Laboratoires IoT avec PYCOM-V

SmartComputerLab

Contenu – Laboratoires de base

0. **Introduction** **3**
- 0.1 ESP32 Soc – une unité avancée pour les architectures IoT 3
- 0.2 Carte ESP32 LOLIN32 4
- 0.3 IoT DevKit PYCOM-V une plate-forme de développement IoT 5
- 0.4 Le logiciel – Thonny IDE 6
  - 0.4.1 Installation de Thonny - thonny.org 6
  - 0.4.2 Préparation de la carte ESP32 LOLIN32 7
  - 0.4.4 Premier exemple – x.led.blink.py 9
  - A faire: 9

Laboratoire 1 ..... **10**

Lecture des capteurs et affichage (i2c) 10
- 1.0 Introduction 10
- 1.1 Premier exemple – l'affichage des données 10
- 1.2 Deuxième exemple – lecture d'un capteur (T/H) - SHT21 12
  - 1.2.1 Préparation du code 12
  - A faire: 13
- 1.3 Troisième exemple – lecture d'un capteur (L) - BH1750 14
  - A faire: 14
- 1.4 Quatrième exemple – lecture d'un capteur PIR - SR602 15
  - A faire: 15

Laboratoire 2 ..... **16**

Communication WiFi et broker MQTT 16
- 2.1 Scrutation *scan* du réseau 16
  - A faire: 16
  - Remarque importante: 16
- 2.2 Connexion au réseau WiFi , mode station - STA 17
  - A faire: 17
- 2.3 Lecture d'une page WEB 18
  - A faire: 18
- 2.3 Simple serveur WEB – lecture d'une variable 19
- 2.4 Simple serveur WEB – l'envoi d'une commande 20
  - A faire: 21
  - 2.4.3 Mini serveur WEB avec Point d'Accès – gestion de la LED RGB 21
  - A faire: 22

Laboratoire 3 ..... **23**

Broker MQTT et serveur ThingSpeak 23
- 3.1 Protocole MQTT et Client MQTT 23
  - 3.1.1 Client MQTT – le code 23
  - A faire: 24
  - 3.1.2 Broker MQTT sur un PC 24
  - A faire: 24
- 3.2 Serveur ThingSpeak 24
  - 3.2.1 Préparation pour l'envoie des données comme messages MQTT 24
  - A faire: 25
  - 3.2.2 Préparation pour l'envoi des données comme simples requêtes HTTP 26
  - A faire: 27
  - 3.2.3 Préparation pour l'envoi des données avec thingspeak.py 27
  - A faire: 28

Contenu – Laboratoires avancés

Laboratoire 4.....29
Technologie LoRa et Communication *Long Range*.....29
4.0 Introduction.....29
4.1 Modulation LoRa.....29
4.2 Bibliothèque sx127x.py.....29
4.3 Programme principal.....30
4.4 Modules fonctionnels LoRa.....32
4.4.1 Emetteur – sender() (LoRaSender.py).....32
A faire:.....32
4.4.2 Récepteur – receive (LoRaReceiver.py).....33
A faire:.....33
4.4.3 Récepteur – onReceive (LoRaReceiverCallback.py).....34
A faire:.....34

Laboratoire 5.....35
Développement de simples passerelles IoT.....35
5.1 Passerelle LoRa-WiFi (MQTT).....35
A faire:.....37
5.2 Passerelle LoRa-WiFi (ThingSpeak).....38
A faire:.....39

Laboratoires IoT avec PYCOM-X

SmartComputerLab

0. Introduction

Dans les laboratoires IoT nous allons mettre en œuvre plusieurs architectures IoT intégrant les terminaux (**T**), les passerelles (*gateways* - **G**), et les serveurs-brokers (**S,B**) IoT type **MQTT, ThingSpeak**.
Le développement sera réalisé sur les **IoT DevKit PYCOM-X** de **SmartComputerLab**.

Le kit de développement contient une carte de base "basecard" pour y accueillir une unité centrale et un ensemble de cartes d'extension pour les capteurs, les actionneurs et les modems supplémentaires.
L'unité centrale est une carte équipée d'un **SoC ESP32** et des modems **WiFi**/**BT**/**BLE**.

Dans l'introduction nous présentons l'environnement de développement **Thonny.**

ThonnyIDE intègre l'ensemble d'outils sui permet d'éditer, et de charger (flasher) les codes micro-Python sur **PYCOM-X**.

Le premier laboratoire permet de mettre en oeuvre l'environnement de travail et de tester l'utilisation des capteurs connectés sur le bus I2C (température/humidité/luminosité/pression) et d'un afficheur.
L'environnement **Thonny** permet de charger les bibliothèque nécessaires pour l'interfaçage et l'exploitation des capteurs/afficheurs.

Le deuxième laboratoire est consacré à la prise en main du modem **WiFi** intégré dans le SoC ESP32.
La communication **WiFi** en mode station (**`STA`**) permet d'envoyer les données – messages vers un **broker MQTT**. Un broker **MQTT** reçoit et renvoie les messages postés sur les **topic** données. Il ne possède pas d'une base de données pour y enregistrer les messages reçus.

Le troisième laboratoire est dédié à l'utilisation du serveur **IoT ThingSpeak**. Les serveurs type **ThingSpeak** contiennent une base de données et offrent une interface graphique pour la visualisation des données enregistrées.
ThingSpeak.com est accessibles gratuitement, mais sa fréquence de réception de messages et le nombre des messages sont limités.

