Bras Robot - Arduino ROS2 IA

- Bras robot low-cost
- Pilotage des servomoteurs : TTL, RS232, RS485
- SO-ARM100 - ROS2 et IA avec LeRobot
- IA robotique - Architectures pour l'apprentissage profond
- SO-ARM100 - Robotique éducative
- Introduction à Modbus
- Transmission TTL et protocole RS485

Bras robot low-cost

Modèles commerciaux fermés

Niryo Ned 2

- 6DOF + Pince

https://niryo.com/fr/produit/bras-robotise-6-axes/

https://github.com/NiryoRobotics

DAGU Six-servo Robot Arm

- 5DOF Manipulateur + 1DOF Pince
- 6 servos
  - 3x 13 kg.cm torque metal gear, 40.4 * 19.8 * 36 mm, 48g, 0.22s/60°
  - 1x 3.2 kg.cm, 39.5 x20.0x35.5mm, 41g, 0.27s/60°
  - 2x 2.3 kg.cm, 28 x14x29.8mm, 18g, 0.13/60°
- Carte de contrôle AREXX Intelligence Centre

https://seafile.unistra.fr/d/693101e6046d4819a3af/

https://arexx.com/product/robot-arm/

www.arexx.com.cn

Modèles Open Source

https://github.com/AntoBrandi/Robotics-and-ROS-2-Learn-by-Doing-Manipulators

Trossen Robotics ALOHA

Stationary

https://docs.trossenrobotics.com/trossen_arm/main/specifications.html

https://docs.trossenrobotics.com/aloha_docs/2.0/specifications.html#aloha-stationary

https://docs.trossenrobotics.com/aloha_docs/2.0/operation/stationary.html

Solo

Dimensions	1019D x 1066H x 1225W mm
Leader Arms	WidowX 250 S - Aloha Version
Follower Arms	ViperX 300 S - Aloha Version
Camera	2x Intel RealSense D405
Chassis	Modular
Computer	Coming Soon
USB Hubs	Yes 1X

https://docs.trossenrobotics.com/aloha_docs/2.0/specifications.html#aloha-solo

https://docs.trossenrobotics.com/aloha_docs/2.0/operation/solo.html

Trossen Robotics (Interbotix) X-Series Arms

https://docs.trossenrobotics.com/interbotix_xsarms_docs/specifications.html

ALOHA WidowX-250 6DOF

ALOHA ViperX-300 6DOF

Waveshare RoArm

- 5DOF + pince Waveshare
- https://github.com/waveshareteam/roarm_ws
- https://www.waveshare.com/product/roarm-m3.htm?sku=30444

ROBOTIS Open Manipulator-P

- 5DOF + pince
- Modbus-RTU
- https://emanual.robotis.com/docs/en/platform/openmanipulator_p/overview/

ROBOTIS Open Manipulator-X

https://emanual.robotis.com/docs/en/platform/openmanipulator_x/specification/#specification

- 4 DOF Manipulateur + 1 DOF Pince
- 6x Dynamixel XM430-W350 https://emanual.robotis.com/docs/en/dxl/x/xm430-w350/
- Carte de contrôle Robotis OpenCR1.0
  https://emanual.robotis.com/docs/en/parts/controller/opencr10/

SO-ARM100

https://github.com/TheRobotStudio/SO-ARM100

- 5 DOF Manipulateur + 1 DOF Pince
- 6 servos Feetech STS3215 https://www.feetechrc.com/en/2020-05-13_56655.html
- Waveshare Serial Bus Servo Driver Board
  https://www.waveshare.com/wiki/Bus_Servo_Adapter_(A)
- OU
- Feetech FE-URT-1 https://www.feetechrc.com/FE-URT1-C001.html

https://github.com/huggingface/lerobot/blob/main/examples/10_use_so100.md

https://medium.com/@sarohapranav/my-experiences-and-tips-for-creating-a-robotic-so100-arm-3df779a4aae7

https://github.com/JafarAbdi/ros2_so_arm100

pince compatible SO-ARM

- Waveshare https://www.waveshare.com/gripper-a.htm?sku=30386

Cartes de contrôle

OpenCR1.0

https://emanual.robotis.com/docs/en/parts/controller/opencr10/

- STM32F746ZGT6 / 32-bit ARM Cortex®-M7 with FPU (216MHz, 462DMIPS)
  Reference Manual, Datasheet
- Programmer : ARM Cortex 10pin JTAG/SWD connector
  USB Device Firmware Upgrade (DFU)
  Serial
- Digital I/O
  - 32 pins (L 14, R 18) *Arduino connectivity
  - 5Pin OLLO x 4
  - GPIO x 18 pins
  - PWM x 6
  - I2C x 1
  - SPI x 1
- Communication Ports
  - USB x 1 (Micro-B USB connector/USB 2.0/Host/Peripheral/OTG)
  - TTL x 3 (B3B-EH-A / DYNAMIXEL)
  - RS485 x 3 (B4B-EH-A / DYNAMIXEL)
  - UART x 2 (20010WS-04)
  - CAN x 1 (20010WS-04)

Waveshare Serial Bus Servo Driver Board

https://www.waveshare.com/wiki/Bus_Servo_Adapter_(A)

- Supports connecting to a host or MCU
- up to 253 ST/SC series serial bus servos
- RS485
- UART pour contrôle depuis Arduino, ESP32, STM32 (RX-RX, TX-TX)
- USB pour contrôle via Raspberry, Jetson ou PC
- 9~12.6V voltage input (the input voltage and the servo voltage must be matched)

