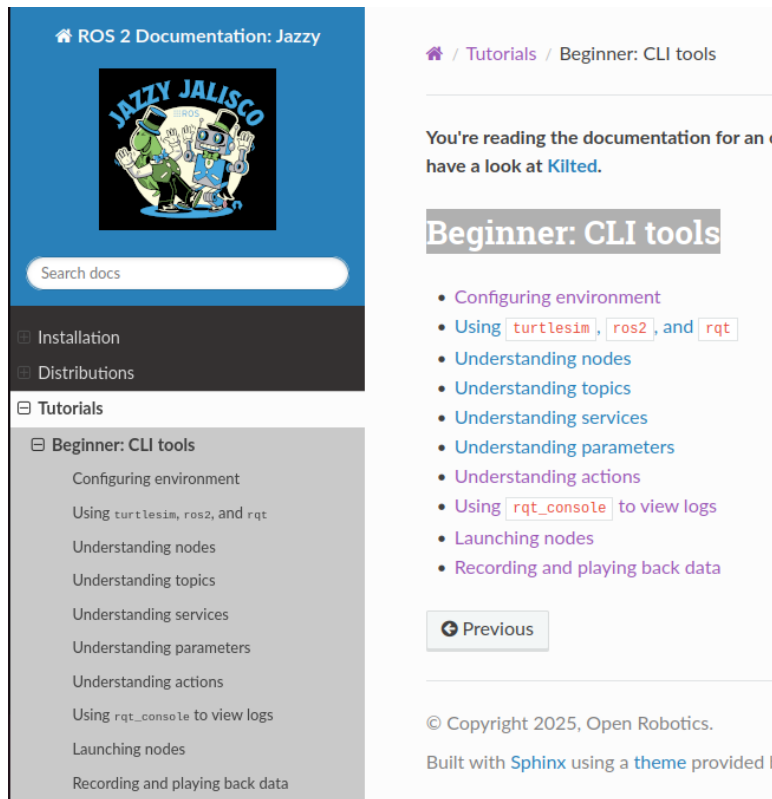


Figure 8 : Page d'accueil du tutoriel Beginner: CLI tools de ROS2 Jazzy

L'exemple *turtlesim* proposé permet de tester différents outils de ROS2, notamment pour lister les nodes, topics, actions et services. Il offre aussi la possibilité d'installer et d'expérimenter l'outil *rqt*, qui permet d'afficher le diagramme des nodes et topics actifs, ainsi que d'interagir avec les nodes en utilisant les services ou messages.

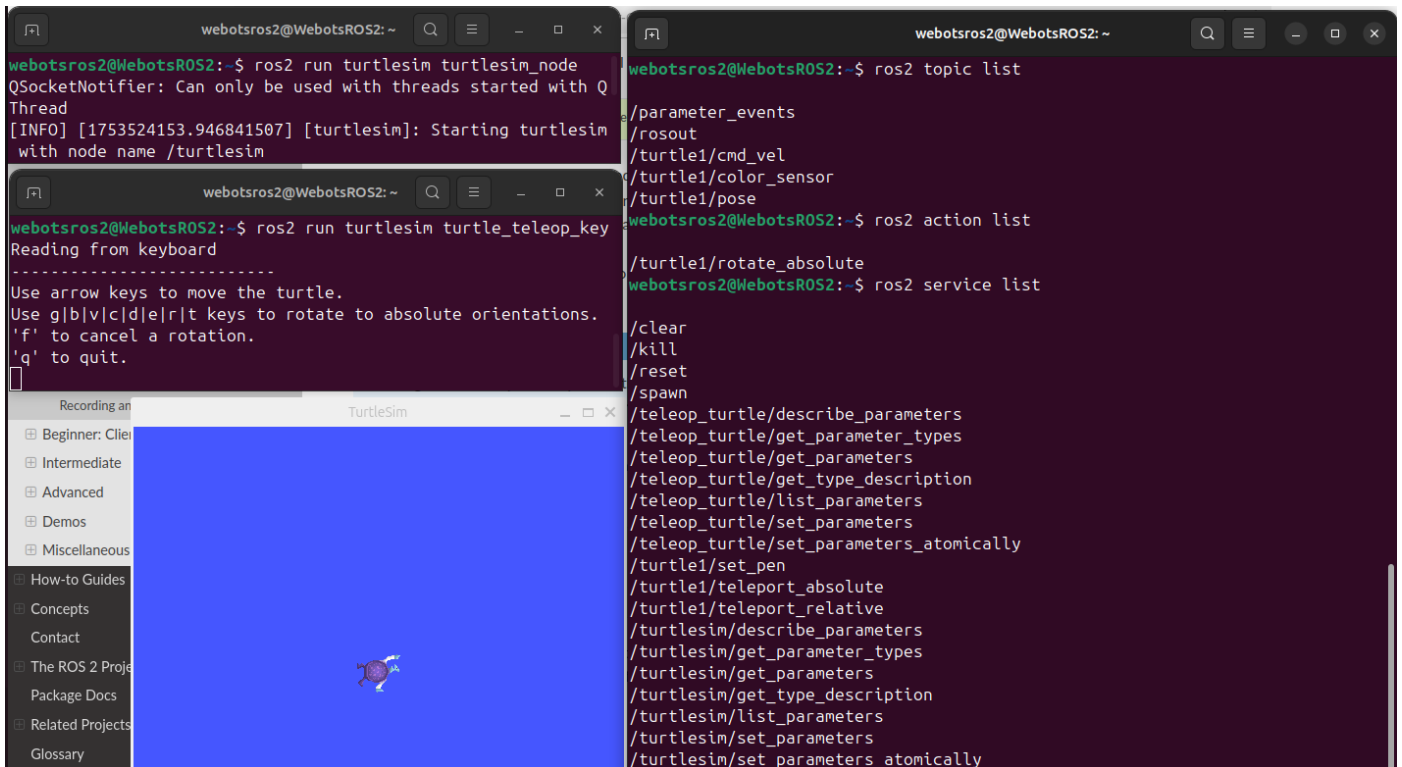


Figure 9 : Exemple Turtlesim lancé sur trois consoles : un node pour la simulation et l'affichage de la tortue (*turtlesim_node*), un node pour la commande (*turtle_teleop_key*) et une dernière console pour l'affichage des services ROS2 disponibles

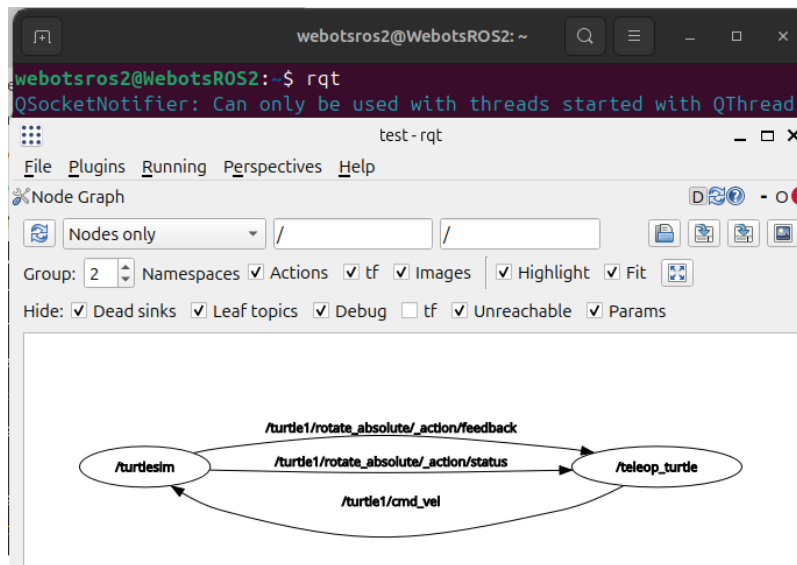


Figure 10 : Outil ROS2 rqt de visualisation des nodes actifs

La suite du tutoriel guide à l'utilisation d'outils de diagnostic complémentaires, la mise en œuvre des services et actions, la modification des paramètres d'un node, toujours sur l'exemple *turtlesim*, ainsi que la création un fichier de lancement de nodes.

Les fonctions de sauvegarde et de chargement des paramètres d'un node via des fichiers *YAML* seront bien utiles pour tout utilisateur de ROS.

Enfin, le tutoriel aborde l'enregistrement et la relecture d'un jeu de données avec *ROS bag*.

3.4 - Programmation de premiers nodes ROS2 avec le tutoriel Beginner : CLI libraries

Ce second tutoriel ROS2 amène à écrire 2 nodes (en C++ ou en python), un publiant un message dans un topic et l'autre s'y abonnant pour l'afficher. Le tutoriel guide ensuite à « construire » ces nodes avec l'outil *colcon* de ROS pour les lancer.

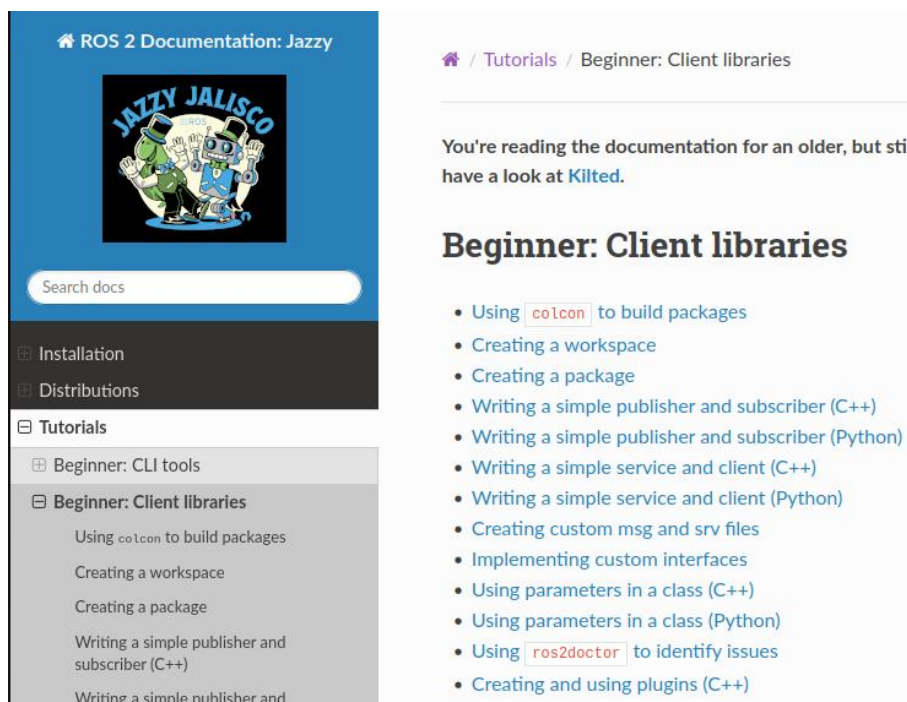


Figure 11 : Page d'accueil du tutoriel Beginner: Client libraries de ROS2 Jazzy

On peut se limiter aux quatre premières étapes :

- La découverte de l'outil `colcon`, nécessaire pour construire les nodes ;
- La découverte des environnements de travail, surcouche (overlay) au-dessus des paquets de l'installation de base de ROS2 (underlay) ;
- La structure et la création d'un paquet avec un node simple, en C++ ou en python ;
- L'écriture (en C++ ou en python) d'un node *talker* publiant sur un topic et d'un node *listener* souscrivant à ce topic pour l'afficher.

Les plus intéressés feront la suite du tutoriel avec la création de nodes communiquant via des services et l'écriture de type de messages et services personnalisés, de nodes avec des paramètres.

L'avant-dernier item *Using ros2doctor* est rapide et utile pour la suite.

On trouve sur le web des mémos regroupant les principales commandes ROS. On donne ici un exemple pertinent, sur deux pages [13].

4 - Quelques outils ROS complémentaires

ROS propose aux développeurs quelques outils bien utiles pour déboguer leur système.

4.1 - Rqt / rqt_graph

Rqt et *Rqt_graph* [10] sont des outils ROS permettant de visualiser en temps réel les nodes, topics, services et actions en cours d'exécution. *Rqt_graph* offre une représentation de la topologie logicielle sous forme de graphe. Il permet de visualiser les relations entre les nodes et les topics, ainsi que les messages qui sont échangés entre eux.

Lancée dans un terminal, la commande `rqt_graph` fournit un schéma de communication entre les nodes en cours d'exécution.

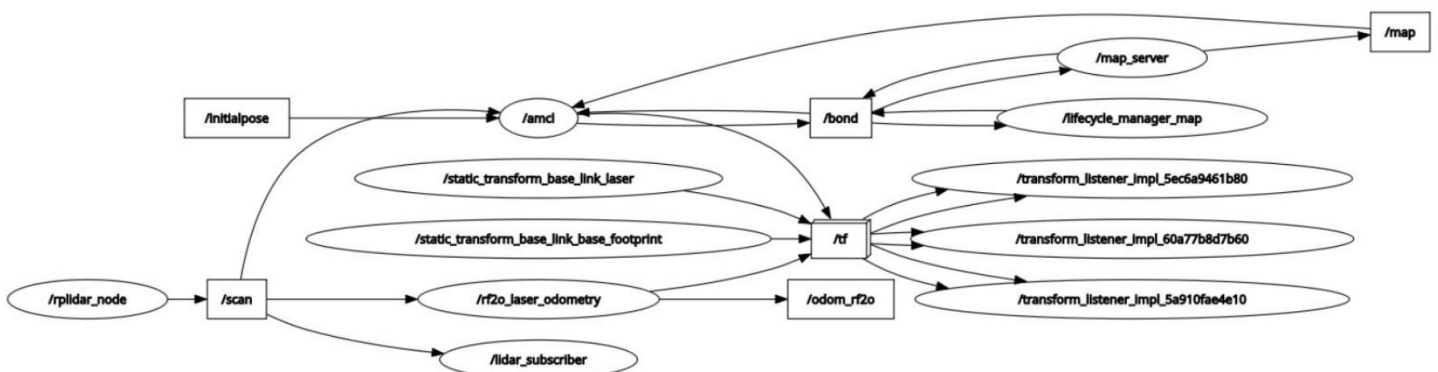


Figure 12 : Diagramme `rqt_graph` d'une voiture effectuant du SLAM (Simultaneous Localization and Mapping)

Le package *rqt* contient d'autres affichages graphiques pour visualiser les données de ROS, notamment *rqt_plot* qui permet de visualiser les données des topics.

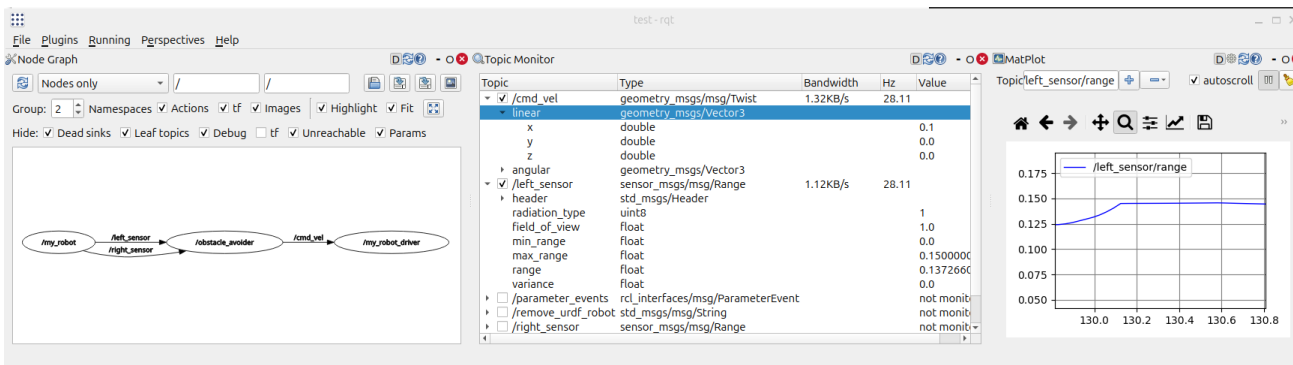


Figure 13 : Outil rqt utilisé sur un l'exemple ROS2 pour webots pour l'affichage du diagramme des nodes, des valeurs de 2 topics et de l'évolution du champ d'un des topics

4.2 - Ros_bag

Ros_bag [11] est un outil de ROS permettant d'enregistrer les données publiées par les nodes dans des topics. Ces données peuvent être des images, des données de capteurs, des données de navigation, etc. Elles peuvent ensuite être relues pour analyse ou rejouées afin de tester différents algorithmes qui les exploitent.

Pour enregistrer des données dans un bag, on utilise la commande suivante sur des topics :

```
ros2 bag record <nom_du_topic> <nom_du_topic>
```

Pour utiliser ses données, on utilise la commande suivante :

```
ros2 bag play <nom_du_bag>
```

On peut ajouter -loop pour lire en boucle :

```
ros2 bag play <nom_du_bag> --loop
```

4.3 - Rviz2

Rviz2 [12] est un outil de ROS2 qui permet de visualiser des données en 3D. Il peut afficher graphiquement des données de capteurs, LiDAR ou caméras. Il se lance comme un node qui s'abonne à des topics pour visualiser en temps réel les données transmises :

```
ros2 run rviz2 rviz2
```

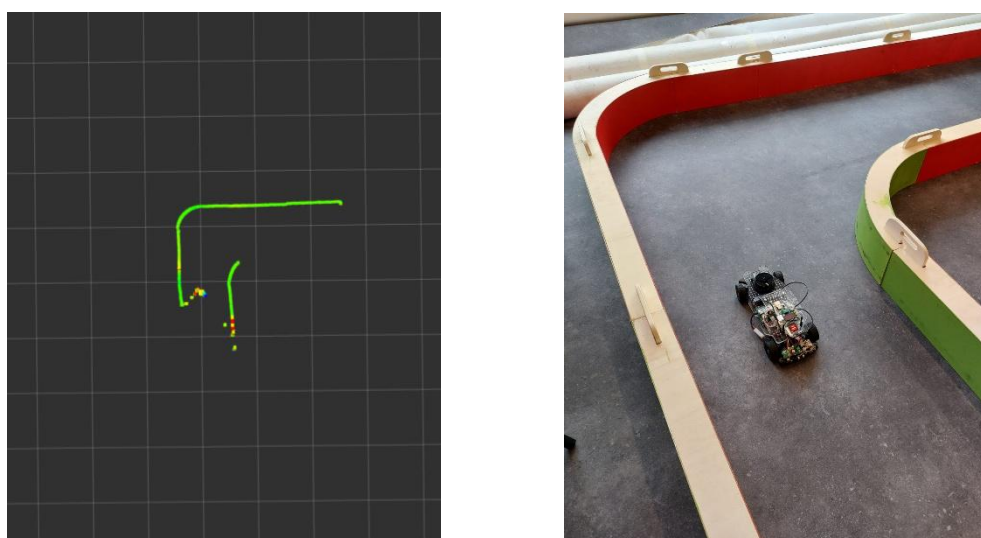


Figure 14 : (a) Visualisation des données du LiDAR dans Rviz, (b) Voiture et son lidar au moment de l'acquisition

4.4 - Les transformées et repères

La position de capteurs dans le repère du robot ou dans le repère terrestre sont des éléments essentiels pour exploiter leurs données. ROS propose un système puissant de transformée des repères de coordonnées nommé tf, qui permet de gérer la transformation des repères de coordonnées en temps réel. La documentation [14] propose son propre tutoriel pour bien comprendre cet outil puissant.