Le quatrième laboratoire permet d'expérimenter avec les liens à longue distance (1Km). Il s'agit de la technologie (et modulation) **LoRa**. Le modem LoRa est intégré sur la carte d'extension de notre **PYCOM-X**. Nous pouvons envoyer les données structurées d'un capteur géré par un terminal sur un l**ien LoRa** vers une autre carte PYCOM-X. La carte de destination va afficher les données reçus, ainsi que la force du signal associée au paquet reçu.

Le cinquième laboratoire permettra d'intégrer l'ensemble de liens **WiFi et LoRa** pour créer des applications complètes avec les terminaux et les **passerelles** (*gateways*) **LoRa-WiFi** vers les brokers-serveurs **MQTT** et **ThingSpeak.**

Nous y développerons deux applications, une pour la passerelle type **LoRa-WiFi** (broker **MQTT**) et une pour la passerelle de type **LoRa-WiFi** (serveur **ThingSpeak**).

0.1 ESP32 Soc – une unité avancée pour les architectures IoT

ESP32 est une unité de microcontrôleur avancée conçue pour le développement d'architectures IoT. Un **SoC** intègre deux processeurs 32-bit RISC de type Xtensa LX6 fonctionnant à 240MHz et plusieurs unités de traitement et de communication supplémentaires, notamment un processeur ULP (*Ultra Low Power*), des modems WiFi/BT/BLE et un ensemble de contrôleurs E/S pour bus série (**UART**, **I2C**, **SPI**). , ..). Ces blocs fonctionnels sont décrits ci-dessous dans la figure suivante.

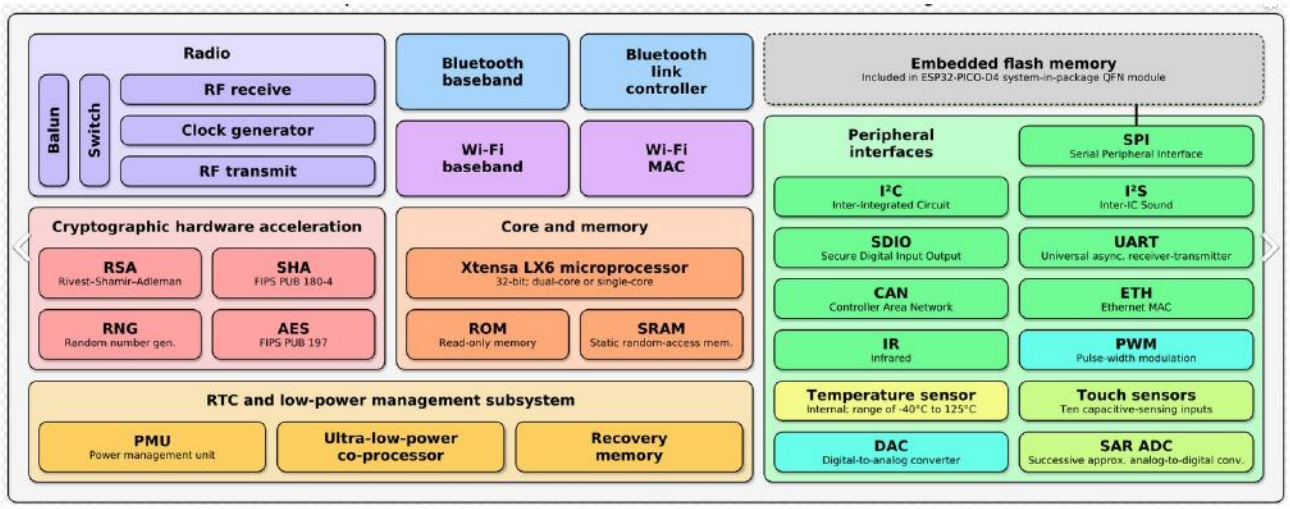


Figure 0.1 ESP32 SoC – architecture interne

0.2 Carte ESP32 LOLIN32

Les SoC ESP32 sont intégrés dans un certain nombre de cartes de développement qui incluent des circuits supplémentaires et des modems de communication. Notre choix est la carte **LOLIN32** qui intègre une interface avec les batteries LiPo (3V7)