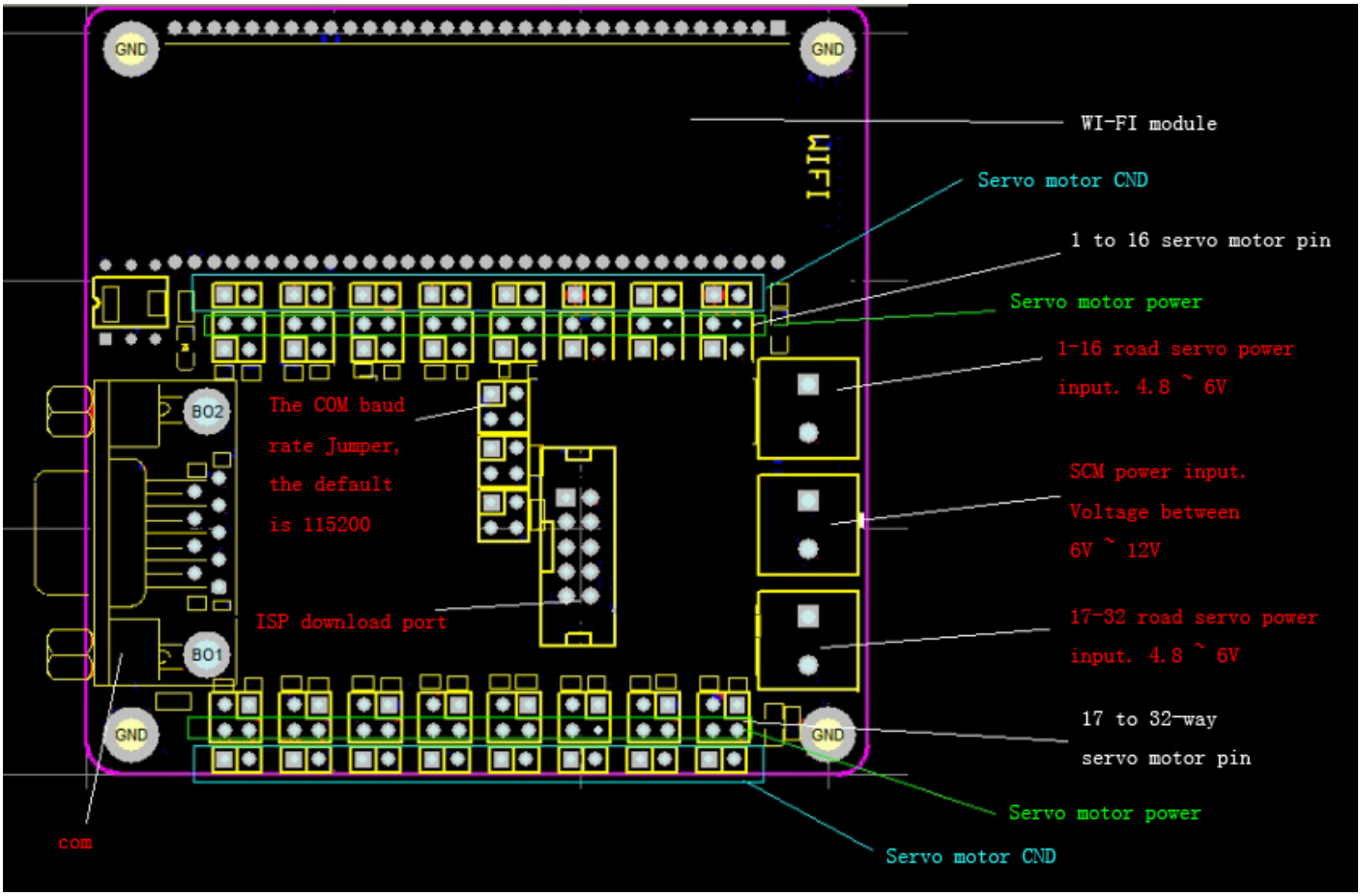
Feetech FE-URT-1

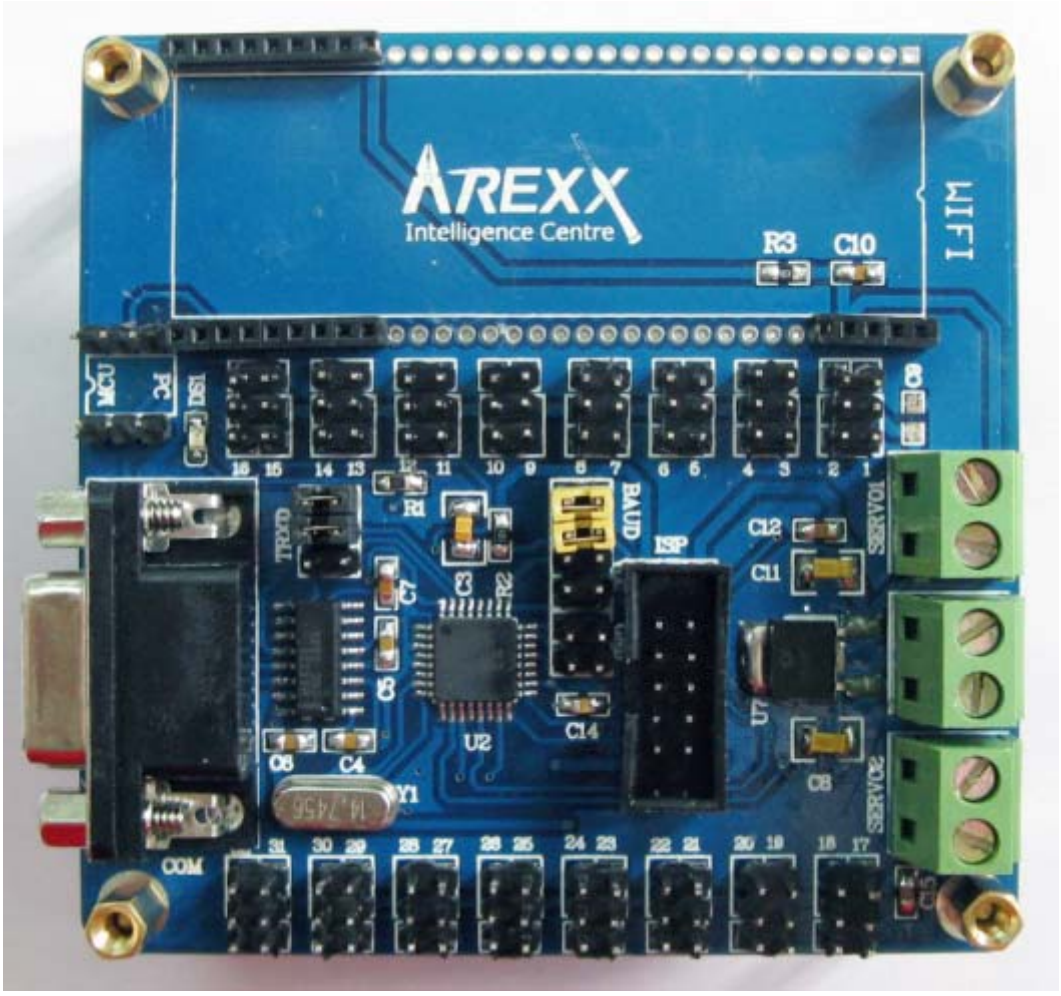
https://www.feetechrc.com/FE-URT1-C001.html

AREXX Intelligence Centre

https://seafile.unistra.fr/d/693101e6046d4819a3af/

- atmega168 MCU
- RS232
- default baud rate is 115.2k
- Wifi wireless control reserve the ISP downloaded, you can download the MCU controller program using the STK500 ISP cable





- dual - Power Supply
  - 6 ~ 12 V SCM power
  - 4.8 ~ 6 V, 1.2A servo motor power [servo motor power supply Road 1-16 respectively, a 17-32 road supply port])

Servomoteurs

Dynamixel XM430-W350

https://emanual.robotis.com/docs/en/dxl/x/xm430-w350/

- 4.1 [N.m] (at 12.0 [V], 2.3 [A])
- 46 [rev/min] (at 12.0 [V])
- 10.0 ~ 14.8 [V]
- Operating Modes
  - Current Control Mode
  - Velocity Control Mode
  - Position Control Mode (0 ~ 360 [°])
  - Extended Position Control Mode (Multi-turn)
  - Current-based Position Control Mode

    - PWM Control Mode (Voltage Control Mode)
- baud rate 9,600 [bps] ~ 4.5 [Mbps]
- TTL Half Duplex Asynchronous Serial Communication with 8bit, 1stop, No Parity
- RS485 Asynchronous Serial Communication with 8bit, 1stop, No Parity

Feetech STS3215

https://www.feetechrc.com/en/2020-05-13_56655.html

Pilotage des servomoteurs : TTL, RS232, RS485

Modes de contrôle des servomoteurs

Regarder la classification des constructeurs permet de se rendre compte des différentes manières de piloter un servomoteur :

- Feetech https://www.feetechrc.com/
- Robotis :
  - https://www.robotis.fr/index.php?id_category=7&controller=category
  - https://emanual.robotis.com/docs/en/dxl/
  - https://www.dynamixel.com/
  - https://www.dynamixel.com/whatisdxl.php

Cela va donc du contrôle PWM jusqu'aux bus et protocoles industriels :

- Servos de modélisme asservis en position "servo 180°" ou en vitesse "servo 360°" via signal PWM
  - Feetech "PWM series servo"
    https://www.feetechrc.com/pwm%20series%20servo.html
  - https://arduino.blaisepascal.fr/conversion-numeriqueanalogique-pwm/
  - https://arduino.blaisepascal.fr/communication-2/
  - https://arduino.blaisepascal.fr/premiers-pas/faire-tourner-les-servos-2/
  - https://arduino.blaisepascal.fr/servo-suiveur/
  - https://arduino.blaisepascal.fr/les-servomoteurs/
  - https://arduino.blaisepascal.fr/controle-dun-servomoteur/
- Servos pédagogiques Dynamixel "série X" ou Feetech "Smart Serial Bus Servo"
  - TTL, ex. Feetech STS3235
  - RS485, ex. Feetech SMS..
- Servos professionnels Dynamixel "série P" ou Feetech "Modbus RTU Series Servo", par ex.
  - Modbus RTU https://celka.fr/ocw/plc-control/modbus/intro-modbus/intro/
  - Modbus TCP https://celka.fr/ocw/plc-control/modbus/modbus-tcp/modbus-tcp/

Introduction au contrôle PLC

https://celka.fr/ocw/plc-control/modbus/intro-modbus/intro/

Protocoles de communication

Dynamixel :

- Dynamixel Protocol 2.0 https://emanual.robotis.com/docs/en/dxl/protocol2/
- Modbus RTU pour les Dynamixel Pro (PH, RH, PM) https://emanual.robotis.com/docs/en/dxl/p/ph42-020-s300-r/#protocol-type13

Feetech :

- Modbus RTU pour les modèles : https://www.feetechrc.com/modbus-rtu%20series%20servo.html
  - Exemple servo 24V 24kg https://www.feetechrc.com/24v-24kgcm-modbus-rtu%E8%88%B5%E6%9C%BA.html

https://esp32io.com/tutorials/esp32-rs485

SO-ARM100 - ROS2 et IA avec LeRobot

LeRobot sur Ubuntu

Installation

- Installer Miniconda pour Linux : l'environnement de développement Python

```
wget https://repo.anaconda.com/miniconda/Miniconda3-latest-Linux-x86_64.sh
# Vérifier que la clé SHA256 de Miniconda3-latest-Linux-x86_64.sh ici :
https://repo.anaconda.com/miniconda/ correspond à :
sha256sum ~/Miniconda3-latest-Linux-x86_64.sh
bash ~/Miniconda3-latest-Linux-x86_64.sh
source ~/.bashrc
```

- Créer et activer l'environnement Conda

```
conda create -y -n lerobot python=3.10
conda activate lerobot
git clone https://github.com/huggingface/lerobot.git ~/lerobot
conda install ffmpeg -c conda-forge
cd ~/lerobot && pip install -e ".[feetech]"
```

Ne pas activer conda au démarrage : `conda config --set auto_activate_base false`

Ne pas configurer le shell pour initialiser conda au démarrage : `conda init --reverse $SHELL`

Configurer les servomoteurs

La carte `FE-URT-1` fournie par Feetech n'est pas détectée à cause d'un conflit avec un paquet de brail. On le désinstalle :

```
sudo apt-get autoremove brltty
```

https://askubuntu.com/questions/1321442/how-to-look-for-ch340-usb-drivers/1472246#1472246

https://github.com/huggingface/lerobot/blob/main/examples/10_use_so100.md#c-configure-the-motors

