






Workshop ROS 2

Introduction à l'écosystème

Etienne Schmitz


Table des matières

1.  ROS 2 : un écosystème open-source pour la robotique
2.  Ecosystème de ROS 2
3.  Concepts de base ROS 2
4.  Organisation d'un projet ROS 2
5.  TP - Journée 1





ROS 2 : un écosystème open-source pour la robotique

Qu'est-ce que ROS 2 ?

ROS 2 (Robot Operating System 2) est un **middleware open-source** conçu pour **accélérer** et **simplifier** le développement de systèmes robotiques complexes.





 Au lieu de créer un SDK spécifique pour chaque robot, ROS 2 propose une **infrastructure modulaire, unifiée et réutilisable**, adaptée à une grande variété de projets.

Il est utilisé dans de nombreux domaines :

-  **Recherche** et prototypage rapide
-  **Industrie** (robotique collaborative, automatisation)
-  **Véhicules autonomes**, drones, AMR
-  **Bras manipulateurs** et robots de service

ROS 2 est un **socle logiciel commun** pour concevoir, tester et déployer des systèmes robotiques avancés.

Les principales fonctionnalités de ROS 2

-  **Bibliothèques** : communication inter-processus, calcul de trajectoires, asservissement moteur, gestion des capteurs, etc.
-  **Applications** : simulation physique (*Gazebo*, *Ignition*), visualisation de données (*RViz*), enregistrement et rejeu de données (*rosbag*), outils de débogage, etc.
-  **Conventions** : standardisation des formats de représentation des robots (*URDF*, *SDF*), des capteurs, des actionneurs, des messages et des services.
-  **Communauté** : large base de composants open-source, documentation abondante, forums d'entraide, tutoriels et vidéos pédagogiques.

Historique de ROS

-  **2010** : Lancement de **ROS 1** par *Willow Garage*, initialement conçu pour le robot **PR2**.
-  **2012** : Lancement de **ROS-Industrial** : adaptation de ROS aux besoins de l'**industrie**.
-  **2012** : Création de la **OSRF (Open Source Robotics Foundation)** — aujourd'hui **Open Robotics**, organisme gérant le développement de ROS.
-  **2017** : Lancement de **ROS 2**, une réécriture complète pour répondre aux **limitations de ROS 1** (temps réel, sécurité, fiabilité, middleware DDS...).

De ROS 1 à ROS 2 : une nouvelle architecture

ROS 2 est une **réécriture complète** de ROS 1, conçue pour répondre aux besoins modernes de la robotique :

- 🕒 **Temps réel** mieux géré grâce au middleware **DDS**
- 🔒 **Sécurité** renforcée
- 🧩 **Modularité** accrue, architecture plus propre
- ⚙️ **Performance** optimisée pour les systèmes distribués
- 🔄 Architecture passée de **centralisée (ROS 1)** à **distribuée (ROS 2)**


⚠️ **Compatibilité limitée** : ROS 2 n'est **pas rétrocompatible** avec ROS 1.


Des *bridges* existent, mais un package ROS 2 **ne peut interagir qu'avec ROS 2**.

Distributions - ROS 2

ROS 2 évolue par **distributions annuelles**, nommées comme Ubuntu :

➡ **Adjectif + nom propre**, dans l'ordre alphabétique (ex. *Iron Irwini*, *Jazzy Jalisco*).

 Tous les **2 ans**, une version **LTS (Long Term Support)** est publiée, avec un support de 5 ans.

 La plupart des packages ROS 2 sont nommés comme ceux de ROS 1, avec le suffixe **2** :

→ `MoveIt` devient **MoveIt 2**

→ `move_base` devient **Nav2**,




⚠ **ROS 1 est en fin de vie** : sa dernière version, **Noetic Ninjemys**, est maintenue jusqu'en **mai 2025**.

Distributions - ROS 2

- **Lyrical Luth** (*prévue pour 2026*
– *LTS*) : prochaine version à
support long terme
- **Rolling Ridley** : version à
développement continu,
toujours à jour, mais non stable
([REP 2002](#)).