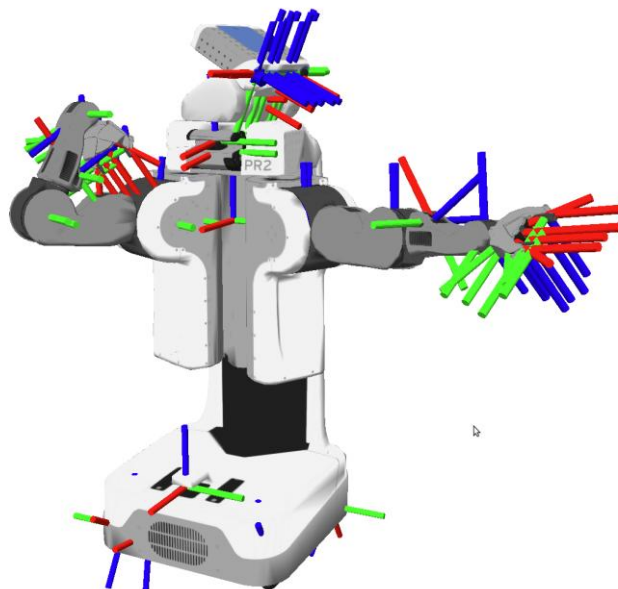


Figure 15 : Illustration ROS associée au paquet tf2

5 - Conclusion

Cette ressource a présenté la structure d'un système reposant sur ROS2. L'association des nodes fournis par des laboratoires ou des industriels avec ses propres nodes, ainsi que l'utilisation des transformées ROS, permet d'exploiter pleinement les capteurs et les algorithmes existants. Par ailleurs, les outils rqt_graph, rosbag et rviz2 seront des alliés essentiels pour la mise au point des programmes.

Références :

- [1]: Open Source Robotics Foundation, Inc., “Robot Operating System (ROS).” , <http://www.ros.org/>
- [2]: <https://docs.ros.org/en/Jazzy/index.html#ros-community-resources>
- [3]: forum ROS, <https://discourse.ros.org/>
- [4]: canal Discord, <https://discord.com/servers/open-robotics-1077825543698927656>
- [5]: Site web de la ROScon, <https://roscon.ros.org>
- [6]: Site web de la ROScon France, <https://roscon.fr/>
- [7]: Documentation officielle ROS, <https://docs.ros.org/>
- [8]: Wiki officiel ROS, <https://wiki.ros.org/>
- [9]: Le middleware ROS2, https://design.ros2.org/articles/ros_on_dds.html
- [10]: page de rqt et rqt_graph, <https://wiki.ros.org/rqt> et https://wiki.ros.org/rqt_graph
- [11]: ROS Wiki Contributors, “roslaunch - ROS Wiki.”, <https://wiki.ros.org/roslaunch/Commandline>
- [12]: Tutoriel et page ROS Wiki sur RVIZ2, <https://docs.ros.org/en/Jazzy/Tutorials/Intermediate/RViz/RViz-Main.html> et <http://wiki.ros.org/rviz>
- [13]: https://github.com/ubuntu-robotics/ros2_cheats_sheet/blob/master/cli/cli_cheats_sheet.pdf
- [14]: Tutoriel et page ROS Wiki sur les transformée tf, <https://docs.ros.org/en/Jazzy/Tutorials/Intermediate/Tf2/Tf2-Main.html> et <https://wiki.ros.org/tf2>
- [15]: Mise en œuvre de ROS2 pour le contrôle d’une voiture autonome simulée sous Webots et réelle, J. Farnault, S. Rodriguez A. Juton, M. Goupillon, 2026, https://sti.eduscol.education.fr/si-ens-paris-saclay/ressources_pedagogiques/mise-en-oeuvre-ros2-pour-contrôle-voiture-autonome-1-10e
- [16]: Annexes de ROS2 : bibliothèques et outils pour le développement logiciel en robotique, J. Farnault, S. Rodriguez A. Juton, 2026, https://sti.eduscol.education.fr/si-ens-paris-saclay/ressources_pedagogiques/ros2-bibliotheques-outils-pour-developpement-logiciel-en-robotique
- Annexe 1 : Installation de la machine virtuelle sous Linux
 - Annexe 2 : Installation de la machine virtuelle sous Windows

Annexe 1 : Installation de la machine virtuelle sous Linux

ROS2 : bibliothèques et outils pour le développement logiciel en robotique

Jules FARNAULT¹ - Sergio RODRIGUEZ² - Anthony JUTON³

Édité le
02/02/2026

école
normale
supérieure
paris-saclay

¹ Elève normalien à l'ENS Paris Saclay, DER Sciences de l'Ingénierie Électrique et Numérique

² Maître de conférences au laboratoire SATIE, ENS Paris Saclay

³ Professeur agrégé à l'ENS Paris Saclay, DER Sciences de l'Ingénierie Électrique et Numérique

Cette ressource est une annexe de la ressource « ROS2 : bibliothèques et outils pour le développement logiciel en robotique » [J. Farnault, S. Rodriguez A. Juton, 2026, https://sti.eduscol.education.fr/si-ens-paris-saclay/ressources_pedagogiques/ros2-bibliotheques-outils-pour-developpement-logiciel-en-robotique] qui fait partie du N°118 de La Revue 3EI du 1^{er} trimestre 2026.

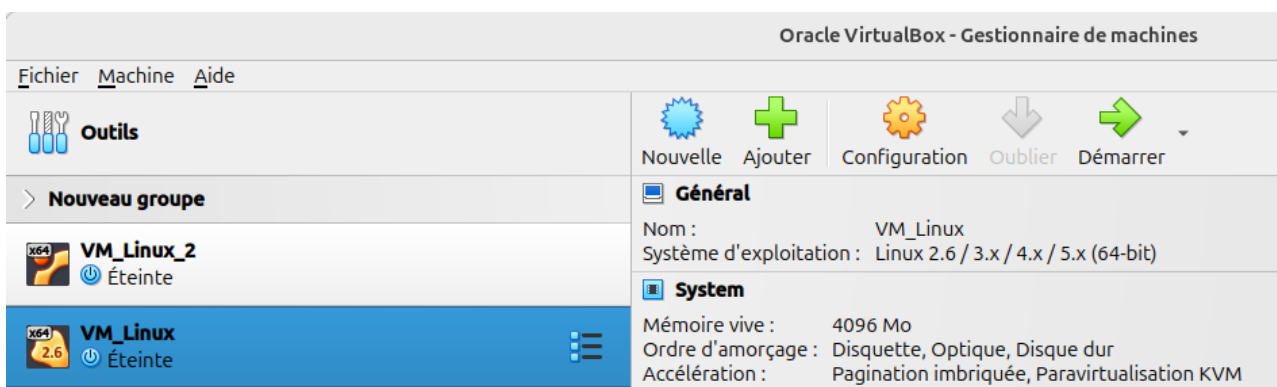
Voici quelques instructions pour installer une machine virtuelle avec Ubuntu 24 et un dossier partagé, très utile pour échanger des fichiers de la machine hôte à la machine invitée. Les instructions ont été testées sur une machine Ubuntu 24.04.

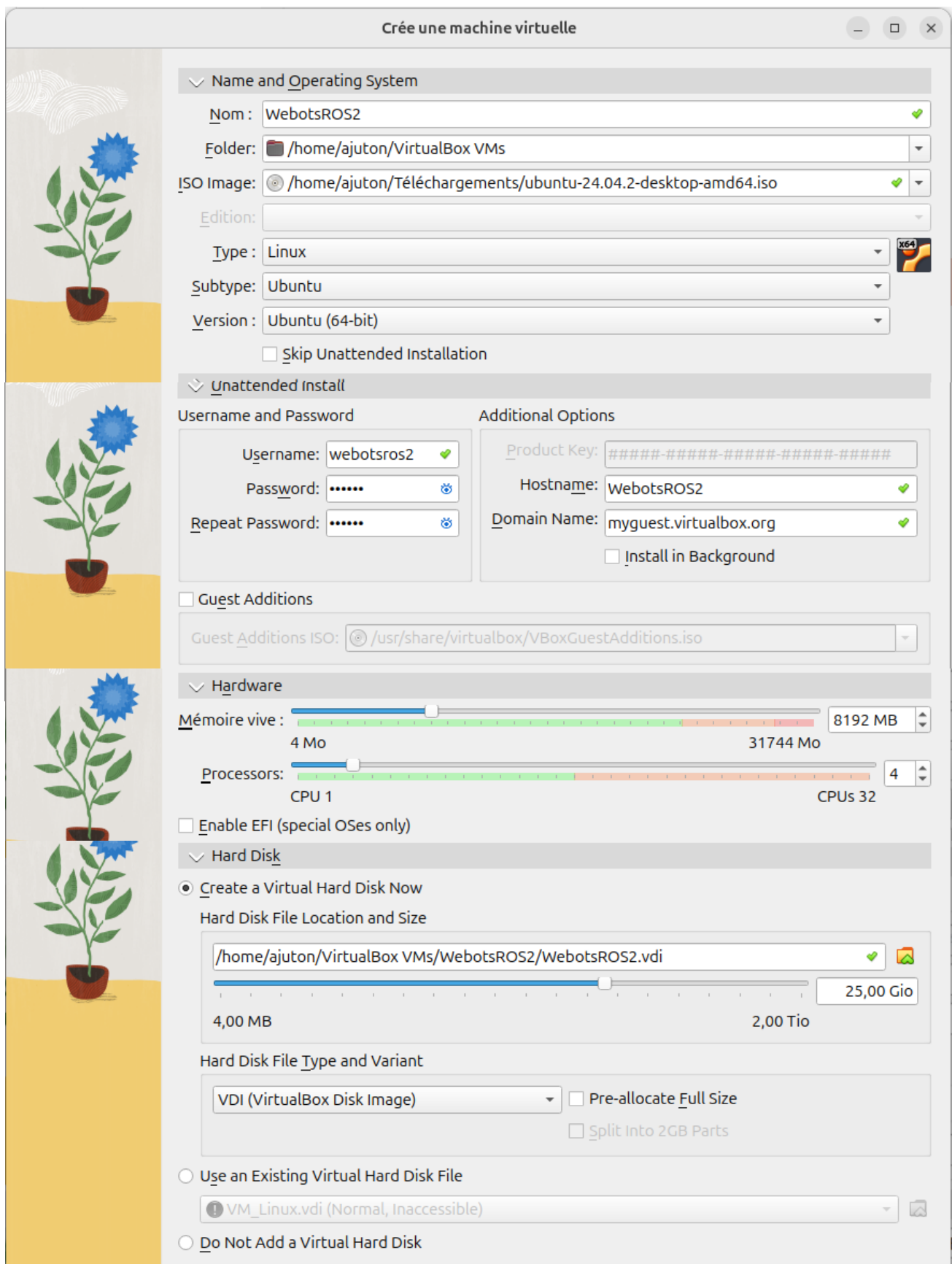
Installer VirtualBox depuis les fichiers du site officiel : <https://www.virtualbox.org/> . Pour faire simple et éviter d'avoir à signer numériquement les fichiers de VirtualBox, il est possible de désactiver le *secureBoot* depuis le BIOS de la machine. Sous linux, il est possible aussi qu'il faille ajouter l'utilisateur au groupe vboxuser (`sudo gpasswd -a $USER vboxusers`), installer des paquets supplémentaires (`sudo apt install liblzfl1 libtpms0 libxcb-cursor0`) et désactiver kvm_intel (`sudo modprobe -r kvm_intel`)

Télécharger sur le même site l'extension pack et l'ajouter dans VirtualBox (*Fichier > Outils > Extension Pack Manager*)

Télécharger l'image iso Ubuntu 24.04 LTS : <https://ubuntu.com/download>

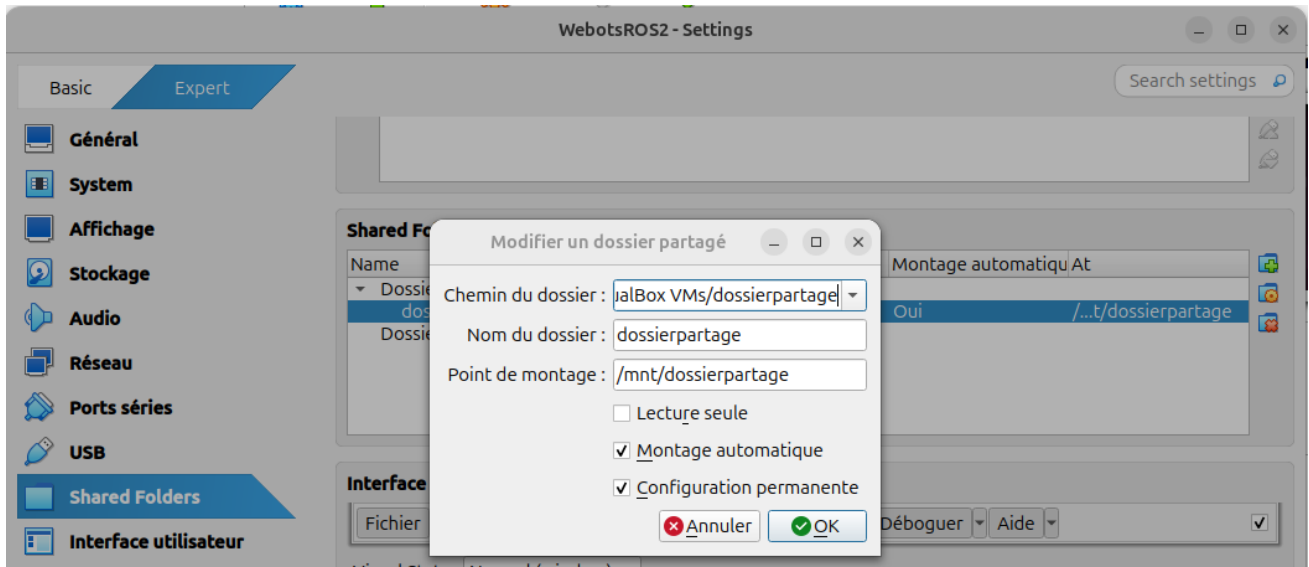
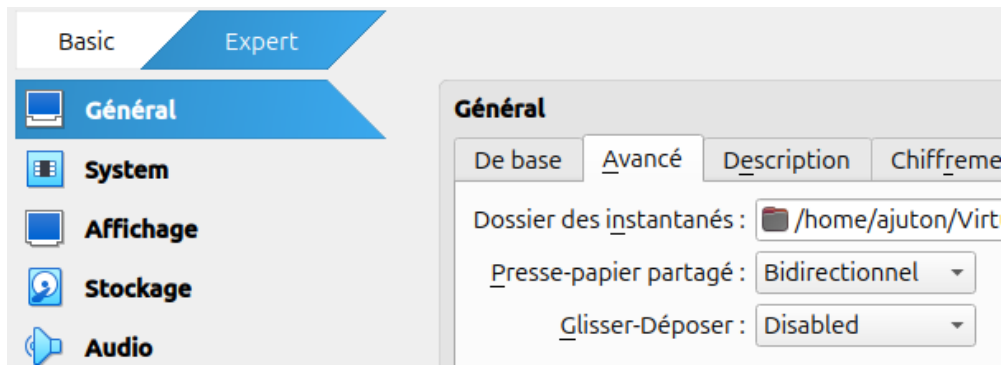
Créer une nouvelle machine virtuelle avec Ubuntu 24.04 : *Machine > Nouvelle...*





Suivre ensuite les instructions d'installation de Linux.

Une fois la machine créée, dans la configuration de la nouvelle machine, ajouter les copier/coller et un dossier partagé :



Lancer la nouvelle machine virtuelle et y installer les paquets utiles depuis un terminal :

```
sudo apt update && sudo apt upgrade
```

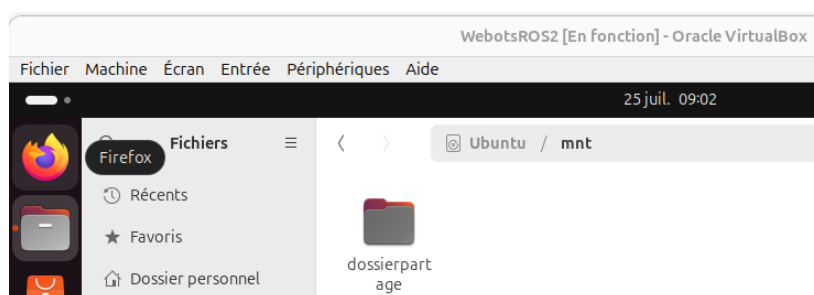
```
sudo apt install bzip2 gcc make python3-numpy
```

Depuis la nouvelle machine virtuelle toujours, installer les extensions : *Périphériques > Insérer l'image CD des additions invités* puis *Périphériques > Upgrade Guest Additions*)

Redémarrer, puis dans un terminal de la machine invité, ajouter l'utilisateur au groupe vboxsf :

```
sudo adduser $USER vboxsf
```

Redémarrer, le dossier partagé doit être disponible à l'emplacement indiqué : */mnt/dossierpartage*.



Ressource publiée sur Culture Sciences de l'Ingénieur : <https://sti.eduscol.education.fr/si-ens-paris-saclay>

Annexe 2 : Installation de la machine virtuelle Windows

ROS2 : bibliothèques et outils pour le développement logiciel en robotique

Jules FARNAULT¹ - Sergio RODRIGUEZ² - Anthony JUTON³

Édité le
02/02/2026

¹ Elève normalien à l'ENS Paris Saclay, DER Sciences de l'Ingénierie Électrique et Numérique

² Maître de conférences au laboratoire SATIE, ENS Paris Saclay

³ Professeur agrégé à l'ENS Paris Saclay, DER Sciences de l'Ingénierie Électrique et Numérique

Cette ressource est une annexe de la ressource « ROS2 : bibliothèques et outils pour le développement logiciel en robotique » [J. Farnault, S. Rodriguez A. Juton, 2026, https://sti.eduscol.education.fr/si-ens-paris-saclay/ressources_pedagogiques/ros2-bibliotheques-outils-pour-developpement-logiciel-en-robotique] qui fait partie du N°118 de La Revue 3EI du 1^{er} trimestre 2026.

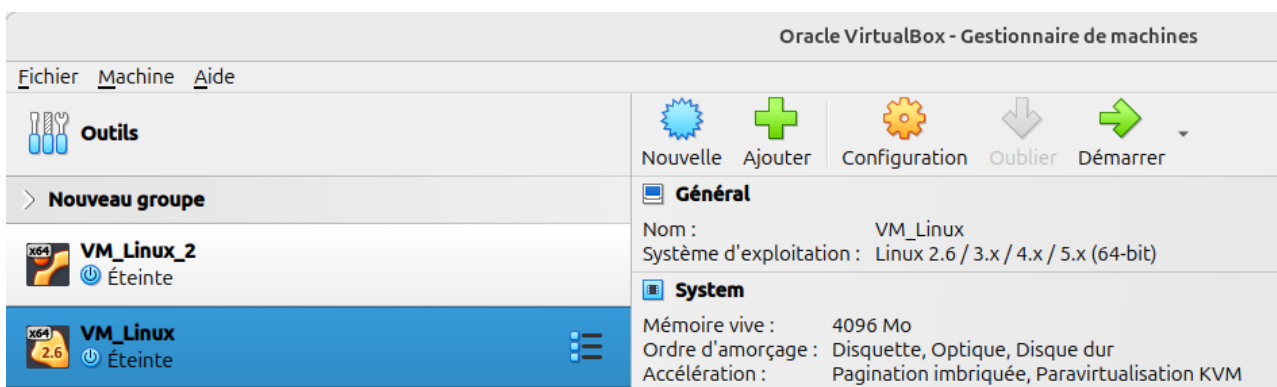
Voici quelques instructions pour installer une machine virtuelle avec Ubuntu 24 et un dossier partagé, très utile pour échanger des fichiers de la machine hôte à la machine invitée. Les instructions ont été testées sur une machine Windows 11.

