Note
/20

Compétences	Acquise	Non Acquise
C04 : Analyser un système informatique		
C05 : Concevoir un système informatique		

TP n°4
Configuration du Port IT Master IO-Link, Plan Adressage IP, Broker MQTT Mosquitto et Analyse JSON

FICHE MISSION 1

I – PROBLEMATIQUE : Comment récupérer les données d'un capteur industriel IO-Link sur le réseau IT via le protocole MQTT sans perturber la commande temps réel de l'automate (OT) ?

II – OBJECTIFS :

- Analyser l'architecture réseau en **Y** et justifier le plan d'adressage IP
- Configurer le port IT et l'export **MQTT** du Master **IO-Link** IFM via **Moneo Configure**
- Déployer et sécuriser un broker **MQTT** Mosquitto sur une Machine Virtuelle Ubuntu (Ports 1883 / 8883 TLS)
- Intercepter, capturer et décoder la structure des trames **JSON** émises par le capteur

III – PRE-REQUIS :

- Avoir validé les TP1 à TP3 (Volet OT : Master **IO-Link** AL1304/AL1306, capteur **OGD592**, PLC **S7-1200**)
- Connaître les principes de base du réseau IP (masques de sous-réseau, adresses statiques et DHCP)
- Etre à l'aise avec la ligne de commande Linux (Bash, gestion des services systemd)

IV – MISE EN SITUATION : Lors des séances précédentes (TP1 à TP3 - Volet OT), vous avez déployé la chaîne de commande industrielle. Le capteur optique IO-Link OGD592 mesure la lumière réfléchie sur les boîtes de cassoulet défilant sur la ligne. Cette donnée est convertie par le Master IO-Link IFM et transmise via le réseau PROFINET (192.168.1.0/24) à l'automate Siemens S7-1200 pour piloter le voyant d'état **%Q0.0**.

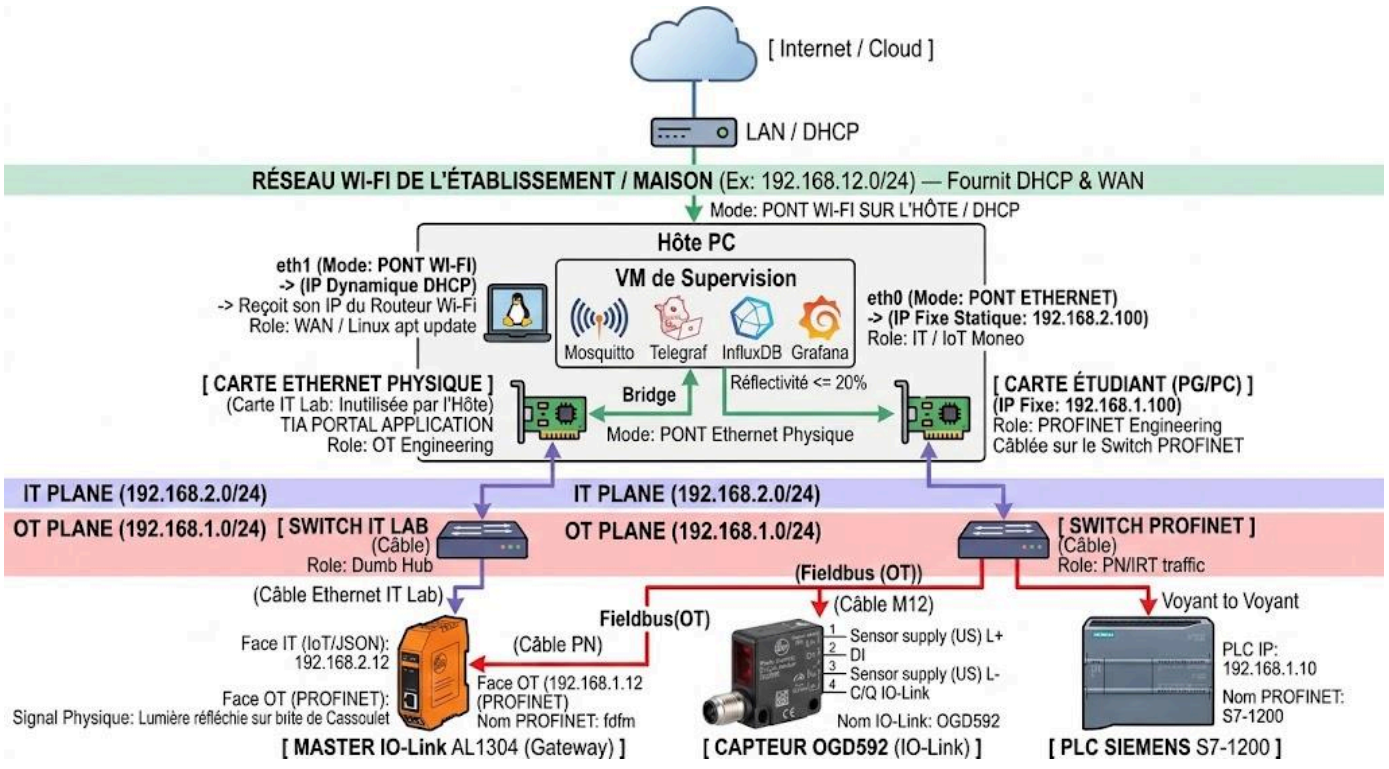
Dans cette nouvelle mission, nous allons exploiter la seconde interface du Master (Port IT sur le réseau 192.168.2.0/24) pour extraire la donnée vers l'informatique. Vous allez configurer l'exportation **MQTT** via **Moneo Configure**, déployer un broker **Mosquitto** sur la Machine Virtuelle Ubuntu et vérifier la bonne réception des messages au format **JSON**.

V – <u>RESSOURCES MATERIELLES</u> : Vous réaliserez cette mission en travaillant avec un **PC** connecté à **Internet** et un accès à un environnement de travail de type **Workspace** avec les outils bureautiques :

- Traitement de texte.
- Tableur.
- Logiciel de diaporama.
- PC Étudiant (**192.168.2.20**) connecté au réseau IT
- Serveur sur une Machine Virtuelle **Ubuntu 26.04 LTS** (Réseau Interne **192.168.2.100** et Accès par Pont Carte Réseau Sans-Fil)
- Master **IO-Link** IFM (AL1304 / AL1306) avec double interface : IT (**192.168.2.12**) et OT (**192.168.1.12**)
- Capteur photoélectrique **IO-Link** OGD592
- Automate PLC Siemens S7-1200 : OT (**192.168.1.10**)
- Logiciel Moneo Configure
- Clients **MQTT** (mosquitto-clients, MQTT Explorer)

VI – <u>RESSOURCES PEDAGOGIQUES</u> : Vous utiliserez le dossier technique fourni ainsi que la documentation technique IFM du Master **IO-Link** et du capteur OGD592.

VII – <u>SCHEMA DE L'INSTALLATION COMPLETE</u> :



VIII – <u>ETUDE PREALABLE DE L'ARCHITECTURE ET DES PROTOCOLES</u> :

Dans cette nouvelle mission, nous allons d'abord exploiter la seconde interface du Master **IO-Link** (Port IT sur le réseau 192.168.2.0/24) pour extraire la donnée vers l'informatique.

A quoi sert un Master IO-Link sur une ligne de production ? Quel est l'intérêt de disposer d'une double interface réseau (Port OT pour l'automate / Port IT pour l'informatique) dans une architecture en Y ?

Le Master IO-Link concentre les signaux transmis par les capteurs industriels et convertit leur protocole point-à-point vers un bus Ethernet. L'intérêt de l'architecture en Y repose sur la séparation physique et logique du flux de commande temps réel destiné à l'automate du flux de données de supervision orienté vers le système d'information. Ainsi, la collecte continue de métriques n'impacte à aucun moment le temps de cycle critique de la production.

Comment fonctionne le protocole MQTT ? Expliquer les rôles respectifs du Broker, des Publishers, des Subscribers et la notion de Topic.

Le protocole **MQTT** fonctionne selon un modèle d'échange de messages de type Publication et Abonnement. Dans cette architecture, le **Broker** agit comme un serveur centralisé chargé d'aiguiller les données. Les **Publishers**, tels que le Master **IO-Link**, émettent leurs mesures sur des canaux structurés appelés **Topics**, tandis que les **Subscribers**, comme **Telegraf** ou la console de supervision, s'abonnent à ces mêmes **Topics** pour intercepter et traiter les flux d'informations en temps réel.

Pourquoi est-il déconseillé d'utiliser le port MQTT standard (1883) en milieu industriel sans chiffrement ? Que vous apporte le passage au port 8883 (TLS) ?

L'emploi du port **1883** sans chiffrement expose l'installation au transit de données en clair, ce qui rend le réseau vulnérable à l'écoute passive et à l'injection de trames malveillantes. Le passage au port **8883** s'appuie sur le protocole **TLS** pour chiffrer l'intégralité des échanges et authentifier le serveur grâce à un certificat **X.509**, garantissant ainsi la confidentialité et l'intégrité des données industrielles.

Pourquoi utilise-t-on deux sous-réseaux IP distincts (**192.168.1.0/24** pour l'OT et **192.168.2.0/24** pour l'IT) et deux cartes réseau sur la VM ?

La segmentation en deux sous-réseaux distincts permet d'isoler hermétiquement le trafic temps réel **PROFINET** des flux informatiques **HTTP** ou **MQTT** qui génèrent des requêtes imprévisibles. La présence de deux cartes réseau sur la machine virtuelle permet à l'interface **enp0s3** de collecter les données du réseau usine **IT** pendant que l'interface **enp0s8** relaie les alertes vers le **WAN** sans jamais créer de pont physique direct entre les zones.

Pourquoi tous les équipements d'infrastructure (Master **IO-Link**, **PLC**, Serveur VM) doivent-ils être configurés en IP statique plutôt qu'en attribution dynamique DHCP ?

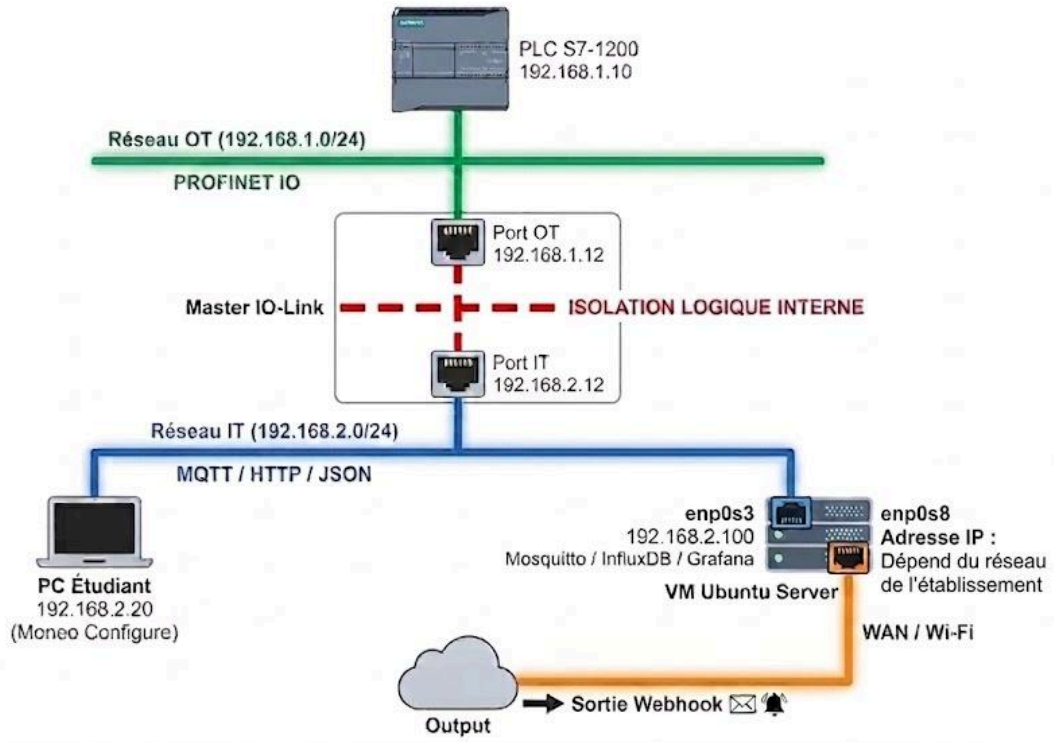
L'attribution d'adresses IP statiques garantit la pérennité des liaisons logiques entre les différents modules de la chaîne **IIoT**, évitant toute rupture d'ingestion liée à un changement d'adresse après un redémarrage. De plus, cela permet de fixer des règles de sécurité et de filtrage réseau fiables sur des équipements parfaitement identifiés.