- Brancher la carte
- Trouver l'interface USB sur laquelle est branchée la carte, par ex. `/dev/ttyACM0`

```
python lerobot/scripts/find_motors_bus_port.py
```

- Changer les droits sur le interfaces USB

```
sudo chmod 666 /dev/ttyACM0
sudo chmod 666 /dev/ttyACM1
```

- Ouvrir Codium > File > Open Folder > `admin_ros/lerobot`
- Modifier le fichier de config

```
gedit ~/lerobot/lerobot/common/robot_devices/robots/configs.py
```

- Chercher la config du So100 en ligne 436 `class So100RobotConfig(ManipulatorRobotConfig):`
- Remplacer `port="/dev/tty.usbmodem58760431091",` pour le `leader_arms` (L446) et le `follower_arms` (L463) par le port découvert
- Brancher les servos un à un à la carte puis lancer le script d'initialisation, en incrémentant l'ID à chaque fois :

```
python lerobot/scripts/configure_motor.py \
  --port /dev/tty.usbmodem58760432961 \
  --brand feetech \
  --model sts3215 \
  --baudrate 1000000 \
  --ID 1
```

- Au fur et à mesure les brancher en série et/ou noter l'ID sur le moteur
- Les servos sont bougés à leur position centrale et l'offset mis à 0

Construction et assemblage mécanique

Une version 101 est sortie en 05/2025. Le Leader est plus simple à assembler, et plus besoin de démonter les servos pour enlever un engrenage et les rendre passifs. Il suffit d'acheter le kit de 6 servos avec 3 rapports de transmission différents :

- https://github.com/TheRobotStudio/SO-ARM100?tab=readme-ov-file#sourcing-parts
- https://www.alibaba.com/product-detail/6PCS-7-4V-STS3215-Servos-for_1601428584027.html?spm=a2747.product_manager.0.0.757c2c3clU7uH3

- Suivre le guide d'assemblage pour le SO101 : https://github.com/huggingface/lerobot/blob/main/examples/12_use_so101.md#step-by-step-assembly-instructions
- Pour le SO100 : https://github.com/huggingface/lerobot/blob/main/examples/10_use_so100.md#d-step-by-step-assembly-instructions

Astuces pour l'assemblage

- Mettre une vis sur l'arbre moteur et l'axe passif (à l'opposée de l'arbre moteur) quand il y a la place d'en mettre une (vérifier qu'il y aura la place après assemblage des éléments autour du moteur)
- Ne plus bouger les servos après leur initialisation qui les met à l'angle 0. Assembler les éléments de manière à ce que le robot soit en configuration initiale avec tous les moteurs à 0
- Si vous n'avez pas respecté le dernier point, il est possible d'ajouter un offset dans la configuration du servo

ROS2 et MoveIt2

Installer les paquets ROS2 du SO-ARM100 :

- Cloner le paquet dans un workspace ROS2 https://github.com/JafarAbdi/ros2_so_arm100
- Cloner le submodule https://github.com/TheRobotStudio/SO-ARM100 dans `so_arm100_description/SO-ARM100` (https://www.freecodecamp.org/news/how-to-use-git-submodules/)
- Ou simplement :

```
mkdir -p ~/ws_so_arm100/src
cd ~/ws_so_arm100/src
git clone --recurse-submodules https://github.com/JafarAbdi/ros2_so_arm100
cd ~/ws_so_arm100
sudo rosdep init
rosdep update && rosdep install --ignore-src --from-paths src -y
colcon build --symlink-install # dans une VM ajouter --parallel-workers 1
source install/setup.bash
ros2 launch so_arm100_moveit_config demo.launch.py hardware_type:=mock_components #
hardware_type:=real for running with hardware
```

Tester la démo en simulation :

- Lancer un des scripts : https://github.com/JafarAbdi/ros2_so_arm100?tab=readme-ov-file#usage

Pilotage ST3215 depuis un ESP32

https://github.com/sepastian/ESP32_ST3215

IA robotique - Architectures pour l'apprentissage profond

Le contrôle d'un robot pour une application donnée au moyen d'un modèle de réseaux de neurones nécessite de fournir une quantité importante de données d'apprentissage. Ces données doivent permettre de comprendre comment résoudre la tâche, par exemple pour une tâche de saisie et dépose d'un objet (Pick and Place) elles doivent donc comporter :

- Comment bouge le robot et chacun de ses moteurs
- Comment bouge la pince
- Où sont placés les objets au début "problème"
- Où sont placé les objets à la fin "solution"

L'approche la plus répandue pour générer ces données d'apprentissage est la démonstration : le robot est "téléguidé" par un opérateur. On enregistre la trajectoire des servomoteurs ainsi qu'une ou plusieurs vidéos filmant les objets et le robot.

Bancs matériel de Machine Learning

Aloha Solo

Base : $9,899.95

- WidowX Leader Arm ($4,949.95)
- ViperX Follower Arm ($7,149.95)
- 2x Intel RealSense D405 Cameras
- Portable Touchscreen Monitor
- Tripod, Cables, Accessories

https://www.youtube.com/watch?v=hFqZJZ666Cw

https://www.trossenrobotics.com/aloha-solo

Aloha Stationary

Without Laptop : $30,799.98

Environnement logiciel de collecte de données

Hugging Face LeRobot - Python

Trossen Robotics Interbotix - ROS, Python,

SO-ARM100 - Robotique éducative

Introduction à Modbus

Protocole Modbus

Image not found or type unknown
logo Modbus

Introduction

Modbus est un protocole de communication **non propriétaire** créé par Modicon en 1979. Les spécifications du protocole sont données librement sur le site de la Modbus Organization. Ce consortium a été créé par Schneider suite au rachat de Modicon en 1997 pour promouvoir Mobdus auprès des fabricants et utilisateurs.

Modbus est très populaire dans les environnement industriels car c'est un protocole simple, facile à intégrer, efficace, fiable, **ouvert** et royalty-free ! Vous pouvez très facilement intégrer Modbus dans vos projets à base d'ESP32, Raspberry, STM32 ...

Le protocole Modbus était à l'origine un protocole sur bus série (Modbus RTU). Il a évolué pour s'intégrer aux technologies TCP/IP quand Ethernet est monté en puissance. On le retrouve dans les domaines de:

- gestion technique des bâtiments
- systèmes de management de l'énergie
- processus complexes d'automatisation industrielle

C'est une couche applicative (niveau 7 OSI) qui se base sur les liaison séries ou sur les trames Ethernet et les couches TCP/IP.

Stack de communication Modbus :

Image not found or type unknown
Modbus Stack

On distingue les différents modes de communication :

- **Modbus TCP** : communication TCP/IP basée sur le modèle client/serveur
- **Modbus RTU** : transmission **série** asynchrone via **RS-485**, RS-232 ou RS-422.
- Modbus ASCII : similaire au protocole RTU, format sur 7 bit (utilisation très rare)

Nous débuterons l'analyse du protocole suivant la chronologie avec l'étude du **Mobdus RTU** (**R**emote **T**erminal **U**nit) sur liaison série.

Modbus RTU

Principe du protocole Master / Slave utilisé en Modbus Serial

La terminologie Master / Slave est remise en cause ces dernières années dans la communauté des développeurs et l'on évite de l'utiliser sur de nouveaux projets. Comme ces termes sont utilisés dans les spécifications officielles "Modbus Serial", je continuerai des les employer sur cet exemple par cohérence avec les documentations.

Principe de fonctionnement :

- Seul un Master (au même moment) est connecté au bus, et un ou plusieur (247 maxi) Slaves sont également connecté sur le bus.
- Une communication Modbus est toujours initié par le Master. Les Slaves ne vont jamais transmettre de données sans requête du Master.
- Les Slaves ne peuvent pas communiquer entre eux.

Le Master peut initier une transaction avec le Slave suivant deux modes :

- **mode unicast** le Master s'adresse à un Slave individuel. Après réception de la requête et traitement de celle-ci, le Slave renvoie la réponse au Master. Dans ce mode, une transaction Modbus consiste en deux messages: la requête du Master (request) et la réponse du Slave (reply). Chaque Slave doit posseder une adresse unique (de 1 à 247) de manière à ce qu'il puisse être interrogé indépendamment des autres Slaves.

Modbus RTU unicast
Image not found or type unknown

Le fait d'interroger les Slaves les uns à la suite des autres consiste à effectuer du "Polling".

- **mode broadcast** le Master envoie **un message à l'ensemble des Slaves**. Les messages de broadcast sont forcément de type écriture. L'adresse 0 est reservée pour identifier un échange de type broadcast.

Description du protocole

Le protocole Modbus définie un Protocol Data Unit (**PDU**) indépendant des couches de communication. Il s'agit de la structure du message de base :

Modbus PDU
Image not found or type unknown

Function Code représente le type d'ordre (lire, écrire) et les datas sont les paramètres de l'ordre (lire 4 registres mémoire depuis l'adresse 0x3214 par exemple).