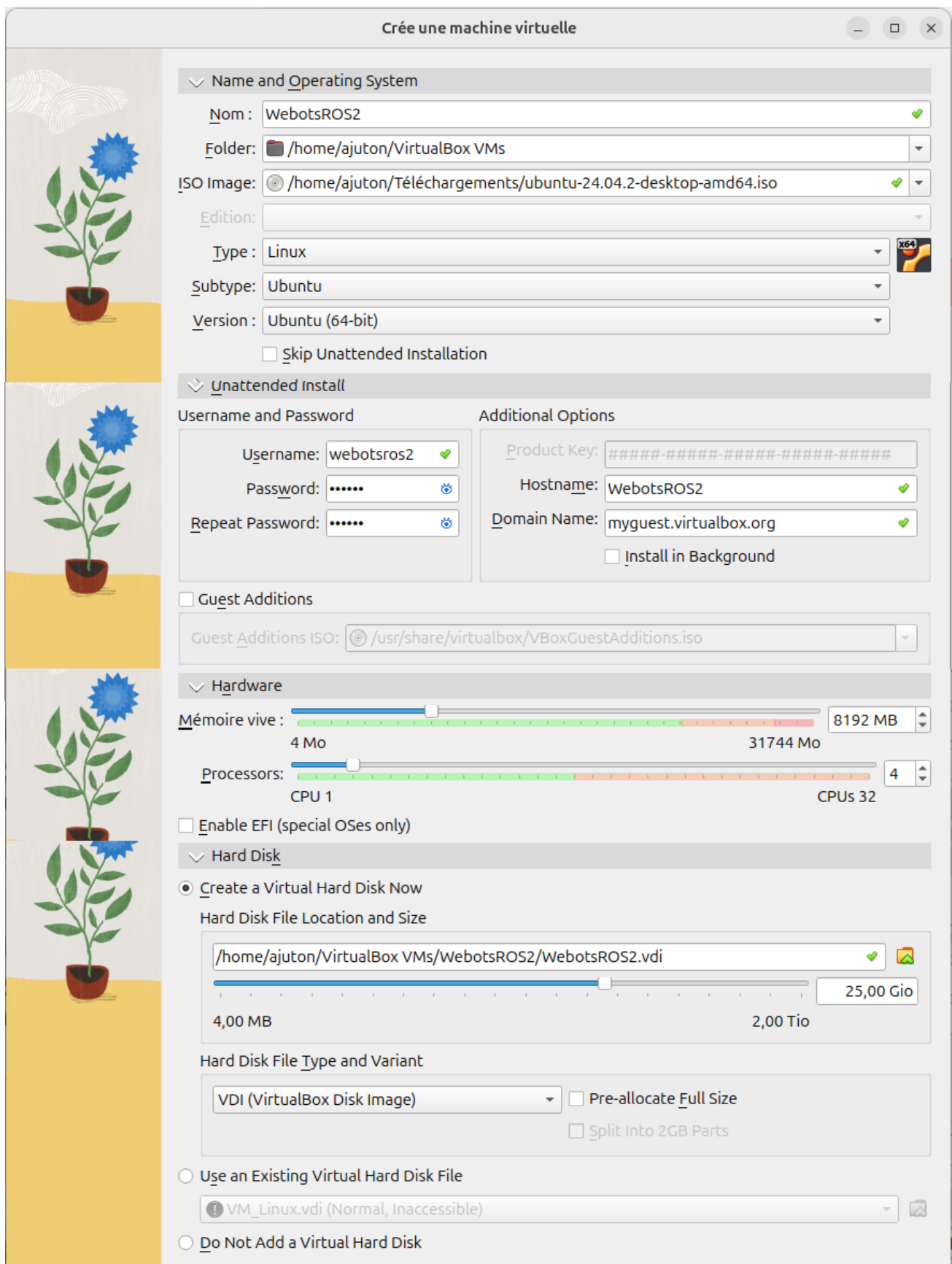
Installer VirtualBox depuis les fichiers du site officiel : <https://www.virtualbox.org/> .

Télécharger sur le même site l'extension pack et l'ajouter dans VirtualBox (*Fichier > Outils > Extension Pack Manager*)

Télécharger l'image iso Ubuntu 24.04 LTS : <https://ubuntu.com/download>

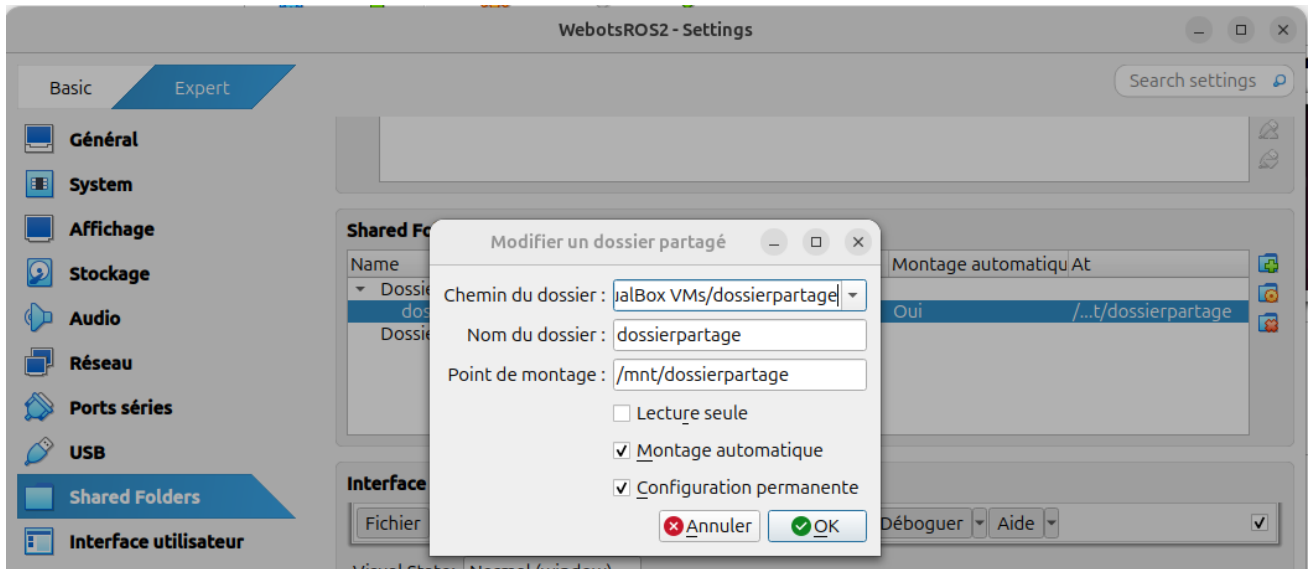
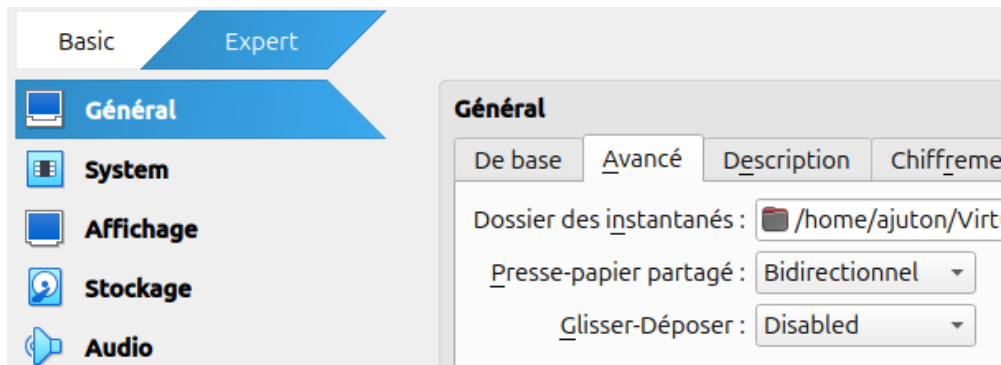
Créer une nouvelle machine virtuelle avec Ubuntu 24.04 : *Machine > Nouvelle...*





Suivre ensuite les instructions d'installation de Linux.

Une fois la machine créée, dans la configuration de la nouvelle machine, ajouter les copier/coller et un dossier partagé :



Lancer la nouvelle machine virtuelle et y installer les paquets utiles depuis un terminal :

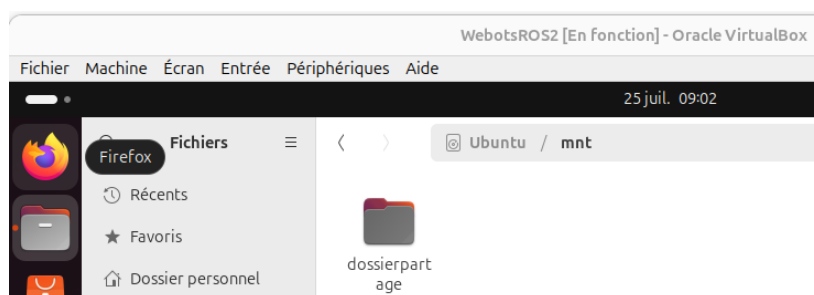
```
sudo apt update && sudo apt upgrade
sudo apt install bzip2 gcc make python3-numpy
```

Installation d'un dossier partagé (à vérifier sous Windows)

Depuis la nouvelle machine virtuelle toujours, installer les extensions : *Périphériques > Insérer l'image CD des additions invités* puis *Périphériques > Upgrade Guest Additions*)

Redémarrer, puis dans un terminal de la machine invitée, ajouter l'utilisateur au groupe vboxsf :
`sudo adduser $USER vboxsf`

Redémarrer, le dossier partagé doit être disponible à l'emplacement indiqué : */mnt/dossierpartage*.



Ressource publiée sur Culture Sciences de l'Ingénieur : <https://sti.eduscol.education.fr/si-ens-paris-saclay>

Mise en œuvre de ROS2 pour le contrôle d'une voiture CoVAPSy simulée sous Webots et réelle

Anthony JUTON¹ - Sergio RODRIGUEZ²
Jules FARNAULT³ - Mathis GOUPILLON³

Édité le
03/02/2026

école _____
normale _____
supérieure _____
paris-saclay _____

¹ Professeur agrégé à l'ENS Paris Saclay, DER Sciences de l'Ingénierie Électrique et Numérique

² Maître de conférences au laboratoire SATIE, ENS Paris Saclay

³ Elève normalien à l'ENS Paris Saclay, DER Sciences de l'Ingénierie Électrique et Numérique

Cette ressource fait partie du N° 118 de La Revue 3EI du premier trimestre 2026.

Cette ressource fait suite à la ressource « ROS2 : bibliothèques et outils pour le développement logiciel en robotique » [1]. Pour les étudiants participant à la course de voitures autonomes de Paris Saclay CoVAPSy [13], elle guide dans la mise en œuvre de ROS2 pour la conduite d'une voiture réelle ou simulée sous Webots. Pour les autres, c'est un exemple de mise en œuvre de ROS2 pour le contrôle d'un robot réel contrôlé par Raspberry Pi et simulé sous Webots. Webots fournit un autre exemple d'utilisation de ROS2 sur un robot, pour le contrôle d'un drone simulé [10].



Voiture autonome contrôlée par ROS2 ayant participé à la course de Paris-Saclay CoVAPSy

ROS2 est utilisé sur les voitures de la course CoVAPSy par plusieurs équipes pour plusieurs raisons :

- Les fournisseurs des capteurs fournissent les nœuds, écrits en C et optimisés, permettant l'acquisition des informations des capteurs (Slamtec fournit un nœud pour son LiDAR et Intel pour la caméra Realsense D435i notamment) ;
- Les fournisseurs de nano-ordinateurs embarqués (raspberry, nvidia, qualcomm) fournissent une implémentation de ROS2 fonctionnelle pour leurs cartes ;
- ROS2 est multiprocessing de par sa conception, ce qui permet d'utiliser au mieux les différents cœurs du microprocesseur du nano-ordinateur (RPI5 ou autre) ;
- Les messages ROS2 pouvant être transmis par IP, cela permet de superviser le fonctionnement de la voiture depuis un PC déporté, avec les outils de monitoring ROS2. Le nano-ordinateur n'a alors pas besoin d'une interface graphique, ce qui allège l'OS ;
- Les nœuds ROS2 peuvent être portés du simulateur vers la voiture simplement ;

- ROS2 étant très utilisé en robotique, on y trouve des nœuds permettant de mettre en œuvre des solutions avancées, comme le SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) utilisé par l'équipe Sorbonne Université [12].

1 - Mise en œuvre de ROS2 pour le contrôle d'une voiture 1/10^{ème} de type CoVAPSy

Cette partie présente la mise en place d'un contrôle simple de la voiture par ROS2, avec un nano-ordinateur Raspberry Pi et un LiDAR Slamtec S2. Un LiDAR (light detection and ranging) est un télémètre laser tournant, permettant d'obtenir en 2 ou 3D une cartographie des obstacles autour du véhicule.

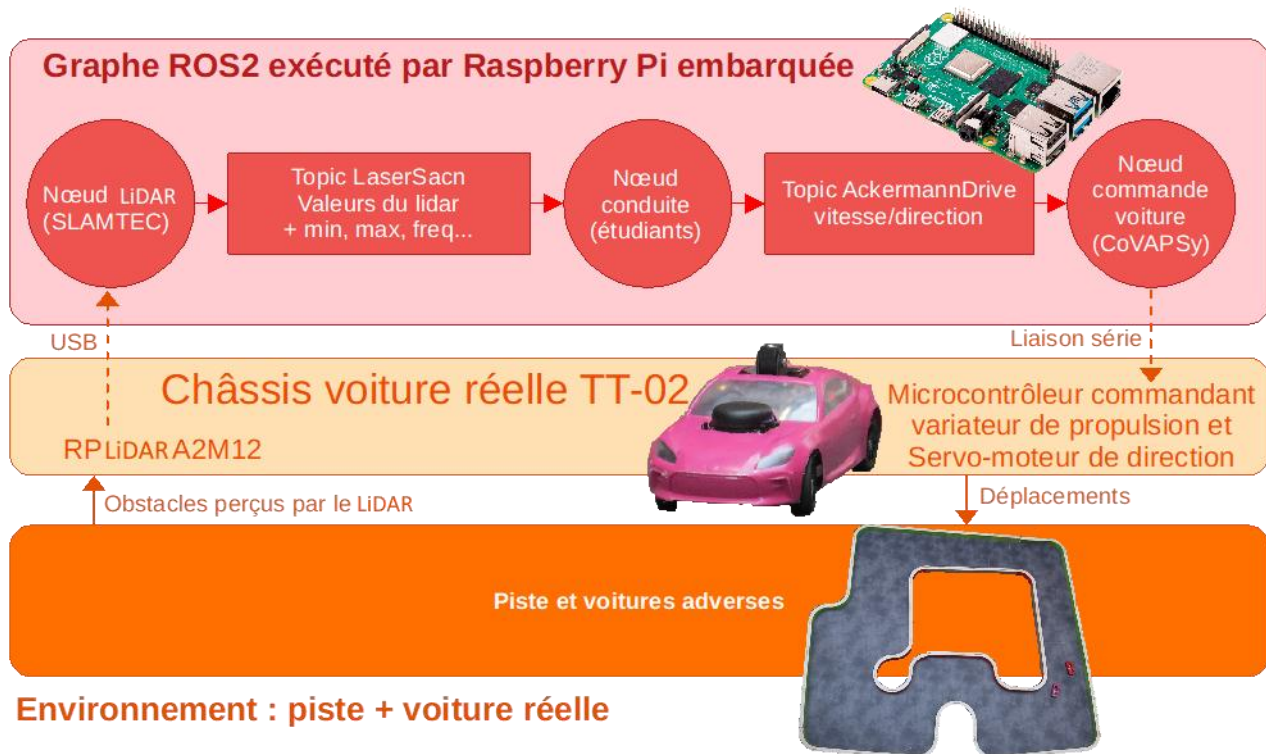


Figure 1 : Nœuds et topics ROS2 utilisés pour la conduite autonome de la voiture type CoVAPSy

1.1 - Installation ubuntu 24.04 server et ROS2 jazzy

La ressource « ROS2 : bibliothèques et outils pour le développement logiciel en robotique » [1] présente l'installation de ROS2 jazzy. Sur la raspberry Pi5, il est possible d'installer Ubuntu Desktop (avec la gourmande interface graphique gnome). Sinon, une version server, sans interface graphique est suffisante, ROS2 fournissant les outils pour le monitoring à distance.

Attention, un changement d'adresse de dépôt de ros2 a eu lieu (repo.ros2.org/ubuntu désormais), il faut peut-être modifier celle-ci dans `/etc/apt/sources.list.d/ros2.list` :

```
voituremaxime@voituremaxime:~/ros2_ws$ sudo nano /etc/apt/sources.list.d/ros2.list
```

```
voituremaxime@voituremaxime: ~/ros2_ws
```

```
GNU nano 7.2 /etc/apt/sources.list.d/ros2.list
```

```
deb [arch=arm64 signed-by=/usr/share/keyrings/ros-archive-keyring.gpg] http://repo.ros2.org/ubuntu noble main
```

La conduite de la voiture utilise des messages de type ackermannDrive, dont la définition est installable avec l'instruction :

```
sudo apt install ros-jazzy-ackermann-msgs
```

```
voituremaxime@voituremaxime:~/ros2_ws$ sudo apt install ros-jazzy-ackermann-msgs
```

1.2 - Nœud slamtec Rplidar

Pour utiliser le LiDAR Rplidar-S2 (ou le Rplidar-A2 très similaire) de Slamtec, on utilise le package `sllidar_ros2` [6]. Ce package a été créé par le constructeur et est donc optimisé pour fonctionner avec tous les LiDARs slamtec Rplidar. Il permet de lire les données du capteur et de les publier dans un topic nommé `/scan` sous le format `sensor_msgs/LaserScan` [7].

L'intérêt est que ce nœud a été écrit en C++ et compilé, il est plus rapide que les nœuds en python. Ainsi il permet de suivre la cadence de 1Mbps/s imposé par le Rplidar S2. Ces données peuvent ensuite être utilisées pour cartographier l'environnement et pour localiser la voiture.

Installation du package `rplidar_ros`

Pour installer le package `rplidar_ros` (via le paquet linux `sllidar_ros2`), suivre les instructions fournies par Slamtec [6].

Compile & Install `sllidar_ros2` package

1. Clone `sllidar_ros2` package from github

Ensure you're still in the `ros2_ws/src` directory before you clone:

```
git clone https://github.com/Slamtec/sllidar_ros2.git
```

Figure 2 : extrait de la section installation du dépôt git du nœud ROS2 pour Rplidar

La section installation propose :

- De se placer dans le dossier `src` du dossier de travail : `cd ~/ros2_ws/src`
- D'y copier les fichiers source du nœud :
`git clone -b ros2 https://github.com/Slamtec/rplidar_ros.git`
- Depuis le dossier de travail `ros2_ws`, compiler le nœud :
`source ./install/setup.bash` puis `colcon build --symlink-install`

Quelques warnings apparaissent :

```
voituremaxime@voituremaxime:~/ros2_ws/src$ git clone -b ros2 https://github.com/Slamtec/rplidar_ros.git
Cloning into 'rplidar_ros'...
remote: Enumerating objects: 1240, done.
remote: Counting objects: 100% (627/627), done.
remote: Compressing objects: 100% (172/172), done.
remote: Total 1240 (delta 540), reused 455 (delta 455), pack-reused 613 (from 2)
Receiving objects: 100% (1240/1240), 647.66 KiB | 1.60 MiB/s, done.
Resolving deltas: 100% (823/823), done.
voituremaxime@voituremaxime:~/ros2_ws/src$ cd ..
voituremaxime@voituremaxime:~/ros2_ws$ source ./install/setup.bash
voituremaxime@voituremaxime:~/ros2_ws$ colcon build --symlink-install
Starting >>> rplidar_ros
--- stderr: rplidar_ros
/home/voituremaxime/ros2_ws/src/rplidar_ros/sdk/src/arch/linux/net_serial.cpp: In member function 'bool rp::arch::net::raw
/home/voituremaxime/ros2_ws/src/rplidar_ros/sdk/src/arch/linux/net_serial.cpp:97:74: warning: unused parameter 'flags' [-W
  97 | bool raw_serial::open(const char * portname, uint32_t baudrate, uint32_t flags)
      |                                     ^~~~~~
Finished <<< rplidar_ros [23.9s]

Summary: 1 package finished [24.1s]
1 package had stderr output: rplidar_ros
```

Le package `rplidar_ros2` nécessite des permissions en lecture et en écriture pour le port série. Pour lui ajouter ses permissions, on utilise la commande suivante :

```
sudo chmod 777 /dev/ttyUSB0
```

On peut également éviter ce changement de permissions nécessaire à chaque connexion sur le port série en ajoutant l'utilisateur dans le groupe DIALOUT et en redémarrant la session (ou en redémarrant le nano-ordinateur).

```
sudo usermod -aG dialout $USER
```

```
voituremaxime@voituremaxime:~/ros2_ws$ sudo usermod -aG dialout $USER
```

```
voituremaxime@voituremaxime:~/ros2_ws$ sudo reboot
```

Utilisation du package rplidar_ros2

Pour utiliser le package rplidar_ros2, on utilise, comme indiqué dans les instructions du dépôt, les commandes suivantes (en remplaçant nom du LiDAR par a2, a3 ou s2):

- `ros2 launch rplidar_ros view_rplidar_<nom du LiDAR>_launch.py`
- `ros2 launch rplidar_ros rplidar_<nom du LiDAR>_launch.py`

Les deux commandes permettent de d'exécuter le nœud du capteur et publier les données dans le topic /scan. La première ajoute l'ouverture de Rviz2 pour avoir un affichage graphique des données du capteur, ce qui fonctionne uniquement si le nano-ordinateur dispose d'un environnement graphique.