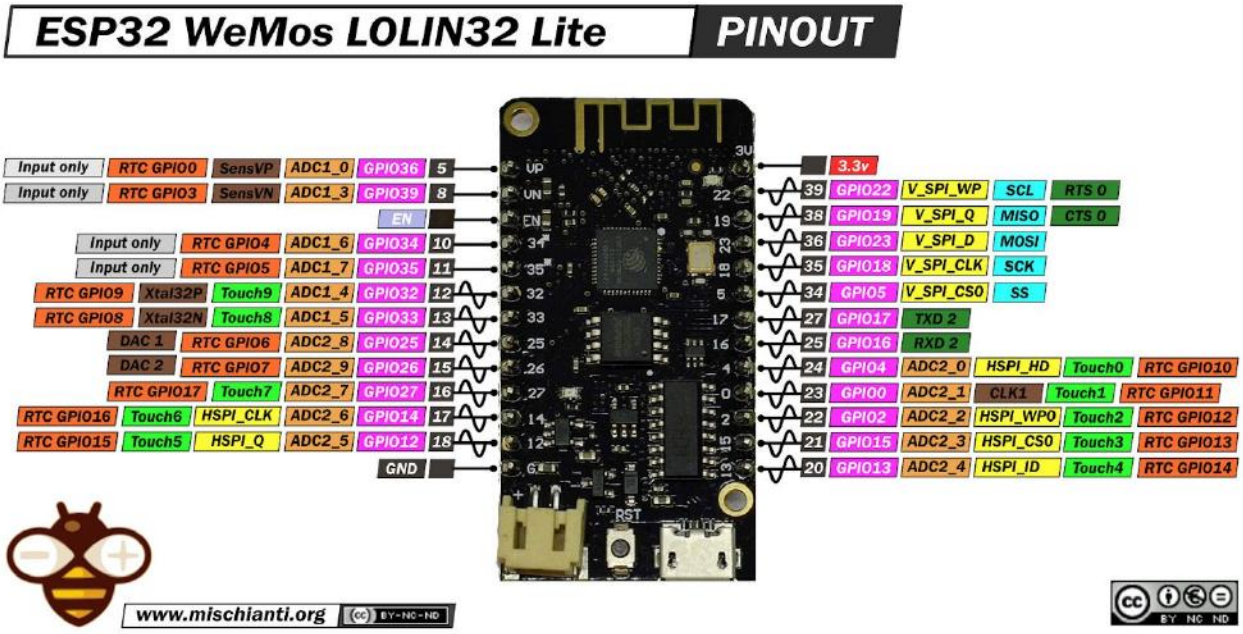


Figure 0.2 Carte MCU **ESP32 LOLIN32 Lite et son *pinout***

Comme nous pouvons le voir sur la figure ci-dessus, la carte expose **2x13** pins. Ces broches portent les bus **I2C** (**SDA**-12,**SCL**-14), **UART** (**RX**-16 ,**TX**-17), **SPI** (**SCK**-18,**MISO**-19,**MOSI**-23), plus les signaux de contrôle (**NSS**-5,**RST**-15,**INT**-26,..). La **LED** est connectée sur pin 22.

0.3 IoT DevKit PYCOM-V une plate-forme de développement IoT

Une intégration efficace de la carte **ESP32 LOLIN32** sélectionnée dans les architectures IoT nécessite l'utilisation d'une **plate-forme de développement** telle que **IoT DevKit** proposée par **SmartComputerLab**.

L'**IoTDevKit** est composé d'une **carte de base** et d'un grand nombre de cartes d'extension conçues pour l'utilisation efficace des bus de connexion et de tous les types de capteurs et d'actionneurs.

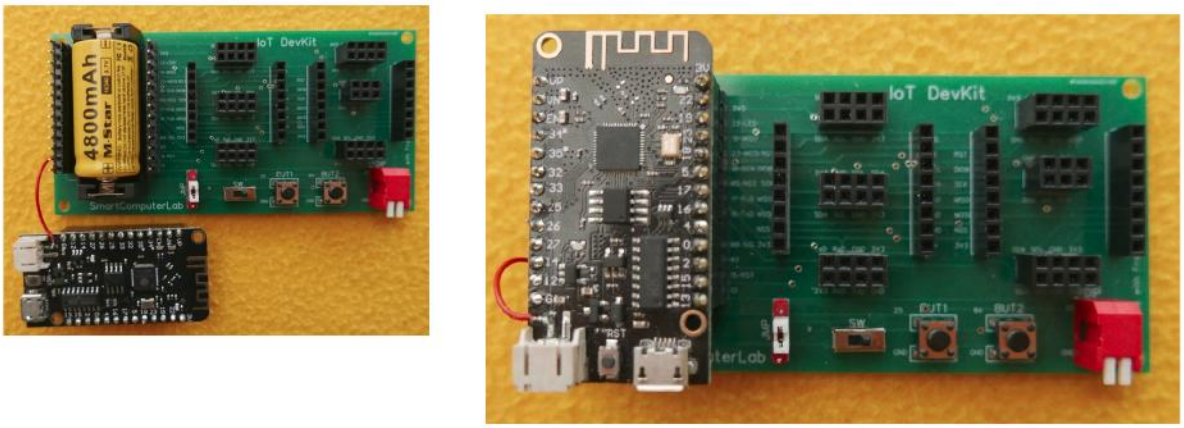


Figure 0.3 Carte de base de **PYCOM-X** avec la batterie et ses interfaces intégrées

La carte de base peut accueillir directement plusieurs types de capteurs ou modems de communication. Pour y connecter un ensemble plus complet de capteurs/modems/afficheurs on utilise les cartes d'extension.
Le chevalier (**JMP**) permet de connecter un multimètre et d'effectuer les mesures du courant.
En mode **faible consommation** (*deep_sleep*) le courant descend à quelques dizaines de micro-ampers.

Ci dessous quelques exemples de cartes d'extension.

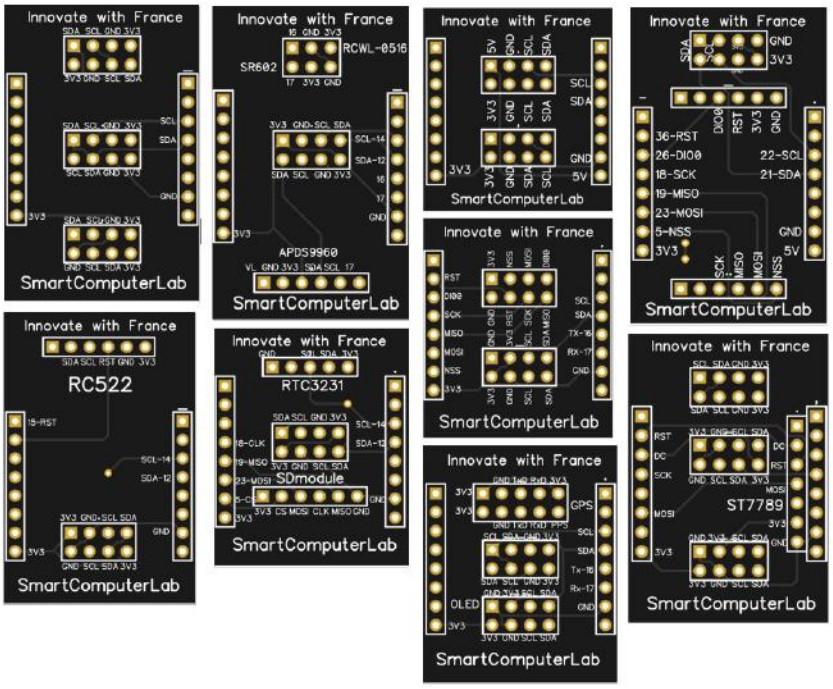


Figure 0.4 Cartes d'extension pour les différents composants IoT: capteurs, afficheurs, modems, ..