Empaqueter le protocole Modbus sur un bus série ou Ethernet nécessite des champs additionels au PDU.

Modbus RTU PDU
Image not found or type unknown

Sur une liaison Modbus série, l'Address field contient uniquement l'adresse du Slave.

Le champ CRC contient un code de contrôle d'intégrité de message pour détecter les erreurs de transmission.

Les règles d'adressage Modbus

Les adresses des appareils (devices) Modbus sont codés sur 1 octet (8 bits). Il y a donc 256 adresses possibles.

0	From 1 to 247	From 248 to 255
Broadcast address	Slave individual addresses	Reserved

- L'adresse 0 est réservée comme adresse de broadcast.
- Le Master Modbus n'a pas d'adresse spécifique. Seuls les Slaves doivent posséder une adresse qui doît être unique sur le bus série.
- Le fait que les spécifications Modbus indiquent qu'il est possible d'affecter des adresses comprises entre 1 et 247 ne veut pas forcément dire que tous les fabricants permettent cet interval (certains fabricants limitent les adresses de 1 à 100).

Les types de données

Il y a deux types de données en Modbus, le bit et le Word (16 bits).

	Type d'objet	Accès	Exemple
Discrete Input	bit	Read-Only	Entrée TOR, fin de course, contact auxilliaire de disjoncteurs, ...
Coil	bit	Read-Write	Sortie TOR, bit interne, RAZ d'un compteur d'énergie, ...
Input Register	Word (16 bits)	Read-Only	Entrée analogique, lecture d'un capteur, ...

	Type d’objet	Accès	Exemple
Holding Register	Word (16 bits)	Read-Write	Sortie analogique, variable de programme (ex : temporisation, opérande d’un calcul,...) Valeur de paramétrage d’un équipement (ex: consigne de vitesse d’un variateur de fréquence,...)

- Input et Input Register correspondent à des entrées. Ce sont des variables que l’on peut uniquement accéder en lecture (Read-Only).
- Coil (bobine) et Holding Register correspondent à des sorties que l’on peut forcer (write) mais également lire (read).

Un registre est codé sur 16 bits. Holding Register correspond ainsi à 16 Coil en mode Read-Write tandis que Input Register correspond à 16 entrées que l’on peut seulement acceder en lecture (Read-only).

Rappel :

- 1 Word = 2 bytes = 16 bits
- 1 Register est codé sur un Word soit 16 bits

Les fonctions Modbus

Les “Function Code” correspondent aux types d’ordres, lire ou écrire par exemple, ainsi que le type d’accès (accès au niveau bit ou au niveau registre de 16 bits). Les fonctions sont identifiées par un code sur 8 bits qui peut être représenté en décimal ou en hexa.

Bit access

Code	Hex	Nom de fonction	Commentaire
02	0x02	Read Discrete Inputs	Physical Discrete Inputs
01	0x01	Read Coils	Internal Bits or Physical coils
05	0x05	Write Single Coil	Internal Bits or Physical coils
15	0x0F	Write Multiple Coils	Internal Bits or Physical coils

16-bit access (register)

Code	Hex	Nom de fonction	Commentaire
04	0x04	Read Input Register	Physical Input Registers

Code	Hex	Nom de fonction	Commentaire
03	0x03	Read Holding Registers	Internal Registers or Physical Output Registers
06	0x06	Write Single Register	Internal Registers or Physical Output Registers
16	0x10	Write Multiple Registers	Internal Registers or Physical Output Registers

Les tableaux ci-dessus ne sont pas exhaustif, il y a également des Function Code pour réaliser du diagnostique. Il faut savoir que les fabricants de matériel Modbus n'intègre pas forcément toutes les fonctions possibles. Les fonctions Modbus disponibles sont données dans la documentation technique du constructeur.

Description d'une trame Modbus série

Une communication Modbus série est définie par

- vitesse en bit/s (9600, 19200, 115200, autre)
- 1 bit de start
- 8 bits de données (LSB envoyé en premier)
- 1 bit de parité
- 1 ou 2 bit de stop

Classiquement, en Modbus RTU, c'est la parité paire (**Even**) qui est utilisée. Si l'on choisit de ne pas implémenter le contrôle de parité (**None**) il faut placer 2 bits de stop.

Une trame Modbus RTU est composée *a minima* de 4 octets et au maximun de 256 octets. Chaque octet (byte) qui compose une trame Modbus est codé de la manière suivante :

Modbus RTU frame
Image not found or type unknown

Une trame Modbus RTU

Une trame Modbus RTU est ainsi composée :

- 1 byte pour Slave Address
- 1 byte pour Function Code
- 0 à 252 byte pour Data
- 2 bytes pour le CRC

Modbus RTU Frame
Image not found or type unknown

La taille maximale d'une trame Modbus RTU est de 256 bytes.

Le CRC est calculé avec l'algo CRC-16-MODBUS.

Acquisition d’une trame Modbus de type request

Le décodage de trame Modbus intégré donne au format hexa la trame suivante :

`01 03 00 01 00 02 95 CB`

On en déduit :

- Slave Address : `01`
- Function Code : `03` -> Read Holding Register
- Data : `00 01 00 02`
- CRC : `95 CB`

Pour Data, suivant les caractéristiques de la fonction `03` Read Holding Register, les deux premiers bytes `00 01` corresponde à l’adresse de registre de départ et les deux suivants `00 02` correspondent aux nombre de registres que l’on souhaite lire à partir du registre de départ.

En résumé: la trame Modbus RTU suivante effectue la requête suivante -> Au Slave `01`, donne la valeur des `00 02` premiers registres à partir de l’adresse mémoire `00 01`.

Branchement Modbus RTU en configuration 2 Wire

Le branchement Modbus RTU classique est le “2 Wire” en conformité avec le standard RS-485. Sur un “2W-Bus”, seul un driver à la fois a la possibilité de transmettre un message.

- LT : Line Terminator, c’est les résistance de terminaison (polarisation) du Bus. Elles font classiquement 120Ω120Ω ou 150Ω150Ω
- Les résistances de terminaison sont placées au début du bus et à la fin du bus.
- Balanced Pair : Paire de fils torsadés qui constituent le support de transmission.

On parle de topologie 2 fils (2-Wire), mais on se rend compte sur le schéma, que finalement, 3 fils sont utilisés avec la masse (Common).

Modbus Name	RS-485 Name	Autre Nom	Description
D1	B	D+ ou Data+	Transceiver Terminal 1 (V1>V0 for binary 1 [OFF] state)
D0	A	D- ou Data-	Transceiver Terminal 0 (V0>V1 for binary 0 [ON] state)

Modbus Name	RS-485 Name	Autre Nom	Description
Common	C	0v ou GND	Commun, Masse (0V)

En RS-485, à 9600 bit/s sur une paire torsadée en AWG26, on arrive à une longueur de bus maximale de 1000 m!

Les résistances de polarisation (RPull−UpRPull−Up et RPull−DownRPull−Down) permettent de limiter le bruit sur le bus quand il n’y a pas de communication. Les valeurs de ces résistances sont comprises entre 450Ω450Ω et 650Ω650Ω.

Remarques : Il existe également des configurations de branchement en 4 fils (4-Wire) mais c’est rare.

Connectique Modbus RTU

En Modbus RTU RS-485, trois types de connecteurs connecteurs sont souvent utilisés :

- bornier à visser (ou borne automatique)
- connecteur DB9
- connecteur RJ45

Bornier à visser :

Sur le Wago Controller 100, la connexion se fait par un bornier automatique et utilise les abréviations D+ (D1 ou B) et D- (D0 ou A). L’abréviation GND est utilisée pour le commun (0V) et SH (Shield) pour une connexion au blindage.

Connecteur DB9 :

L’automate PFC200 de chez Wago utilise une connectique DB9 qui permet de réaliser des liaisons RS-485 ou RS232. Pour le Modbus RTU, c’est la RS-485 qui est classiquement utilisée.

PFC200 WAGO	Connecteur DB9
	

La documentation constructeur donne les informations suivantes pour la connectique DB9 du PFC200 en mode RS485.

Contact	Signal RS-485	Description
1	NC	Not assigned

Contact	Signal RS-485	Description
2	NC	Not assigned
3	A (Tx/Rx+)	Transmitt/receive Data+
4	NC	Not assigned
5	FB_GND	Ground
6	FB_5V	Power Supply
7	NC	Not assigned
8	B (Tx/Rx-)	Transmitt/receive Data-
9	NC	Not assigned
Housing	Shield	Shield

On se rend compte que Wago ne respecte pas la norme Modbus dans ce produit ! Ils appellent A -> Data + et B -> Data - qui correspond à la dénomination Profibus de Siemens ! Si votre communication ne fonctionne pas, il suffit parfois d'inverser les fils A-B car le fabricant a mélangé la norme.