Il est possible d'avoir certains problèmes lors de l'utilisation du package. La principale erreur est un arrêt du LiDAR au bout d'une dizaine de secondes, dû au mode de scan utilisé. Il est possible de revenir à un fonctionnement plus stable en modifiant le fichier launch correspondant au LiDAR, en remplaçant la ligne suivante :

```
scan_mode = LaunchConfiguration('scan_mode', default='DenseBoost')
```

par :

```
scan_mode = LaunchConfiguration('scan_mode', default='Standard')
```

Le LiDAR utilise alors, avec robustesse, le mode 'Standard' à son prochain lancement.

On peut observer les messages publiés par le LiDAR dans une 2nde console, en utilisant les commandes suivantes :

```
ros2 topic list
ros2 topic echo /scan
```

```
voituremaxime@voituremaxime:~/ros2_ws$ ros2 launch rplidar_ros rplidar_s2_launch.py
[INFO] [launch]: All log files can be found below /home/voituremaxime/.ros/log/2026-01-22-00-15-50-856487-voituremaxime-3032
[INFO] [launch]: Default logging verbosity is set to INFO
[INFO] [rplidar_node-1]: process started with pid [3036]
[rplidar_node-1] [INFO] [1769040950.994800993] [rplidar_node]: RPLidar running on ROS2 package rplidar_ros. RPLIDAR SDK Version:2.1.0
[rplidar_node-1] [INFO] [1769040951.011953632] [rplidar_node]: RPLidar S/N: AADDEC8C4E699D7B8EB99F926024717
[rplidar_node-1] [INFO] [1769040951.012007076] [rplidar_node]: Firmware Ver: 1.01
[rplidar_node-1] [INFO] [1769040951.012027836] [rplidar_node]: Hardware Rev: 18
[rplidar_node-1] [INFO] [1769040951.013766612] [rplidar_node]: RPLidar health status : 0
[rplidar_node-1] [INFO] [1769040951.013801631] [rplidar_node]: RPLidar health status : OK.
[rplidar_node-1] [INFO] [1769040951.015755463] [rplidar_node]: Start
[rplidar_node-1] [INFO] [1769040951.180077574] [rplidar_node]: current scan mode: DenseBoost, sample rate: 32 Khz, max_distance: 30.0
[rplidar_node-1] [INFO] [1769040953.301341506] [rplidar_node]: set lidar scan frequency to 10.0 Hz(600.0 Rpm)
```

```

^Cvoituremaxime@voituremaxime:~/ros2_ws$ ros2 topic list
/clicked_point
/goal_pose
/initialpose
/parameter_events
/rosout
/scan
/tf
/tf_static
voituremaxime@voituremaxime:~/ros2_ws$ ros2 topic echo /scan
header:
  stamp:
    sec: 1769041086
    nanosec: 346143364
  frame_id: laser
angle_min: -3.1241390705108643
angle_max: 3.1415927410125732
angle_increment: 0.0019344649044796824
time_increment: 3.049539191124495e-05
scan_time: 0.09877457469701767
range_min: 0.15000000596046448
range_max: 30.0
ranges:
- 0.5989999771118164
- 0.6050000190734863
- 0.6060000061988831
- 0.6070000001106755

```

1.3 - Création du nœud de commande de la voiture

Le nœud de commande de la voiture, comme indiqué sur la Figure 1, reçoit un topic de type AckermannDrive et envoie ensuite les consignes de vitesse et direction au microcontrôleur via la liaison USB-série.

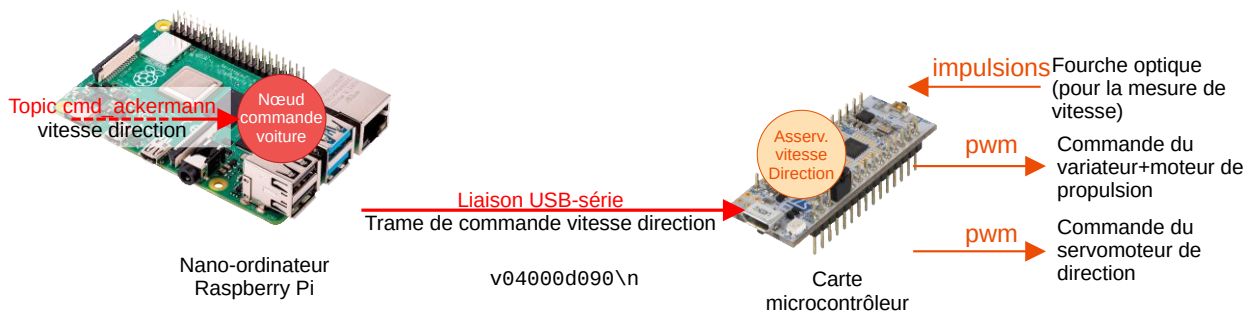


Figure 3 : Messages impliqués dans la transmission des consignes de vitesse et direction du topic ROS jusqu'aux moteurs

Ackermann fait référence à une modélisation des véhicules automobiles classiques. Le topic `cmd_ackermann`, de type `AckermannDrive`, contient 5 informations, dont seulement 2 (steering angle et speed) seront utilisées dans cette ressource :

- float32 steering_angle # consigne d'angle de direction (radians)
- float32 steering_angle_velocity # consigne de vitesse de direction (radians/s)
- float32 speed # consigne de vitesse (m/s)
- float32 acceleration # consigne d'accélération (m/s²)
- float32 jerk # consigne de jerk (m/s³)

La trame envoyée au microcontrôleur dépend du code de réception implantée dans le microcontrôleur. Ici, a été choisie la forme d'une trame ASCII (plus facile à lire pour le débogage) avec le format suivant : « v12345d678\r ».

- 'v' marque le début de la trame,

- 12345 est un nombre entier sur 5 chiffres indiquant la consigne de vitesse en mm.s^{-1} avec un offset de 4000 (04000 correspond à 0 m.s^{-1} , 05000 correspond à 1 m.s^{-1} et 03000 correspond à 1 m.^{-1} en marche arrière).
- 'd' marque la transition entre les consignes de vitesse et de direction
- 678 est un nombre entier sur 3 chiffres indiquant la consigne de direction en degré, avec un offset de 90° (072 correspond à une consigne de -18° donc la rotation maximale dans le sens horaire, vers la droite et 108 correspond à une consigne de $+18^\circ$ donc la rotation dans le sens trigonométrique, vers la gauche.
- '\r' est le caractère de « retour chariot » indiquant la fin de la transmission.

La trame envoyée au repos est donc « v04000d090\r ». Le très léger logiciel *minicom* (`sudo apt install minicom`) permet de tester l'envoi des commandes par la liaison USB-série.

Création du paquet monPaquetCoVAPSyR

L'instruction suivante, comme indiqué dans le tutoriel *ros2/jazzy*, crée le paquet ROS2 *monPaquetCoVAPSyR* et le nœud *CoVAPSy_cmdR* avec l'ajout en dépendance des messages *ackermann*. Il faut l'exécuter depuis le dossier *ros2_ws/src*, où sont réunis les paquets personnels.

```
ros2 pkg create --build-type ament_python --license Apache-2.0 --node-name CoVAPSy_cmdR monPaquetCoVAPSyR --dependencies rclpy geometry_msgs ackermann_msgs
```

Codage du nœud de commande de la voiture

Coder le nœud de commande de la voiture, en remplissant le fichier *CoVAPSy_cmdR.py* situé dans le dossier *ros2_ws/src/monPaquetCoVAPSyR/monPaquetCoVAPSyR* avec le code suivant (disponible aussi en annexe). Pour faciliter l'édition des fichiers distants, il est possible d'utiliser le mode remote de VsCode (avec le plugin *remote-ssh*).

```
from ackermann_msgs.msg import AckermannDrive

import rclpy
from rclpy.node import Node

import serial as s

port_serie = s.Serial(port='/dev/ttyACM0', baudrate=115200, bytesize=8, parity='N',
                      stopbits=1, timeout=None, write_timeout=None,
                      xonxoff=False, rtscts=False, dsrdtr=False)

class NoeudCommande(Node):
    def __init__(self):
        super().__init__('CoVAPSy_cmdR')
        self.__vitesse_m_s = 0.0
        self.__direction_degre = 0
        self.create_subscription(AckermannDrive, 'cmd_ackermann', self.__cmd_ackermann_callback, 1)
        self.get_logger().info('noeud cree')

    def __cmd_ackermann_callback(self, message):
        self.__vitesse_m_s = message.speed
        self.__direction_degre = message.steering_angle
        if self.__direction_degre > 25:
            self.__direction_degre = 25
        elif self.__direction_degre < -25:
            self.__direction_degre = -25
        try:
            direction = int(float(90 + self.__direction_degre))
        except:
            self.get_logger().warn('Bug direction:{},{}'.format(direction, type(direction)))
        vitesse = int(4000 + self.__vitesse_m_s*1000) # 4000 vitesse nulle
        port_serie.write(str.encode('v{0:05}d{1:03}\r'.format(vitesse, direction)))
        self.get_logger().info('v{0:05}d{1:03}'.format(vitesse, direction))
```

```
def main(args=None):
    rclpy.init(args=args)
    noeud = NoeudCommande()
    rclpy.spin(noeud)
    rclpy.shutdown()

if __name__ == '__main__':
    main()
```

Après l'initialisation du port série, la fonction constructeur `__init__()` crée les attributs privés de l'objet, dont `self.__vitesse_m_s` et `self.__direction_degre`, crée le nœud et le fait souscrire au topic `/cmd_ackermann` (le topic utilisé par le nœud de conduite pour transmettre les consignes de vitesse et direction).

A chaque réception d'un message du topic `/cmd_ackermann`, la fonction `__cmd_ackermann_callback()` est appelée et les valeurs des attributs `self.__vitesse_m_s` et `self.__direction_degre` y sont mises à jour puis envoyées au moteur de propulsion (`vitesse_m_s`) et au moteur de direction (`direction_degre`).

Déclaration des fichiers ajoutés au projet

Dans `ros2_ws/src/monPaquetCoVAPSyR/setup.py`, ajouter les liens vers les nœuds nécessaires. Le fichier est aussi donné en annexe [14], il faut juste mettre en commentaire, pour l'instant, la ligne concernant le nœud de conduite

```
from setuptools import find_packages, setup

package_name = 'monPaquetCoVAPSyR'

setup(
    name=package_name,
    version='0.0.0',
    packages=find_packages(exclude=['test']),
    data_files=[
        ('share/ament_index/resource_index/packages',
         ['resource/' + package_name]),
        ('share/' + package_name, ['package.xml']),
    ],
    install_requires=['setuptools'],
    zip_safe=True,
    maintainer='voituremaxime',
    maintainer_email='voituremaxime@todo.todo',
    description='TODO: Package description',
    license='Apache-2.0',
    tests_require=['pytest'],
    entry_points={
        'console_scripts': [
            'CoVAPSy_cmdR = monPaquetCoVAPSyR.CoVAPSy_cmdR:main'
            # 'CoVAPSy_conduiteR = monPaquetCoVAPSyR.CoVAPSy_conduiteR:main'
        ],
    },
)
```

Test du nœud CoVAPSy_cmdR

Une fois le nœud créé, il est possible de tester sa syntaxe :

```
colcon test-result --all --verbose
```

Le nœud testé et le paquet configuré dans `setup.py`, on construit le paquet et on lance le nœud, depuis le dossier `ros2_ws` :

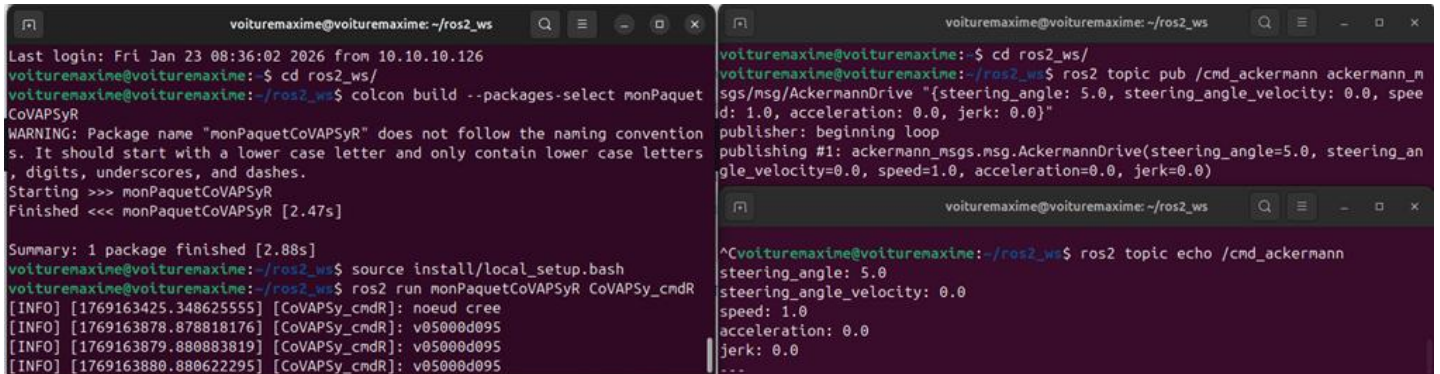
```
colcon build --packages-select monPaquetCoVAPSyR
source install/local_setup.bash
ros2 run monPaquetCoVAPSyR CoVAPSy_cmdR
```

Pour tester le bon fonctionnement, il est possible d'envoyer des messages avec consignes de vitesse et de direction sur le topic `/cmd_ackermann` auquel le nœud `CoVAPSy_cmd` est abonné.

```
ros2 topic pub /cmd_ackermann ackermann_msgs/msg/AckermannDrive
"{steering_angle: 5.0, steering_angle_velocity: 0.0, speed: 1.0,
acceleration: 0.0, jerk: 0.0}"
```

Dans une nouvelle console, on affiche également, en guise de monitoring, les messages du topic `/cmd_ackermann` avec la commande :

```
ros2 topic echo /cmd_ackermann
```



```
voituremaxime@voituremaxime:~/ros2_ws
Last login: Fri Jan 23 08:36:02 2026 from 10.10.10.126
voituremaxime@voituremaxime:~$ cd ros2_ws/
voituremaxime@voituremaxime:~/ros2_ws$ colcon build --packages-select monPaquetCoVAPSyR
WARNING: Package name "monPaquetCoVAPSyR" does not follow the naming convention
s. It should start with a lower case letter and only contain lower case letters
, digits, underscores, and dashes.
Starting >>> monPaquetCoVAPSyR
Finished <<< monPaquetCoVAPSyR [2.47s]

Summary: 1 package finished [2.88s]
voituremaxime@voituremaxime:~/ros2_ws$ source install/local_setup.bash
voituremaxime@voituremaxime:~/ros2_ws$ ros2 run monPaquetCoVAPSyR CoVAPSy_cmdR
[INFO] [1769163425.348625555] [CoVAPSy_cmdR]: noeud cree
[INFO] [1769163878.878818176] [CoVAPSy_cmdR]: v05000d095
[INFO] [1769163879.880883819] [CoVAPSy_cmdR]: v05000d095
[INFO] [1769163880.880622295] [CoVAPSy_cmdR]: v05000d095

voituremaxime@voituremaxime:~/ros2_ws$ ros2 topic pub /cmd_ackermann ackermann_m
sgs/msg/AckermannDrive "{steering_angle: 5.0, steering_angle_velocity: 0.0, spee
d: 1.0, acceleration: 0.0, jerk: 0.0}"
publisher: beginning loop
publishing #1: ackermann_msgs.msg.AckermannDrive(steering_angle=5.0, steering_an
gle_velocity=0.0, speed=1.0, acceleration=0.0, jerk=0.0)

voituremaxime@voituremaxime:~/ros2_ws$ ros2 topic echo /cmd_ackermann
steering_angle: 5.0
steering_angle_velocity: 0.0
speed: 1.0
acceleration: 0.0
jerk: 0.0
---
```

La voiture répond bien aux commandes du topic `/cmd_ackermann`, le nœud de commande est fonctionnel.

1.4 - Création du nœud de conduite

Le nœud d'acquisition des données LiDAR et le nœud de commande étant fonctionnels, il reste à créer le nœud de conduite où sera codé l'algorithme de contrôle de la voiture. Ce nœud est abonné au topic de type `LaserScan` (nommé `/scan`) du LiDAR et émet le topic de type `AckermannDrive` (nommé `/cmd_ackermann`) destiné à commander le véhicule.

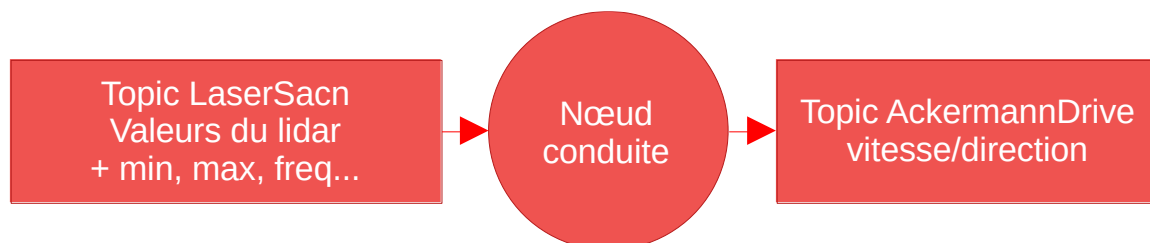


Figure 4 : Topics reçus et émis par le nœud conduite

Pour faire simple, l'algorithme de conduite est extrêmement simple : la vitesse est de $0,5 \text{ m.s}^{-1}$ et la direction est proportionnelle à la différence entre la distance à l'obstacle à gauche et la distance à l'obstacle à droite.

```
Vitesse = 0,5
Direction = tableauDesValeursLidar[indexAngle 60°] - tableauDesValeursLidar[indexAngle -60°]
```

Ajouter un fichier `CoVAPSy_conduiteR.py` au dossier `ros2_ws/src/monPaquetCoVAPSyR/monPaquetCoVAPSyR` et y copier le contenu suivant (le fichier est aussi fourni en annexe).

```
cd src/monPaquetCoVAPSyR/monPaquetCoVAPSyR/
nano CoVAPSy_conduite.py
```

```
import rclpy
from ackermann_msgs.msg import AckermannDrive
from sensor_msgs.msg import LaserScan
from rclpy.node import Node
```

```

class Noeudconduite(Node):
    def __init__(self):
        super().__init__('CoVAPSy_conduiteR')
        # ROS interface
        self.__ackermann_publisher = self.create_publisher(AckermannDrive, 'cmd_ackermann', 1)
        self.create_subscription(LaserScan, 'scan', self.__on_lidar_acquisition, 1)
        self.get_logger().info('noeud cree')

    def __on_lidar_acquisition(self, message):
        tableauLidar = list(message.ranges)
        self.get_logger().info(f'60 {tableauLidar[533]:.2f} et -60 {tableauLidar[2666]:.2f}')
        command_message = AckermannDrive()
        command_message.speed = 1.0
        try:
            command_message.steering_angle = 100 * (tableauLidar[533] - tableauLidar[2666])
        except IndexError:
            command_message.steering_angle = 0.0
        if command_message.steering_angle > 18.0:
            command_message.steering_angle = 18.0
        if command_message.steering_angle < -18.0:
            command_message.steering_angle = -18.0
        self.__ackermann_publisher.publish(command_message)
        self.get_logger().info(f'v={command_message.speed:.2f} m/s,d= {command_message.steering_angle:.2f} rad')

def main(args=None):
    rclpy.init(args=args)
    noeud = Noeudconduite()
    rclpy.spin(noeud)
    rclpy.shutdown()

if __name__ == '__main__':
    main()

```

La fonction constructeur `__init__()` crée le nœud, crée le topic `/cmd_ackermann` pour publier les consignes de vitesse et direction et souscrit au topic `/scan` où publie le LiDAR.