0.4 Le logiciel – `Thonny IDE`

0.4.1 Installation de `Thonny - thonny.org`

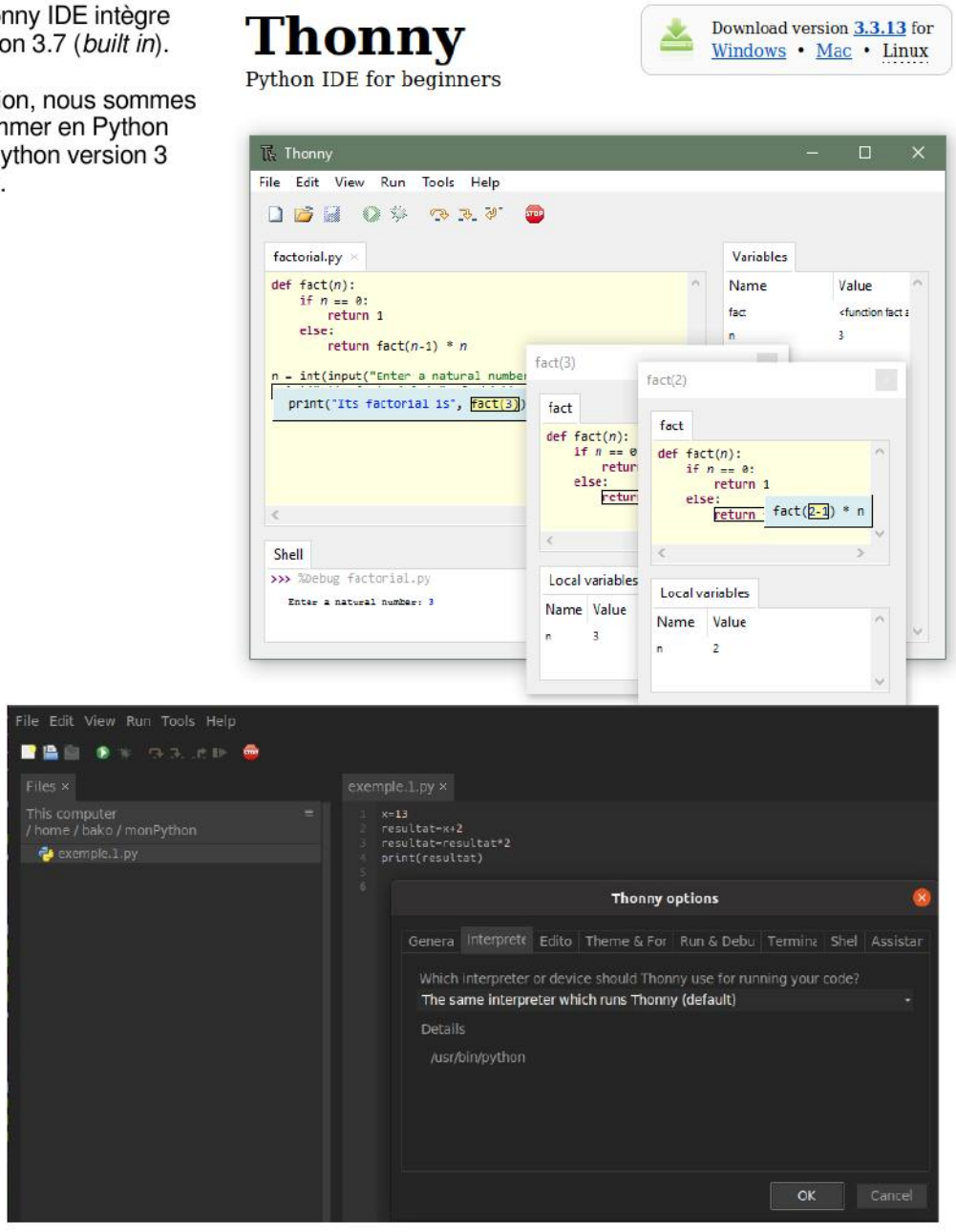
Thonny est un **IDE** open source qui est utilisé pour écrire et télécharger des programmes **MicroPython** sur différentes cartes de développement telles que ESP32 et ESP8266. C'est un IDE extrêmement interactif et facile à apprendre, car il est connu comme l'IDE convivial pour les débutants pour les nouveaux programmeurs.

Avec l'aide de **Thonny**, il devient très facile de coder en **Micropython** car il possède un débogueur intégré qui aide à trouver toute erreur dans le programme en déboguant le script ligne par ligne.

Voici la page d'installation du Thonny IDE. Vous suivez les instructions.

L'installation de Thonny IDE intègre l'installation de Python 3.7 (*built in*).

