

4 - ROS2 - Manipulation Cobot

- [Universal Robot ROS2 Driver](#)
- [Commander un robot UR avec le driver ROS2](#)
- [Programmer un robot avec MoveIt2 - Jumeau Numérique](#)

Universal Robot ROS2 Driver

Le Driver ROS2 pour les cobots Universal Robot a été [développé en collaboration entre Universal Robots, le Forschungszentrum für Informatik \(INRIA allemand\) et PickNik Robotics](#). Plus précisément par [nos voisins de Karlsruhe, en particulier Felix Exner \(https://github.com/fmauch\)](#)). Le FZI est également à l'origine d'une [proposition d'interface ROS standard pour les trajectoires Cartésiennes](#), qui est désormais implémentée dans les [contrôleurs ROS Cartésiens d'Universal Robots](#). La proposition repose sur un [état de l'art très intéressant des interfaces de programmation des marques de robot majeures](#).

Installation des paquets UR pour ROS2

- Réaliser l'[installation de ROS2](#).
- Installer les paquets ros2 de Universal Robots

```
sudo apt install ros-humble-ur
```

- Installer rosdep pour installer automatiquement les paquets Debian dont dépendent les paquets ROS

```
sudo apt install python3-rosdep
```

- Si vous avez plusieurs versions de ROS2 installées, [vérifiez que vous avez "sourcé" la bonne version de ROS2](#)
- Mettre à jour les paquets dont ROS2 et les paquets UR dépendent

```
sudo rosdep init
rosdep update
sudo apt update
sudo apt dist-upgrade
```

Installation du simulateur hors-ligne URSim

https://github.com/UniversalRobots/Universal_Robots_ROS2_Driver#getting-started

https://github.com/UniversalRobots/Universal_Robots_ROS2_Driver#install-from-binary-packages

Le moyen le plus simple de découvrir et commencer à utiliser un robot UR avec ROS2 est d'utiliser la simulation de la console de programmation (teach panel) de son contrôleur. URSim est le simulateur hors-ligne de Universal Robots. Il permet de reproduire le comportement réel d'un robot quasiment à l'identique en se connectant à son adresse IP. Il est possible d'installer URSim 5 sur un Ubuntu <18 (non inclus!) ou dans une machine virtuelle (VirtualBox). Il faut se créer un compte pour [télécharger le fichier URSim 5.13](#). Ubuntu 18 n'est plus supporté, et MoveIt2 tourne sur Ubuntu 22.

Sur Ubuntu 22

En attendant la sortie de URSim/Polyscope 6, **la manière la plus simple d'installer URSim 5 sur Ubuntu 22 est via conteneur Docker créé par UR Lab (pas maintenu officiellement).**

Installer Docker

Depuis les [dépôts officiels Ubuntu](#) :

```
sudo apt update
sudo apt install docker-compose
```

[Ajouter votre utilisateur au groupe docker](#) afin de manipuler les containers sans avoir à utiliser sudo systématiquement :

```
sudo usermod -aG docker $USER
```

Fermer et rouvrir la session. Tester la bonne installation :

```
sudo service docker start
docker run hello-world
```

Installer le conteneur URSim

On suit le [tutoriel fourni dans la documentation du driver UR ROS](#). Il existe une [image docker](#) [fournie sur hub.docker.com](#), c'est très simple :

- Télécharger l'image docker

```
docker pull universalrobots/ursim_e-series
```

- Lancer l'image sur 192.168.56.101 avec l'URCap external_control préinstallé. Les programmes installés et les changements d'installation seront stockés de manière persistante dans `${HOME}/.ursim/programs`. Par exemple `-m ur5e`

```
ros2 run ur_robot_driver start_ursim.sh -m <ur_type>
```

- Ouvrir l'interface URSim en suivant les instructions qui s'affichent dans la fenêtre de terminal
 1. Voir URSim en utilisant une application VNC, en se connectant à `192.168.56.101:5900`
 2. Voir URSim en utilisant une application serveur web VNC
<http://192.168.56.101:6080/vnc.html>

Sur Windows 10/11

Pour les systèmes non-Linux, UR fournit une VM LUbuntu 14.04 qui peut tourner sous VirtualBox (gratuit) ou sur VMware (gratuit pour usage non commercial).

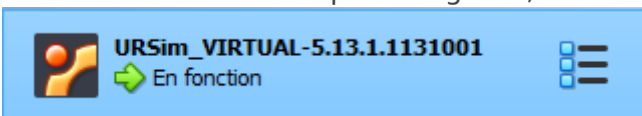
Installer VirtualBox

Télécharger et configurer la Machine Virtuelle

- Télécharger l'archive de la VM [sur seafile](#) ou en créant un compte [chez UR](#)
- Extraire l'archive dans `C:\Users\user\VirtualBox VMs\URSim_VIRTUAL-5.13.1.1131001`
- Dans l'interface VirtualBox cliquer sur `Ajouter`

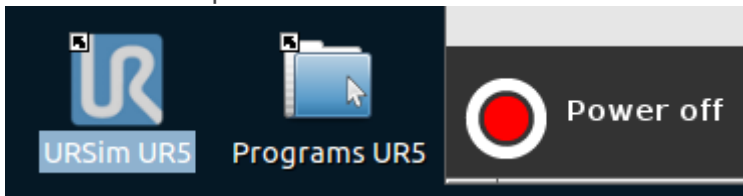


- Sélectionner le Fichier machine virtuelle (`.vbox`) `C:\Users\user\VirtualBox VMs\URSim_VIRTUAL-5.13.1.1131001\URSim_VIRTUAL-5.13.1.1131001.vbox`
- La VM est entièrement préconfigurée, il suffit de la lancer