Grâce à cette souscription, quand un message est publié par le LiDAR, la fonction `__on_lidar_acquisition()` s'exécute. Les 3200 données de distance (en m) acquises sur un tour (attribut `range` du message) sont stockées dans un tableau. Sont utilisées dans cet exemple très simple seulement la valeur à 60° (devant à gauche, index 533 du tableauLidar) et devant à droite (index 2666 du tableauLidar). On crée ensuite un message de type `AckermannDrive` dont on met l'attribut vitesse à 1 et la direction proportionnelle à la différence des deux distances citées ci-dessus, ce qui est suffisant pour une conduite simple. Le message est ensuite publié.

Une fois le nœud enregistré, il faut l'ajouter au fichier `setup.py`.

```

entry_points={
    'console_scripts': [
        'CoVAPSy_cmdR = monPaquetCoVAPSyR.CoVAPSy_cmdR:main'
        'CoVAPSy_conduiteR = monPaquetCoVAPSyR.CoVAPSy_conduiteR:main'
    ],
}

```

On peut alors tester et construire le nœud et le lancer pour vérifier qu'il s'exécute.

```

cd
cd ros2_ws/
colcon test-result --all --verbose
colcon build --packages-select monPaquetCoVAPSyR
source install/local_setup.bash
ros2 run monPaquetCoVAPSyR CoVAPSy_conduiteR

```

1.5 - Test de la conduite du véhicule

Les trois nœuds construits, il est possible de tester la conduite du véhicule, en ouvrant trois consoles pour lancer les trois nœuds.

```
ros2 launch rplidar_ros rplidar_s2_launch.py
ros2 run monPaquetCoVAPSyR CoVAPSy_cmdR
ros2 run monPaquetCoVAPSyR CoVAPSy_conduiteR
```

```
voituremaxime@voituremaxime:~/ros2_ws$ ros2 launch rplidar_ros rplidar_s2_launch.py
[INFO] [launch]: All log files can be found below /home/voituremaxime/.ros/log/2026-01-23-18-23-34-993057-voituremaxime-1941
[INFO] [launch]: Default logging verbosity is set to INFO
[INFO] [rplidar_node-1]: process started with pid [1945]
[rplidar_node-1] [INFO] [1769192615.297084857] [rplidar_node]: RPLidar running on ROS2 package rplidar_ros. RPLIDAR SDK Version:2.1.0
[rplidar_node-1] [INFO] [1769192615.319811768] [rplidar_node]: RPLidar S/N: AADDECF8C4E699D7B8EB99F926024717
[rplidar_node-1] [INFO] [1769192615.319872324] [rplidar_node]: Firmware Ver: 1.01
[rplidar_node-1] [INFO] [1769192615.319891714] [rplidar_node]: Hardware Rev: 18
[rplidar_node-1] [INFO] [1769192615.321662913] [rplidar_node]: RPLidar health status : 0
[rplidar_node-1] [INFO] [1769192615.321706914] [rplidar_node]: RPLidar health status : OK.
[rplidar_node-1] [INFO] [1769192615.323682653] [rplidar_node]: Start
[rplidar_node-1] [INFO] [1769192615.488054687] [rplidar_node]: current scan mode: DenseBoost, sample rate: 32 KHz, max_distance: 30.0 m, scan frequency:10.0 Hz,
[rplidar_node-1] [INFO] [1769192617.584301389] [rplidar_node]: set lidar scan frequency to 10.0 Hz(600.0 Rpm)

voituremaxime@voituremaxime:~/ros2_ws$ ros2 run monPaquetCoVAPSyR CoVAPSy_cmdR
[INFO] [1769194538.296225057] [CoVAPSy_cmdR]: noeud cree
[INFO] [1769194538.331432892] [CoVAPSy_cmdR]: v05000d108
[INFO] [1769194538.430866758] [CoVAPSy_cmdR]: v05000d108

voituremaxime@voituremaxime:~/ros2_ws$ ros2 run monPaquetCoVAPSyR CoVAPSy_conduiteR
[INFO] [17694535.928949101] [CoVAPSy_conduiteR]: noeud cree
[INFO] [17694535.932627743] [CoVAPSy_conduiteR]: 60 1.52 et -60 0.22
[INFO] [17694535.933354804] [CoVAPSy_conduiteR]: v = 1.00 m/s, dir = 18.00 rad
[INFO] [17694536.033023690] [CoVAPSy_conduiteR]: 60 1.52 et -60 0.22
```

La voiture parcourt la piste ou un couloir.

1.6 - Utilisation d'un PC stationnaire pour la visualisation et le monitoring et/ou le calcul déporté

Les messages ROS2 pouvant utiliser UDP pour être transmis, il est possible de déporter le nœud de conduite sur un PC stationnaire plus puissant. Pour cela, le PC doit être sur le même réseau wifi que la voiture, avoir la même version de ROS2 et utiliser le même `ROS_DOMAIN_ID`.

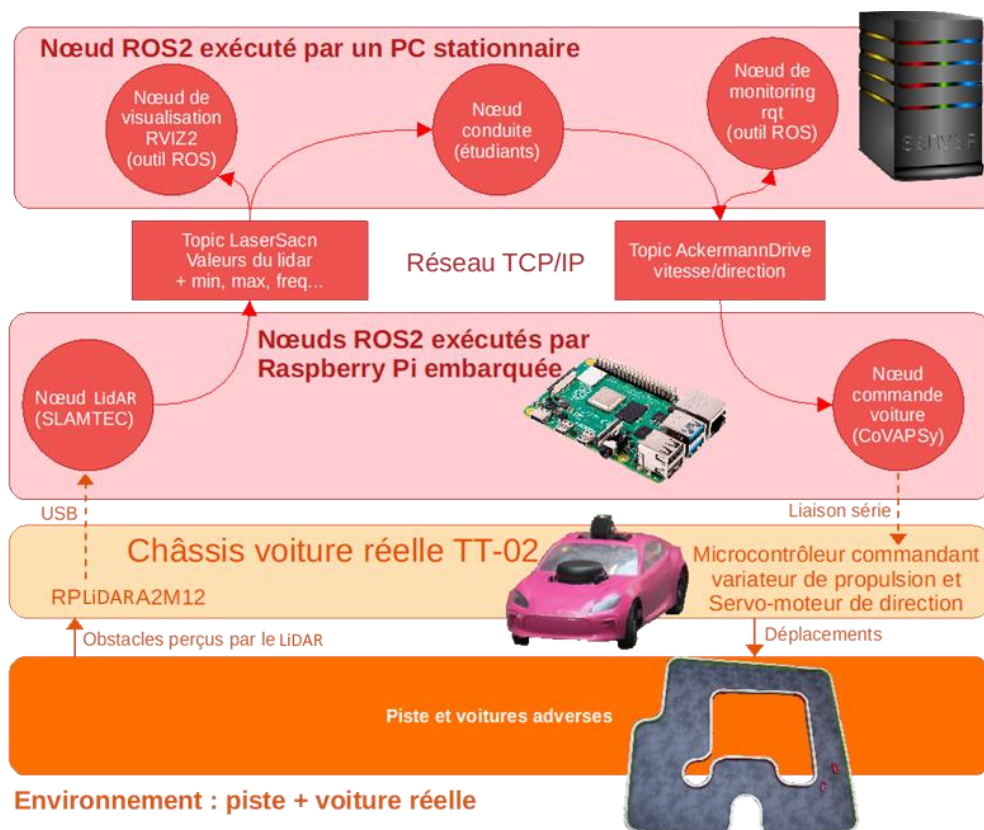


Figure 5 : Nœuds et topic ROS2 dans le cas d'un contrôle déporté et d'un monitoring déporté

Quel que soit la machine sur laquelle est exécuté le nœud de conduite, il est possible d'utiliser le PC stationnaire pour le monitoring avec les outils ROS2 : *rviz* et *rqt*. Cela a l'intérêt notamment de dispenser le nano-ordinateur d'un environnement graphique, ce qui améliore ses performances, tout en permettant de superviser le bon fonctionnement.

Commencer par vérifier que la voiture et le PC stationnaire sont dans le même réseau (ip a pour afficher l'adresse IP) et ont le même *ROS_DOMAIN_ID* (*echo \$ROS_DOMAIN_ID* pour l'afficher).

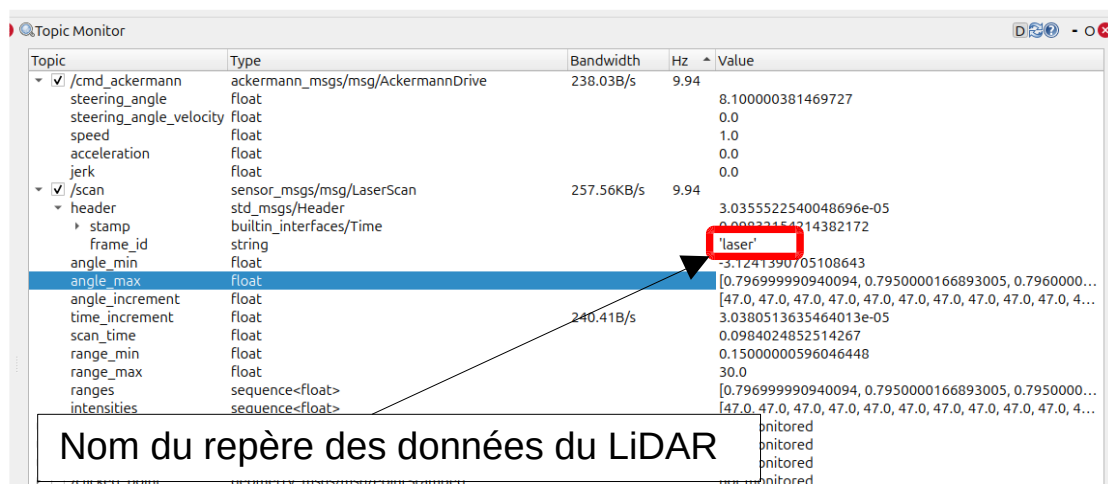
```
voituremaxine@voituremaxine:~/ros2_ws$ ip a
3: wlan0: <BROADCAST,MULTICAST,UP,LOWER_UP> mtu 1500 qdisc
link/ether 2c:cf:67 brd ff:ff:ff:ff:ff:ff
inet 10.10.10.108/24 metric 600 brd 10.10.10.255 scope
valid_lft 82816sec preferred_lft 82816sec
voituremaxine@voituremaxine:~/ros2_ws$ echo $ROS_DOMAIN_ID
94

webotsros2@WebotsROS2:~$ ip a
2: enp0s3: <BROADCAST,MULTICAST,UP,LOWER_UP>
oup default qlen 1000
link/ether 08:00:27: brd ff:ff:ff
inet 10.10.10.111/24 brd 10.10.10.255 sco
webotsros2@WebotsROS2:~$ echo $ROS_DOMAIN_ID
94
```

Les nœuds exécutés sur la voiture, il est alors possible de lancer *rqt* sur le PC stationnaire :



Figure 6 : Graphe des nœuds ROS2 exécutés dans la voiture, affiché sur le PC stationnaire



Nom du repère des données du LiDAR

Figure 7 : Supervision des messages échangés dans la voiture sur les topics */cmd_ackermann* et */scan*, par *rqt* depuis le PC stationnaire

Pour afficher les données du LiDAR dans *rviz2*, il faut situer le LiDAR dans la carte. Pour un usage avancé, pour faire du SLAM par exemple, on situe le LiDAR par rapport à l'origine de la voiture et la voiture dans l'espace. Ici, juste pour afficher les données du LiDAR, on le place à l'origine. Le LiDAR est associé au repère (*frame_id* dans ROS2) '*laser*', comme l'indique la supervision du topic */scan* ci-dessus.

La commande ROS2 pour placer le repère *laser* à l'origine du monde (!) est la suivante :

```
ros2 run tf2_ros static_transform_publisher 0 0 0 0 0 0 laser world
```

```

webotsros2@WebotsROS2: ~$ rviz2
[INFO] [1769194470.168093484] [rviz2]: Stereo is NOT SUPPORTED
[INFO] [1769194470.168172798] [rviz2]: OpenGL version: 4.5 (GLSL 4.5)
[INFO] [1769194470.223439653] [rviz2]: Stereo is NOT SUPPORTED

webotsros2@WebotsROS2: ~$ rqt
QSocketNotifier: Can only be used with threads started with QThread
Wayland does not support QWindow::requestActivate()
Wayland does not support QWindow::requestActivate()
Wayland does not support QWindow::requestActivate()

webotsros2@WebotsROS2: ~$ ros2 run tf2_ros static_transform_publisher 0 0 0 0 0 laser world
[WARN] [1769193517.738837383] [{}]: Old-style arguments are deprecated; see --help for new-style arguments
[INFO] [1769193517.751164910] [static_transform_publisher_HFVppE16y0ZUbdHh]: Spinning until stopped - publishing transform
translation: ('0.000000', '0.000000', '0.000000')
rotation: ('0.000000', '0.000000', '0.000000', '1.000000')
from 'laser' to 'world'

```

Figure 8 : Consoles exécutées sur le PC stationnaires pour la supervision du comportement de la voiture avec rqt et rviz2

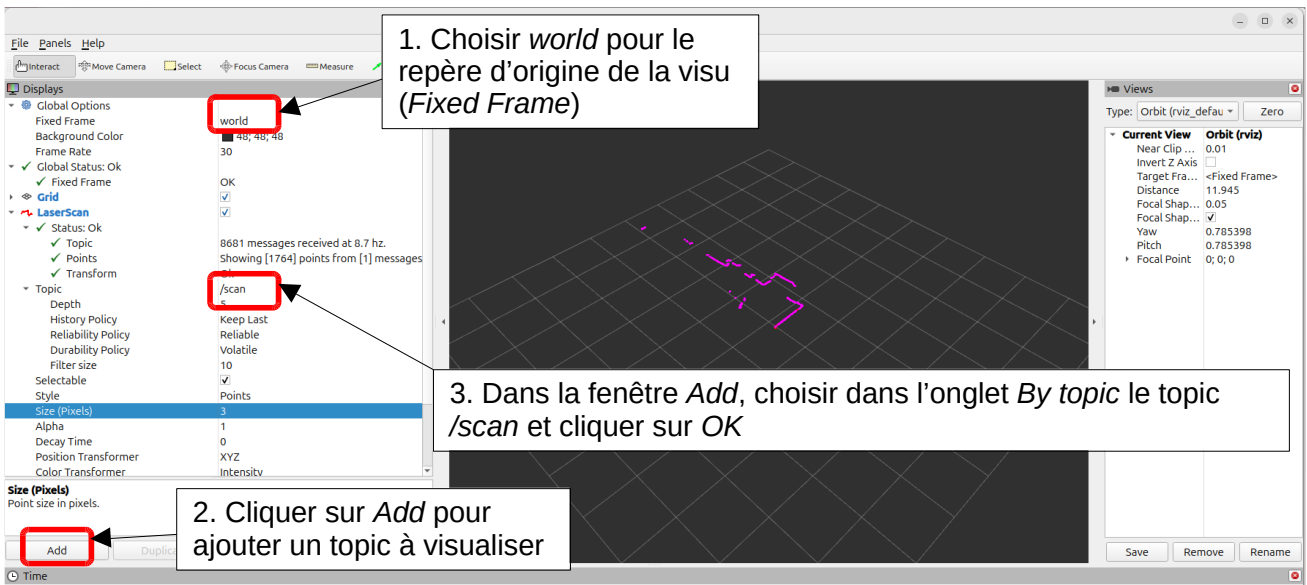


Figure 9 : Affichage des données du LiDAR de la voiture dans rviz2 depuis le PC stationnaire

2 - Mise en œuvre de ROS2 pour le contrôle d'une voiture 1/10^{ème} de type CoVAPSy simulée sous Webots

Pour développer les algorithmes de conduite sans les contraintes matérielles de la voiture (espace pour la piste, recharge des batteries...), il est intéressant de pouvoir travailler sur un simulateur. Cela devient indispensable lorsqu'on souhaite faire de l'apprentissage par renforcement [8], la voiture nécessitant un nombre d'essais et de chocs incompatible avec la robustesse de sa mécanique. Webots est le simulateur choisi pour sa popularité en robotique, sa facilité de mise en œuvre, et sa faculté à fonctionner sur un ordinateur sans carte graphique [2].

Webots peut être utilisé sans ROS2 pour simuler la voiture [2]. Cependant, si la voiture réelle est prévue pour fonctionner avec ROS2, simuler avec ROS2 est un atout important, très utilisé en robotique. Webots-ROS2 fournit un nœud rplidar émettant un topic similaire au nœud slamtec et le topic de type AckermannDrive est facilement accepté pour commander la voiture simulée. Le nœud de conduite sera alors identique de toute part au nœud de la voiture physique. Il est alors possible de développer ce nœud sur la voiture simulée pour ensuite le copier sur la voiture réelle.

Cette partie présente pas à pas l'installation de ROS2 pour webots, l'exploitation des messages LiDAR et l'écriture du nœud de commande pour mener à la conduite basique, avec le même nœud que dans la partie précédente.

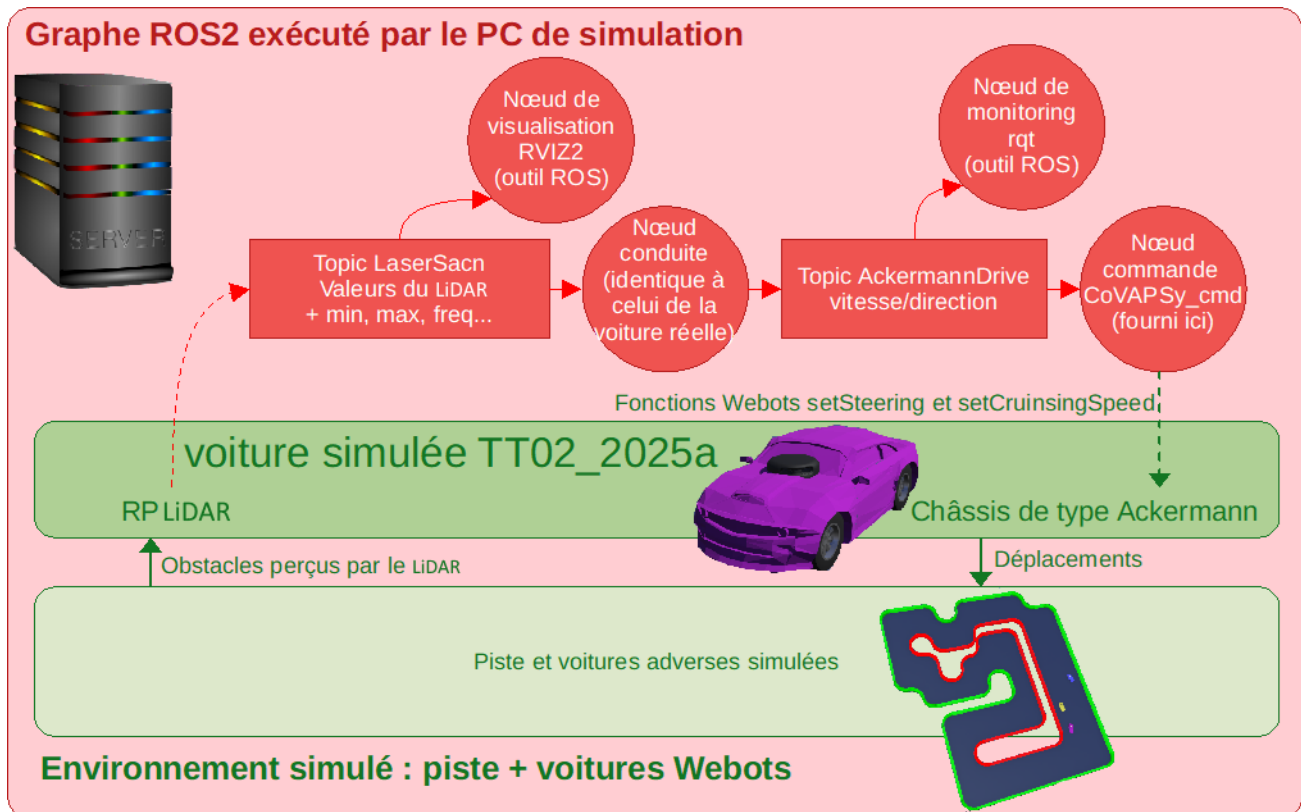


Figure 10 : Nœuds et topic ROS2 dans le cas de la conduite d'une voiture simulée sur webots

2.1 - Installation de webots R2025a

La ressource « *CoVAPSy : Mise en œuvre du simulateur Webots* » [2] permet de faire les premiers pas avec webots (attention elle a été écrite pour webots 2023a, quelques ajustements mineurs sont à prévoir pour fonctionner avec webots R2025a) et les voitures CoVAPSy.