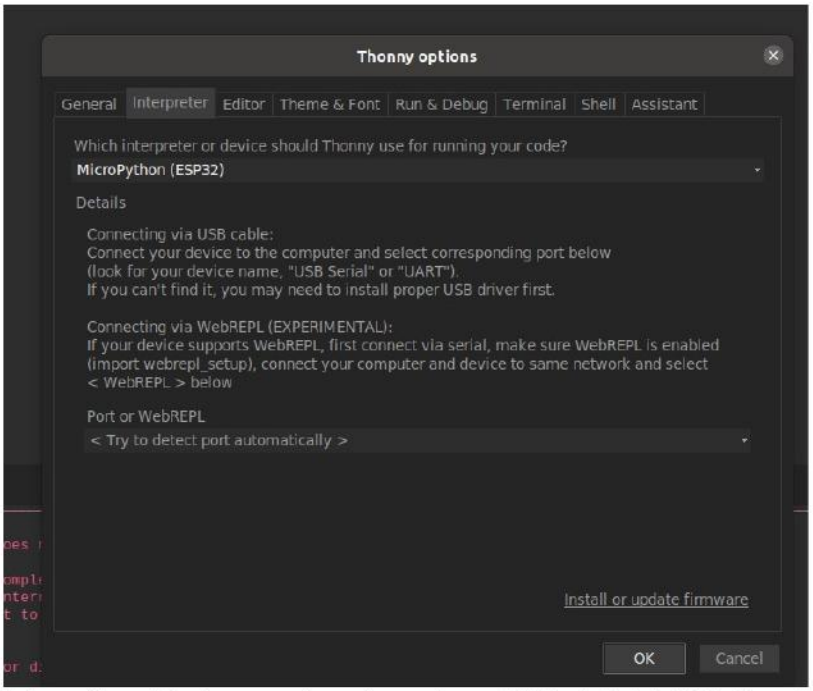
Après cette installation, nous sommes donc prêt à programmer en Python avec l'interpréteur Python version 3 installé sur votre PC.



Ci dessus un exemple de programmation en Python. Les 4 lignes sont enregistrés dans le fichier **`exemple.1.py`**.

0.4.2 Préparation de la carte ESP32 LOLIN32

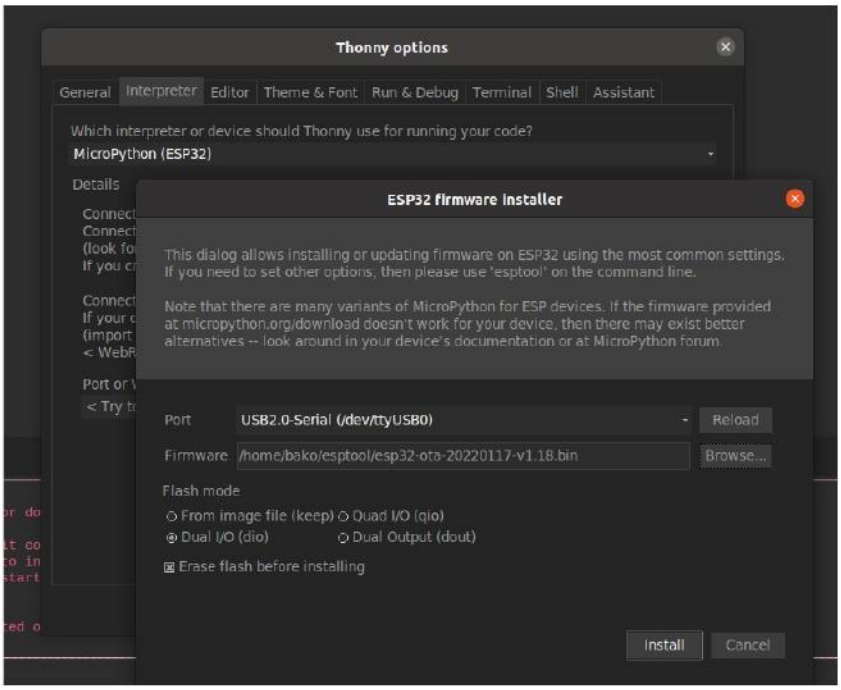
L'IDE de Thonny permet d'installer l'interpréteur MicroPython correspondant à notre carte (ESP32).
Allez dans les **Tools→Options puis Interpreter**.
Pour commencer il faut choisir **Interpreter MicroPython (ESP32)** puis aller dans **Install or update firmware**.



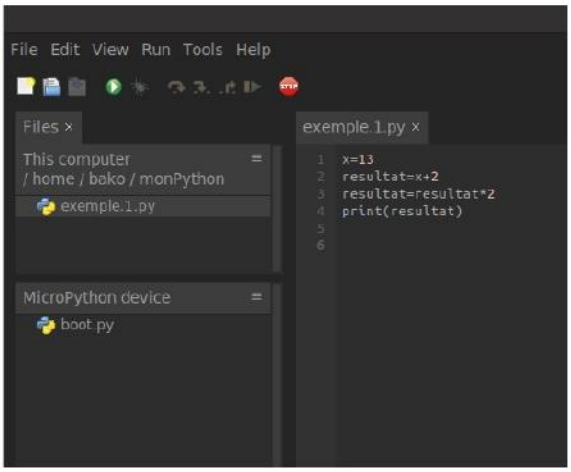
Dans phase d'installation de l'interpréteur il faut connecter votre carte au PSC et choisir l'interface USB.
Ensuite il faut télécharger le code binaire de l'interpréteur sur la page:
https://micropython.org/download/.
Pour notre carte nous choisissons **MCU** et **esp32**:
https://micropython.org/download/?mcu=esp32.