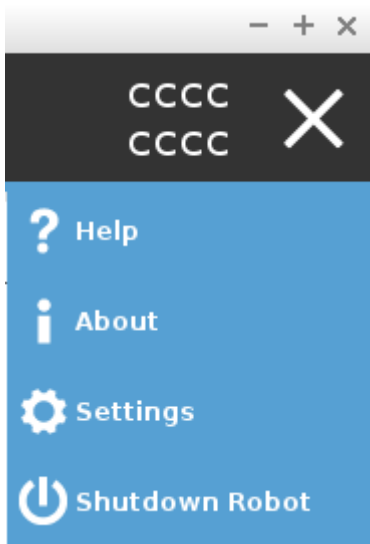


- La session Lubuntu est
 - user : `ur`
 - mdp : `easybot`

- Lancer URSim pour l'UR5e



- Démarrer le robot en cliquant sur le bouton d'allumage "Power"
- Pour éteindre le robot



- Ou simplement éteindre la VM

Ajouter l'URCap External Control

- Installer Terminator qui permet de faire des copier-coller

```
sudo apt install terminator
```

- Se placer dans le dossier d'échange qui fonctionne comme une clé USB

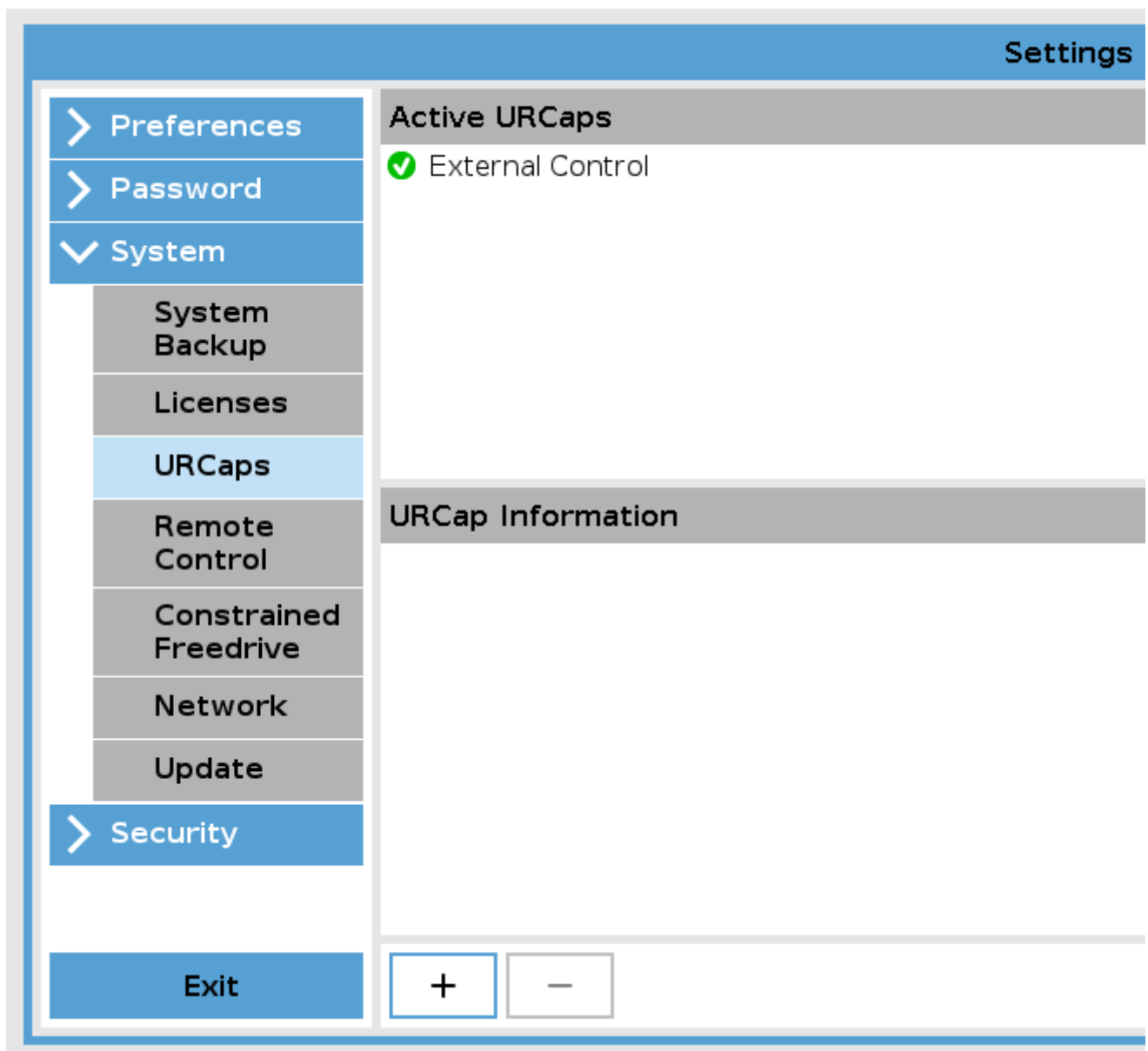
```
cd /home/ur/ursim-current/programs.UR5
```