ROS Enhancement Proposals (REP)

Les **REP** sont des documents qui définissent les standards, conventions et évolutions de ROS (inspirés des **PEP** de Python). Ils sont utilisés pour :

-  l'organisation des distributions et des packages
-  les formats de messages, fichiers et conventions de nommage
-  les évolutions du middleware (DDS, RMW, etc.)

 Exemples :

- [REP 2000](#) : politique de publication
- [REP 2002](#) : distribution *rolling*
- [REP 2011](#) : format des messages ROS 2

 Les REPs assurent une **gouvernance ouverte** et une **cohérence technique**.

✅ Avantages de ROS 2



- 🕒 **Gain de temps d'ingénierie** grâce à des briques logicielles existantes et éprouvées
- 🧰 **Écosystème riche** : outils compatibles, bibliothèques, standards reconnus
- 🧩 **Architecture modulaire** : composants interchangeables, dette technique réduite
- 🔗 **Interopérabilité** : intégration facilitée via des formats standardisés (URDF, messages, etc.)
- 🚀 **Facilité d'extension** : matériel ou logiciel, pour intégrateurs ou chercheurs
- 🗝️ **Liberté vis-à-vis des fournisseurs** : pas de **vendor lock-in**
- 🤝 **Support communautaire** (forums, GitHub) et **support professionnel** (Open Robotics, intégrateurs)




⚠️ Limites et inconvénients de ROS 2

- 🧱 **Standards parfois trop rigides** pour des cas spécifiques ou atypiques (ex : Robocup SSL)
- 📖 **Courbe d'apprentissage** non négligeable, surtout pour les débutants
- 🐧 **Compatibilité limitée hors Linux** : Docker, Windows, macOS partiellement pris en charge
- 🔄 **Évolution rapide** : certaines APIs deviennent vite obsolètes → veille technique nécessaire

Langages supportés par ROS 2






ROS 2 prend en charge plusieurs langages, avec deux **langages officiels** (les plus documentés dans l'écosystème ROS 2):

-  **Python** (`rclpy`)
 - Simple, rapide à écrire, idéal pour les **scripts**, le **prototypage**, et les **demos pédagogiques**
-  **C++** (`rclcpp`)
 - Plus performant, utilisé pour les **drivers**, **nœuds critiques** et les applications industrielles

D'autres langages sont disponibles via des **bindings** tels que  **Rust** (`rclrs`),
 **Java**,  **Ada**, et autres langages spécialisés.

Types de robots compatibles avec ROS 2

ROS 2 est conçu pour une **grande variété de plateformes robotiques** :



-  **Robots à roues** : AGV, AMR, véhicules autonomes
-  **Robots volants** : drones, UAV
-  **Cobots et bras manipulateurs** industriels
-  **Robots à pattes** et humanoïdes
-  **Capteurs ou actionneurs autonomes** intégrés à un réseau ROS

Pour qu'un robot fonctionne avec ROS, il doit disposer d'un **driver ROS** développé par le **constructeur**, un **laboratoire** ou la **communauté open-source**.

 Découvrez les robots compatibles ROS : robots.ros.org




RMW : le cœur des communications ROS 2

ROS 2 repose sur une couche appelée **RMW (ROS Middleware Interface)**, qui agit comme un **traducteur universel** entre ROS 2 et le réseau.

-  Gère la **communication entre les nœuds**, même sur plusieurs machines (Ethernet, Wi-Fi...)
 -  Sert d'interface entre ROS 2 et un **middleware de transport (DDS)**
-  Grâce à RMW, ROS 2 est **modulaire, distribué** et prêt pour le **temps réel**.

Les trois modes de communication ROS 2

Le middleware ROS 2 permet plusieurs types d'échange entre les nœuds :

-  **Topics** : messages en mode **asynchrone** (publish/subscribe)
| Ex : `/scan` (LiDAR), `/cmd_vel` (commande moteur)
-  **Services** : **appel direct** avec réponse immédiate (requête / réponse)
| Ex : demander la position actuelle du robot
-  **Actions** : pour les **tâches longues** avec retour d'état régulier
| Ex : envoyer un robot à une position




Ces mécanismes sont essentiels pour créer des systèmes robotiques interactifs.