Le Master IO-Link possède deux interfaces réseau (**192.168.1.12** et **192.168.2.12**). Faut-il activer le routage IP entre la voie OT et la voie IT au niveau du Master ? Justifier votre réponse d'un point de vue sécurité.

Le routage IP entre les voies **OT** et **IT** doit rester impérativement désactivé au niveau du Master **IO-Link** afin de maintenir une étanchéité totale du réseau de commande. Le **Master** agit comme une passerelle applicative unilatérale qui transmet les mesures vers l'**IT** sans permettre à aucun paquet en provenance du réseau bureautique d'atteindre directement l'automate de production.

IX – CONFIGURATION IP DE L'ARCHITECTURE RESEAU :

Voici le schéma réseau que nous souhaitons réaliser pour notre architecture :



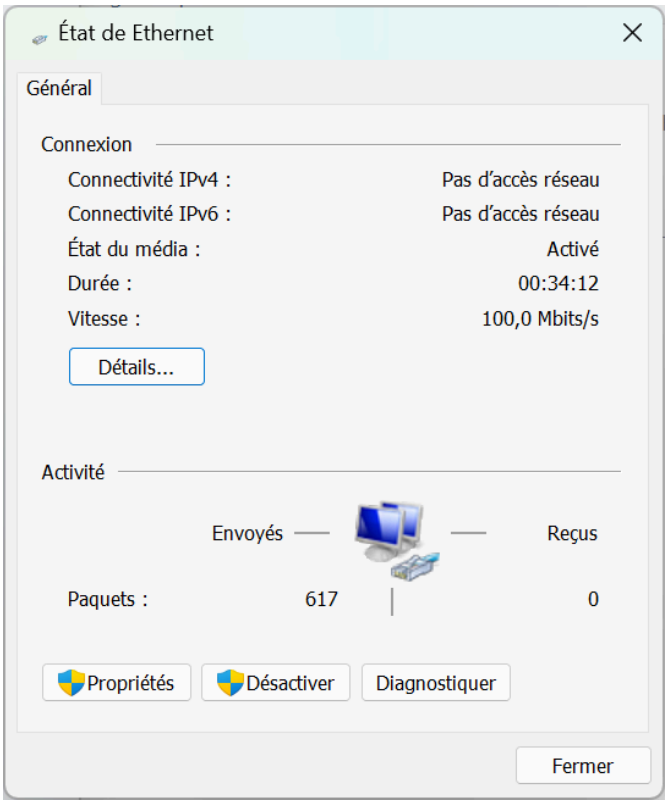
1. Configuration de la carte réseau du PC Etudiant :

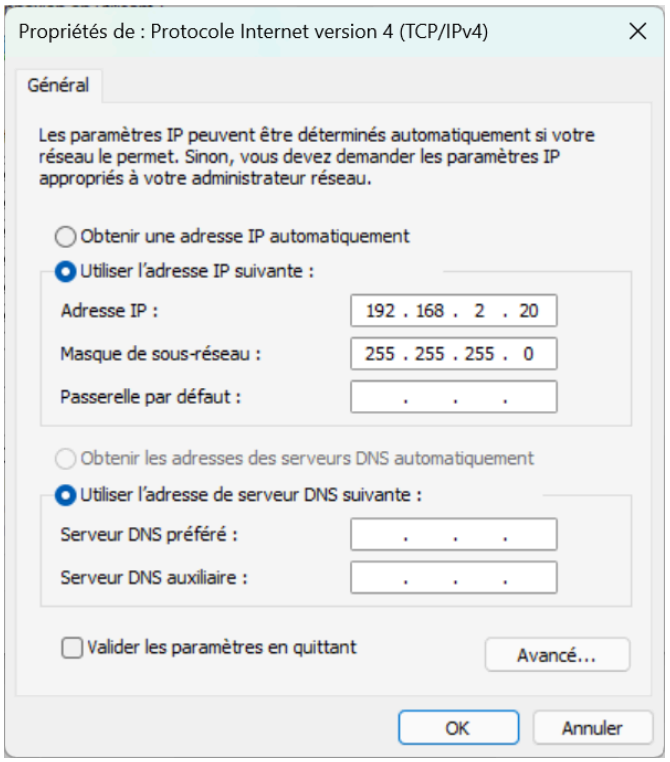
Avant tout accès au Master IO-Link, la configuration de l'interface réseau physique du PC Etudiant est nécessaire afin de l'intégrer au sous-réseau IT (**192.168.2.0/24**).

Quelle adresse IP fixe et quel masque de sous-réseau convient-il d'attribuer à la carte Ethernet du PC Étudiant ? Justifier l'absence de passerelle par défaut dans ce contexte.

- Adresse IP : **192.168.2.20**
- Masque de Sous-Réseau : **255.255.255.0 (/24)**
- Justification : L'absence de passerelle par défaut s'explique par le fait que le PC Etudiant intervient uniquement sur le sous-réseau local IT (**192.168.2.0/24**) pour la phase de configuration. Aucun routage vers un réseau externe ou Internet n'est requis à ce stade.

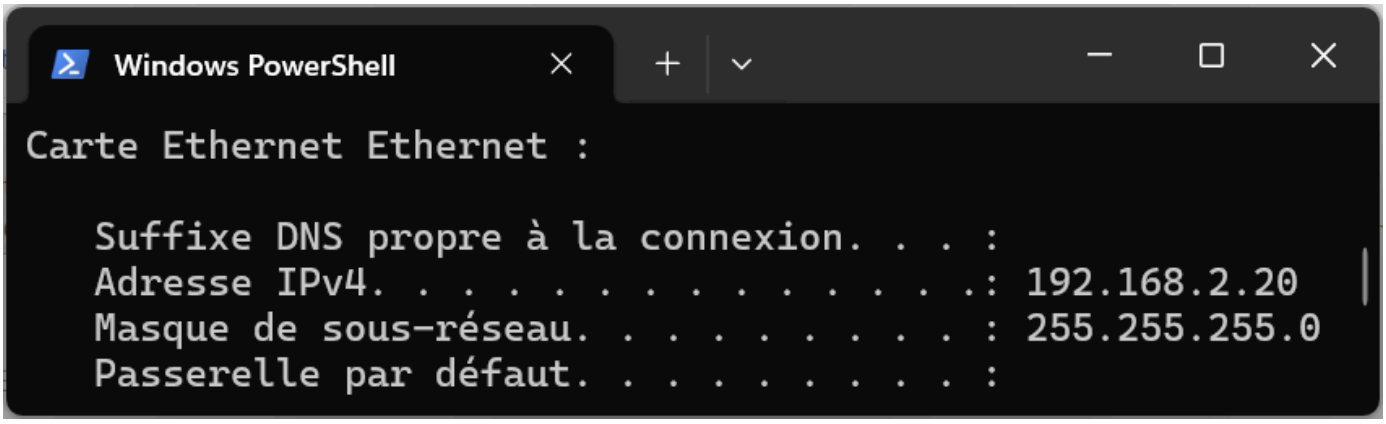
Donner une capture d'écran de la configuration réseau de votre PC Etudiant.





Indiquer la commande à exécuter dans le terminal (ou l'invite de commandes) pour vérifier la bonne attribution de l'adresse IP. Donner la capture d'écran.

- Windows : **ipconfig**
- Linux / macOS : **ip a** ou **ifconfig**



2. Configuration de l'interface IIOT du Master IO-Link :

Quel logiciel doit être utilisé sur le PC Etudiant pour détecter, paramétrer et diagnostiquer le Master **IO-Link** ?

Le logiciel **Moneo Configure** (édité par IFM) doit être utilisé sur le PC Etudiant pour détecter, paramétrer et diagnostiquer le Master **IO-Link**.

Quelle est l'adresse IP attribuée au Port IT (interface IIoT) du Master **IO-Link** et à quel sous-réseau appartient-elle ?

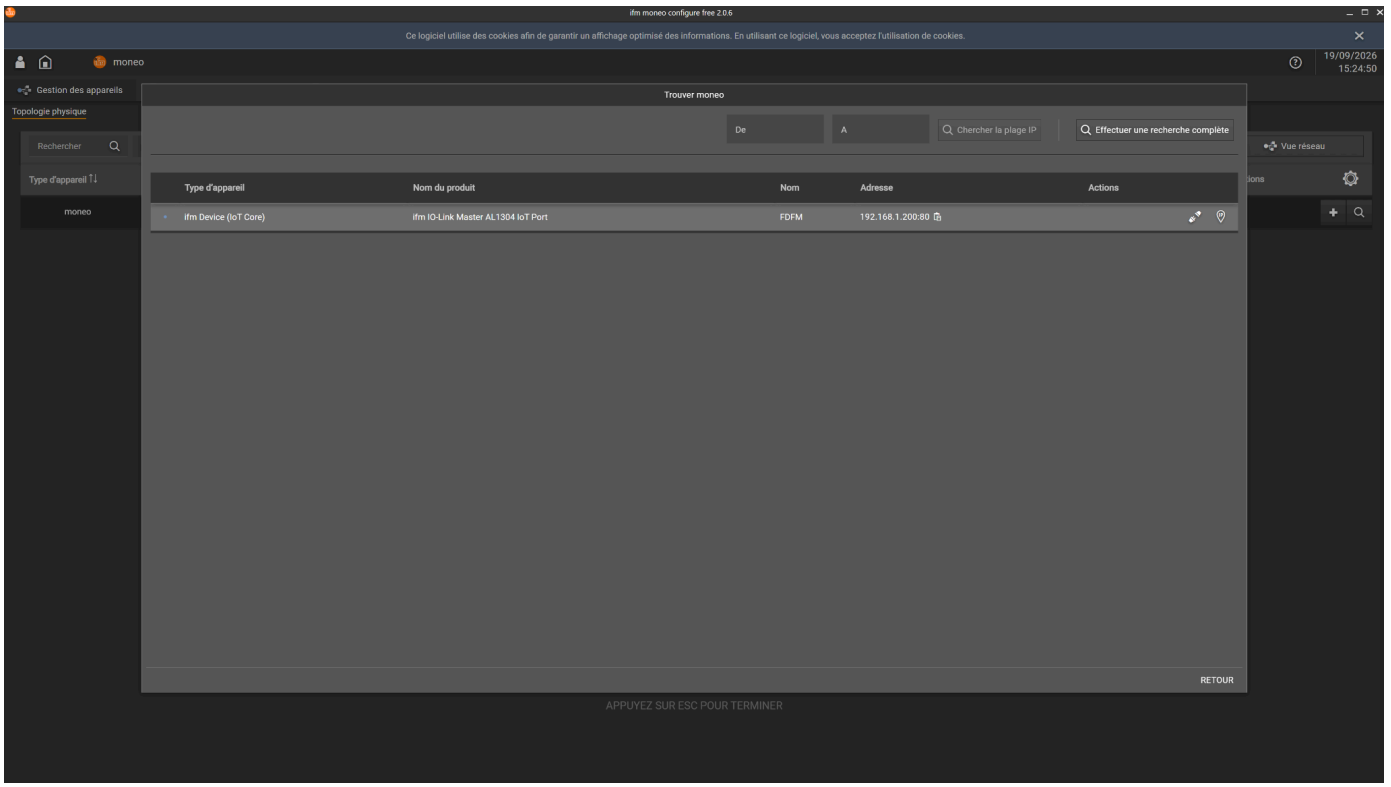
- Adresse IP du Port IT : **192.168.2.12**
- Masque de sous-réseau : **255.255.255.0 (/24)**
- Sous-réseau : Réseau usine IT (**192.168.2.0/24**)