Connecteur RJ45

Les fabricants utilisent aussi parfois un connecteur RJ45 pour les liaison RS-485 ! L'erreur est de croire que l'on peut connecter ce type d'appareils sur un switch ou sur le port RJ45 de votre PC. **NE LE FAITES PAS !**

Bien qu'il s'agisse d'un connecteur RJ45, il s'agit d'une liaison série qui est transportée et il faut donc l'associer à une interface série et non au port RJ45 de votre PC ou de votre switch ! Les fabricants adoptent parfois la connectique RJ45 car les câbles sont peu chers avec un branchement qui est facile et rapide.

Wago Current Sensor Modbus RTU

La documentation Wago donne l'association des broches du connecteur RJ45 :

Pin	Function
1	Ub
2	Ub
3	n.c.
4	A (Data+)
5	B (Data-)
6	n.c.

Pin	Function
7	GND
8	GND

Toujours la même erreur chez Wago. Ils appellent A -> Data+ et B -> Data- qui correspond à la dénomination Profibus de Siemens.

Connexion RJ45 et DB9 selon spécifications Modbus

Modbus DB9 RJ45

Image not found or type unknown

Pin on RJ45	Pin on DB9	Level of requirement	Modbus	RS-485	Description
3	3	optional	PMC	-	Port Mode Control
4	5	**required**	D1	B	Transceiver terminal 1, V1 Voltage (V1>V0 for binary 1 [OFF] state)
5	9	**required**	D0	A	Transceiver terminal 0, V0 Voltage (V0>V1 for binary 0 [ON] state)
7	2	recommended	VP	-	Positive 5..24 Vdc Power Supply
8	1	**required**	Common	C	Signal and Power Supply Common

On se rend compte que Wago n’a pas suivi les recommandations de câblage fixées par la Modbus Organization, de nombreux fabricants font de même. Quand il s’agit d’appareillages d’un même constructeur, cela ne pose pas de soucis, par contre, il faut parfois inverser les signaux A et B quand on mélange les appareillages de fabricants différents sur un même bus Modbus RTU. En Modbus TCP, comme c’est sur du câble Ethernet, on n’a pas ce problème.

Exemple : Modbus RTU avec un capteur de Température et

Humidité

Dans cet exemple, je vais connecter un capteur de température et d’humidité PKTH100B-CZ1 qui communique en Modbus RTU avec mon ordinateur portable.

Pour que le PC portable puisse communiquer en RS-485, je lui ajoute un convertisseur FTDI USB-RS485, ainsi qu’un Oscilloscope pour visualiser les trames Modbus-RTU (côté didactique)

Capteur PKTH100B-CZ1	FTDI USB-RS485	Oscilloscope
PKTH100-1 Sensor Image not found or type unknown	FTDI USB-RS485 Image not found or type unknown	SigLent SDS1202X-E Image not found or type unknown

L’analyse de la documentation du câble FTDI USB-RS485 nous donne les informations suivantes :

Les câble USB-RS485

FTDI USB-RS485 colors
Image not found or type unknown

Signal	Couleur de fil
GND	Noir
(A) Data -	Jaune
+5V	Rouge
R de 120Ω120Ω pin 1	Brun
(B) Data +	Orange
R de 120Ω120Ω pin 2	Vert

Le capteur

PKTH100-1 Sensor
Image not found or type unknown

Terminals number	1	2	3	4
Identifying	GND	VCC	B	A
Description	Power-	Power+	RS485-	RS485+

On remarque que sur la documentation du capteur, le signal A est nommé RS485+ tandis que sur la document du convertisseur USB-RS485, le signal A est nommé Data - …

On va rester pragramatique et brancher le fil A (jaune) sur le bornier A (4) du capteur et le fil B (Orange) du convertisseur vers la borne B (3) du capteur. Si jamais cela ne fonctionne pas, il suffira d'inverser ;)

Les masses devant être communes, on branchera le fil GND (noir) du convertisseur à la borne GND (1) du capteur.

Pour alimenter le capteur, j'utilise une alimentation de laboratoire de 24Vdc. Pareil, je brancherai le +24Vdc de l'alimentation à la borne VCC (2) du capteur et le 0V de l'alimentation à la borne GND (1) du capteur.

Pour les résistances de terminaison de 120Ω120Ω, je fais le choix de ne pas les placer dans un premier temps car la longueur de bus est très faible.

La manipulation

Manipulation Modbus Capteur Temperature

La documentation (en chinois) indique les paramètres suivants :

- Vitesse de transmission : 9600 bit/s
- 8 bits de données
- Parity : None
- 1 Stop bit (non respect de la norme)
- Slave Address (factory) : 1

La document indique également que la requête à envoyer est une fonction de type `03` Read Holding Resgister à l'adresse de Slave `1` et que l'on lit à partir du registre mémoire `0` un nombre de 2 registres.

La trame à envoyer avec le CRC est la suivante : `01 03 00 00 00 02 C4 0B`

J'utilise le logiciel QModMaster pour générer facilement la trame et et bien sur, cela ne fonctionne pas :(

> On va essayer d'inverser les fils A et B -> boum, ça fonctionne...bref

Les différentes étapes de la configuration de qModMaster

On le numéro du port Com utilisé par le convertisseur USB-RS485 avec le gestionnaire de périphériques Windows. On remarque que dans mon cas, c'est le COM5 qui lui a été attribué. Cela nous permet de paramétrer la liaison série RTU dans QModMaster avec le bon numéro de Com et

l’on saisie également les paramètres de liaison du capteur de température (9600 bit/s 8bits de données 1 bit de stop et parity None)

Gestionnaire de périphériques	Config Serial dans QModMaster
Image not found or type unknown	Image not found or type unknown

Dans QModMaster, je choisis le Mode RTU, le Slave Address à 1, le Function Code à `0x03` pour Read Holding Register, le Start Address à 0 et Number of Coils (Registers) à 2.

Dans le Bus Monitor, on remarque que la trame de request vaut : `01 03 00 00 00 02 C4 0B` -> ce qui était demandé par la doc, donc on est OK !

La trame de réponse (reply) du capteurs vaut : `01 03 04 01 28 02 22 FA BE`

QModMaster	Bus Monitor
Image not found or type unknown	Image not found or type unknown

Le décodage du résultat est donné directement par QModMaster:

- Le premier registre vaut : `296` en décimal

- Le second registre vaut : `546` en décimal

La documentation du capteur indique que la valeur du premier registre correspond à la température multipliée par 10. On en déduit qu'il fait 29,6°C en cette journée d'août -> c'est OK

L'humidité multipliée par 10 est dans le second registre. On en déduit que l'humidité relative Hr=54.6%Hr=54.6% ce qui est conforme.

Méthode de décodage à partir de la trame de réponse

La trame de réponse (reply) du capteurs vaut : `01 03 04 01 28 02 22 FA BE` . On peut décoder le contenu de la manière suivante :

- `01` : correspond à l'adresse du capteuur qui donne la réponse
- `03` : indique qu'il répond à une réquête de type 03 Read Holding Register
- `04` : c'est la valeur de la fonction 03 + 1 pour dire que tout c'est bien passé !
- `01 28` : c'est la valeur en hexa du contenu du premier registre avec `01` l'octet de poids fort et `28` l'octet de poids faible. Converti en décimal, on obtient `296`
- `02 22` : correspond à la valeur en hexa du second registre. Converti en décimal, on obtient `546` .
- `FA BE` : correspond au CRC de la trame de réponse.

Capture des trames Modbus RTU avec l'oscilloscope

On peut observer la trame de request générée par QModMaster qui vaut `01 03 00 00 00 02 C4 0B`

Modbus Oscilloscope Frame
Image not found or type unknown

Et la trame de réponse du capteur qui vaut `01 03 04 01 28 02 22 FA BE`

Modbus Oscilloscope Frame
Image not found or type unknown

Source https://celka.fr/ocw/plc-control/modbus/intro-modbus/intro/

Transmission TTL et protocole RS485

Transmission série

Avantages

- Câble plus fin, plus souple, moins coûteux.
- Connecteur simplifié, meilleur marché, plus vite monté.
- Plus de problème de synchronisation de signaux
  - On ne transmet qu'un seul signal. Seules les horloges doivent être de fréquence très voisine, ce qui n'est pas difficile en électronique.
- Isolation diaphonique.
  - Plus de risque d'interférence entre signaux, il n'y a qu'un seul signal.
- Utilisable sur des longueurs nettement plus importantes (km).