DDS : le moteur réseau de ROS 2

Sous RMW, ROS 2 utilise un middleware nommé **DDS (Data Distribution Service)**. **DDS** est un **middleware réseau standardisé** qui permet à plusieurs programmes de **s'échanger des données en temps réel**.

Il est défini par l'**OMG** (Object Management Group) — l'organisme qui maintient aussi **UML** (Unified Model Language).

DDS apporte :

-  **Qualité de service (QoS)** : fiabilité, fréquence, persistance...
-  **Sécurité** (`sros2`) : chiffrement, authentification, contrôle d'accès
-  **Interopérabilité** : choix entre plusieurs moteurs DDS (Fast DDS, Cyclone DDS...)

 Ces options font de ROS 2 une solution robuste, adaptée à la **robotique industrielle critique**

Ecosystème de ROS 2



Gazebo – Simulation robotique

- Environnement de **simulation physique 3D** pour tester les robots virtuellement
- Supporte les capteurs (LiDAR, caméra, IMU...), moteurs, obstacles...



Permet de tester les algorithmes de navigation, contrôle et SLAM **sans robot physique**

Visualisation – RViz et rqt*

-  **RViz** : visualiseur 3D interactif des données ROS (lidar, caméra, trajectoire, etc.)
-  **rqt*** : suite d'outils graphiques modulaires (rqt_graph, rqt_console, rqt_plot...)

 Utile pour :

- Visualiser les capteurs en temps réel
- Comprendre les interactions entre nœuds
- Debuguer facilement son système ROS

Foxglove Studio (Optionnel)

Foxglove est un outil moderne de visualisation de données ROS, alternatif ou complémentaire à RViz.

- Visualisation graphique de topics, logs, et messages en temps réel ou enregistrés
- Compatible ROS 2, WebSocket, rosbag2, JSON...
- Interface web ou application de bureau

 <https://foxglove.dev>

NAV2 – Navigation autonome

NAV2 (Navigation 2) est le système de navigation ROS 2, successeur de **move_base** (ROS 1).

- Construction de carte, localisation (AMCL), planification globale et locale
- Évitement d'obstacles
- Suivi de trajectoire jusqu'à une cible

Utilisé pour les robots mobiles autonomes (AGV, AMR, drones au sol)

 <https://nav2.org>

MoveIt 2 – Manipulation robotique

- Planification de mouvement pour **bras manipulateurs** (cobots, robots industriels)
- Résolution de la cinématique inverse et collision checking
- Intégration avec perception (capteurs) et navigation

Utilisé avec des robots comme UR, Franka Emika, Kinova, etc.

 <https://moveit.ai>

ROS 2 Control – Boucles de contrôle temps réel

- Interface d'abstraction pour le **contrôle bas niveau** (moteurs, joints, capteurs)
- Séparation entre contrôleurs et interfaces matériel (hardware abstraction layer)
- Compatible avec MoveIt2, NAV2, etc.




 Rendre le logiciel indépendant du modèle hardware du robot.

Arbres de comportement (Behavior Trees)

- Modèle de décision basé sur une **arborescence d'actions**
- Remplace les machines à états (FSM) dans la navigation ou la manipulation
- Utilisé par **NAV2**, **MoveIt Task Constructor**, et d'autres projets
- Possibilité d'utiliser une UI (Groot 2)





Projets connexes à ROS 2

ROS 2 est utilisé comme **socle logiciel** dans de nombreux projets spécialisés :

-  **Autoware** : middleware open-source pour la **conduite autonome** (voitures, navettes...)
 -  **ROS-Industrial** : adaptation de ROS aux besoins de la **robotique industrielle** (ABB, Fanuc, UR...)
-  ROS 2 alimente une **écosystème en pleine expansion** de projets open-source dans la robotique moderne.