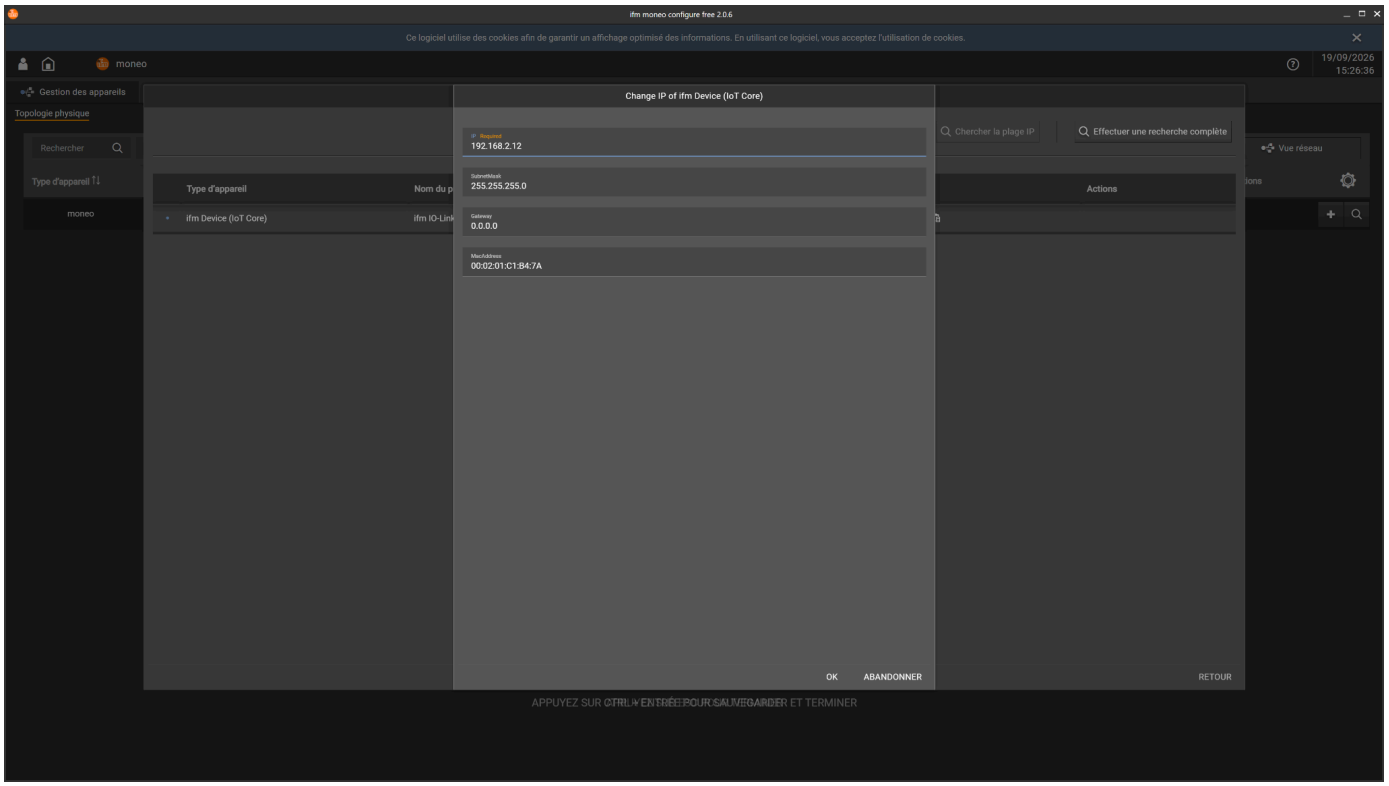
Comment raccorder le PC Etudiant pour pouvoir joindre cette interface IIoT ?

Il faut connecter le PC Etudiant au commutateur (switch) du réseau **IT** (ou directement au Port **IoT** du **Master**) à l'aide d'un câble RJ45 afin de pouvoir joindre cette interface IIoT.

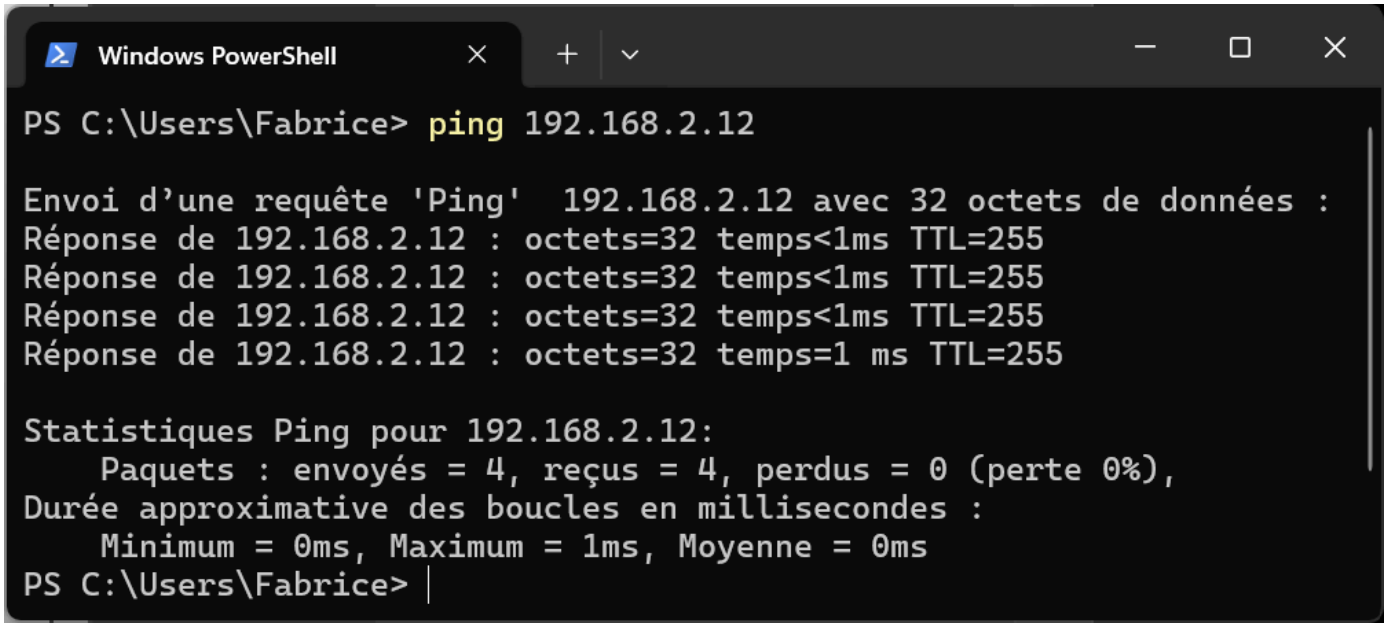
Quel menu de l'interface **Moneo Configure** permet de configurer l'adresse IP du port **IoT** ?

Après détection du Master **IO-Link**, il faut cliquer sur l'icône **IP** et changer l'adresse IP.

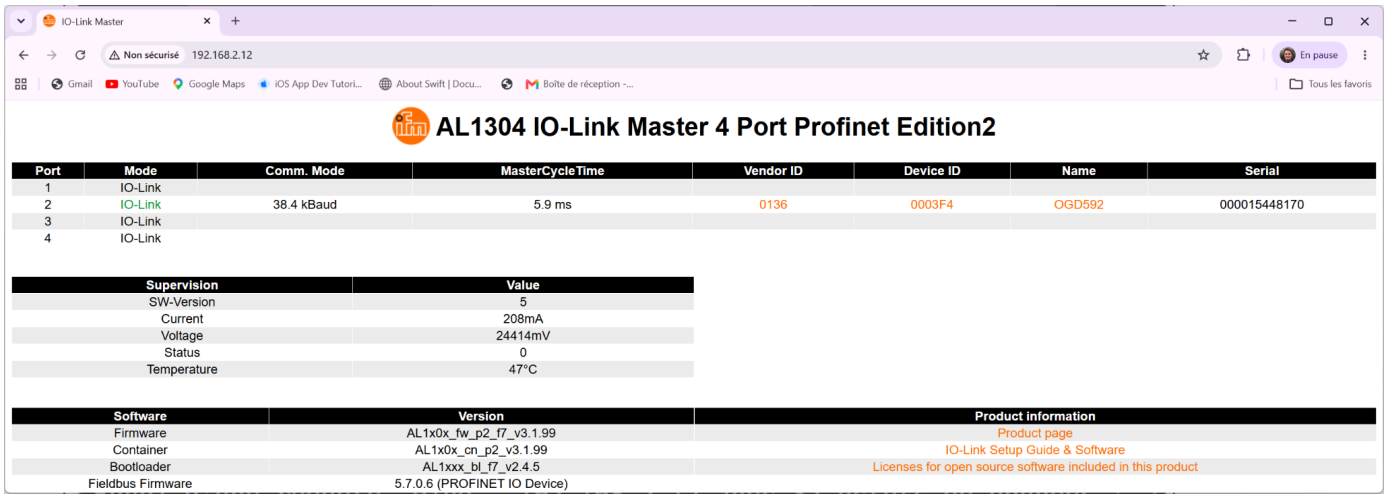




Quelles étapes permettent de valider le bon établissement de la communication entre le PC et l'interface IIoT du Master avant toute modification de paramètre ?Tester la communication entre le PC Etudiant et le Master **IO-Link**. Faire une capture d'écran du test de communication.



Accéder à l'interface de configuration du Master I**O-Link** avec un navigateur Web. Faire une capture d'écran pour vérifier l'utilisation du port **2** pour le capteur.