- Lancer Terminator et télécharger le fichier .urcap

```
wget
```

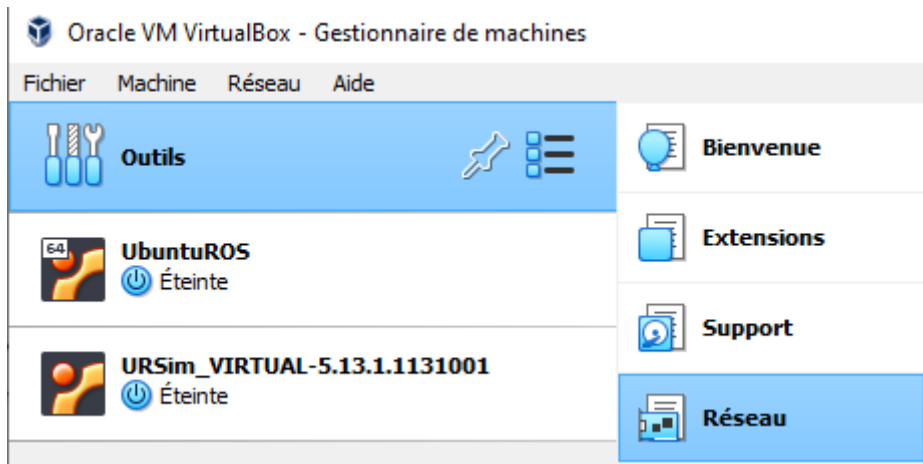
```
https://github.com/UniversalRobots/Universal_Robots_ExternalControl_URCap/releases/download/v1.0.5/externalcontrol-1.0.5.urcap
```

- Démarrer URSim, ajouter l'URCap et redémarrer URSim

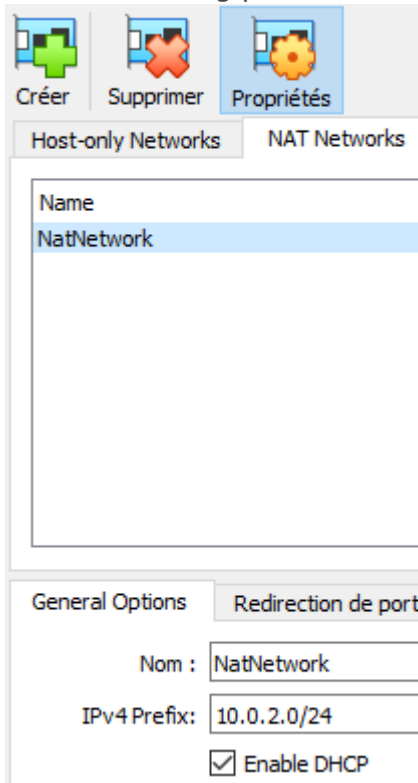


Configurer le réseau pour que les VMs communiquent

- Créer un réseau NAT dans les outils réseau

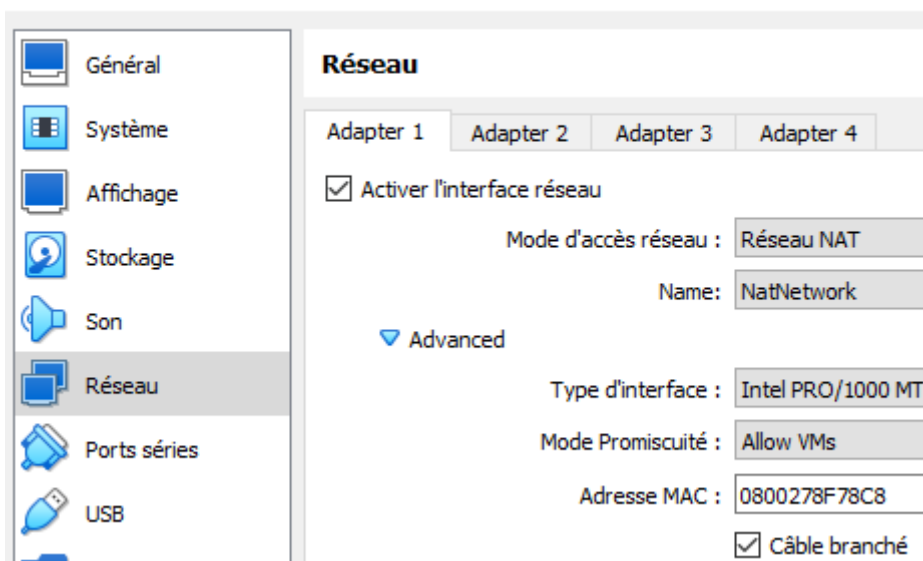


- Laisser la config par défaut

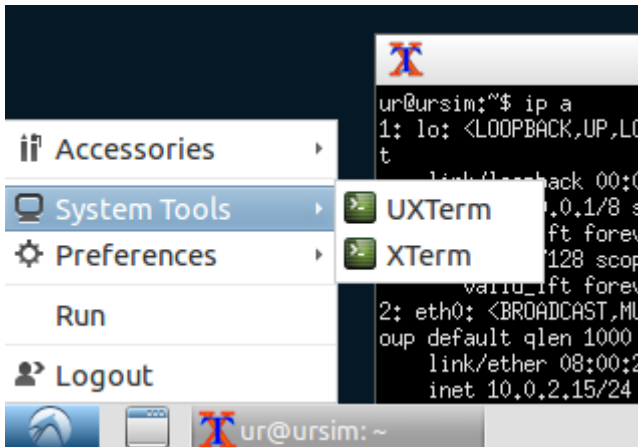


- Configurer chaque VM qui doit communiquer en Réseau NAT, par défaut elles seront en DHCP sur le réseau 10.0.2.0/24