Sur ubuntu 24 (sur une machine physique ou virtuelle), quelques paquets sont à installer avant webots :

```
sudo apt install make g++ ffmpeg libfreeimage3 libssh-dev libzip-dev
libxcb-xinerama0 libxcb-cursor0
```

Si un problème de dépendances persiste, la commande suivante résoud habituellement les soucis, avant de relancer la ligne d'installation précédente :

```
sudo apt --fix-broken install
```

Le paquet webots_2025a_amd64.deb se télécharge depuis la page d'accueil de webots et s'installe avec la commande suivante.

```
sudo dpkg -i webots_2025a_amd64.deb
```

Depuis le dépôt git de la course [9], copier le dossier *Simulateur_CoVAPSy_Webots2025a_Base.zip* (1,1 Mo), en extraire le contenu dans le dossier *Documents* par exemple. Depuis webots, ouvrir le monde (*Documents/Simulateur_CoVAPSy_Webots2025a_ROS2/worlds/Piste_CoVAPSy_2025a.wbt*) et tester le bon fonctionnement du simulateur.

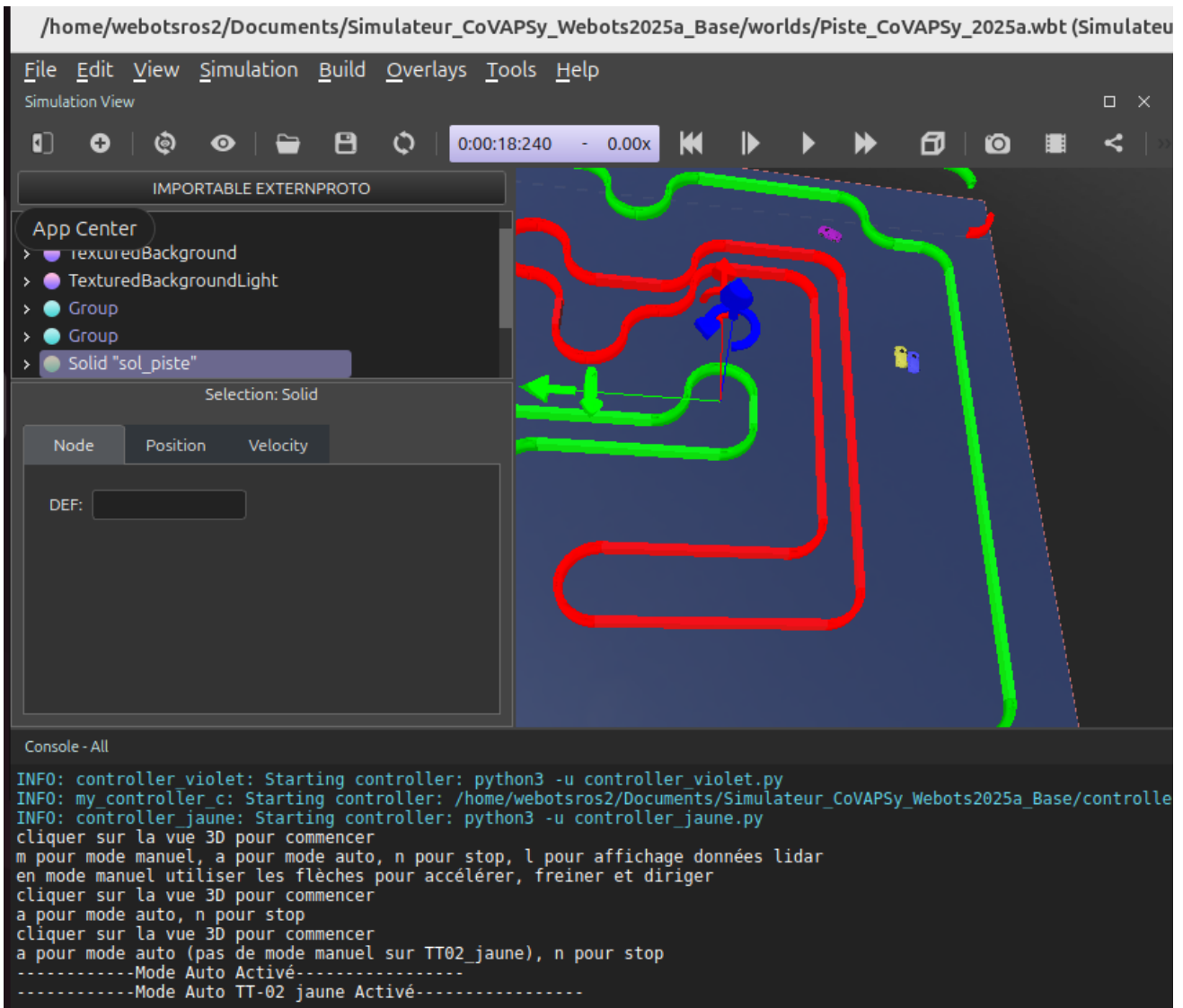


Figure 11 : Test du monde de base de la simulation CoVAPSy sous webots R2025a

2.2 - Suivi du tutoriel ros2 pour webots

Les liens [3], [4] et [5] permettent de prendre en main ROS2 pour webots.

The screenshot shows the ROS2 Jazzy tutorial page for 'Installation (Ubuntu)'. The page is divided into a sidebar and a main content area. The sidebar contains a list of tutorials, with 'Installation (Ubuntu)' selected. The main content area shows the tutorial title, a goal, and a list of contents.

Tutorials

- Beginner: CLI tools
- Beginner: Client libraries
- Intermediate
- Advanced
 - Enabling topic statistics (C++)
 - Using Fast DDS Discovery Server as discovery protocol [community-contributed]
 - Implementing a custom memory allocator
 - Ament Lint CLI Utilities
 - Unlocking the potential of Fast DDS middleware [community-contributed]
 - Improved Dynamic Discovery
 - Recording a bag from a node (C++)
 - Recording a bag from a node (Python)
 - Reading from a bag file (C++)
 - How to use ros2_tracing to trace and analyze an application
 - Creating an rtw implementation
- Simulators
 - Webots
 - Installation (Ubuntu)

Installation (Ubuntu)

You're reading the documentation for an older, but still supported, version of ROS. If you have a look at [Kilted](#).

Goal: Install the `webots_ros2` package and run simulation examples on Ubuntu.

Tutorial level: Advanced

Time: 10 minutes

Contents

- Background
- Prerequisites
 - Multiple Installations of Webots
- Tasks
 - 1 Install `webots_ros2`
 - 2 Launch the `webots_ros2_universal_robot` example

Background

Figure 12 : Copie d'écran de la page web du tutoriel ROS2 jazzy

Le tutoriel [3], onglet *Simulators/webots/Installation (Ubuntu)* donne les indications pour l'installation du paquet ROS2 pour webots et le lancement d'un exemple :

```
sudo apt-get install ros-jazzy-webots-ros2
source /opt/ros/jazzy/setup.bash
export WEBOTS_HOME=/usr/local/webots
cd ~/ros2_ws
source install/local_setup.bash
ros2 launch webots_ros2_universal_robot multirobot_launch.py
```

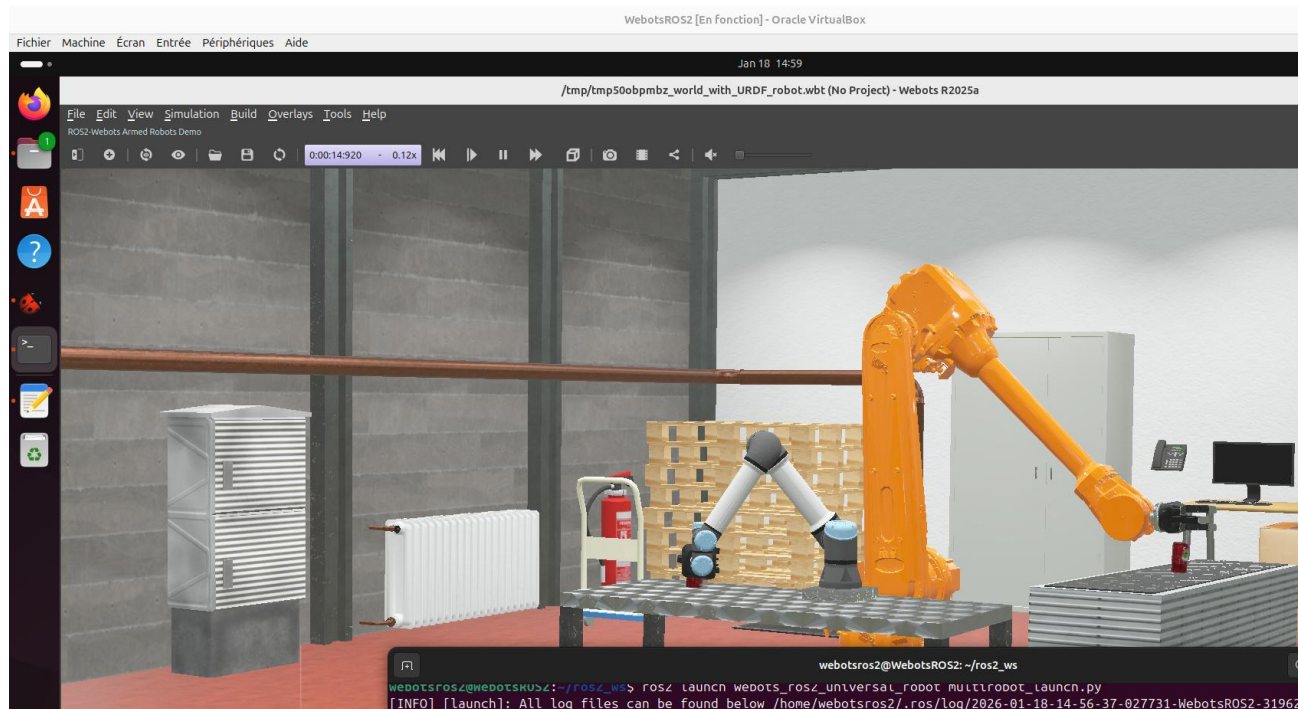


Figure 13 : Exemple ros2 pour webots

2.3 - Création du package et du nœud de commande de la voiture

ROS2 pour webots installé, il s'agit désormais de créer le package *monPaquetCoVAPSy* avec le monde associé et d'écrire le nœud de commande de la voiture. L'onglet *Setting up a robot simulation* du tutoriel enseigne cela.

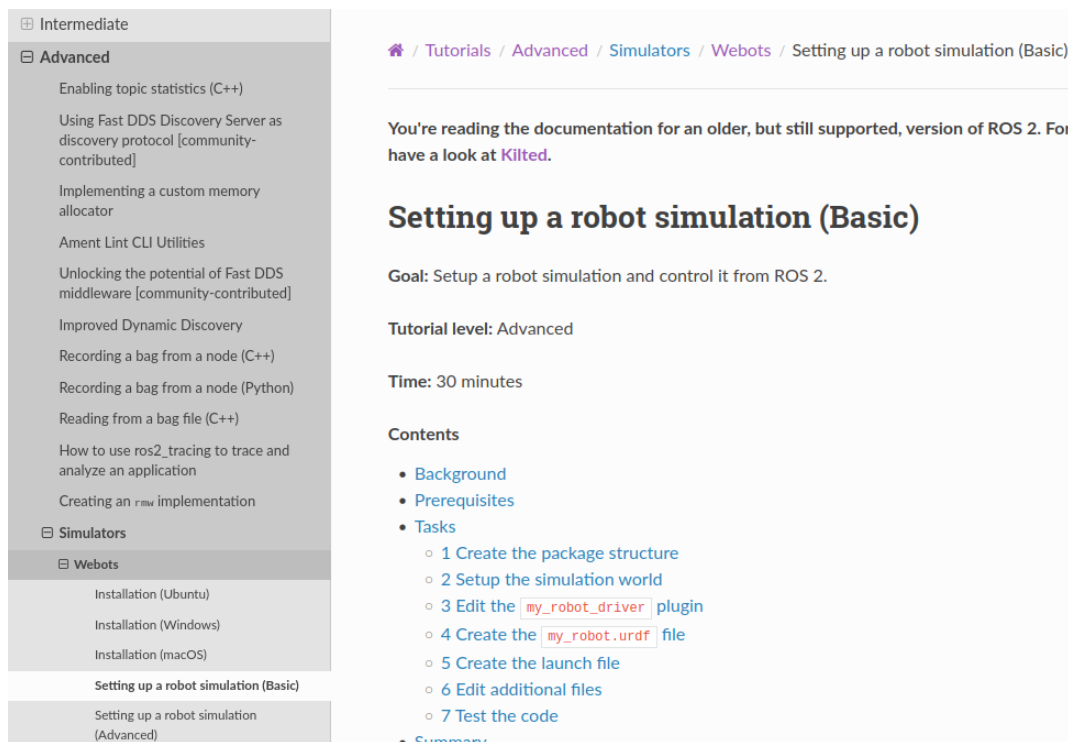


Figure 14 : Copie d'écran du tutoriel de création du package pour utiliser ros2 et un environnement webots

Création du paquet monPaquetCoVAPSy

L'instruction suivante, issue du tutoriel, avec l'ajout en dépendance des messages ackermann, crée le paquet ROS2 *monPaquetCoVAPSy* qui sera utile pour s'interfacer avec webots. Il faut l'exécuter depuis le dossier `ros2_ws/src`, où sont réunis les paquets personnels.

```
ros2 pkg create --build-type ament_python --license Apache-2.0 --node-name CoVAPSy_cmd monPaquetCoVAPSy --dependencies rclpy geometry_msgs webots_ros2_driver ackermann_msgs
```

Ajout du monde CoVAPSy au package

Ensuite, dans le dossier `ros2_ws/src/monPaquetCoVAPSy`, copier les dossiers *worlds*, *protos* et *controllers* du dossier *Simulateur_CoVAPSy_Webots2025a_Base_v2* disponible sur le dépôt git de la course [11] et en annexe de cette ressource.

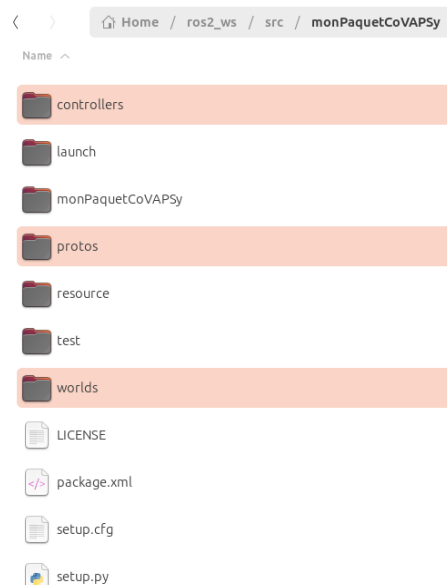


Figure 15 : Arborescence du dossier `ros2_ws/src/monPaquetCoVAPSy`

Lancer alors le logiciel webots et ouvrir le fichier monde suivant :

`ros2_ws/src/monPaquetCoVAPSy/worlds/Piste_CoVAPSy_2025a.wbt`

Dans l'arborescence du projet webots, au temps 0 et en pause, modifier le contrôleur de la voiture jaune pour un contrôleur externe (la voiture jaune n'est plus contrôlée par le programme python d'exemple) puis fermer webots. Depuis l'arborescence, supprimer également la voiture bleue, non utilisée ici. Enregistrer le monde (*File > Save World*) et fermer

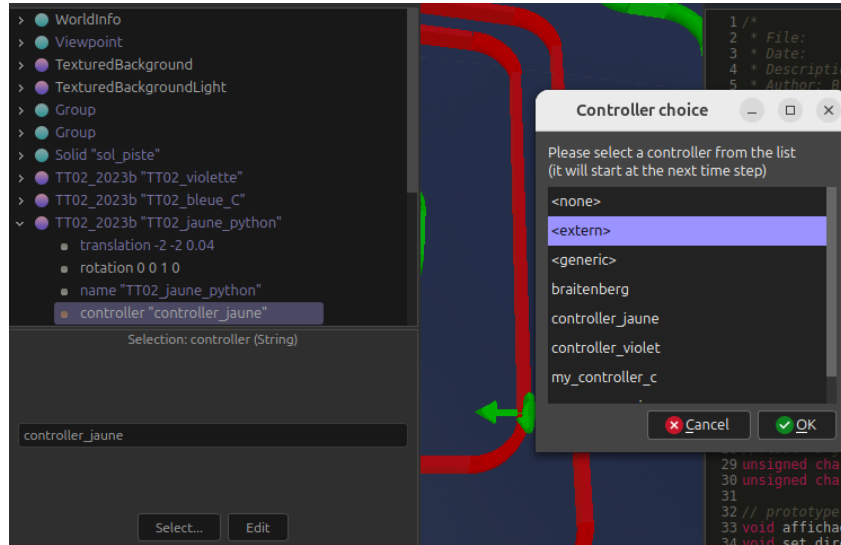


Figure 16 : Modification du type de contrôleur pour la voiture TT02_jaune_python

Création du nœud de commande de la voiture

Créer le nœud de commande de la voiture, en remplissant le fichier `CoVAPSy_cmd.py` situé dans le dossier `ros2_ws/src/monPaquetCoVAPSy/monPaquetCoVAPSy` avec le code suivant (disponible aussi en annexe) :

```
import rclpy
from ackermann_msgs.msg import AckermannDrive

class CoVAPSy_cmd:
    def __init__(self, webots_node, properties):
        self.__robot = webots_node.robot
        self.__vitesse_m_s = 0.0
        self.__direction_degre = 0
        # ROS interface
        rclpy.init(args=None)
        self.__node = rclpy.create_node('CoVAPSy_cmd')
        self.__node.create_subscription(AckermannDrive, 'cmd_ackermann', self.__cmd_ackermann_callback, 1)
        self.__node.get_logger().info("noeud cree")
        self.__robot.setCruisingSpeed(self.__vitesse_m_s*3.6)
        self.__robot.setSteeringAngle(-self.__direction_degre*3.14/180)

    def __cmd_ackermann_callback(self, message):
        self.__vitesse_m_s = message.speed
        self.__direction_degre = message.steering_angle
        # self.__node.get_logger().info(
        #     f"[CoVAPSy_cmd] Reçu : vitesse = {self.__vitesse_m_s} m/s, direction = {self.__direction_degre}°")

    def step(self):
        rclpy.spin_once(self.__node, timeout_sec=0)
        self.__robot.setCruisingSpeed(self.__vitesse_m_s*3.6)
        self.__robot.setSteeringAngle(-self.__direction_degre*3.14/180)
```

La fonction constructeur `init()` crée les attributs privés de l'objet, dont `self.__vitesse_m_s` et `self.__direction_degre`, crée le nœud et le fait souscrire à `cmd_ackermann` (le topic utilisé par le nœud de conduite pour transmettre les consignes de vitesse et direction). Ensuite, dans l'initialisation puis dans la fonction `step()` appelée à chaque pas du simulateur, les valeurs de vitesse

et direction sont envoyées au moteur de propulsion (*setCruisingSpeed*) et au moteur de direction (*setSteeringAngle*).