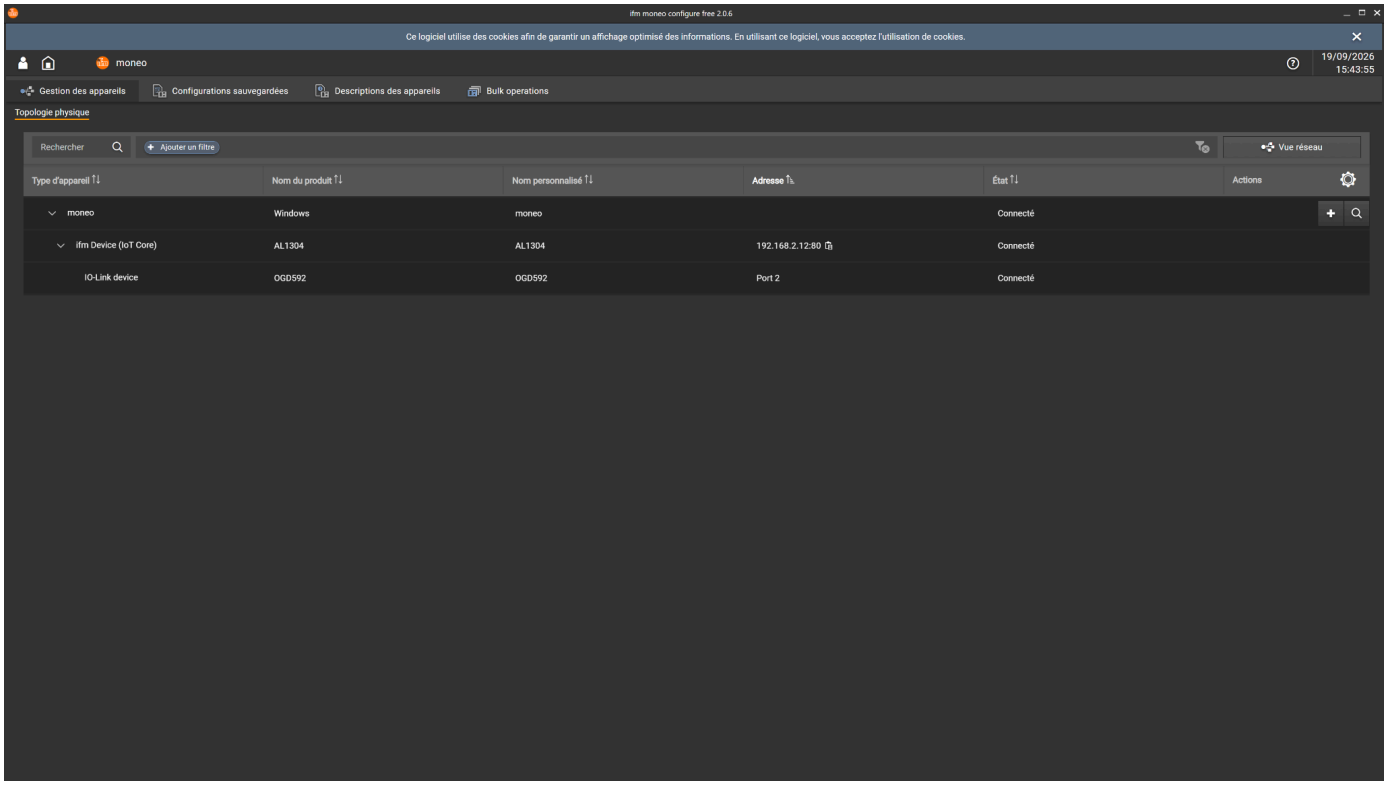
AL1304 IO-Link Master 4 Port Profinet Edition2

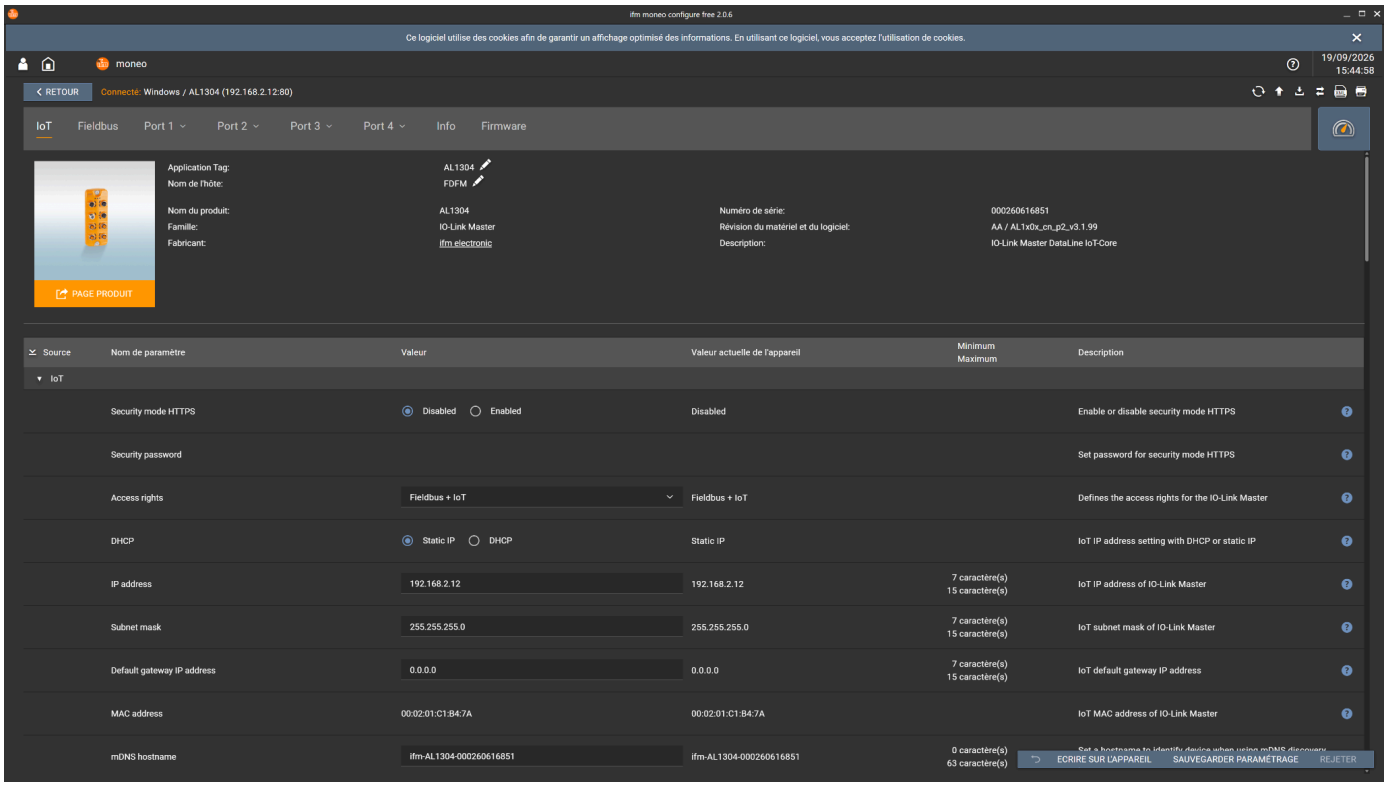
Port	Mode	Comm. Mode	MasterCycleTime	Vendor ID	Device ID	Name	Serial
1	IO-Link						
2	IO-Link	38.4 kBaud	5.9 ms	0136	0003F4	OGD592	000015448170
3	IO-Link						
4	IO-Link						

Supervision	Value
SW-Version	5
Current	208mA
Voltage	24414mV
Status	0
Temperature	47°C

Software	Version	Product information
Firmware	AL1x0x_fw_p2_f7_v3.1.99	Product page
Container	AL1x0x_cn_p2_v3.1.99	IO-Link Setup Guide & Software
Bootloader	AL1xxx_bl_f7_v2.4.5	Licenses for open source software included in this product
Fieldbus Firmware	5.7.0.6 (PROFINET IO Device)	

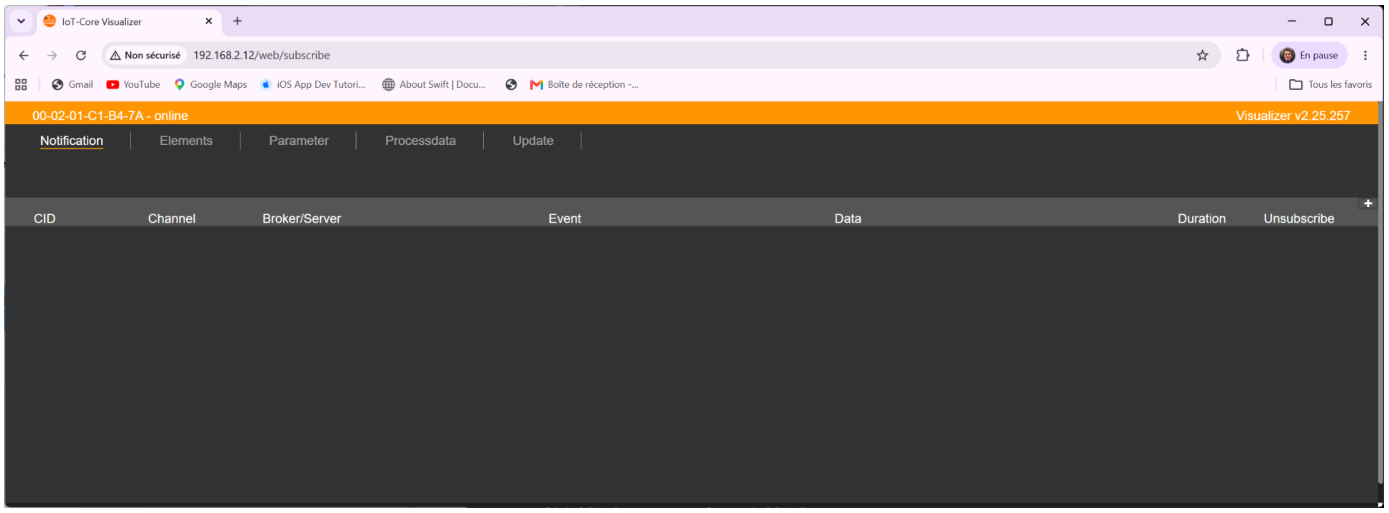
On peut aussi configurer le **Master** avec **Moneo Configure**. Retourner dans **Moneo Configure**, connecter le **Master** et afficher l'Adresse IP du port **IoT**. Faire une capture d'écran.





Dans quel menu de l'interface **Moneo Configure** convient-il de se rendre pour accéder aux réglages de l'interface **IIoT** et préparer l'export des données ?

Dans un navigateur Web, il faut taper l'URL suivante : **http://192.168.2.12/web/subscribe**.



3. Configuration des interfaces réseau de la Machine Virtuelle (VM Ubuntu) :

Dans les paramètres de l'hyperviseur (**VirtualBox** / **VMware**), quel mode d'accès réseau (**Accès par pont**, **NAT**, **Réseau interne**) faut-il sélectionner pour la première carte réseau (**enp0s3**) ? Pour quelle raison le mode **NAT** empêcherait-il le Master **IO-Link** de joindre le broker **Mosquitto** ?

Il faut sélectionner le mode Accès par pont (Bridge) pour la première carte réseau (**enp0s3**). Le mode NAT isole la VM derrière un sous-réseau virtuel propre à l'hôte avec de la traduction d'adresse. Le Master IO-Link ne pourrait pas initier de connexion entrante vers l'IP de la VM pour livrer les messages MQTT.

Sur quelle carte réseau physique du PC hôte le pont de l'interface enp0s3 doit-il être associé ?

Le pont doit être rattaché à la carte Ethernet physique du PC hôte directement reliée au switch du réseau usine IT (**192.168.2.0/24**).

➔ Télécharger et installer une Machine Virtuelle sous **Linux Ubuntu 26.04**.

Renseigner le fichier de configuration réseau de la Machine Virtuelle (**/etc/netplan/00-installer-config.yaml**) pour fixer l'IP de **enp0s3** à **192.168.2.100/24** (Réseau **IT**) et configurer **enp0s8** en **DHCP** (Réseau **WAN**). Quelle commande permet d'appliquer cette configuration sous Ubuntu ?



La commande permettant d'appliquer la configuration réseau sous Ubuntu est : **netplan apply**.

Relever les adresses IP attribuées sur votre Machine Virtuelle. Donner la commande utilisée et faire une capture d'écran.