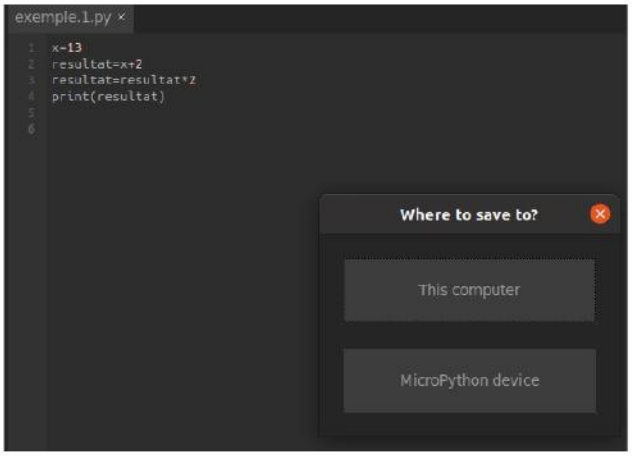
Sur cette page nous allons sélectionner: **ESP32 with OTA support (https://micropython.org/download/esp32-ota/)**.

On télécharge le fichier puis on indique son emplacement dans le cadre comme ci-dessous.
L'installation doit être précédée par **Erase flash before installing**.
Attention : Le **Flash mode** doit être **Dual I/O (dio)**.
Puis on clique sur **Install.**



Après le chargement de l'interpréteur **MicroPython** sur la carte ESP32 nous pouvons connecter notre carte avec le câble USB à notre PC et lancer à nouveau Thonny IDE.
Cette fois ci nous allons dans les **Tools->Options** pour chercher **Interpreter** et nous allons choisir **MicroPython (ESP32).**

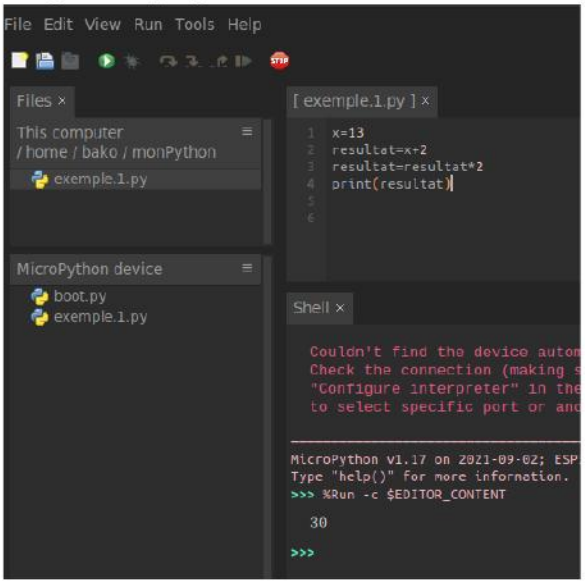




Voyons les fichiers disponibles, **View->Files**.
Notre carte, nouvellement « flachée » ne contient que le fichier **`boot.py`**. Nous allons y ajouter notre programme **`exemple.1.py`**. Il est possible d'enregistrer le programme sur le PC ou sur la carte (*device*).

Faisons les deux.

Maintenant nous pouvons lancer l'exécution « interprétation » de notre programme en appuyant sur la flèche verte.



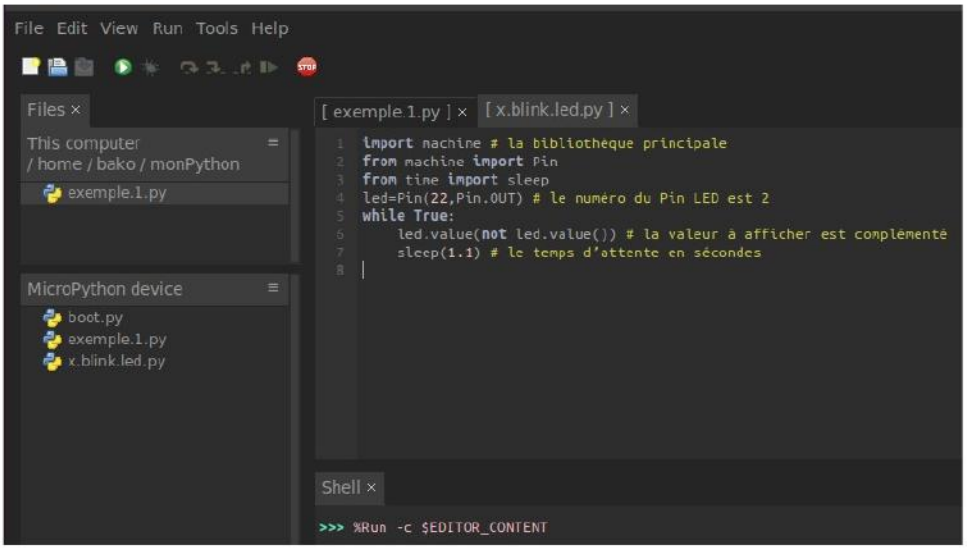
0.4.4 Premier exemple – x.led.blink.py

Dans notre premier exemple nous allons lancer **Thonny** et éditer un simple programme blink.py.
La figure suivante montre les fenêtres de travail dans l'**IDE Thonny**. A gauche en haut nous avons le contenu du répertoire **`mpython`** sur notre PC. A gauche en bas nous avons la liste de programmes enregistrés sur la carte.
Au démarrage de la carte il n'existe que **`boot.py`** ; d'autres programmes sont chargés ultérieurement.
Dans la fenêtre principale nous affichons le contenu du dernier programme édité, ici **`led.blink.py`**.

Remarque : notez le nom du programme qui débute avec **x…**) ce préfixe permet de spécifier que le code est prévu pour la carte **PYCOM-X** avec ESP32 LOLIN32.