Lorsqu'un message du topic *cmd_ackermann* arrive, la fonction *__cmd_ackermann_callback()* est appelée et les attributs *self.__vitesse_m_s* et *self.__direction_degre* sont mis à jour avec les valeurs *speed* et *steering_angle* du topic.

Création du lien entre le nœud de commande et la voiture webots

Créer ensuite le lien entre le nœud ROS2 *CoVAPSy_cmd* et l'objet webots *TT02_jaune_python* en créant dans le dossier */ros2_ws/src/monPaquetCoVAPSy/ressource* un fichier texte *TT02_jaune_python.urdf* avec le contenu suivant (disponible aussi en annexe) :

```
<?xml version="1.0"?>
<robot name="TT02_jaune_python">
  <webots>
    <plugin type="monPaquetCoVAPSy.CoVAPSy_cmd.CoVAPSy_cmd" />
  </webots>
</robot>
```

Création du fichier de lancement

Le fichier *launch* est un fichier regroupant l'ensemble des instructions à effectuer pour démarrer un système ROS2. Créer un dossier *launch* dans */ros2_ws/src/monPaquetCoVAPSy/* et, dans ce dossier *launch*, un fichier *monPaquetCoVAPSy_launch.py*, avec le contenu suivant (aussi fourni en annexe, il faut juste mettre en commentaire les 4 lignes concernant le nœud de conduite) :

```
import os
import launch
from launch_ros.actions import Node
from launch import LaunchDescription
from ament_index_python.packages import get_package_share_directory
from webots_ros2_driver.webots_launcher import WebotsLauncher
from webots_ros2_driver.webots_controller import WebotsController

def generate_launch_description():
    package_dir = get_package_share_directory('monPaquetCoVAPSy')
    robot_description_path = os.path.join(package_dir, 'resource', 'TT02_jaune_python.urdf')

    webots = WebotsLauncher(world=os.path.join(package_dir, 'worlds', 'Piste_CoVAPSy_2025a.wbt'))

    CoVAPSy_cmd = WebotsController(
        robot_name='TT02_jaune_python', parameters=[{'robot_description': robot_description_path},]
    )

    # CoVAPSy_conduite = Node(
    #     package='monPaquetCoVAPSy',
    #     executable='CoVAPSy_conduite',
    # )

    return LaunchDescription([
        webots,
        CoVAPSy_cmd,
        #CoVAPSy_conduite,
        launch.actions.RegisterEventHandler(
            event_handler=launch.event_handlers.OnProcessExit(
                target_action=webots,
                on_exit=[launch.actions.EmitEvent(event=launch.events.Shutdown())],
            )
        )
    ])
])
```

Dans ce fichier, on retrouve dans *generate_launch_description()*, le lien entre le projet *webots* et le nœud *CoVAPSy_cmd*.

Via `LaunchDescription()` sont lancés `webots` et le nœud `CoVAPSy_cmd`. Le nœud de conduite n'est pour l'instant pas exécuté et reste en commentaire.

Déclaration des fichiers ajoutés au projet

Dans `ros2_ws/src/monPaquetCoVAPSy/setup.py`, ajouter les liens vers les fichiers `.proto` et `.stl` nécessaire au projet `webots`. Le fichier est donné en annexe [14], il faut juste mettre en commentaire la ligne concernant le nœud de conduite

```
from setuptools import find_packages, setup

package_name = 'monPaquetCoVAPSy'

data_files = []
data_files.append(('share/ament_index/resource_index/packages', ['resource/' + package_name]))
data_files.append(('share/' + package_name + '/launch', ['launch/monPaquetCoVAPSy_launch.py']))
data_files.append(('share/' + package_name + '/worlds', ['worlds/Piste_CoVAPSy_2025a.wbt']))
data_files.append(('share/' + package_name + '/worlds', ['worlds/ImageToStl_virage.obj']))
data_files.append(('share/' + package_name + '/resource', ['resource/TT02_jaune_python.urdf']))
data_files.append(('share/' + package_name + '/protos', ['protos/TT02_2025a.proto']))
data_files.append(('share/' + package_name + '/protos', ['protos/TT02Wheel.proto']))
data_files.append(('share/' + package_name + '/protos', ['protos/ChevroletCamaroLight.stl']))
data_files.append(('share/' + package_name + '/controllers/controller_violet',
                  ['controllers/controller_violet/controller_violet.py']))
data_files.append(('share/' + package_name, ['package.xml']))

setup(
    name=package_name,
    version='0.0.0',
    packages=find_packages(exclude=['test']),
    data_files=data_files,
    install_requires=['setuptools'],
    zip_safe=True,
    maintainer='webotsros2',
    maintainer_email='webotsros2@toto.fr',
    description='paquet de commande de la voiture CoVAPSy simulee',
    license='Apache-2.0',
    tests_require=['pytest'],
    entry_points={
        'console_scripts': [
            'CoVAPSy_cmd = monPaquetCoVAPSy.CoVAPSy_cmd:main',
            # 'CoVAPSy_conduite = monPaquetCoVAPSy.CoVAPSy_conduite:main'
        ],
    },
)
```

Test du nœud `CoVAPSy_cmd`

Le nœud et l'environnement configurés, on construit le nœud et on le lance, depuis le dossier `ros2_ws` :

```
colcon build --packages-select monPaquetCoVAPSy
source install/local_setup.bash
ros2 launch monPaquetCoVAPSy monPaquetCoVAPSy_launch.py
```

```

webotsros2@WebotsROS2:~/ros2_ws$ colcon build --packages-select monPaquetCoVAPSy

WARNING: Package name "monPaquetCoVAPSy" does not follow the naming conventions. It should start with a lower case letter and only contain lower case letters, digits, underscores, and dashes.
WARNING: Package name "paquetROS2CoVAPSy" does not follow the naming conventions. It should start with a lower case letter and only contain lower case letters, digits, underscores, and dashes.
Starting >>> monPaquetCoVAPSy
Finished <<< monPaquetCoVAPSy [0.98s]

Summary: 1 package finished [1.10s]
webotsros2@WebotsROS2:~/ros2_ws$ source install/local_setup.bash

webotsros2@WebotsROS2:~/ros2_ws$ ros2 launch monPaquetCoVAPSy monPaquetCoVAPSy_launch.py

```

La fenêtre webots doit alors se lancer. Pour tester le bon fonctionnement, il est possible d'envoyer des messages sur le topic `cmd_ackermann` auquel le nœud `CoVAPSy_cmd` est abonné. Pour cela on utilise l'outil `rqt` de ROS2.

En plus du terminal de lancement du nœud, un terminal permet de lancer `rqt` et un terminal permet de lancer l'affichage des messages du topic `/cmd_ackermann` avec la commande :

```
ros2 topic echo /cmd_ackermann
```

Dans `rqt`, on choisit d'afficher les nœuds (Plugins > Introspection > Node Graph) et de publier des messages sur le topic `/cmd_ackermann` (Plugins > Topics > Message Publisher). `Rqt` a d'autres fonctionnalités. Ne pas hésiter à les explorer.

Dans le simulateur webots, la voiture violette qui sert de *sparring partner* à la voiture jaune (celle que l'on contrôle) peut être démarrée en cliquant dans la vue 3D et en appuyant sur la touche 'a'. On peut alors depuis `rqt` contrôler la voiture jaune pour concourir contre la voiture automatique violette.

The figure shows a multi-panel ROS2 simulation environment. At the top, a 3D simulation window displays a track with a yellow car and a purple car. A text box points to the yellow car with the text: "Publication de message sur le topic cmd_ackermann pour commander la voiture jaune". Below the 3D view is the `rqt` interface. The "Node Graph" shows nodes `/TT02_jaune_python` and `/CoVAPSy_cmd` connected to the `/cmd_ackermann` topic. The "Message Publisher" window shows the `/cmd_ackermann` topic selected, with a table of parameters:

topic	type	rate	expression
<code>/cmd_ackermann</code>	AckermannDrive	1000	-1
steering_angle	float	0.0	0.0
steering_angle_velocity	float	0.0	0.0
speed	float	0.1	0.1
acceleration	float	0.0	0.0
jerk	float	0.0	0.0

At the bottom, a terminal window shows the output of `ros2 topic echo /cmd_ackermann`:

```

^Cwebotsros2@WebotsROS2:~$ ros2 topic echo /cmd_ackermann
steering_angle: -1.0
steering_angle_velocity: 0.0
speed: 0.10000000149011612
acceleration: 0.0
jerk: 0.0
---
steering_angle: -1.0
steering_angle_velocity: 0.0

```

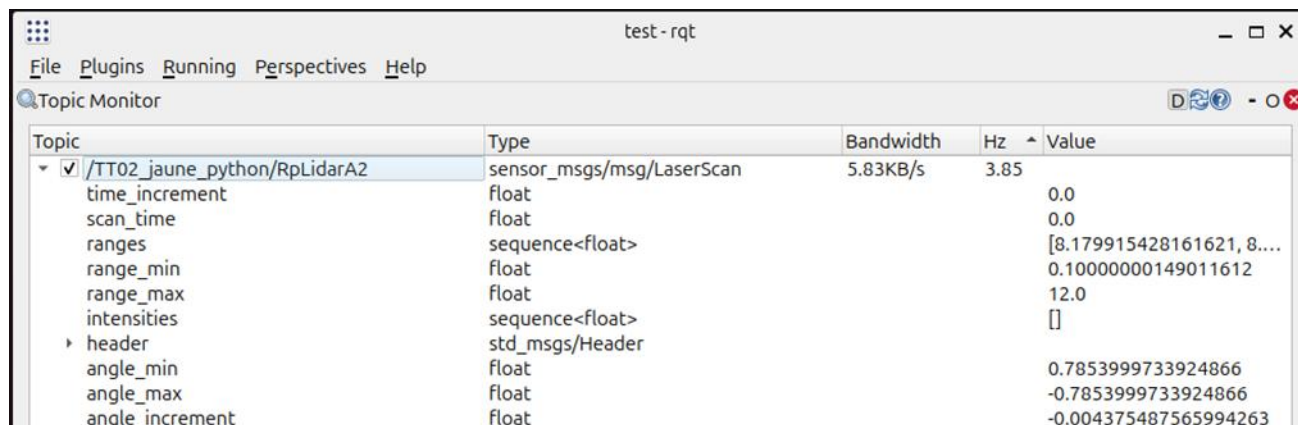
Three callout boxes provide context:

- Nœud TT02_jaune_python qui publie les messages du lidar** (points to the `/TT02_jaune_python` node in the graph)
- Topic /cmd_ackermann véhiculant les consignes de vitesse et direction** (points to the `/cmd_ackermann` topic in the graph)
- Nœud CoVAPSy_cmd qui contrôle les moteurs de vitesse et direction de la voiture** (points to the `/CoVAPSy_cmd` node in the graph)

Figure 17 : Test du nœud `CoVAPSy_cmd` avec la publication par `rqt` de messages sur le topic `cmd_ackermann`

2.4 - Les messages RplidarA2 publiés par la voiture simulée

Le nœud TT02_jaune_python publie des messages de type LaserScan avec les données du LiDAR de la voiture. On peut retrouver le nom du topic et les valeurs publiées dans *rqt > Topics > Topic Monitor*.



Topic	Type	Bandwidth	Hz	Value
✓ /TT02_jaune_python/RplidarA2	sensor_msgs/msg/LaserScan	5.83KB/s	3.85	
time_increment	float			0.0
scan_time	float			0.0
ranges	sequence<float>			[8.179915428161621, 8...
range_min	float			0.10000000149011612
range_max	float			12.0
intensities	sequence<float>			[]
header	std_msgs/Header			
angle_min	float			0.7853999733924866
angle_max	float			-0.7853999733924866
angle_increment	float			-0.004375487565994263

L'attribut ranges contient les distances mesurées par le LiDAR, avec le nombre de points correspondant à ce qui a été défini dans les attributs. Dans le projet de base fourni, la fréquence de rotation est de 12 Hz avec 360 points par tour. Il est possible de modifier ces paramètres pour se rapprocher du LiDAR réel (1600 points par tour annoncés pour le A2M12 et 3200 points pour le S2). On se limite ici à 360 points, suffisants pour développer un nœud fonctionnel. Attention, à chaque modification, il faut reconstruire le paquet (*colcon build...*).

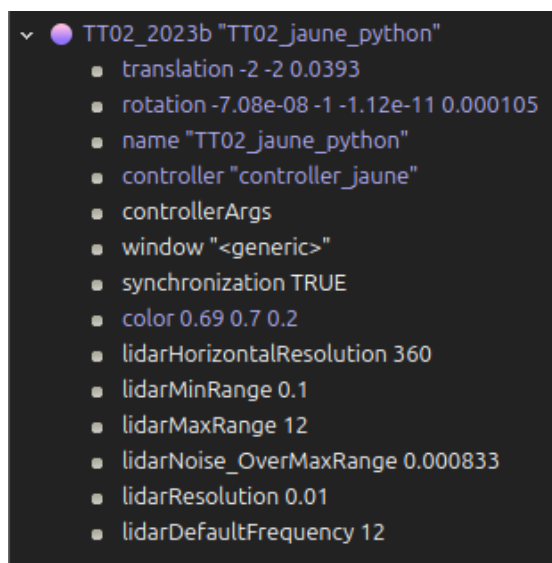


Figure 18 : Paramètres du LiDAR RplidarA2 de la voiture TT02_jaune_python dans webots

On peut afficher aussi les messages depuis une console avec les commandes suivantes :

```
ros2 topic list
ros2 topic echo /TT02_jaune_python/RplidarA2
```

```

webotsros2@WebotsROS2:~$ ros2 topic list
/TT02_jaune_python/RpLidarA2
/TT02_jaune_python/RpLidarA2/point_cloud
/cmd_ackermann
/parameter_events
/remove_urdf_robot
/rosout
webotsros2@WebotsROS2:~$ ros2 topic echo /TT02_jaune_python/RpLidarA2
header:
  stamp:
    sec: 1768994662
    nanosec: 972560595
  frame_id: RpLidarA2
angle_min: 0.7853999733924866
angle_max: -0.7853999733924866
angle_increment: -0.004375487565994263
time_increment: 0.0
scan_time: 0.0
range_min: 0.10000000149011612
range_max: 12.0
ranges:
- 4.67605447769165
- 4.686540603637695
- 4.70395040512085

```

Figure 19 : Affichage des messages du topic RpLidarA2 depuis une console

Pour afficher les données du LiDAR dans rviz2, il faut situer le LiDAR dans la carte. Ici, on le place à l'origine. Le LiDAR est associé au repère (*frame_id* dans ROS2) *RpLidarA2*, comme l'indique la figure ci-dessous.

Topic	Type	Bandwidth	Hz	Value
✓ /TT02_jaune_python/RpLidarA2	sensor_msgs/msg/LaserScan	4.09KB/s	2.70	
header	std_msgs/Header			
stamp	builtin_interfaces/Time			
frame_id	string			'RpLidarA2'

Figure 20 : Repère (*frame_id*) dans lequel sont données les valeurs du LiDAR

La commande ROS2 pour placer le repère *RPLidarA2* à l'origine du monde est la suivante :

```
ros2 run tf2_ros static_transform_publisher 0 0 0 0 0 0 RpLidarA2 world
```

```

webotsros2@WebotsROS2:~/ros2_ws$ ros2 run tf2_ros static_transform_publisher 0 0 0 0 0 0 RpLidarA2 world
[WARN] [1769007242.865115845] []: Old-style arguments are deprecated; see --help for new-style arguments
[INFO] [1769007242.884092953] [static_transform_publisher_rC7Xj0JCQ68JwI2Z]: Spinning until stopped - publishing transform
translation: ('0.000000', '0.000000', '0.000000')
rotation: ('0.000000', '0.000000', '0.000000', '1.000000')
from 'RpLidarA2' to 'world'

```

Pour afficher les données dans *rviz2*, lancer le paquet *monPaquetCoVAPSy*, lancer la transformée *tf* ci-dessus et lancer *rviz2* (on tape *rviz2* dans une console) et suivre les instructions ci-dessous :

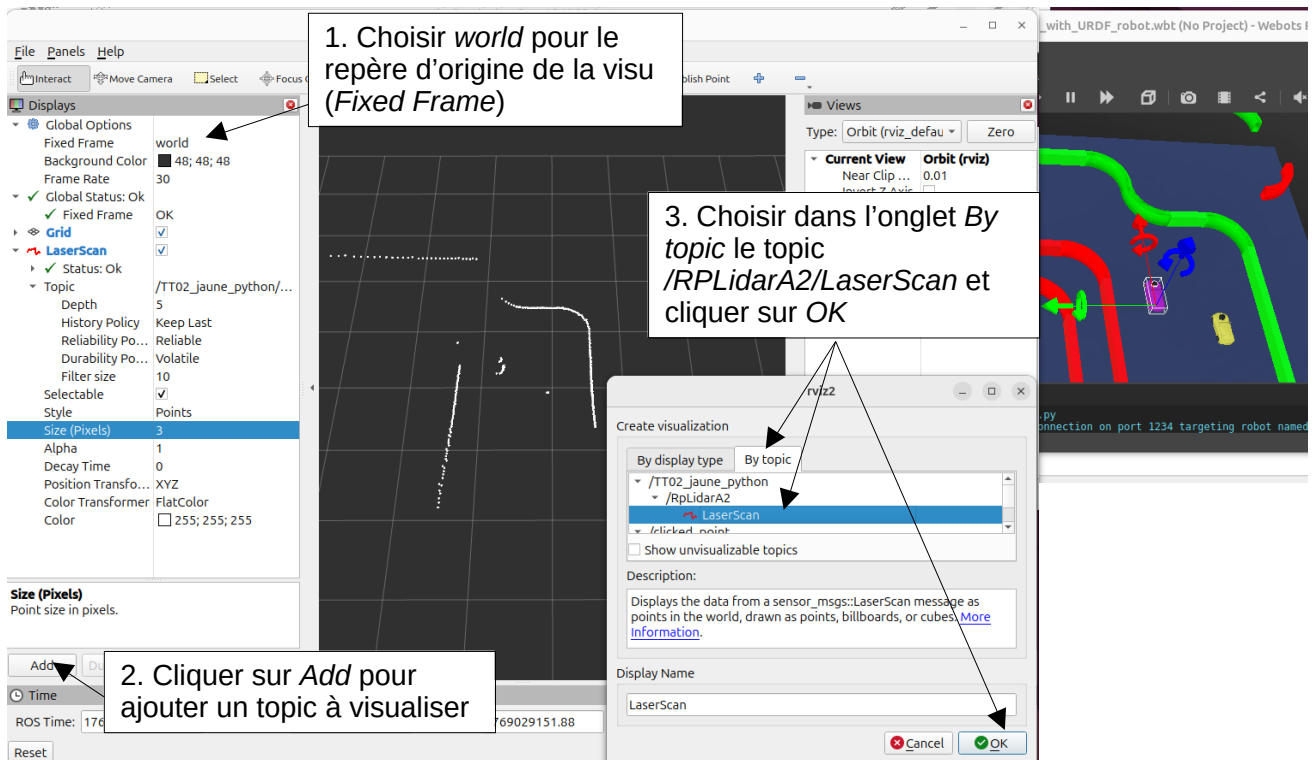


Figure 21 : Affichage des données du LiDAR de la voiture jaune simulée dans rviz2

2.5 - Création du nœud de conduite

La voiture publie les données du LiDAR dans le topic /TT02_jaune_python/RpLidarA2 et consomme (via le nœud CoVAPSy_cmd) les données du topic /cmd_ackermann pour ses consignes de vitesse et de direction.

Il est donc possible d'installer le même nœud que dans la voiture réelle qui, à partir des données du LiDAR élabore des consignes de vitesse et de direction.