La commande permettant d'afficher les adresses IP est : **ip a**.

```
root@ubuntu:/home/eleve# ip a
1: lo: <LOOPBACK,UP,LOWER_UP> mtu 65536 qdisc noqueue state UNKNOWN group default qlen 1000
    link/loopback 00:00:00:00:00:00 brd 00:00:00:00:00:00
    inet 127.0.0.1/8 scope host lo
       valid_lft forever preferred_lft forever
    inet6 ::1/128 scope host noprefixroute
       valid_lft forever preferred_lft forever
2: enp0s3: <BROADCAST,MULTICAST,UP,LOWER_UP> mtu 1500 qdisc pfifo_fast state UP group default qlen 1000
    link/ether 08:00:27:86:71:d8 brd ff:ff:ff:ff:ff:ff
    altname enx080027871d8
    inet 192.168.2.100/24 brd 192.168.2.255 scope global enp0s3
       valid_lft forever preferred_lft forever
    inet6 fe80::a00:27ff:fe86:71d8/64 scope link proto kernel_ll
       valid_lft forever preferred_lft forever
3: enp0s8: <BROADCAST,MULTICAST,UP,LOWER_UP> mtu 1500 qdisc pfifo_fast state UP group default qlen 1000
    link/ether 08:00:27:f7:b0:b9 brd ff:ff:ff:ff:ff:ff
    altname enx080027f7b0b9
    inet 192.168.1.16/24 metric 100 brd 192.168.1.255 scope global dynamic enp0s8
       valid_lft 81975sec preferred_lft 81975sec
    inet6 fe80::a00:27ff:fef7:b0b9/64 scope link proto kernel_ll
       valid_lft forever preferred_lft forever
root@ubuntu:/home/eleve#
```

Vérifier la communication entre votre Machine Virtuelle et le Master IO-Link, le PC Etudiant et Internet. Faire une capture d'écran des différents tests de communication.

```
root@ubuntu:/home/eleve# ping 192.168.2.20
PING 192.168.2.20 (192.168.2.20) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 192.168.2.20: icmp_seq=1 ttl=128 time=1.15 ms
64 bytes from 192.168.2.20: icmp_seq=2 ttl=128 time=0.698 ms
64 bytes from 192.168.2.20: icmp_seq=3 ttl=128 time=0.515 ms
64 bytes from 192.168.2.20: icmp_seq=4 ttl=128 time=0.426 ms
^X^C
--- 192.168.2.20 ping statistics ---
4 packets transmitted, 4 received, 0% packet loss, time 3003ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.426/0.697/1.151/0.279 ms
root@ubuntu:/home/eleve# ping 192.168.2.12
PING 192.168.2.12 (192.168.2.12) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 192.168.2.12: icmp_seq=1 ttl=255 time=0.937 ms
64 bytes from 192.168.2.12: icmp_seq=2 ttl=255 time=0.921 ms
64 bytes from 192.168.2.12: icmp_seq=3 ttl=255 time=1.12 ms
64 bytes from 192.168.2.12: icmp_seq=4 ttl=255 time=1.09 ms
^X^C
--- 192.168.2.12 ping statistics ---
4 packets transmitted, 4 received, 0% packet loss, time 3003ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.921/1.016/1.116/0.087 ms
root@ubuntu:/home/eleve# ping google.fr
PING google.fr (172.217.22.67) 56(84) bytes of data.
64 bytes from tlv04s05-in-f3.1e100.net (172.217.22.67): icmp_seq=1 ttl=115 time=29.1 ms
64 bytes from tlv04s05-in-f3.1e100.net (172.217.22.67): icmp_seq=2 ttl=115 time=27.3 ms
64 bytes from tlv04s05-in-f3.1e100.net (172.217.22.67): icmp_seq=3 ttl=115 time=41.3 ms
64 bytes from tlv04s05-in-f3.1e100.net (172.217.22.67): icmp_seq=4 ttl=115 time=27.2 ms
^C
--- google.fr ping statistics ---
4 packets transmitted, 4 received, 0% packet loss, time 3003ms
rtt min/avg/max/mdev = 27.209/31.206/41.252/5.847 ms
root@ubuntu:/home/eleve#
```

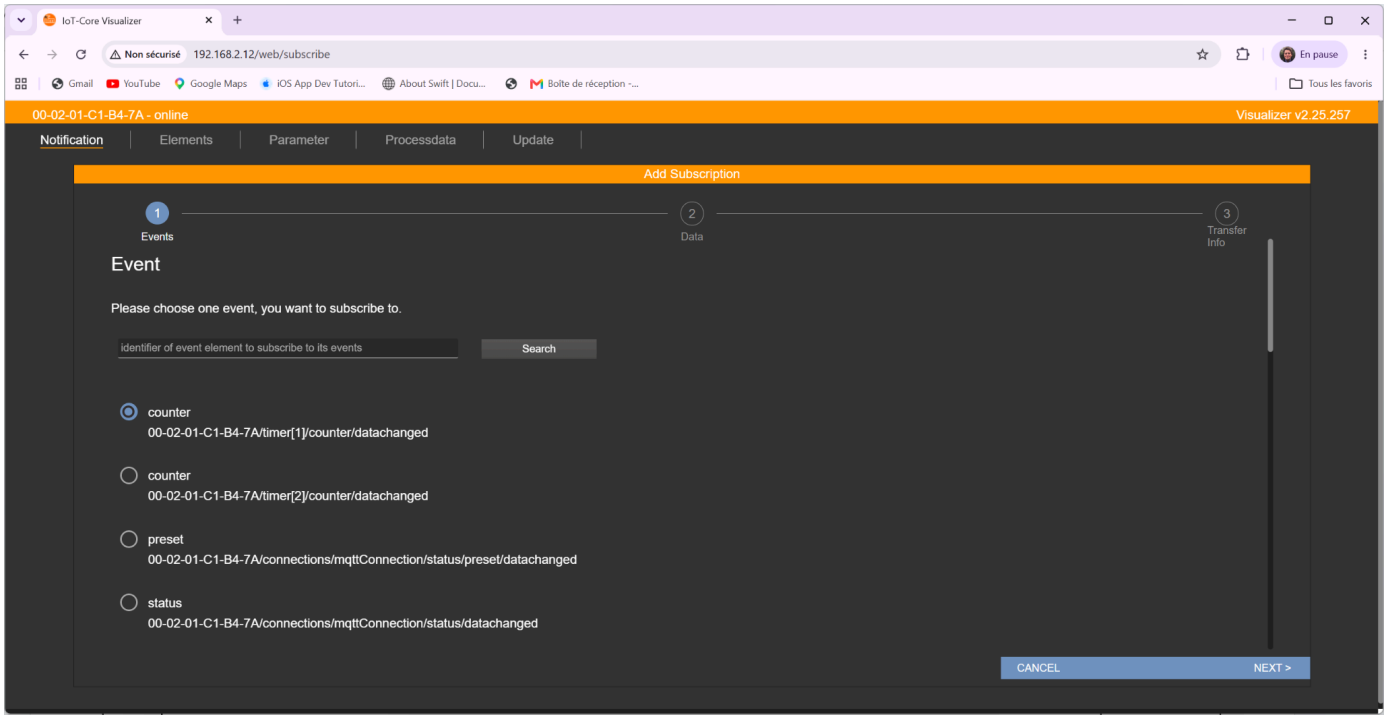
X – CONFIGURATION DE L'ENVOI DES DONNEES EN MQTT :

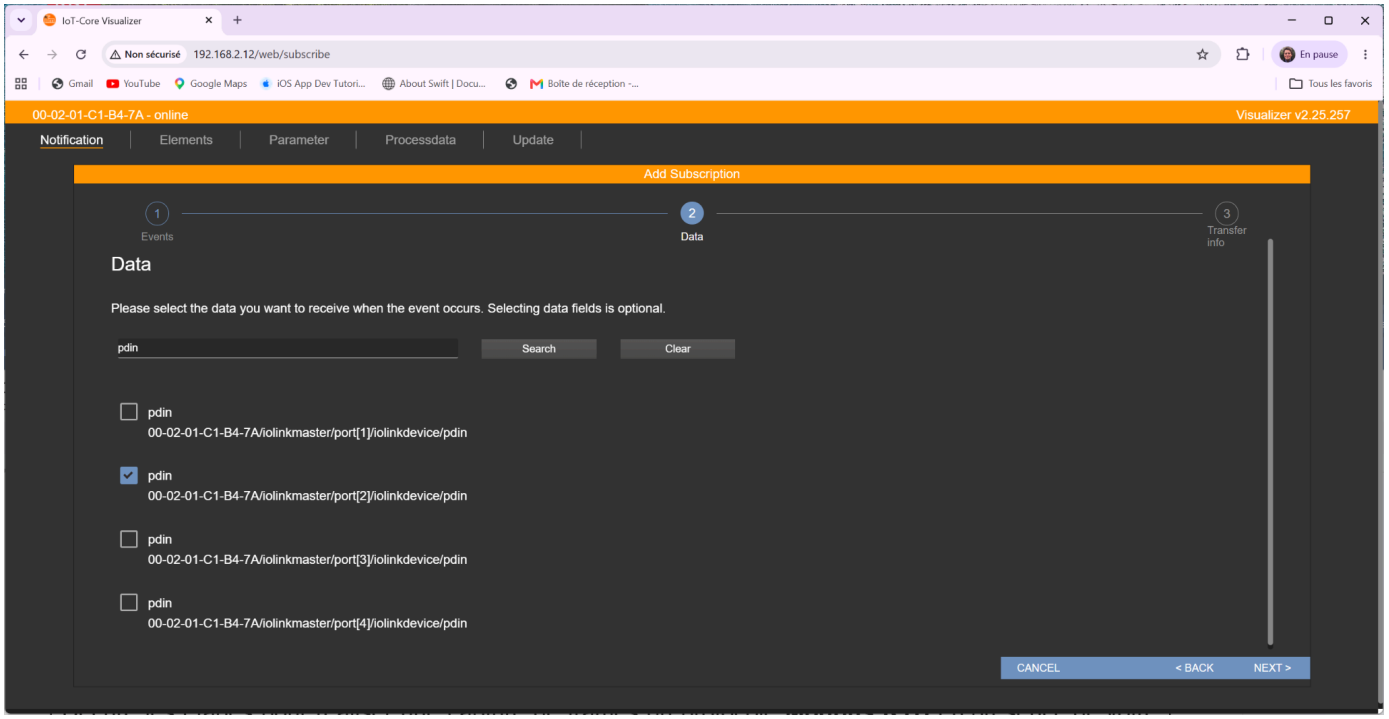
Nous allons maintenant configurer le Master **IO-Link** pour qu'il envoie les données au format **MQTT**, il faudra respecter les paramètres suivants :