Le code est :

```
import machine                    # la bibliothèque principale
from machine import Pin
from time import sleep
led=Pin(22,Pin.OUT)                # le numéro du Pin LED est 22
while True:
    led.value(not led.value())   # la valeur à afficher est complémenté
    sleep(1.1)                    # le temps d'attente en secondes
```



A faire:

1. Lancer **Thonny IDE**, éditer le programme et l'enregistrer sur la carte
2. Activer (charger, flasher) le programme
3. Modifier le programme, la valeur de **`sleep()`** et ajouter un **`print()`**

Laboratoire 1

Lecture des capteurs et affichage (i2c)

1.0 Introduction

Dans ce laboratoire nous allons expérimenter avec l'affichage sur un écran OLED et la capture des données physiques telles que la température, humidité et la luminosité.
La communication entre le SoC IoT et ces dispositifs est effectué par l'envoie des octets représentant des adresses, des commandes et de données sur le bus I2C . Ce bus est composé de 2 lignes (signaux) ; **SCL-14** qui porte le signal d'horloge et **SDA-12** qui porte l'information (***D**ata*, ***A**ddress*).

1.1 Premier exemple – l'affichage des données

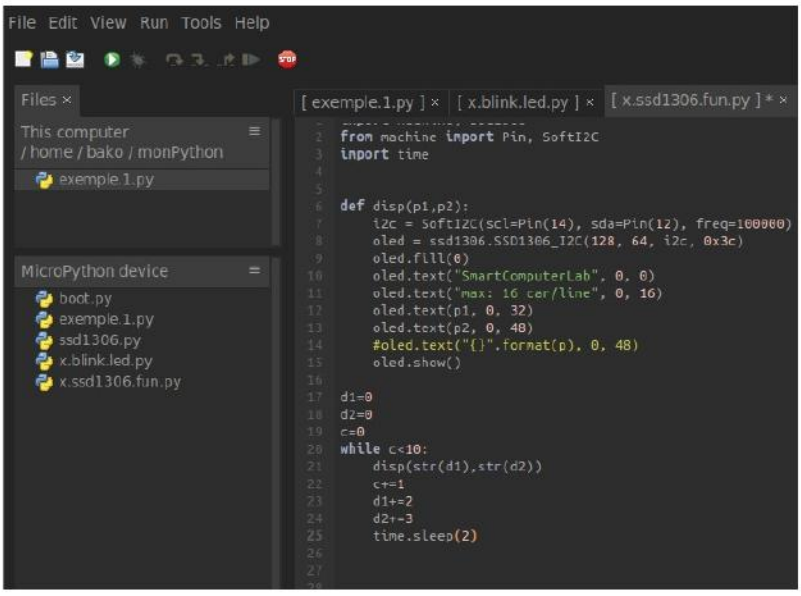
Dans cet exercice nous allons simplement afficher un titre et 2 valeurs numériques sur l'écran **OLED** ajouté à notre **PYCOM-X**.
Tout d'abord il faut télécharger le **driver** de l'écran **`ssd1306.py`** disponible ici :

https://github.com/micropython/micropython/tree/master/drivers/display

Après son chargement il faut le stocker dans votre répertoire sur PC puis il faut l'ouvrir dans l'éditeur Thonny et le **flasher** sur la carte.
Maintenant éditez la code suivant :

```
import machine, ssd1306
from machine import Pin, SoftI2C
import time

def disp(p1,p2):
    i2c = SoftI2C(scl=Pin(14), sda=Pin(12), freq=100000)
    oled = ssd1306.SSD1306_I2C(128, 64, i2c, 0x3c)
    oled.fill(0)
    oled.text("SmartComputerLab",0,0)   # colonne 0 et ligne 0
    oled.text("max: 16 car/line",0,16)  # colonne 0 et ligne 16
    oled.text(p1,0,32)
    oled.text(p2,0,48)
    oled.show()

d1=0
d2=0
c=0
while c<10:
    disp(str(d1),str(d2))
    c+=1
    d1+=2
    d2+=3
    time.sleep(2)
```

Et l'enregistrez dans le répertoire sur votre PC et flashez sur la carte.



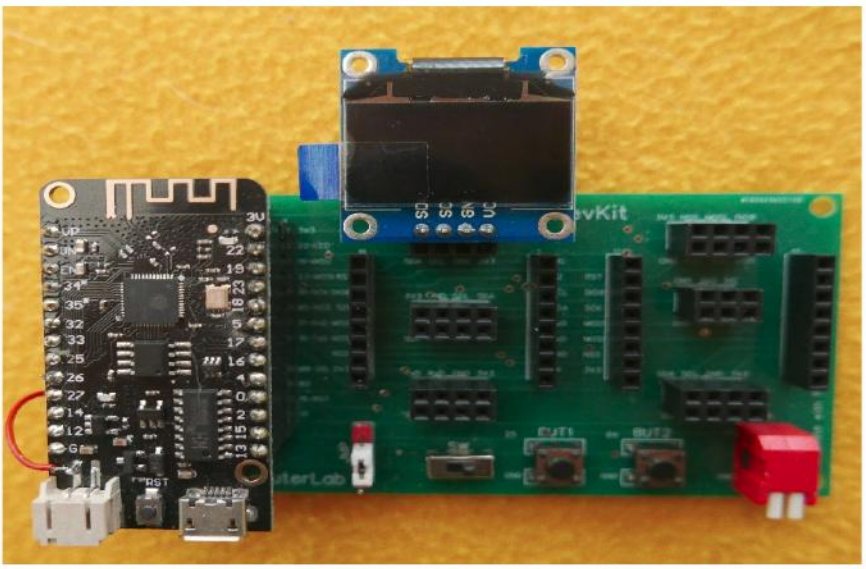


Fig 1.1 L'environnement **Thonny** pour le stockage/flashage d'un programme **MicroPython**. Et la configuration de la carte **PYCOM-X** avec un écran OLED (**ssd1306**).

Attention au brochage des connecteurs du bus I2C - SDA,SCL,GND, et 3V3 sur la carte.