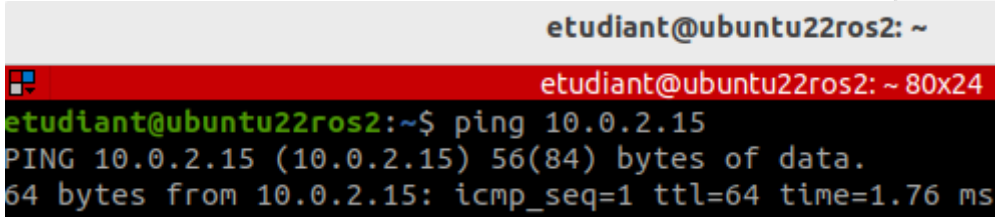
🔧 UbuntuROS - Paramètres



- Récupérer l'adresse IP de la VM URSim avec `ip a`, ici 10.0.2.15



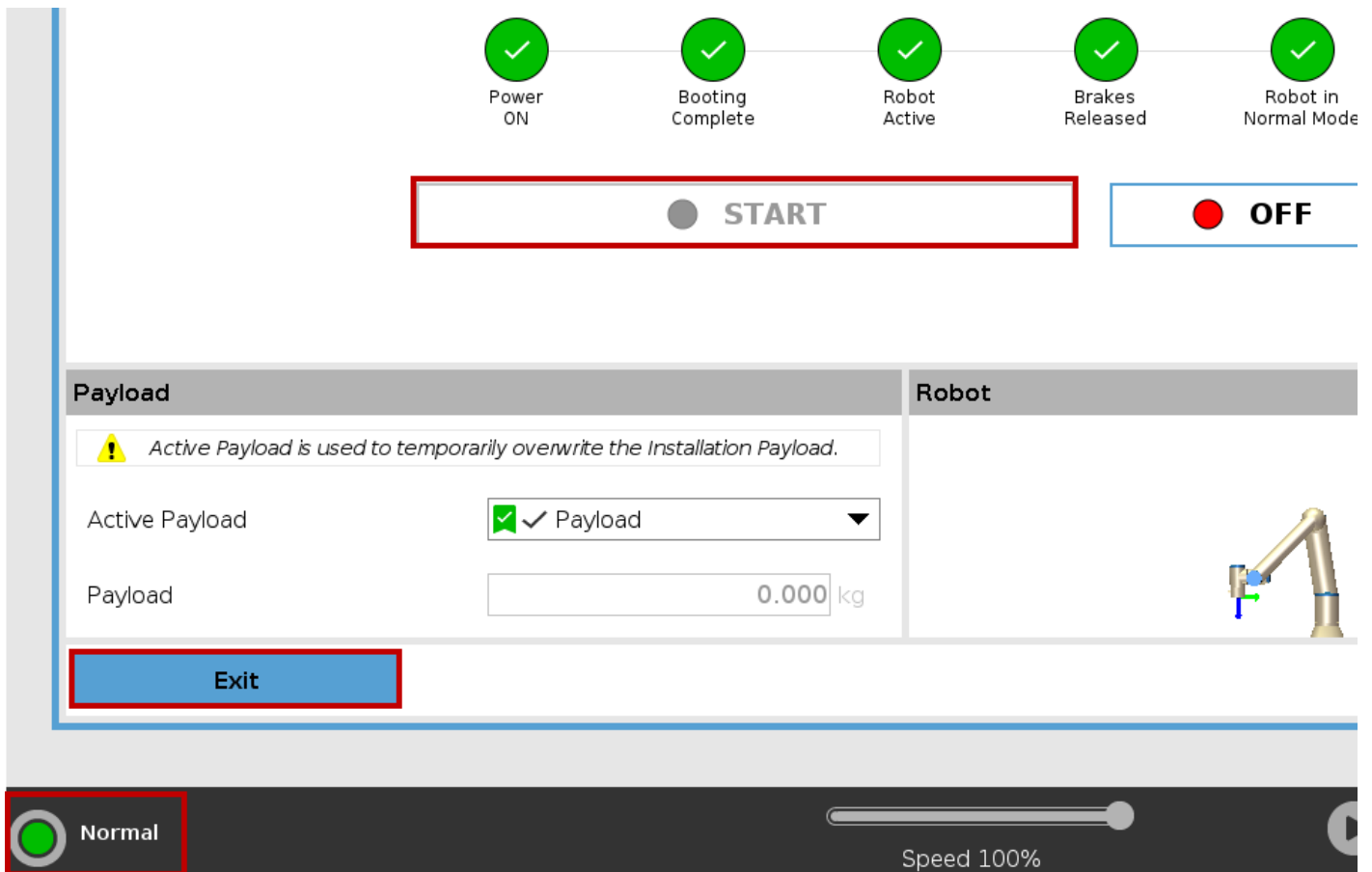
- Tester la communication de la VM ROS vers la VM URSim avec `ping 10.0.2.15`