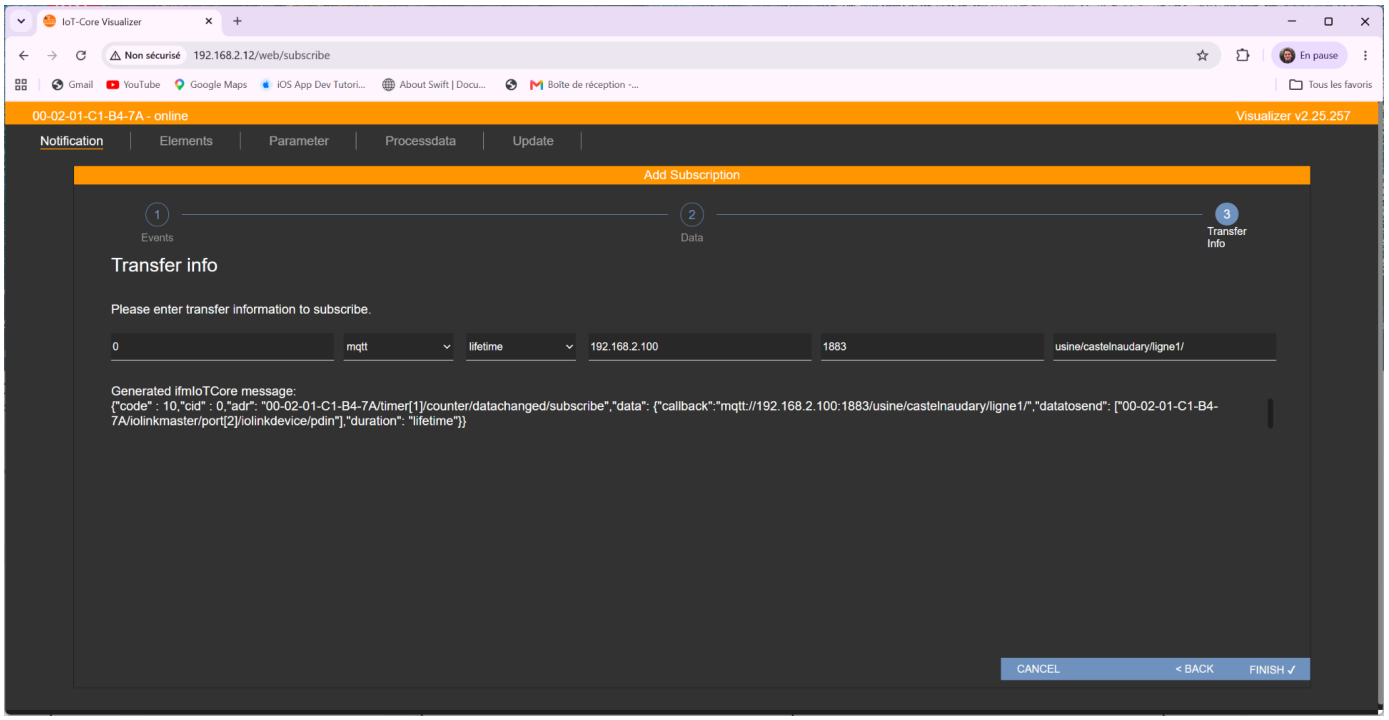
- Event : Counter avec un Timer [1]
- Data : Choisir le Pdin du Port [2]
- Topic : usine/castelnaudary/ligne1

Décrire les étapes pour réaliser cette configuration sur le Master **IO-Link**.

Dans un navigateur Web, il faut taper l'URL suivante : **http://192.168.2.12/web/subscribe**.







Avant d'installer le serveur Mosquitto, il est possible de vérifier que l'envoi de Données s'effectue bien.

Taper la commande suivante : **sudo tcpdump -i enp0s3 host 192.168.2.12**. Donner une capture d'écran et expliquer le résultat de cette commande.

```
root@ubuntu:/home/eleve# sudo tcpdump -i enp0s3 host 192.168.2.12
tcpdump: verbose output suppressed, use -v[v]... for full protocol decode
listening on enp0s3, link-type EN10MB (Ethernet), snapshot length 262144 bytes
14:30:47.171584 IP 192.168.2.12.49757 > ubuntu.1883: Flags [S], seq 9117454, win 2144, options [mss 536], length 0
14:30:47.171607 IP ubuntu.1883 > 192.168.2.12.49757: Flags [R.], seq 0, ack 9117455, win 0, length 0
14:30:48.171608 IP 192.168.2.12.49758 > ubuntu.1883: Flags [S], seq 9130962, win 2144, options [mss 536], length 0
14:30:48.171633 IP ubuntu.1883 > 192.168.2.12.49758: Flags [R.], seq 0, ack 9130963, win 0, length 0
14:30:49.171656 IP 192.168.2.12.49759 > ubuntu.1883: Flags [S], seq 9144472, win 2144, options [mss 536], length 0
14:30:49.171680 IP ubuntu.1883 > 192.168.2.12.49759: Flags [R.], seq 0, ack 9144473, win 0, length 0
14:30:50.171500 IP 192.168.2.12.49760 > ubuntu.1883: Flags [S], seq 9157984, win 2144, options [mss 536], length 0
14:30:50.171523 IP ubuntu.1883 > 192.168.2.12.49760: Flags [R.], seq 0, ack 9157985, win 0, length 0
^X^C
8 packets captured
8 packets received by filter
0 packets dropped by kernel
root@ubuntu:/home/eleve#
```

La commande **sudo tcpdump -i enp0s3 host 192.168.2.12** permet d'analyser en temps réel le trafic réseau échangé entre le Master **IO-Link** et la Machine Virtuelle.
Les paquets comportant la mention **Flags [S]** indiquent que le Master **IO-Link** émet des requêtes de synchronisation **TCP** à destination de la machine virtuelle sur le port **1883**. L'examen des horodatages montre que ces tentatives de connexion surviennent toutes les secondes, ce qui valide la période d'émission configurée sur l'équipement. En réponse, la machine virtuelle émet des paquets identifiés par la mention **Flags [R.]**, qui correspondent à un rejet de connexion de type **TCP Reset**. Ce résultat démontre que l'interface réseau **enp0s3** reçoit correctement les paquets, mais que le système d'exploitation refuse la liaison car aucun service d'écoute n'est encore actif sur le port **1883**.
Cette capture confirme la validité de la couche réseau et la présence d'une connectivité IP fonctionnelle entre les deux équipements. Le Master **IO-Link** émettant ses paquets de manière nominale, l'installation du broker **Mosquitto** permettra d'intercepter ces flux **TCP** et de traiter la charge utile **JSON** transmise.

Tester cette commande maintenant : **nc -l -p 1883**. Donner une capture d'écran et expliquer le résultat de cette commande.



```
root@ubuntu:/home/eleve# nc -l -p 1883
MQTT
00-02-01-C1-B4-7A0♦sine/castelnaudary/ligne1/{"code":"event","cid":0,"adr":"/usine/castelnaudary/ligne1/","data":{"eventno":"7354","srcurl":"00-02-01-C1-B4-7A/t
imer[1]/counter/datachanged","payload":{"/timer[1]/counter":{"code":200,"data":7354},"/iolinkmaster/port[2]/iolinkdevice/pdin":{"code":200,"data":"7FF8FD007FFC0
020"}}}}0♦sine/castelnaudary/ligne1/{"code":"event","cid":0,"adr":"/usine/castelnaudary/ligne1/","data":{"eventno":"7355","srcurl":"00-02-01-C1-B4-7A/timer[1]/c
ounter/datachanged","payload":{"/timer[1]/counter":{"code":200,"data":7355},"/iolinkmaster/port[2]/iolinkdevice/pdin":{"code":200,"data":"7FF8FD007FFC0020"}}}}0
♦sine/castelnaudary/ligne1/{"code":"event","cid":0,"adr":"/usine/castelnaudary/ligne1/","data":{"eventno":"7356","srcurl":"00-02-01-C1-B4-7A/timer[1]/counter/da
tachanged","payload":{"/timer[1]/counter":{"code":200,"data":7356},"/iolinkmaster/port[2]/iolinkdevice/pdin":{"code":200,"data":"7FF8FD007FFC0020"}}}}0♦sine/cas
telnaudary/ligne1/{"code":"event","cid":0,"adr":"/usine/castelnaudary/ligne1/","data":{"eventno":"7357","srcurl":"00-02-01-C1-B4-7A/timer[1]/counter/datachanged
","payload":{"/timer[1]/counter":{"code":200,"data":7357},"/iolinkmaster/port[2]/iolinkdevice/pdin":{"code":200,"data":"7FF8FD007FFC0020"}}}}0♦sine/castelnaudar
y/ligne1/{"code":"event","cid":0,"adr":"/usine/castelnaudary/ligne1/","data":{"eventno":"7358","srcurl":"00-02-01-C1-B4-7A/timer[1]/counter/datachanged","payloa
d":{"/timer[1]/counter":{"code":200,"data":7358},"/iolinkmaster/port[2]/iolinkdevice/pdin":{"code":200,"data":"7FF8FD007FFC0020"}}}}0♦sine/castelnaudary/ligne1/
{"code":"event","cid":0,"adr":"/usine/castelnaudary/ligne1/","data":{"eventno":"7359","srcurl":"00-02-01-C1-B4-7A/timer[1]/counter/datachanged","payload":{"tim
er[1]/counter":{"code":200,"data":7359},"/iolinkmaster/port[2]/iolinkdevice/pdin":{"code":200,"data":"7FF8FD007FFC0020"}}}}0♦sine/castelnaudary/ligne1/{"code":"
event","cid":0,"adr":"/usine/castelnaudary/ligne1/","data":{"eventno":"7360","srcurl":"00-02-01-C1-B4-7A/timer[1]/counter/datachanged","payload":{"/timer[1]/cou
nter":{"code":200,"data":7360},"/iolinkmaster/port[2]/iolinkdevice/pdin":{"code":200,"data":"7FF8FD007FFC0020"}}}}0♦sine/castelnaudary/ligne1/{"code":"event","c
id":0,"adr":"/usine/castelnaudary/ligne1/","data":{"eventno":"7361","srcurl":"00-02-01-C1-B4-7A/timer[1]/counter/datachanged","payload":{"/timer[1]/counter":{"c
ode":200,"data":7361},"/iolinkmaster/port[2]/iolinkdevice/pdin":{"code":200,"data":"7FF8FD007FFC0020"}}}}0♦sine/castelnaudary/ligne1/{"code":"event","cid":0,"ad
r":"/usine/castelnaudary/ligne1/","data":{"eventno":"7362","srcurl":"00-02-01-C1-B4-7A/timer[1]/counter/datachanged","payload":{"/timer[1]/counter":{"code":200,
"data":7362},"/iolinkmaster/port[2]/iolinkdevice/pdin":{"code":200,"data":"7FF8FD007FFC0020"}}}}0♦sine/castelnaudary/ligne1/{"code":"event","cid":0,"adr":"/usin
e/castelnaudary/ligne1/","data":{"eventno":"7363","srcurl":"00-02-01-C1-B4-7A/timer[1]/counter/datachanged","payload":{"/timer[1]/counter":{"code":200,"data":73
63},"/iolinkmaster/port[2]/iolinkdevice/pdin":{"code":200,"data":"7FF8FD007FFC0020"}}}}0♦sine/castelnaudary/ligne1/{"code":"event","cid":0,"adr":"/usine/casteln
audary/ligne1/","data":{"eventno":"7364","srcurl":"00-02-01-C1-B4-7A/timer[1]/counter/datachanged","payload":{"/timer[1]/counter":{"code":200,"data":7364},"/iol
inkmaster/port[2]/iolinkdevice/pdin":{"code":200,"data":"7FF8FD007FFC0020"}}}}0♦sine/castelnaudary/ligne1/{"code":"event","cid":0,"adr":"/usine/castelnaudary/l
igne1/","data":{"eventno":"7365","srcurl":"00-02-01-C1-B4-7A/timer[1]/counter/datachanged","payload":{"/timer[1]/counter":{"code":200,"data":7365},"/iolinkmaste
r/port[2]/iolinkdevice/pdin":{"code":200,"data":"7FF8FD007FFC0020"}}}}0♦sine/castelnaudary/ligne1/{"code":"event","cid":0,"adr":"/usine/castelnaudary/ligne1/","
data":{"eventno":"7366","srcurl":"00-02-01-C1-B4-7A/timer[1]/counter/datachanged","payload":{"/timer[1]/counter":{"code":200,"data":7366},"/iolinkmaster/port[2]
/iolinkdevice/pdin":{"code":200,"data":"7FF8FD007FFC0020"}}}}0♦sine/castelnaudary/ligne1/{"code":"event","cid":0,"adr":"/usine/castelnaudary/ligne1/","data":{"e
ventno":"7367","srcurl":"00-02-01-C1-B4-7A/timer[1]/counter/datachanged","payload":{"/timer[1]/counter":{"code":200,"data":7367},"/iolinkmaster/port[2]/iolinkde
vice/pdin":{"code":200,"data":"7FF8FD007FFC0020"}}}}0♦sine/castelnaudary/ligne1/{"code":"event","cid":0,"adr":"/usine/castelnaudary/ligne1/","data":{"eventno":"
7368","srcurl":"00-02-01-C1-B4-7A/timer[1]/counter/datachanged","payload":{"/timer[1]/counter":{"code":200,"data":7368},"/iolinkmaster/port[2]/iolinkdevice/pdin
":{"code":200,"data":"7FF8FD007FFC0020"}}}}0♦sine/castelnaudary/ligne1/{"code":"event","cid":0,"adr":"/usine/castelnaudary/ligne1/","data":{"eventno":"7369","sr
curl":"00-02-01-C1-B4-7A/timer[1]/counter/datachanged","payload":{"/timer[1]/counter":{"code":200,"data":7369},"/iolinkmaster/port[2]/iolinkdevice/pdin":{"code"
:200,"data":"7FF8FD007FFC0020"}}}}0♦sine/castelnaudary/ligne1/{"code":"event","cid":0,"adr":"/usine/castelnaudary/ligne1/","data":{"eventno":"7370","srcurl":"00
-02-01-C1-B4-7A/timer[1]/counter/datachanged","payload":{"/timer[1]/counter":{"code":200,"data":7370},"/iolinkmaster/port[2]/iolinkdevice/pdin":{"code":200,"dat
a":"7FF8FD007FFC0020"}}}}0♦sine/castelnaudary/ligne1/{"code":"event","cid":0,"adr":"/usine/castelnaudary/ligne1/","data":{"eventno":"7371","srcurl":"00-02-01-C1
-B4-7A/timer[1]/counter/datachanged","payload":{"/timer[1]/counter":{"code":200,"data":7371},"/iolinkmaster/port[2]/iolinkdevice/pdin":{"code":200,"data":"7FF8F
D007FFC0020"}}}}0♦sine/castelnaudary/ligne1/{"code":"event","cid":0,"adr":"/usine/castelnaudary/ligne1/","data":{"eventno":"7372","srcurl":"00-02-01-C1-B4-7A/ti
mer[1]/counter/datachanged","payload":{"/timer[1]/counter":{"code":200,"data":7372},"/iolinkmaster/port[2]/iolinkdevice/pdin":{"code":200,"data":"7FF8FD007FFC00
20"}}}}0♦sine/castelnaudary/ligne1/{"code":"event","cid":0,"adr":"/usine/castelnaudary/ligne1/","data":{"eventno":"7373","srcurl":"00-02-01-C1-B4-7A/timer[1]/co
unter/datachanged","payload":{"/timer[1]/counter":{"code":200,"data":7373},"/iolinkmaster/port[2]/iolinkdevice/pdin":{"code":200,"data":"7FF8FD007FFC0020"}}}}0♦
sine/castelnaudary/ligne1/{"code":"event","cid":0,"adr":"/usine/castelnaudary/ligne1/","data":{"eventno":"7374","srcurl":"00-02-01-C1-B4-7A/timer[1]/counter/dat
achanged","payload":{"/timer[1]/counter":{"code":200,"data":7374},"/iolinkmaster/port[2]/iolinkdevice/pdin":{"code":200,"data":"7FF8FD007FFC0020"}}}}0♦sine/cas
telnaudary/ligne1/{"code":"event","cid":0,"adr":"/usine/castelnaudary/ligne1/","data":{"eventno":"7375","srcurl":"00-02-01-C1-B4-7A/timer[1]/counter/datachanged
","payload":{"/timer[1]/counter":{"code":200,"data":7375},"/iolinkmaster/port[2]/iolinkdevice/pdin":{"code":200,"data":"7FF8FD007FFC0020"}}}}0♦sine/castelnaudar
y/ligne1/{"code":"event","cid":0,"adr":"/usine/castelnaudary/ligne1/","data":{"eventno":"7376","srcurl":"00-02-01-C1-B4-7A/timer[1]/counter/datachanged","payloa
d":{"/timer[1]/counter":{"code":200,"data":7376},"/iolinkmaster/port[2]/iolinkdevice/pdin":{"code":200,"data":"7FF8FD007FFC0020"}}}}0♦sine/castelnaudary/ligne1/
{"code":"event","cid":0,"adr":"/usine/castelnaudary/ligne1/","data":{"eventno":"7377","srcurl":"00-02-01-C1-B4-7A/timer[1]/counter/datachanged","payload":{"tim
er[1]/counter":{"code":200,"data":7377},"/iolinkmaster/port[2]/iolinkdevice/pdin":{"code":200,"data":"7FF8FD007FFC0020"}}}}^C
root@ubuntu:/home/eleve#
```