Inconvénients

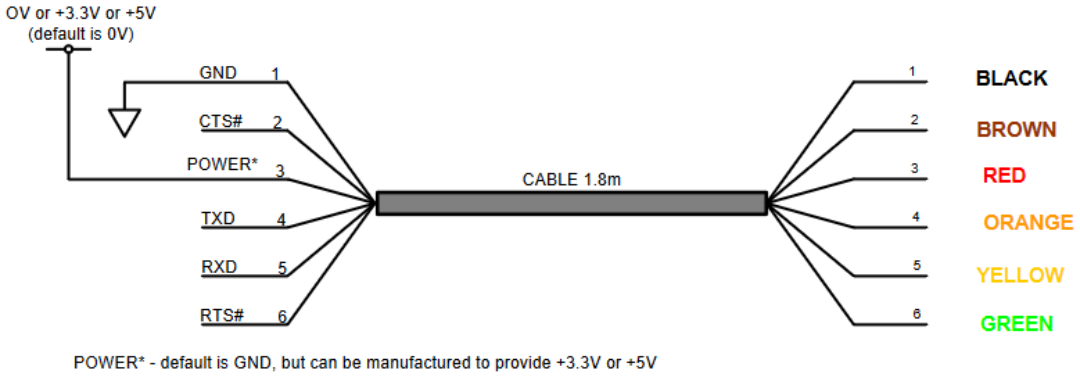
- Débit
  - A une même fréquence, on transporte un seul bit à la fois.
- Electronique plus compliquée du côté émetteur et encore plus compliquée côté récepteur (synchronisation d'horloge).
  - UART : Universal Asynchronous Receiver Transmitter.
  - L'UART peut être désynchronisé, l'information reçue est alors invalide.

Transmission série synchrone

Transmission série asynchrone

Exemple : port série RS232 du PC

Exemple d’un adapteur FTDI USB-RS232

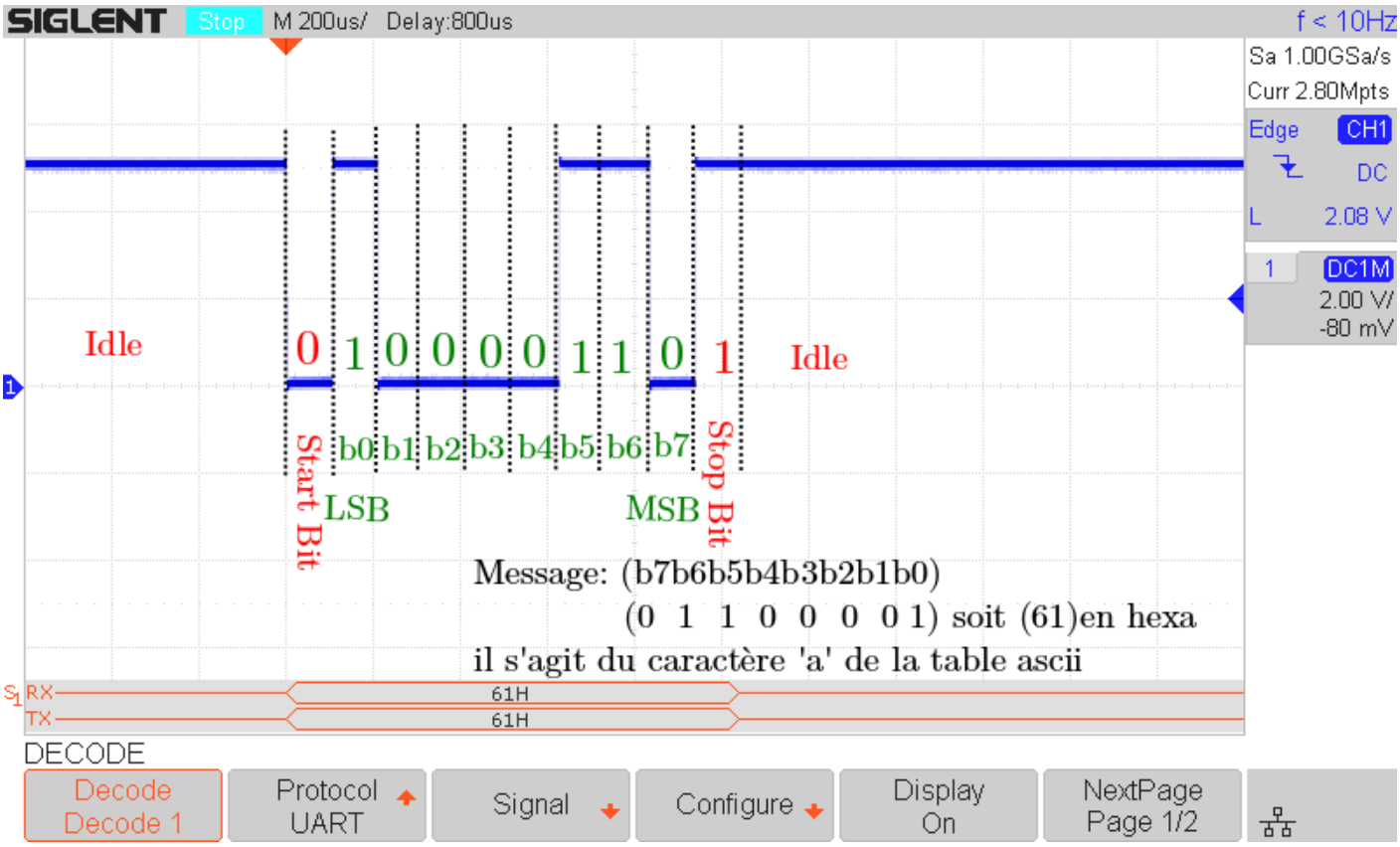


Transmission série asynchrone TTL

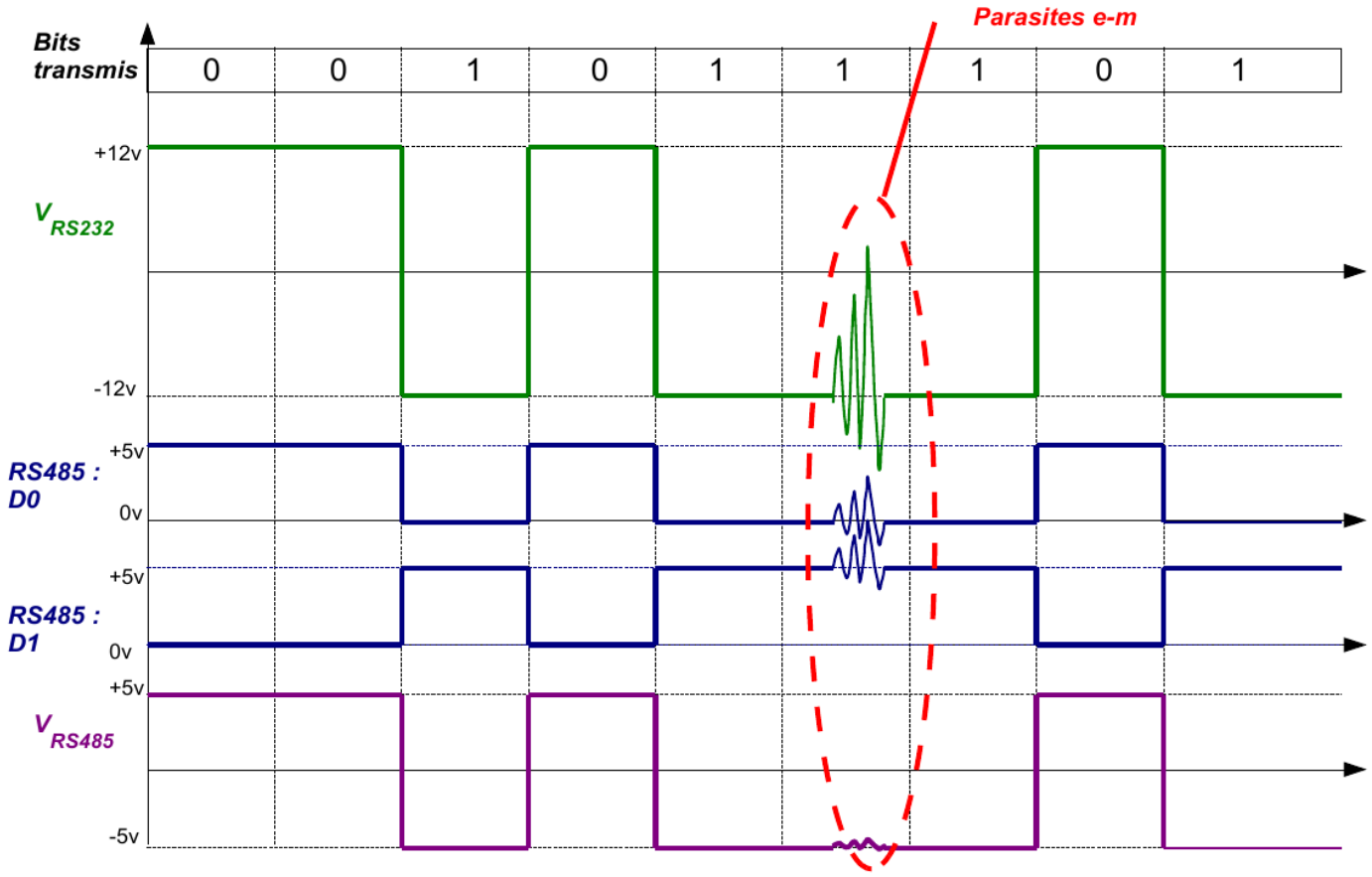
Exemple de trame série (TTL)