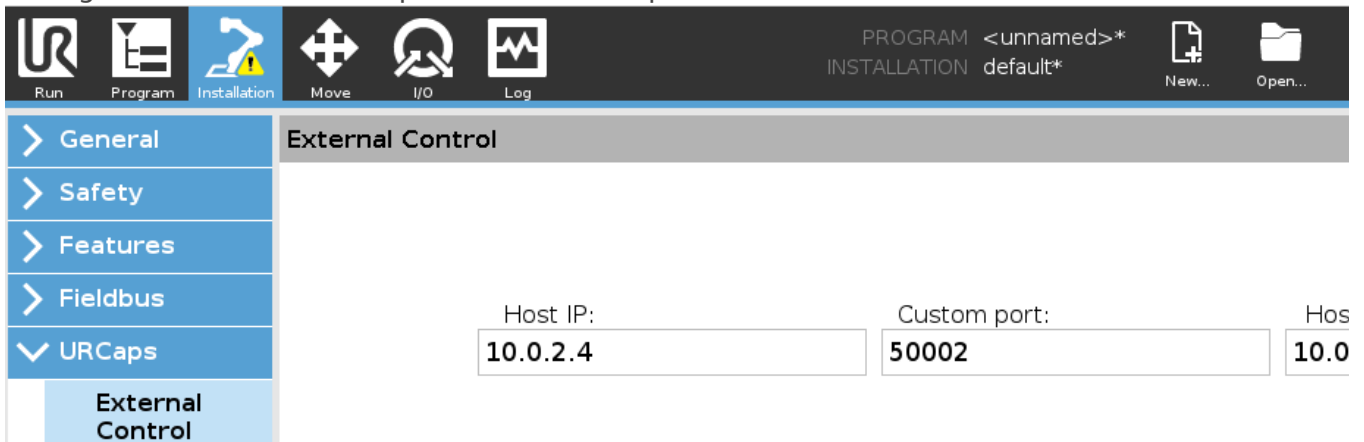
- Tester la communication de la VM URSim vers la VM ROS avec `ping 10.0.2.4`
- Tester la communication entre ROS et URSim, voir la section dédiée

Démarrage et configuration URSim

- démarrer le robot



- Configurer l'IP de la VM ROS pour l'autoriser à prendre le contrôle externe



Programmation hors-ligne avec URSim et MoveIt2/RViz

- Réaliser l'[installation de ROS2](#).
- Installer rosdep pour installer automatiquement les paquets Debian dont dépendent les paquets ROS

```
sudo apt install python3-rosdep
```

- Si vous avez plusieurs versions de ROS2 installées, [vérifiez que vous avez "sourcé" la bonne version de ROS2](#)
- Mettre à jour les paquets dont ROS2 dépend

```
sudo rosdep init
rosdep update
sudo apt update
sudo apt dist-upgrade
```

- Installer [colcon](#) qui est le système de compilation de ROS2 avec [mixin](#).

```
sudo apt install python3-colcon-common-extensions
sudo apt install python3-colcon-mixin
colcon mixin add default https://raw.githubusercontent.com/colcon/colcon-mixin-repository/master
colcon mixin update default
```

NOTES IMPORTANTES

- si vous utilisez [Linux Mint 21.1 VERA](#) (Mate ou Cinammon, basée sur Ubuntu 22 Jammy), il faudra toujours préciser la version d'Ubuntu `--os=ubuntu:jammy` dont on veut récupérer les paquets avec la commande `rosdep` :

```
sudo apt update && rosdep install -r --from-paths . --ignore-src --rosdistro $ROS_DISTRO -y --os=ubuntu:jammy
```

- Si vous travaillez dans une VM d'un ordinateur ayant moins de 20GO de RAM (WSL par exemple). Ou sur un ordinateur Ubuntu ayant moins de 10GO de RAM, il faudra lancer la compilation `colcon` sans parallélisation des tâches (1 paquet compilé à la fois) `--parallel-workers 1` :

```
colcon build --mixin release --parallel-workers 1
```

Déploiement du code source des Tutoriels de MoveIt

- Créer un répertoire de travail "workspace" pour la compilation du projet avec colcon

```
mkdir -p ~/ws_moveit2/src
```

- Se déplacer dans le workspace colcon et récupérer le code source des tutoriels MoveIt :

```
cd ~/ws_moveit2/src
git clone https://github.com/ros-planning/moveit2_tutorials -b humble --depth 1
```

Optionnel : Installation d'un environnement de développement Moveit2 avec les dernières améliorations et résolutions de bug

Installation de Moveit2 Humble sur Ubuntu 22.04 :

- Installer [vcstool](#) qui est un outil Python pour gérer les dépôts git composant un paquet ROS.

```
sudo apt install python3-vcstool
```

- Récupérer les [autres dépôts git de Moveit2 dont dépend moveit2_tutorials](#)

```
cd ~/ws_moveit2/src
vcs import < moveit2_tutorials/moveit2_tutorials.repos
```

Note : si `vcs import` vous demande vos identifiants GitHub, tapez Entrer jusqu'à ce que ça continue. Pas besoin d'identifiant pour récupérer un dépôt GitHub public.