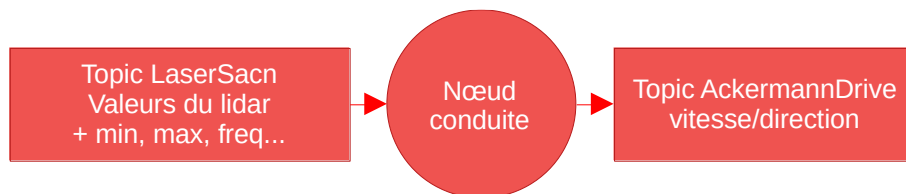


Figure 22 : Topics reçus et émis par le nœud conduite

Pour créer le nœud, créer un fichier `CoVAPSy_conduite.py` dans le dossier `ros2_ws/src/monPaquetCoVAPSy/monPaquetCoVAPSy` avec le code suivant, identique au nom des messages prêts à celui de la voiture réelle :

```
import rclpy
from sensor_msgs.msg import LaserScan
from ackermann_msgs.msg import AckermannDrive
from rclpy.node import Node

class CoVAPSy_conduite(Node):
    def __init__(self):
        super().__init__('CoVAPSy_conduite')

        # ROS interface
        self.__ackermann_publisher = self.create_publisher(AckermannDrive, 'cmd_ackermann', 1)
        self.create_subscription(LaserScan, 'TT02_jaune_python/RpLidarA2', self.__on_lidar_acquisition, 1)
        self.get_logger().info(f"[CoVAPSy_conduite] nœud cree")

    def __on_lidar_acquisition(self, message):
        tableauLidar = list(message.ranges)
        self.get_logger().info(f'60 {tableauLidar[120]:.2f} et -60 {tableauLidar[240]:.2f}')
        command_message = AckermannDrive()
```

```

command_message.speed = 1.0
try:
    command_message.steering_angle = 100 * (tableauLidar[120] - tableauLidar[240])
except IndexError:
    command_message.steering_angle = 0.0
if command_message.steering_angle > 18.0:
    command_message.steering_angle = 18.0
if command_message.steering_angle < -18.0:
    command_message.steering_angle = -18.0
self.__ackermann_publisher.publish(command_message)
self.get_logger().info(f"v= {command_message.speed:.2f} m/s, dir= {command_message.steering_angle:.2f} rad")

def main(args=None):
    rclpy.init(args=args)
    controller = CoVAPSy_conduite()
    rclpy.spin(controller)
    rclpy.shutdown()

if __name__ == '__main__':
    main()

```

On ajoute alors le nœud au fichier *monPaquetCoVAPSy_launch.py* et au fichier *setup.py*. Il suffit d'ôter les commentaires de ces fichiers décrit dans la partie 2.3. Les fichiers sont aussi fournis en annexe de cette ressource [14].

On construit de nouveau le paquet et on lance le nœud.

```

webotsros2@WebotsROS2:~/ros2_ws$ colcon build --packages-select monPaquetCoVAPSy
WARNING: Package name "monPaquetCoVAPSy" does not follow the naming conventions. It should start with a lower case letter and only contain lower case letters, digits, underscores, and dashes.

Starting >>> monPaquetCoVAPSy
Finished <<< monPaquetCoVAPSy [1.07s]

Summary: 1 package finished [1.20s]
webotsros2@WebotsROS2:~/ros2_ws$ source install/local_setup.bash

webotsros2@WebotsROS2:~/ros2_ws$ ros2 launch monPaquetCoVAPSy monPaquetCoVAPSy_launch.py
[INFO] [launch]: All log files can be found below /home/webotsros2/.ros/log/2026-01-21-22-05-45-469965-WebotsROS2-14597
[INFO] [launch]: Default logging verbosity is set to INFO
WARNING: No valid Webots directory specified in 'ROS2_WEBOTS_HOME' and 'WEBOTS_HOME', fallback to default installation folder /usr/local/webots.
[INFO] [webots-1]: process started with pid [14600]
[INFO] [webots_controller_TT02_jaune_python-2]: process started with pid [14601]
[INFO] [CoVAPSy_conduite-3]: process started with pid [14602]
[webots_controller_TT02_jaune_python-2] The specified robot (at /tmp/webots/webotsros2/1234/ipc/TT02_jaune_python/extern) is not in the list of robots with <extern> controllers, retrying for another 50 seconds...
[CoVAPSy_conduite-3] [INFO] [1769033145.912721664] [CoVAPSy_conduite]: [CoVAPSy_conduite] noeud cree
[webots_controller_TT02_jaune_python-2] The Webots simulation world is not yet ready, pending until loading is done...
[webots_controller_TT02_jaune_python-2] [INFO] [1769033154.606303463] [CoVAPSy_cmd]: noeud cree
[webots_controller_TT02_jaune_python-2] [INFO] [1769033154.606612488] [TT02_jaune_python]: Controller successfully connected to robot in Webots simulation.
[CoVAPSy_conduite-3] [INFO] [1769033156.285486404] [CoVAPSy_conduite]: 60 0.53 et -60 0.00
[CoVAPSy_conduite-3] [INFO] [1769033156.285831491] [CoVAPSy_conduite]: v = 1.00 m/s, dir = 18.00 rad

```

Il est possible bien sûr de limiter le bavardage du nœud en commentant les lignes *get_logger()...* dans les fichiers python.

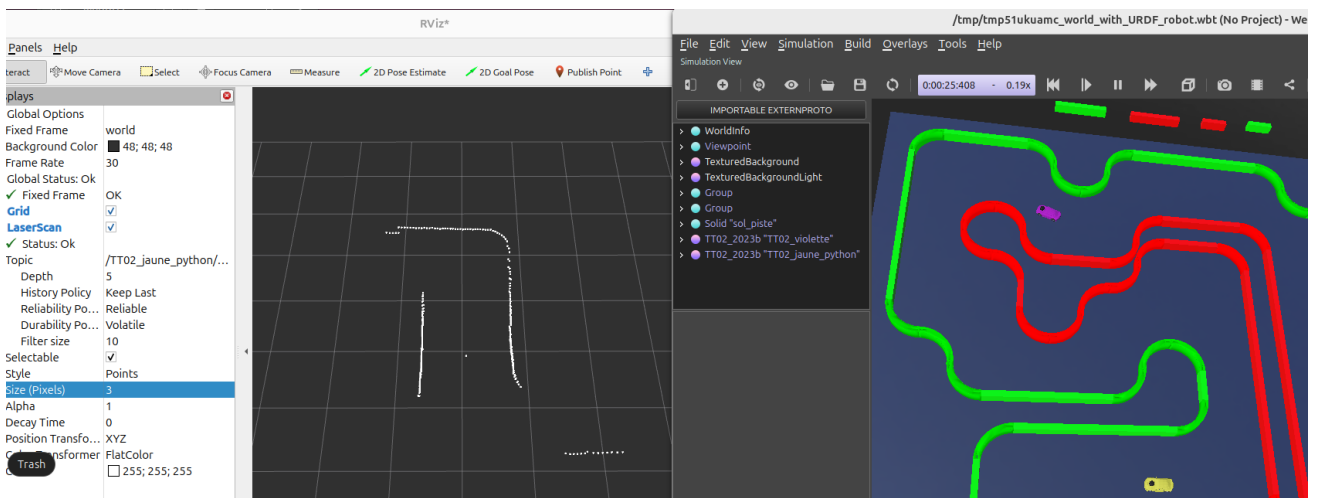


Figure 23 : Sur Webots, la Voiture jaune est contrôlée par le nœud ROS2 « CoVAPSy_conduite », la voiture violette est contrôlée par un algorithme basique pour représenter les voitures adverses

3 - Conclusion

Cette ressource permet de mettre en œuvre une conduite basique avec ROS2 sur la voiture réelle et sur le simulateur et également de manipuler quelques outils de monitoring ROS2 (*rviz2* et *rqt*). Aux étudiants de se l'approprier pour programmer une voiture performante et innovante.

Cette ressource est appelée à s'améliorer, ne pas hésiter à envoyer des commentaires (anthony.juton@ens-paris-saclay.fr).

Références :

- [1]: ROS2 : bibliothèques et outils pour le développement logiciel en robotique, J. Farnault, S. Rodriguez, A. Juton, 2026, https://sti.eduscol.education.fr/si-ens-paris-saclay/ressources_pedagogiques/ros2-bibliotheques-outils-pour-developpement-logiciel-en-robotique
- [2]: CoVAPSy : Mise en œuvre du simulateur Webots, T. Boulanger, E. Délégue , K. Hoarau, A. Juton, 2023, https://sti.eduscol.education.fr/si-ens-paris-saclay/ressources_pedagogiques/covapsy-mise-en-oeuvre-du-simulateur-webots
- [3]: Tutoriel ROS2 pour webots
<https://docs.ros.org/en/jazzy/Tutorials/Advanced/Simulators/Webots/Simulation-Webots.html>
- [4]: Playlist *Webots ROS2 Tutorial* de la chaîne YouTube *Soft illusion*
<https://www.youtube.com/playlist?list=PLt69C9MnPchkPOZXZOqmlGRT0ch8o9GiQ>
- [5]: La documentation webots ROS2 https://github.com/cyberbotics/webots_ros2 avec notamment les types de messages envoyés par les différents capteurs.
https://github.com/cyberbotics/webots_ros2/wiki/References-Nodes
- [6]: Dépôt git du package « ROS2 node for SLAMTEC LiDAR » et les instructions associées :
https://github.com/Slamtec/sllidar_ros2
- [7]: Détails du format des messages LaserScan :
https://docs.ros.org/en/noetic/api/sensor_msgs/html/msg/LaserScan.html
- [8]: Apprentissage par renforcement et transfert simulation vers réalité pour la conduite de voitures autonomes, R. Bennani, K. Hoarau, A. Juton, 2024, https://sti.eduscol.education.fr/si-ens-paris-saclay/ressources_pedagogiques/apprentissage-renforcement-transfert-simulation-vers-realite-pour-la-conduite-voitures-autonomes
- [9]: Dépôt git de la course de voiture autonomes, dossier simulateur : <https://github.com/ajuton-ens/CourseVoituresAutonomesSaclay/tree/main/Simulator>
- [10]: https://github.com/cyberbotics/webots_ros2/wiki/Example-Mavic-2-Pro
- [11]: Dépôt git de la course de voitures autonomes : <https://github.com/ajuton-ens/CourseVoituresAutonomesSaclay>
- [12]: Dépôt git de l'équipe de Sorbonne Université (ROS2 et SLAM) : <https://github.com/SU-Bolides>
- [13]: Course de Voitures Autonomes Paris-Saclay (CoVAPSy) : Travaux pratiques autour des voitures autonomes, T. Boulanger, E. Délégue , K. Hoarau, A. Juton, 2023,
https://sti.eduscol.education.fr/si-ens-paris-saclay/ressources_pedagogiques/covapsy-tp-autour-des-voitures-autonomes
- [14]: Annexes de : Mise en œuvre de ROS2 pour le contrôle d'une voiture CoVAPSy simulée sous Webots et réelle, J. Farnault, S. Rodriguez, A. Juton, M. Goupillon, 2026,
https://sti.eduscol.education.fr/si-ens-paris-saclay/ressources_pedagogiques/mise-en-oeuvre-ros2-pour-contrôle-voiture-autonome-1-10e
- Remarques sur l'installation de webots sur une machine virtuelle
 - Configuration du wifi sur une machine ubuntu server (sans interface graphique)
 - Fichiers simulateur
 - Fichiers voiture

Ressource publiée sur Culture Sciences de l'Ingénieur : <https://eduscol.education.fr/sti/si-ens-paris-saclay>

Annexe : Remarques sur l'installation de Webots sur une machine virtuelle

Mise en œuvre de ROS2 pour le contrôle d'une voiture CoVAPSy simulée sous Webots et réelle

Anthony JUTON¹ - Sergio RODRIGUEZ²
Jules FARNAULT³ - Mathis GOUPILLON³

Édité le
03/02/2026

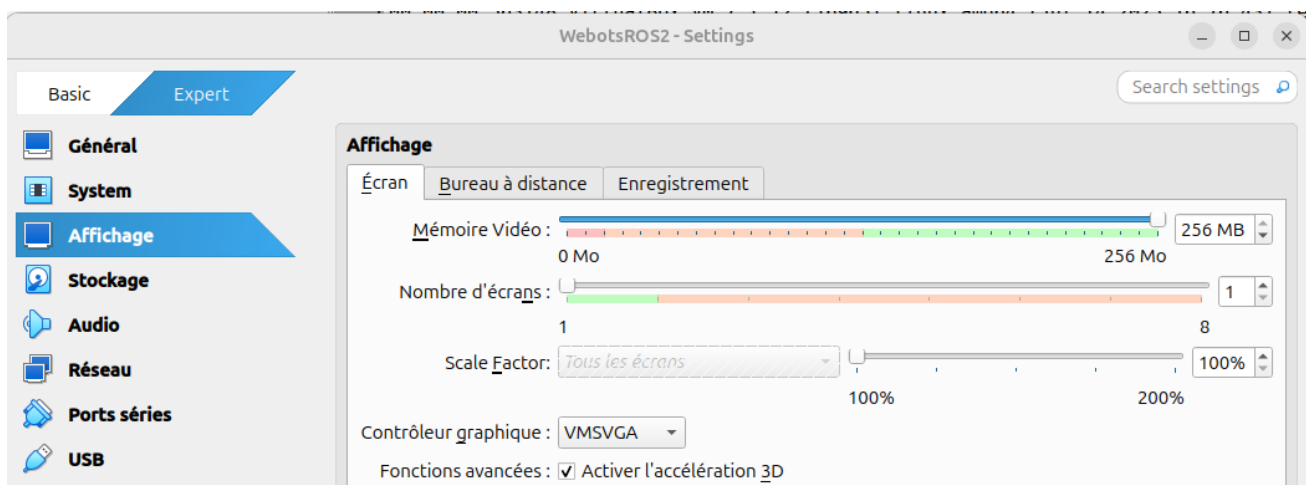
¹ Professeur agrégé à l'ENS Paris Saclay, DER Sciences de l'Ingénierie Électrique et Numérique

² Maître de conférences au laboratoire SATIE, ENS Paris Saclay

³ Elève normalien à l'ENS Paris Saclay, DER Sciences de l'Ingénierie Électrique et Numérique

Cette ressource est une annexe de la ressource «Mise en œuvre de ROS2 pour le contrôle d'une voiture CoVAPSy simulée sous webots et réelle » [J. Farnault, S. Rodriguez A. Juton, M. Goupillon, 2026, https://sti.eduscol.education.fr/si-ens-paris-saclay/ressources_pedagogiques/mise-en-oeuvre-ros2-pour-controle-voiture-autonome-1-10e] qui fait partie du N° 118 de La Revue 3EI du 1^{er} trimestre 2026.

VirtualBox n'exploite pas la carte graphique donc l'exécution de webots est un peu lente. Pour faire au mieux, on peut augmenter la mémoire allouée à la mémoire vidéo et activer l'accélération graphique. Attention, sur certaines machines, l'accélération graphique provoque un arrêt de la machine virtuelle au bout de quelques secondes de simulation.



Installer Webots à partir du fichier `webots_2025a_amd64.deb` fourni sur la page <https://github.com/cyberbotics/webots/releases/tag/R2025a> (il est possible de l'installer avec `snap` mais c'est plus lourd et l'isolation risque de créer des problèmes au moment de communiquer avec des processus extérieurs de ROS2).

Il est possible d'avoir un conflit de paquets, résolu par `fix-broken` :

```
sudo apt install g++ ffmpeg libfreeimage3 libssh-dev libzip-dev libxcb-xinerama0 libxcb-cursor0
sudo apt install python3-numpy
sudo dpkg -i webots_2025a_amd64.deb
sudo apt --fix-broken install
sudo dpkg -i webots_2025a_amd64.deb
```

Ressource publiée sur Culture Sciences de l'Ingénieur : <https://eduscol.education.fr/sti/si-ens-paris-saclay>

Annexe : Configuration du wifi sur une machine ubuntu server (sans interface graphique)

Mise en œuvre de ROS2 pour le contrôle d'une voiture CoVAPSy simulée sous Webots et réelle

Anthony JUTON¹ - Sergio RODRIGUEZ²
Jules FARNAULT³ - Mathis GOUPILLON³

Édité le
03/02/2026

¹ Professeur agrégé à l'ENS Paris Saclay, DER Sciences de l'Ingénierie Électrique et Numérique

² Maître de conférences au laboratoire SATIE, ENS Paris Saclay

³ Elève normalien à l'ENS Paris Saclay, DER Sciences de l'Ingénierie Électrique et Numérique

Cette ressource est une annexe de la ressource «Mise en œuvre de ROS2 pour le contrôle d'une voiture CoVAPSy simulée sous webots et réelle » [J. Farnault, S. Rodriguez A. Juton, M. Goupillon, 2026, https://sti.eduscol.education.fr/si-ens-paris-saclay/ressources_pedagogiques/mise-en-oeuvre-ros2-pour-controle-voiture-autonome-1-10e] qui fait partie du N° 118 de La Revue 3EI du 1^{er} trimestre 2026.

Pour configurer le wifi sur ubuntu serveur 24.04, sans interface graphique :

Identifier le nom de l'interface wifi :

```
ip link
```

Ouvrir ou créer le fichier de configuration réseau, dans le dossier `/etc/netplan`.

```
cd /etc/netplan  
ls  
sudo nano 50-cloud-init.yaml
```

Le compléter avec l'ajout du point d'accès :

```
network:  
  version: 2  
  wifis:  
    wlan0:  
      dhcp4: true  
      access-points:  
        "votreSSIDWifi":  
          password: "votreCleWifi"  
  
  ethernets:  
    eth0:  
      dhcp4: true
```

Appliquer les modifications

```
sudo netplan --debug apply
```

Vérifier, après une dizaine de secondes, que la connexion wifi a été établie

```
ip a
```

```
voituremaxime@voituremaxime:~$ ip link
1: lo: <LOOPBACK,UP,LOWER_UP> mtu 65536 qdisc noqueue state UNKNOWN mode DEFAULT group default
   link/loopback 00:00:00:00:00:00 brd 00:00:00:00:00:00
2: eth0: <BROADCAST,MULTICAST,UP,LOWER_UP> mtu 1500 qdisc fq_codel state UP mode DEFAULT
   link/ether 2c:cf:67:ff:ff:ff brd ff:ff:ff:ff:ff:ff
3: wlan0: <BROADCAST,MULTICAST,UP,LOWER_UP> mtu 1500 qdisc fq_codel state UP mode DORMANT
   link/ether 2c:cf:67:ff:ff:ff brd ff:ff:ff:ff:ff:ff
voituremaxime@voituremaxime:~$ cd /etc/netplan/
voituremaxime@voituremaxime:~$ cd /etc/netplan/
voituremaxime@voituremaxime:~$ ls
50-cloud-init.yaml
voituremaxime@voituremaxime:~$ sudo nano 50-cloud-init.yaml
```

1. Repérer le nom de l'interface wifi

2. Chercher le nom du fichier de configuration réseau

3. Editer le fichier de configuration

```
GNU nano 7.2 50-cloud-init.yaml
network:
  version: 2
  wifis:
    wlan0:
      dhcp4: true
      access-points:
        "covapsy":
          password: "cova"
  ethernets:
    eth0:
      dhcp4: true
```

4. Compléter le fichier

nom de l'interface wifi

SSID du wifi (le nom du réseau)

Clé WPA (mot de passe) du wifi

5. Quitter (CTRL+X) en confirmant l'enregistrement (Y)

6. Appliquer les modifications, avec l'affichage du bon déroulement

```
voituremaxime@voituremaxime:~$ sudo netplan --debug apply
```

(...)

```
voituremaxime@voituremaxime:~$ ip a
3: wlan0: <BROADCAST,MULTICAST,UP,LOWER_UP> mtu 1500
   link/ether 2c:cf:67:ff:ff:ff brd ff:ff:ff:ff:ff:ff
   inet 10.10.10.108/24 metric 600 brd 10.10.10.255 scope global dynamic wlan0
      valid_lft 85087sec preferred_lft 85087sec
```

7. Après une dizaine de secondes, vérifier que l'interface wifi a obtenu une IP