‘1’ logique = +5V

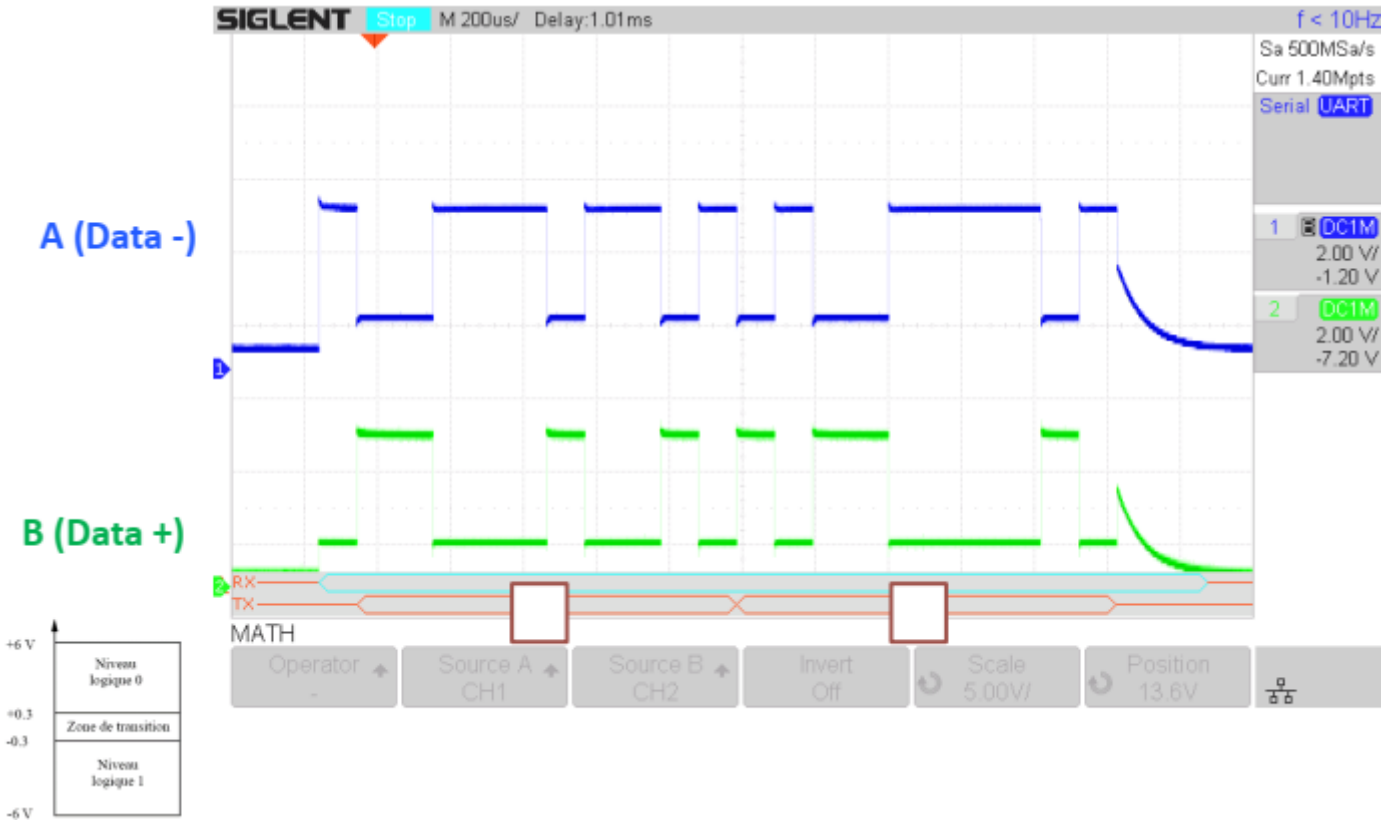
‘0’ logique = 0V



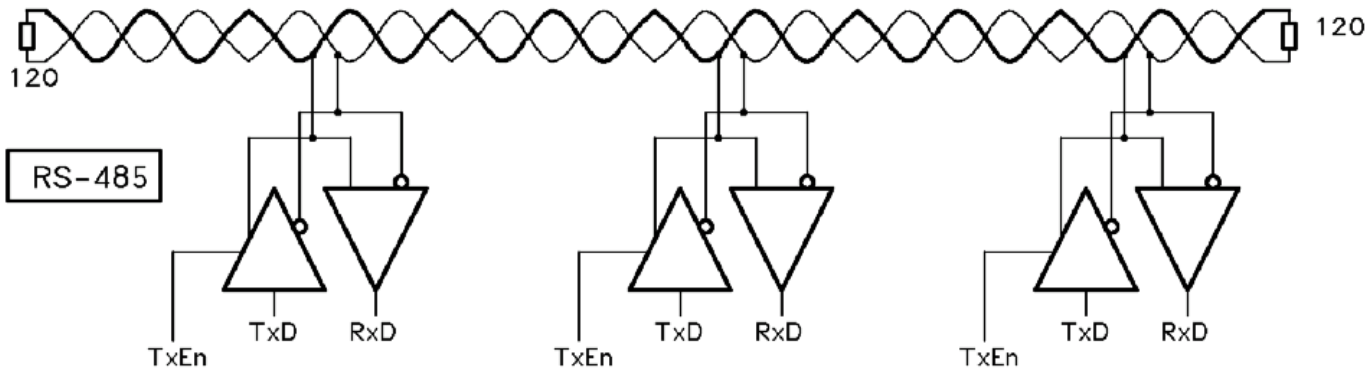
Transmission série asynchrone RS485 vs RS232