Installation des dépendances et compilation

- Installer les dépendances ROS2 Humble (paquets debian stables).

```
sudo apt update && rosdep install -r --from-paths . --ignore-src --rosdistro $ROS_DISTRO -y
```

- Compiler Moveit2 Tutorials (20+ minutes si vous avez choisi de déployer l'environnement de développement)

```
cd ~/ws_moveit2
colcon build --mixin release
```

- Sourcer les paquets compilés :

```
cd ~/ws_moveit2
source ~/ws_moveit2/install/setup.bash
```

- Optionnel, si vous utilisez principalement ce workspace : Sourcer automatiquement le workspace colcon au lancement d'un Terminal

```
echo 'source ~/ws_moveit2/install/setup.bash' >> ~/.bashrc
```

Tester la communication entre ROS et URSim

https://docs.ros.org/en/ros2_packages/rolling/api/ur_robot_driver/usage.html#usage-with-official-ur-simulator

- Lancer URSim, par exemple avec un UR5e

```
ros2 run ur_robot_driver start_ursim.sh -m ur5e
```

- Ouvrir l'interface URSim dans le navigateur : <http://192.168.56.101:6080/vnc.html> --> cliquer sur Connect
- Faire tourner le driver UR ROS2

```
ros2 launch ur_robot_driver ur_control.launch.py ur_type:=ur5e robot_ip:=192.168.56.101
```

- Si vous bougez le robot dans URSim vous le verrez bouger dans RViz.

https://docs.ros.org/en/ros2_packages/rolling/api/ur_robot_driver/usage.html#example-commands-for-testing-the-driver

Envoyer des commandes au contrôleur

Avant d'envoyer des commandes, vérifier l'état des contrôleurs en utilisant `ros2 control list_controllers`

- Envoyer un objectif (goal) au contrôleur de trajectoire articulaire (Joint Trajectory Controller) en utilisant le noeud de démonstration du paquet [ros2_control_demos](#). Dans nouveau Terminal (sans oublier de sourcer) :

```
ros2 launch ur_robot_driver test_scaled_joint_trajectory_controller.launch.py
```

Après quelques secondes le robot devrait bouger.

- Pour tester un autre contrôleur, il suffit de l'ajouter en argument de la commande `initial_joint_controller`, par exemple en utilisant `joint_trajectory_controller` :

```
ros2 launch ur_robot_driver ur_control.launch.py ur_type:=ur5e
robot_ip:=192.168.56.101 initial_joint_controller:=joint_trajectory_controller
launch_rviz:=true
```

- Et envoyer la commande avec le noeud de démo :

```
ros2 launch ur_robot_driver test_joint_trajectory_controller.launch.py
```

Après quelques secondes le robot devrait bouger (ou sauter si la simulation est utilisée).

Auteur: [Gauthier Hentz](#), sur le [wiki de l'innovation de l'IUT de Haguenau](#)

Attribution-NonCommercial-PartageMemeConditions 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)

Commander un robot UR avec le driver ROS2

Installation d'Ubuntu avec des capacités temps-réel

Pour un usage basique, un Ubuntu (ou Linux Mint) classique permet de piloter le robot :

- [Installer Ubuntu LTS 22.04](#)
-

Pour éviter des instabilités il est conseillé d'[installer un noyau Linux avec des capacités temps-réel](#) (PREEMPT_RT kernel). En particulier avec un robot de la Série-E, la fréquence de contrôle plus élevée peut entraîner des trajectoires non fluides sans noyau temps-réel.

- Vérifier qu'il reste au moins 25Go d'espace disque
- On se place dans un dossier pour la compilation

```
mkdir -p ~/rt_kernel_build  
cd ~/rt_kernel_build
```

```
tar xf linux-4.14.139.tar  
cd linux-4.14.139  
xzcat ../patch-4.14.139-rt66.patch.xz | patch -p1  
make oldconfig
```

Récupérer les sources du noyau temps-réel

- Regarder les versions LTS du noyau Linux :
<https://www.kernel.org/category/releases.html>

- Regarder la version actuelle et les versions proposées par Ubuntu : Update Manager
-> view -> Linux Kernel
- Regarder les versions maintenues activement du noyau PREEMPT_RT ->
https://wiki.linuxfoundation.org/realtime/preempt_rt_versions
- Choisir la version du noyau Linux PREEMPT_RT maintenue activement correspondant à une version LTS et proposée par Ubuntu
- Exemple pour un Lenovo Thinkpad T480
 - Actuellement installé : 5.19 (non-LTS)
 - Proposé : 5.19 et 5.15 (LTS)
 - On choisit 5.15 car LTS et activement maintenu en PREEMPT_RT
- Récupérer les sources pour `5.15.107-rt62`

```
wget https://cdn.kernel.org/pub/linux/kernel/projects/rt/5.15/patch-5.15.107-rt62.patch.xz
wget https://cdn.kernel.org/pub/linux/kernel/projects/rt/5.15/patch-5.15.107-rt62.patch.sign
wget https://www.kernel.org/pub/linux/kernel/v5.x/linux-5.15.107.tar.xz
wget https://www.kernel.org/pub/linux/kernel/v5.x/linux-5.15.107.tar.sign
```

- Décompresser les fichiers téléchargés

```
xz -dk patch-5.15.107-rt62.patch.xz
xz -d linux-5.15.107.tar.xz
```