Des conventions partagées







ROS définit des **conventions communes** pour garantir l'interopérabilité :

-  **Unités physiques** : mètre, seconde, radian, newton, etc. (SI)
-  **Messages standardisés** : `geometry_msgs` , `sensor_msgs` , `std_msgs` , ...
-  **Nommage des topics/services** : `/joint_states` , `/scan` , `/cmd_vel` , ...
-  **Formats descriptifs** : `URDF` , `SRDF` , `YAML` pour les paramètres

Cela permet à tous les développeurs de "parler le même langage"

Une boîte à outils du roboticien

Parmi les outils clés ROS :

-  **URDF** : description du robot (géométrie, liens, articulations)
-  **tf2** : transformations entre repères datées
-  **rosviz** : enregistrement / rejeu de données
-  **rqt_plot, PlotJuggler** : affichage temps réel de courbes
-  **rqt_graph** : vue des nœuds et communications
-  **view_frames** : représentation des repères

Outils légers, activables à la demande selon les besoins



Concepts de base ROS 2

Nœuds

- Un **nœud** est une unité de calcul, typiquement un exécutable (C++, Python...)
- Chaque nœud exécute une tâche précise
- Les nœuds communiquent entre eux via des **topics**, des **services** ou des **actions**

Exemple de système à 3 nœuds

- 🧠 **Nœud 1 (Python)** : Analyse de l'image de la caméra (OpenCV)
- 📍 **Nœud 2 (Python)** : Calcul de la trajectoire pour aller à l'objectif
- ⚙️ **Nœud 3 (C++)** : Pilotage des moteurs du robot

Un système ROS 2 est composé de **plusieurs nœuds coopérants**

Topics & Messages

Les **topics** sont des **canaux de communication asynchrones** entre les nœuds ROS.


 Modèle **Publish / Subscribe** :

-  Un ou plusieurs nœuds **publient** des messages sur un topic
-  Un ou plusieurs nœuds peuvent **s'abonner** pour les recevoir

 **Exemple** :

Le topic `/camera/image_raw` transporte des images au format :

→ `sensor_msgs/msg/Image`

 Idéal pour les flux de données continus : capteurs, commandes, états du robot...

Services

Les **services** permettent une **communication synchrone** entre deux nœuds :


 Une **requête** est envoyée →  Une **réponse** est retournée.

 Modèle **Client / Serveur** :




- Le **client** envoie une requête
- Le **serveur** traite et renvoie une réponse

 **Exemple :**

Demander la **position actuelle** du robot ou changer un paramètre à la volée.

 Un service ne peut avoir **qu'un seul serveur**, mais **plusieurs clients** peuvent l'appeler.

Actions

- Pour les **tâches longues** : navigation, manipulation...
- Basé sur 3 éléments :
 -  Un objectif
 -  Un retour intermédiaire (feedback)
 -  Un résultat

Exemple :

Atteindre une destination en renvoyant l'avancement à chaque étape




Paramètres

Les **paramètres** sont des **variables dynamiques** associées à un nœud ROS 2.

 Ils permettent de **modifier le comportement** d'un nœud **sans changer le code**

 Accessibles via le code **ou** en ligne de commande (`ros2 param`)

 **Exemples de paramètres :**

-  Vitesse maximale autorisée
-  Nom du robot
-  Type de contrôleur utilisé




 Très utiles pour tester, ajuster ou déployer un système de manière flexible.



Organisation d'un projet ROS 2

Structure d'un projet ROS 2

Un projet ROS 2 est organisé de manière **modulaire et hiérarchique**, pour faciliter le développement collaboratif.

-  Chaque **fonctionnalité** est placée dans un **package** ROS 2
-  Ces packages sont regroupés dans un **workspace**
-  Le workspace permet de compiler, tester et lancer tous les packages ensemble




 Cette structure encourage la **réutilisabilité**, la **clarté** et la **maintenance à long terme**.


Packages ROS 2

Un **package** est l'**unité de base** d'un projet dans ROS 2.

Il regroupe **tout ce qui est nécessaire** à une fonctionnalité robotique.