La commande **nc -l -p 1883** permet d'ouvrir un socket d'écoute **TCP** temporaire sur le port **1883** afin de capturer les données brutes émises par le Master **IO-Link** sans installer au préalable le serveur **Mosquitto**.

L'affichage obtenu dans le terminal confirme le succès de l'établissement de la liaison **TCP** et la bonne réception des trames applicatives émises par l'équipement. La chaîne initiale comporte le marqueur de protocole **MQTT**, suivi de la structure du topic ainsi que de la charge utile encodée en **JSON**. La progression séquentielle du compteur eventno, qui s'incrémente de **7354** à **7377**, valide l'émission périodique continue des paquets selon l'intervalle de rafraîchissement d'une seconde configuré sur le Master. De plus, la présence de la chaîne hexadécimale "**7FF8FD007FFC0020**" associée au champ pdin atteste du transfert effectif des données de mesure en provenance du capteur raccordé au **Port 2**.

Ce test valide définitivement la chaîne de communication entre le Master **IO-Link** et la Machine Virtuelle Ubuntu. Le flux de données étant fonctionnel au niveau applicatif, l'étape suivante consiste à déployer le broker **Mosquitto** pour assurer le traitement et le routage automatisé des messages **MQTT** vers **InfluxDB**.

Voici le format d'une trame relevée JSON :

MQTT 00-02-01-C1-B4-7A0?sine/castelnaudary/ligne1/{"code":"event","cid":0,"adr":"/usine/castelnaudary/ligne1/","data":{"eventno":"7676","srcurl":"00-02-01-C1-B4-7A/timer[1]/counter/datachanged","payload":{"/timer[1]/counter":{"code":200,"data":7676},"/iolinkmaster/port[2]/iolinkdevice/pdin":{"code":200,"data":"011CFD00001C0001"}}}}

Quelle est la donnée utile dans cette trame JSON ?

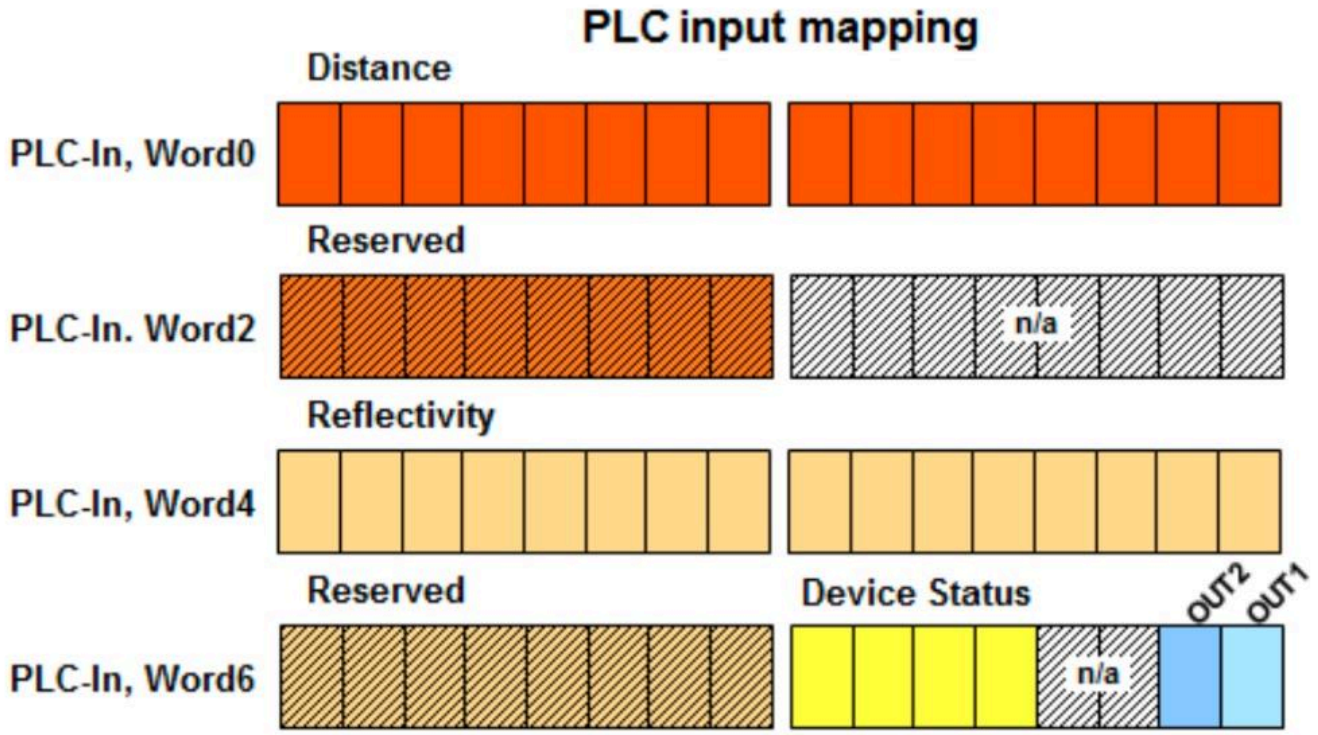
La donnée utile dans cette Trame JSON est 011CFD00001C0001.

Comment faites-vous pour retrouver la valeur qui correspond à la distance mesurée ?

Voici les détails de la trames de la fiche technique du capteur IFM OGD592 :

Process data Total bit length = 64
(Process data input)

Name	Description	Data type	Bit length	Value range	Gradient	Offset	Unit
Distance	Current object distance	IntegerT	16	**25 to 330** (-32760) UL (32760) OL (32764) NoData	1	0	mm
Reflectivity	Current object reflectivity	IntegerT	16	**1 to 100** (-32760) UL (32760) OL (32764) NoData	1	0	%
Device status	Current device status, a copy of the variable [Device Status] in the process data channel	UIntegerT	4	(0) Device is OK (1) Maintenance required (2) Out of specification (3) Functional check (4) Failure			
OUT2	Status depends on [OU2]	BooleanT		(false) inactive (true) active			
OUT1	Status depends on [OU1]	BooleanT		(false) inactive (true) active			



Le calcul s'effectue en trois étapes à partir de la structure de la trame IO-Link.