- Importer les clés publiques des développeurs [du noyau](#) et [du patch \(5.15-rt\)](#) (Joseph Salisbury 2026-10)

```
gpg2 --locate-keys torvalds@kernel.org gregkh@kernel.org
gpg2 --keyserver hkps://keys.gnupg.net --search-keys salisbury
```

- Vérifier l'intégrité des fichiers source

```
gpg2 --verify linux-5.15.107.tar.sign
```

```
gpg: Good signature from "Greg Kroah-Hartman <gregkh@kernel.org>"
[unknown]
gpg: WARNING: This key is not certified with a trusted signature!
gpg:       There is no indication that the signature belongs to the owner.
```

```
gpg2 --verify patch-5.15.107-rt62.patch.sign
```

```
gpg: Good signature from "Tom Zanussi <tom.zanussi@linux.intel.com>"
[unknown]
gpg:          aka "Tom Zanussi <zanussi@kernel.org>" [unknown]
gpg:          aka "Tom Zanussi <tzanussi@gmail.com>" [unknown]
gpg: WARNING: This key is not certified with a trusted signature!
gpg:          There is no indication that the signature belongs to the owner.
```

Compiler le noyau temps réel

- Extraire l'archive tar, appliquer la patch et configurer le noyau temps-réel

```
tar xf linux-5.15.107.tar
cd linux-5.15.107
xzcat ../patch-5.15.107-rt62.patch.xz | patch -p1
make oldconfig
```

- Choisir l'option `4. Fully Preemptible Kernel (RT) (PREEMPT_RT_FULL) (NEW)` pour l'option `Preemption Model`

Preemption Model

```
1. No Forced Preemption (Server) (PREEMPT_NONE)
> 2. Voluntary Kernel Preemption (Desktop) (PREEMPT_VOLUNTARY)
3. Preemptible Kernel (Low-Latency Desktop) (PREEMPT)
4. Fully Preemptible Kernel (RT) (PREEMPT_RT_FULL) (NEW)
choice[1-4]: 4
```

- Compiler le noyau

```
make -j `getconf _NPROCESSORS_ONLN` deb-pkg
```

- Après la compilation, installer les paquets `linux-headers` et `linux-image` dans le dossier parent (pas les paquets `-dbg`)

```
sudo apt install ../linux-headers-5.15.107-rt62_*.deb ../linux-image-5.15.107-rt62_*.deb
```

Définir les permissions utilisateur pour exécuter des tâches temps-réel

- Le Driver ROS2 va planifier des threads avec les permissions de votre utilisateur. Il faut donc autoriser votre utilisateur à utiliser lancer des threads avec une priorité temps-réel. On crée le groupe des utilisateurs temps-réel et on y ajoute l'utilisateur :

```
sudo groupadd realtime
sudo usermod -aG realtime $(whoami)
```

- S'assurer que `/etc/security/limits.conf` contient :

```
@realtime soft rtprio 99
@realtime soft priority 99
@realtime soft memlock 102400
@realtime hard rtprio 99
@realtime hard priority 99
@realtime hard memlock 102400
```

Note: Pour que ces changements soient pris en compte il faut se déconnecter et se reconnecter. On redémarrera plus tard.

<https://github.com/HowardWhile/Ubuntu22.04-RT-Kernel>

Configurer GRUB pour toujours booter le noyau temps-réel

- Lister les noyaux disponibles

```
awk -F' ' '/menuentry | submenu / {print $1 $2}' /boot/grub/grub.cfg
```

```
menuentry Ubuntu
submenu Advanced options for Ubuntu

    menuentry Ubuntu, with Linux 5.15.107-rt62
    menuentry Ubuntu, with Linux 5.15.107-rt62 (recovery mode)
```

- Définir le noyau `5.15.107-rt62` par défaut avec un pattern `"submenu_name>entry_name"`

```
sudo sed -i 's/^GRUB_DEFAULT=.*/GRUB_DEFAULT="Advanced options for Ubuntu>Ubuntu, with Linux
5.15.107-rt62"/' /etc/default/grub
$ sudo update-grub
```

Vérification de la capacité de préemption temps-réel

```
uname -v | cut -d" " -f1-4
```

```
#1 SMP PREEMPT RT
```

Optionnel : Désactiver le CPU speed scaling

Les threads planifiés en temps-réel s'exécutent sans problème. Cependant, des composants externes tels que les systèmes de visual servoing, non planifiés pour le temps réel peuvent être interrompus par les fonctionnalités d'économie d'énergie des processeurs récents qui changent leur fréquence d'horloge de manière dynamique.