 Un package contient généralement :





-  Le **code source** des nœuds (Python ou C++)
-  Les **fichiers de configuration** : `YAML` , fichiers `launch` , paramètres...
-  Les **ressources** : `URDF` , images, `rosvag` , scripts, etc.

 Un package ROS 2 est un **dossier structuré, versionnable, et réutilisable** dans d'autres projets.

Workspace ROS 2

Un **workspace** est un dossier qui regroupe vos **packages en développement**. C'est l'environnement dans lequel vous développez, compilez et testez vos fonctionnalités ROS 2.

 Un workspace typique contient :

-  `src/` → vos **packages sources**
-  `build/` → fichiers de **compilation**
-  `install/` → **binaries** et exécutables
-  `log/` → journaux de compilation et exécution

✓ Le workspace permet de **compiler, exécuter, tester** tous vos packages localement avec `colcon build` et `source install/setup.bash`.

Fichiers de lancement (launch files)

Les **fichiers launch** permettent de **lancer plusieurs nœuds ROS 2 à la fois**, avec leurs paramètres et configurations.

 Ils sont écrits en **Python** (`.py`) et permettent :

- de démarrer plusieurs nœuds simultanément
- de charger des paramètres depuis des fichiers `YAML`
- de définir des arguments (nom de robot, namespace, etc.)

Fichiers de lancement (launch files)

 Exemple :

```
from launch import LaunchDescription
from launch_ros.actions import Node

def generate_launch_description():
    return LaunchDescription([
        Node(
            package='my_robot',
            executable='controller_node',
            name='controller',
            parameters=['config/params.yaml']
        )
    ])
```

ROS_DOMAIN_ID — Isolation réseau des robots

ROS 2 utilise **DDS**, qui fonctionne par **multidiffusion** sur le réseau local.

Pour éviter que plusieurs robots ou groupes se perturbent mutuellement, on utilise :



ROS_DOMAIN_ID

- C'est un **identifiant numérique** (entre `0` et `232`)
- Il permet d'**isoler les communications DDS** sur un même réseau Wi-Fi
- Deux systèmes avec des `ROS_DOMAIN_ID` différents **ne communiquent pas entre eux**

✓ Bonnes pratiques

- Chaque groupe de travail ou robot doit avoir un **ROS_DOMAIN_ID unique**
- Le même `ROS_DOMAIN_ID` doit être défini sur **le robot et le PC**

🔧 Exemple à ajouter dans `~/.bashrc` :

```
export ROS_DOMAIN_ID=12
```

⛔ Ne pas utiliser le même numéro que les autres groupes dans la salle (si réseau commun)

La CLI ROS 2 (**ros2**)








ROS 2 fournit une **interface en ligne de commande (CLI)** puissante pour interagir avec l'écosystème :

 Commande principale :

```
ros2 <commande> [options]
```

✓ Idéal pour **inspecter**, **tester**, **lancer** ou **déboguer** des éléments ROS 2 directement en terminal.

Commandes courantes

Catégorie	Exemple	Description
 Packages	<code>ros2 pkg list</code>	Liste tous les packages installés
 Nœuds	<code>ros2 node list</code>	Liste les nœuds actifs
 Topics	<code>ros2 topic echo /scan</code>	Affiche les messages publiés sur un topic
 Paramètres	<code>ros2 param list</code>	Liste les paramètres d'un nœud
 Services	<code>ros2 service list</code>	Liste les services disponibles
 Actions	<code>ros2 action list</code>	Liste les actions disponibles
 Diagnostic	<code>ros2 doctor</code>	Diagnostic l'installation ROS 2

Travaux pratiques

- [Installation ROS 2 - Jazzy \(PC\)](#)
- [TP 1 - Introduction ROS 2](#)
- Si vous avez le temps, débiter la deuxième journée par l'installation du robot [TurtleBot 3](#).

Liens utilisés

- Image RVIZ : Pütz, Sebastian & Wiemann, Thomas & Hertzberg, Joachim. (2019). Tools for Visualizing, Annotating and Storing Triangle Meshes in ROS and RViz. 1-6. 10.1109/ECMR.2019.8870953.
- [ROS 2 Architecture Overview](#)