1. Isolement du mot de donnée (Word 0)

La chaîne reçue est 011CFD00001C0001 (8 octets en hexadécimal).
Selon la cartographie mémoire de la structure de données de processus (Process Data Structure) du capteur OGD592 :

- Les octets 0 et 1 (011C) correspondent à la valeur de mesure principale (distance).
- Les octets 2 et 3 (FD00) sont réservés et non disponibles.
- Les octets 4 et 5 (001C) correspondent à la réflectivité.
- L'octet 6 est réservé et l'octet 7 correspond au statut sur 4 bits et à l'état des sorties logiques sur 2 bits.

2. Conversion hexadécimale vers décimale

La valeur brute à convertir est 011C (base 16).

En décomposant par puissance de 16 (sachant que la lettre C vaut 12) :

- $0 \times 16^3 = 0$
- $1 \times 16^2 = 256$
- $1 \times 16^1 = 16$
- $C \times 16^0 = 12 \times 1 = 12$

Calcul : 256 + 16 + 12 = 284
La valeur entière décimale renvoyée par le processeur du capteur est donc 284.

3. Application du facteur de résolution du capteur

La documentation constructeur de l'**OGD592** spécifie que la valeur numérique de la mesure principale est transmise avec une résolution de **1 digit = 1 mm**.

- Valeur convertie : 284 digits × 1 mm/digit = 284 mm (soit **28,4 cm)**.

XI – INSTALLATION ET CONFIGURATION DE MOSQUITTO :

Nous allons maintenant installer **Mosquitto** sur notre Machine Virtuelle.

Pour installer **Mosquitto**, taper les commandes suivantes :

```
# Installation de Mosquitto et des outils clients
sudo apt update && sudo apt install mosquitto mosquitto-clients -y
```

Vous devez configurer un écouteur réseau sur l'interface IT dans le fichier **/etc/mosquitto/conf.d/default.conf** :

```
listener 1883 192.168.2.100
allow_anonymous true
```

Donner la commande pour relancer le service **Mosquitto** et donner la commande pour vérifier que le service est actif.

La commande pour relancer le service **Mosquitto** et appliquer les modifications de configuration est : **sudo systemctl restart mosquitto**.

La commande pour vérifier que le service est actif et fonctionne correctement est : **sudo systemctl status mosquitto**.

```
root@ubuntu:/home/eleve# sudo systemctl status mosquitto
● mosquitto.service - Mosquitto MQTT Broker
     Loaded: loaded (/usr/lib/systemd/system/mosquitto.service; enabled; preset: enabled)
     Active: active (running) since Sat 2026-09-19 15:08:37 UTC; 27s ago
 Invocation: 94858d98131747b4aa6e342f008981b9
       Docs: man:mosquitto.conf(5)
             man:mosquitto(8)
   Main PID: 1768 (mosquitto)
      Tasks: 1 (limit: 1888)
     Memory: 1.4M (peak: 1.8M)
        CPU: 54ms
     CGroup: /system.slice/mosquitto.service
             └─1768 /usr/sbin/mosquitto -c /etc/mosquitto/mosquitto.conf

sept. 19 15:08:37 ubuntu systemd[1]: Starting mosquitto.service - Mosquitto MQTT Broker...
sept. 19 15:08:37 ubuntu mosquitto[1768]: 1789830517: Loading config file /etc/mosquitto/conf.d/default.conf
sept. 19 15:08:37 ubuntu systemd[1]: Started mosquitto.service - Mosquitto MQTT Broker.
root@ubuntu:/home/eleve#
```

Sur la Machine Virtuelle Ubuntu (192.168.2.100), exécuter la commande de souscription suivante :

```
mosquitto_sub -h 192.168.2.100 -p 1883 -t "usine/castelnaudary/ligne1/#" -v
```

Donner le contenu d'une trame relevée :

usine/castelnaudary/ligne1/
{"code":"event","cid":0,"adr":"/usine/castelnaudary/ligne1/","data":{"eventno":"9426","srcurl":"00-02-01-C1-B4-7A/timer[1]/counter/datachanged","payload":{"/timer[1]/counter":{"code":200,"data":9426},"/iolinkmaster/port[2]/iolinkdevice/pdin":{"code":200,"data":"011CFD0000180001"}}}}

Voici un exemple de trame relevée, expliquer les différents champs :

usine/castelnaudary/ligne1/
{"code":"event","cid":0,"adr":"/usine/castelnaudary/ligne1/","data":{"eventno":"9426","srcurl":"00-02-01-C1-B4-7A/timer[1]/counter/datachanged","payload":{"/timer[1]/counter":{"code":200,"data":9426},"/iolinkmaster/port[2]/iolinkdevice/pdin":{"code":200,"data":"011CFD0000180001"}}}}

La trame reçue via la console Netcat se décompose selon la structure JSON-RPC d'IFM IoT Core :

- Topic MQTT (usine/castelnaudary/ligne1/) : Définit le chemin de publication sur lequel le Master émet le message.
- code ("event") : Indique le type de notification transmise (ici un événement déclenché par un changement d'état ou un temporisateur).
- cid (0) : Identifiant de transaction (Correlation ID) utilisé par le protocole JSON-RPC.
- adr ("/usine/castelnaudary/ligne1/") : Rappelle l'adresse du sujet d'événement sur le Master.
- data.eventno ("9426") : Numéro d'événement incrémentiel permettant de vérifier la continuité de la séquence.
- data.srcurl : Identifie l'élément interne du Master à l'origine du déclenchement (le compteur de temps timer[1]).
- data.payload./timer[1]/counter : Fournit l'état de la requête (code: 200) et la valeur courante du compteur d'incrémentation.
- data.payload./iolinkmaster/port[2]/iolinkdevice/pdin : Transmet l'état de lecture (code: 200) et les données de processus entrantes (pdin) du capteur raccordé au Port 2 sous la forme de la chaîne hexadécimale brute "011CFD0000180001".

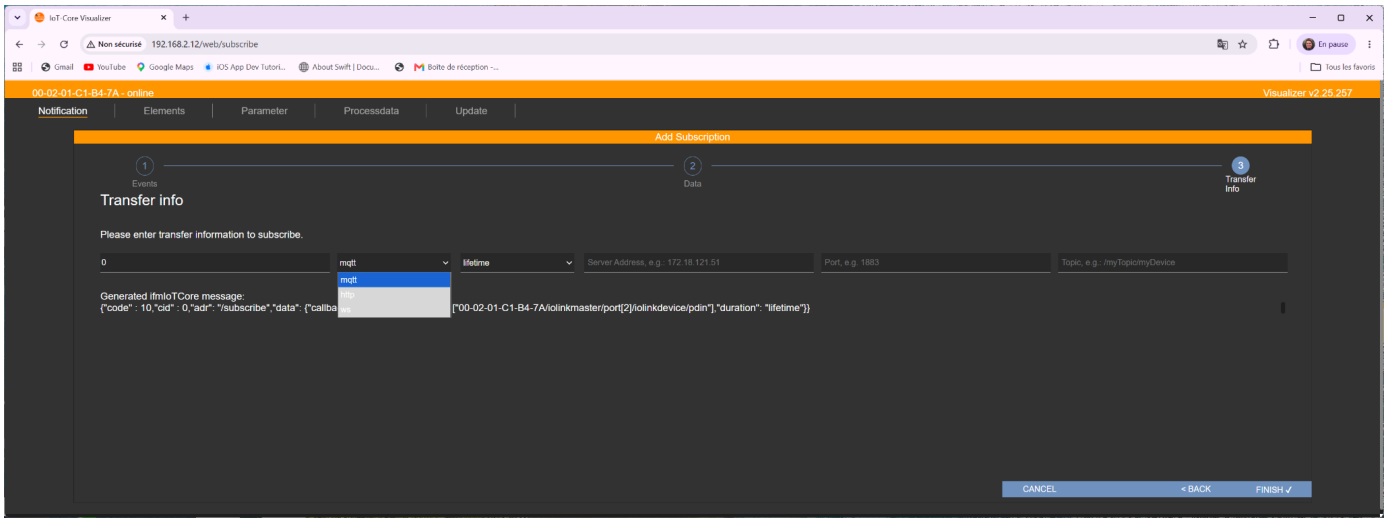
Dans la trame JSON reçue sur la console, identifier les clés fournissant la valeur mesurée, l'unité et le format d'horodatage.

- Valeur mesurée : Elle est fournie par la sous-clé "data" située dans le chemin "**/iolinkmaster/port[2]/iolinkdevice/pdin**". Elle contient la chaîne hexadécimale brute "**011CFD0000180001**" dont les deux premiers octets (011C) représentent la mesure.
- Unité : L'unité n'est pas présente dans la trame **JSON**. Elle est implicite et définie par le constructeur dans le fichier **IODD** du capteur **OGD592** (1 digit = 1 mm).
- **Format d'horodatage** : Aucun horodatage (timestamp) standard de type date/heure n'est intégré au payload. Le suivi temporel s'effectue via l'incrémentation séquentielle du champ "**eventno**" générée à chaque période d'échantillonnage.

Observez-vous une variation immédiate sur le terminal lors de la modification de la position d'un objet devant le capteur OGD592 ?

La variation ne s'affiche pas de manière instantanée au moment exact du déplacement, mais apparaît lors de la réception de la trame suivante. Le Master rafraîchissant l'envoi des données selon un intervalle de 1 seconde (1000 ms), la nouvelle valeur hexadécimale du champ **pdin** est mise à jour sur le terminal au cycle d'échantillonnage qui suit le mouvement.

On souhaite mettre en place un protocole sécurisé, la capture d'écran suivante de la configuration du Broker **MQTT** du Master **IO-Link** met en évidence les limites de ce Master.



Analyser cette capture d'écran et dire si une solution est envisageable pour securiser l'échange de données.

Le menu déroulant de l'interface IoT Core Visualizer montre que le Master **IO-Link** ne propose que trois protocoles d'exportation : **mqtt**, **http** et **ws** (WebSocket).
Les déclinaisons sécurisées avec chiffrement **TLS** (**mqtts**, **https**, **wss**) sont absentes de ce modèle. Le client embarqué dans le firmware ne gère pas le chiffrement de la couche transport ni l'authentification par certificat client. L'échange de données s'effectue donc en clair sur le port TCP **1883**.
Puisque le Master ne peut pas chiffrer nativement son flux d'exportation, la sécurité repose sur l'architecture réseau englobante :

- Segmentation et isolation (Architecture en Y) : Le flux **MQTT** non chiffré reste strictement confiné dans le sous-réseau usine IT (**192.168.2.0/24**). Le réseau de commande OT (**192.168.1.0/24**) reste hermétique pour empêcher toute atteinte à l'automate.
- Passerelle de sécurité Edge (Machine Virtuelle Ubuntu) : La Machine Virtuelle (**192.168.2.100**) réceptionne le flux local en port **1883**. Si ces données doivent être acheminées vers un réseau externe ou un Cloud, la Machine Virtuelle prend en charge le chiffrement TLS (Port **8883**) pour réémettre les trames de manière sécurisée.
- Filtrage d'accès (ACL / Switch) : Le commutateur réseau limite les échanges du port **1883** aux seules adresses IP et MAC du Master **IO-Link** (**192.168.2.12**) et du serveur **Mosquitto** (**192.168.2.100**) interdisant ainsi toute tentative d'interception par un équipement tiers.

Grille de Notation			Validation Compétences
Etude préalable et Architecture en **Y**		**/4**	
Configuration du plan d'Adressage IP		**/4**	
Capture et Diagnostic des flux réseaux		**/3**	
Déploiement et Configuration de **Mosquitto**		**/3**	**Valide C05**
Analyse **JSON**, Décodage Capteur et Sécurité		**/6**	**Valide C04**
Barème de notation total		**/20**	