- Pour vérifier et modifier les modes d'économie d'énergie :

```
sudo apt install cpufrequtils  
cpufreq-info
```

```
current CPU frequency is XXX MhZ
```

- Désactiver le changement de fréquence automatique :

```
sudo systemctl disable ondemand  
sudo systemctl enable cpufrequtils  
sudo sh -c 'echo "GOVERNOR=performance" > /etc/default/cpufrequtils'  
sudo systemctl daemon-reload && sudo systemctl restart cpufrequtils
```

Configuration du robot UR

https://docs.ros.org/en/ros2_packages/rolling/api/ur_robot_driver/installation/robot_setup.html

Récupération de la calibration usine

Les robots sont calibrés en usine. Pour que les calculs cinématiques effectués dans ROS soient exacts, il faut récupérer les données de calibration. Sinon la précision des trajectoires envoyées depuis ROS et exécutées sur le robot risquent d'être de l'ordre du centimètre (au lieu du dixième de millimètre en temps normal).

https://docs.ros.org/en/ros2_packages/rolling/api/ur_robot_driver/installation/robot_setup.html#extract-calibration-information

Auteur: Gauthier Hentz, sur le [wiki](#) de l'innovation de l'IUT de Haguenau

Attribution-NonCommercial-PartageMemeConditions 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)

Programmer un robot avec MoveIt2 - Jumeau Numérique

Prérequis : être arrivé [au bout du tutoriel sur le Driver UR ROS2](#)

Comment fonctionne la manipulation avec MoveIt ?

MoveIt2 est la plateforme de manipulation robotique pour ROS2. Il implémente un nombre important des dernières innovations en termes de :

- Planification de trajectoire
- Manipulation
- Perception 3D
- Cinématique
- Contrôle
- Navigation

<https://moveit.picknik.ai/humble/doc/concepts/concepts.html>

Premiers pas avec MoveIt dans RViz

Pour débiter avec MoveIt, on peut utiliser ses fonctionnalités de planification de trajectoire via le **plugin MoveIt Display** du logiciel de visualisation 3D de ROS **RViz**. C'est un outils très puissant pour débiter des applications robotiques ROS. On verra que RViz est alors un jumeau numérique du vrai robot.

Les tutoriels pour débiter et approfondir ses compétences avec MoveIt sont en Anglais et fonctionnent avec le robot Panda de Franka Emika.

Nous reprenons ici le [tutoriel pour débuter avec MoveIt](#), et l'appliquons à un UR5e.

Avec un hardware simulé par ROS

- Faire tourner le driver UR ROS2

```
ros2 launch ur_robot_driver ur_control.launch.py ur_type:=ur5e robot_ip:=yyy.yyy.yyy.yyy
fake_hardware:=true launch_rviz:=false
```

Avec la simulation URSim

Voir <https://innovation.iha.unistra.fr/books/robotique-open-source/page/universal-robot-ros2-driver#bkmrk-installation-du-simu>

Sous Ubuntu 22 - docker

- Démarrer la simulation URSim pour un UR5e

```
ros2 run ur_robot_driver start_ursim.sh -m ur5e
```

- Ouvrir l'interface URSim dans le navigateur : <http://192.168.56.101:6080/vnc.html> --> cliquer sur Connect
- Faire tourner le driver UR ROS2

```
ros2 launch ur_robot_driver ur_control.launch.py ur_type:=ur5e robot_ip:=192.168.56.101
launch_rviz:=false
```

Sous Windows - VirtualBox

- Télécharger la VM URSim avec External Control préinstallé
- Configurer le réseau NAT VirtualBox, récupérer les adresses IP avec `ip a` et tester la communication avec `ping 10.0.2.X`, cf. :
 - <https://innovation.iha.unistra.fr/books/robotique-open-source/page/universal-robot-ros2-driver#bkmrk-configurer-le-r%C3%A9seau>
- Démarrer URSim
- Démarrer le robot virtuel
- Tester la communication entre ros_control et l'URCap external control, cf. <https://innovation.iha.unistra.fr/books/robotique-open-source/page/universal-robot-ros2->

[driver#bkmrk-https%3A%2F%2Fgithub.com%2Fr](#)

- ```
ros2 launch ur_robot_driver ur_control.launch.py ur_type:=ur5e robot_ip:=10.0.2.5
initial_joint_controller:=joint_trajectory_controller launch_rviz:=true
```

## Avec le vrai robot

- Faire tourner le driver UR ROS2

```
ros2 launch ur_robot_driver ur_control.launch.py ur_type:=ur5e robot_ip:=192.168.0.10
launch_rviz:=false
```

## Lancer MoveIt et RViz

```
ros2 launch ur_moveit_config ur_moveit.launch.py ur_type:=ur5e launch_rviz:=true
```

<https://ur-documentation.readthedocs.io/en/latest/index.html> ?

## Déplacer le Robot avec le Plugin MoveIt dans RViz

- On veut lancer une requête de planification de trajectoire
- On utilise le plugin MotionPlanning qui permet de configurer la requête via une interface graphique

## Résultat

[ros2\\_moveit2\\_ros2control\\_commande\\_externe\\_UR5e.mp4](#)

## Planification de trajectoire avec OMPL

## Ajouter un obstacle

- Choisir une configuration cible faisable, sans collision

[ros2\\_moveit2\\_OMPL\\_RRTconnect\\_evitement\\_collision\\_automatique](#)

# Tester différents algorithmes d'OMPL

- Algorithmes RRT d'exploration rapide stochastique d'arbre
- 

[ros2\\_moveit2\\_OMPL\\_RRTstar\\_evitement\\_collision\\_longueur\\_optimisee](#)

## Résultat

En optimisant la trajectoire avec RRTstar, on obtient un mouvement fluide, qui évite les collision avec l'environnement et de longueur minimisée. Voir la [vidéo réalisée en salle robotique de l'IUT](#).

-----

Auteur: [Gauthier Hentz](#), sur le [wiki de l'innovation de l'IUT de Haguenau](#)

Attribution-NonCommercial-PartageMemeConditions 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)