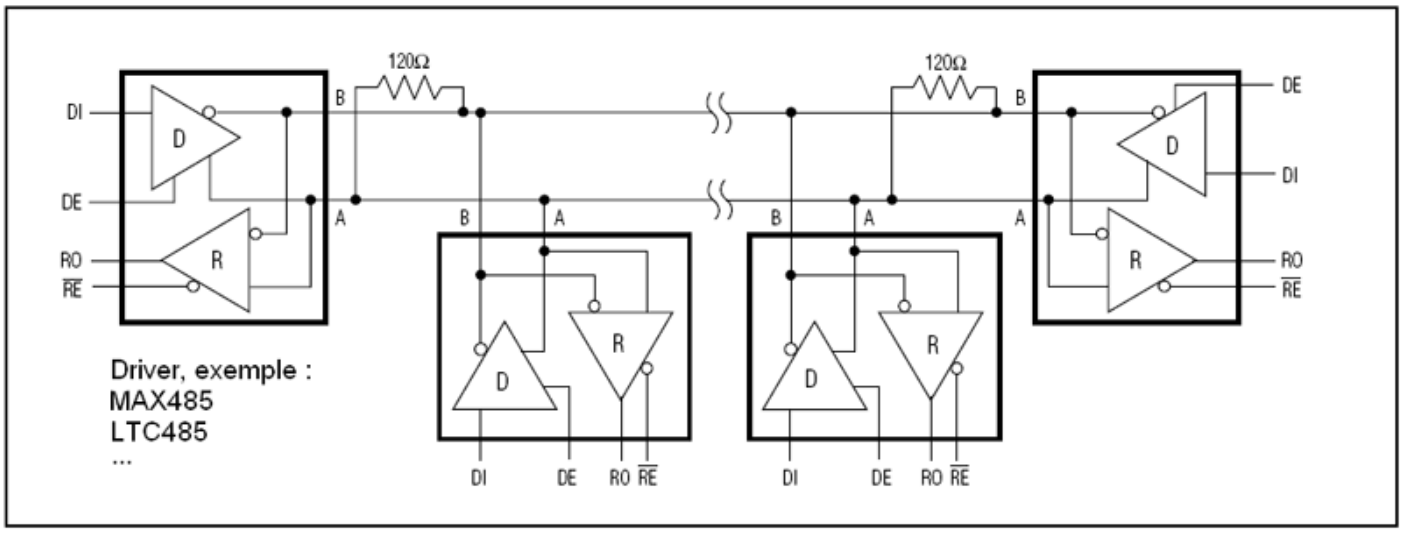
Transmission série asynchrone RS485

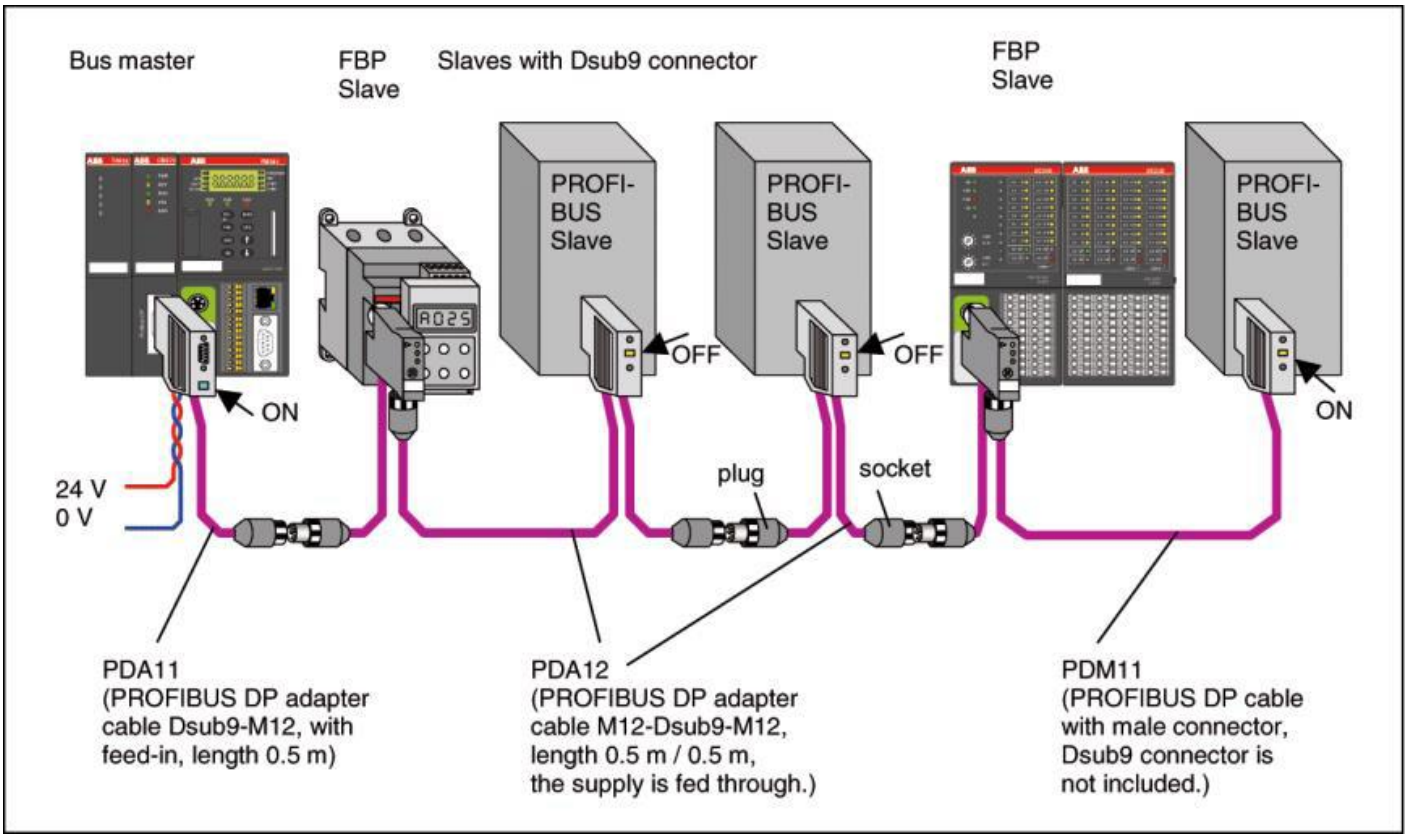


Liaisons multipoints



Penser aux résistances de Terminaison de 120 Ω au début et à la fin de la liaison RS485.





Half Duplex

Définition

- Liaison bidirectionnelle.
- 1 canal de transmission est partagé :
  - Il est utilisé dans un sens et dans l'autre.
  - Une règle doit définir comment gérer l'accès au média.
  - Moins cher, plus facile, mais plus lent.

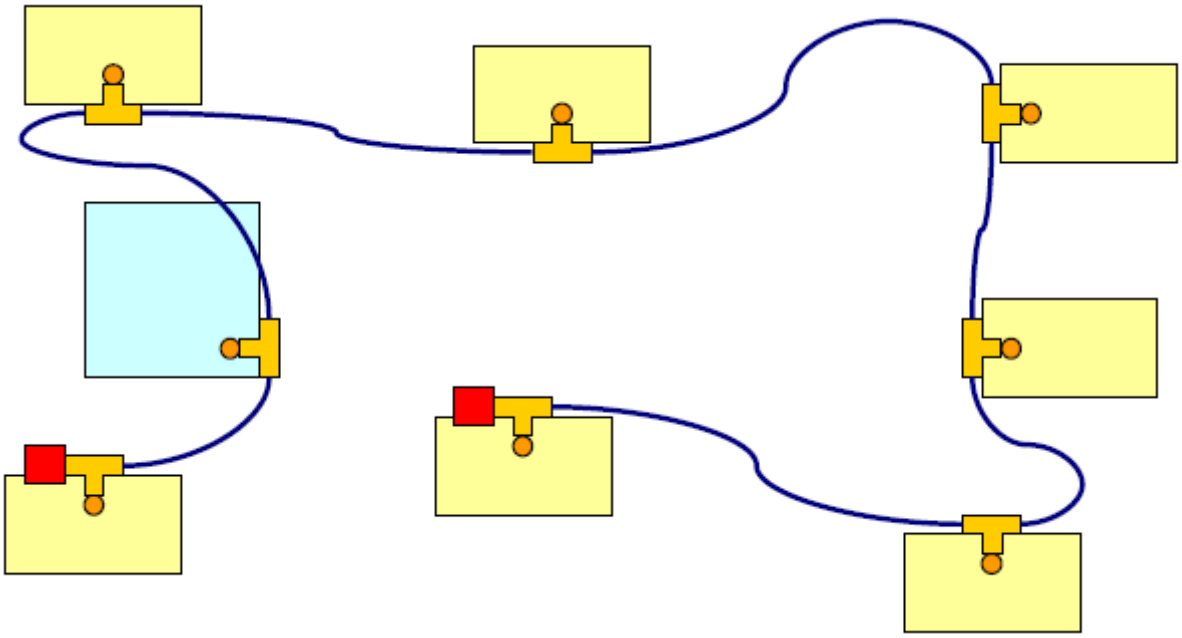
Exemple

- De nombreux bus de terrain, RS485,

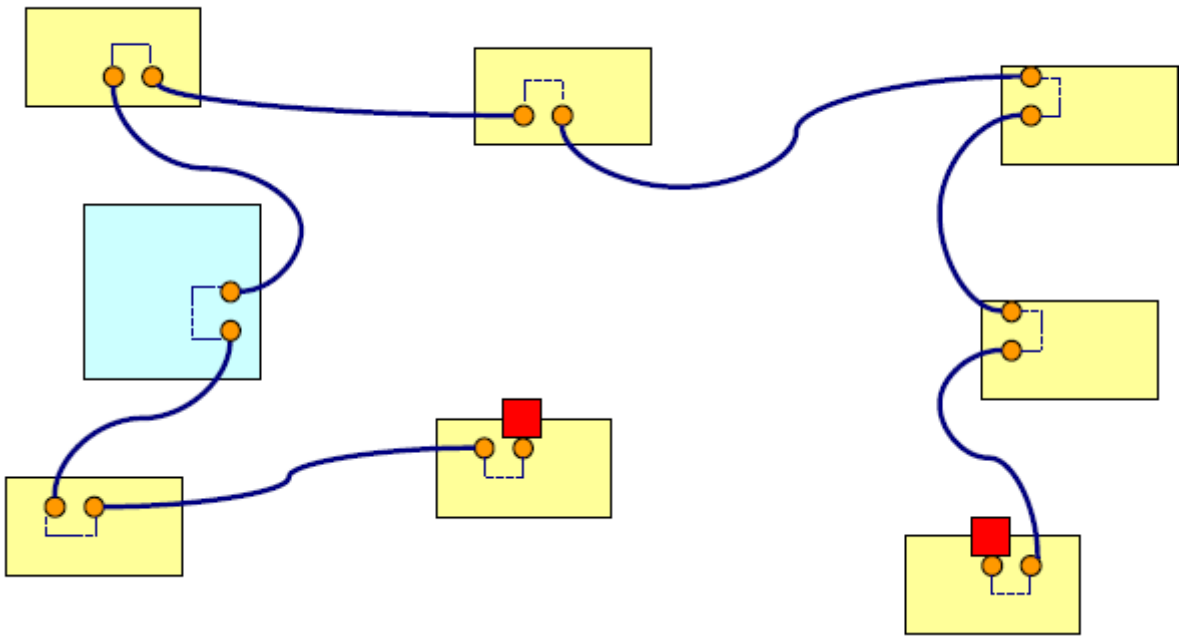
Topologie : Bus

Principe

- Connections de toutes les stations sur un même câble
  - Toujours half duplex.
- 2 topologies selon les possibilités techniques
  - connexion en T "par prise vampire"



  - chaînage



Avantages

- Simplicité d’adjonction de stations.
- Fonctionne même en cas de panne d’une station.
- Transmission en diffusion (broadcasting , multicasting
- Longueur de câble réduite.

Inconvénients

- 1 seule station peut émettre à la fois.
- Les résistances de terminaison sont externes (à câbler).
- Liaison en chaîne : échange d’appareil impossible sans arrêt du système.
- Liaison en T : coûts de connexion plus importants.

Exemples

- Connexion en prise vampire : ASi
- Profibus, Modbus

Source : Cours IUT Haguenau - Département GEII - Automatisme Spé. 4 - Réseaux Locaux Industriels - Philippe Celka, le 28.02.2022