A faire :

Etudiez le code :

les lignes **`import`** ..

```
import machine, ssd1306
from machine import Pin, SoftI2C
import time
```

la fonction :

```
def disp(p1,p2) :
    i2c = SoftI2C(scl=Pin(14), sda=Pin(12), freq=100000)
    oled = ssd1306.SSD1306_I2C(128, 64, i2c, 0x3c)
```

L'**initialisation** du bus I2C, puis l'**instanciation** du driver OLED – **`SSD1306_I2C`** sur le bus I2C.
La **classe** **`SSD1306_I2C`** est disponible dans le fichier **`ssd1306.py`**

la boucle while

```
while c<10:
```

Ajoutez une troisième ligne de données avec la variable **`d3`**.

1.2 Deuxième exemple – lecture d'un capteur (T/H) - SHT21

Dans notre deuxième exemple nous allons capter les valeurs de la température et de la luminosité sur un capteur type **SHT21**. Le capteur est connecté sur un bus I2C (comme notre écran OLED).
Sur ce bus, ligne **SDA**, le processeur envoie l'adresse du capteur pour le réveiller. Sur la ligne **SCL** (**S-signal**, **CL-CLock**) on envoie le signal de synchronisation pour synchroniser les valeurs binaires transmises sur la ligne **SDA (S-signal, D-données, A-adresse)**.

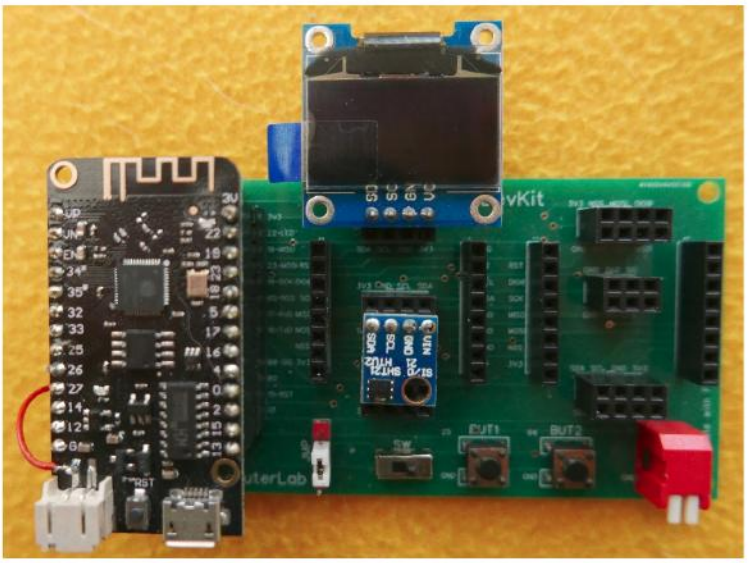


Fig 1.3 PYCOM-X avec l'écran OLED (**SSD1306**) et un capteur **SHT21**

1.2.1 Préparation du code

Pour le capteur SHT21 l'adresse réservée est **`0x40`** en hexadécimal ou **64** en décimal.

```
data= []  # data est déclarée comme un tableau – la taille n'est pas déterminée
```

Le processeur envoie la commande de lecture de l'humidité:

```
i2c.writeto(address, b'\xF5')   # Read user register for humidity
```

Après avoir reçu la commande le processeur lit la donnée (deux octets) :

```
data = i2c.readfrom(address, 2)  # Get the 2-byte result
```

Notez que les données de l'humidité et de la température sont reçues sur **2 octets**.
Ces 2 octets (16 bits) il faut **convertir** et **ajuster** en une valeur entière (**`int`**) pour l'affichage et l'exploitation à suivre.

Code complet:

```
from machine import Pin, SoftI2C
import utime

i2c = SoftI2C(scl=Pin(14), sda=Pin(12), freq=40000) #I2C channel 0,pins,400kHz max
STATUS_BITS_MASK = 0xFFFC
data = []
address = 64

def get_humi():
    # Read humidity
    i2c.writeto(address, b'\xF5')   # Trigger humidity measurement
    utime.sleep_ms(29)              # Wait for it to finish (29ms max)
    data = i2c.readfrom(address, 2) # Get the 2 byte result
    adjusted = (data[0] << 8) + data[1]   # convert to 16 bit value
    adjusted &= STATUS_BITS_MASK          # zero the status bits
    adjusted *= 125                       # scale
```

```
    adjusted /= 1 << 16                  # divide by 2^16
    adjusted -= 6                        # subtract 6
    return adjusted

def get_temp():
    # Read temperature
    i2c.writeto(address, b'\xF3')    # Trigger temperature measurement
    utime.sleep_ms(85)               # Wait for it to finish (85ms max)
    data = i2c.readfrom(address, 2) # Get the 2 byte result
    ## Compute temperature
    adjusted = (data[0] << 8) + data[1]   # convert to 16 bit value
    adjusted &= STATUS_BITS_MASK          # zero the status bits
    adjusted *= 175.72                    # scale
    adjusted /= 1 << 16                   # divide by 2^16
    adjusted -= 46.85                     # subtract offset
    return adjusted

temp=get_temp()
print ("Temperature = %.1f" % temp)
humi=get_humi()
print ("Humidity = %.1f" % humi)
```

Voici l'affichage du résultat:

```
>>> %Run -c $EDITOR_CONTENT
Humidity    = 55.8
Temperature = 22.0
>>>
```

A faire:

1. Etudiez le programme pour comprendre le fonctionnement du bus I2C avec les fonctions

```
i2c.writeto(address,b'\xF3')     # send command to sensor
```

et

```
data = i2c.readfrom(address,2)  # read data from sensor
```

2. Ajoutez l'écran OLED et complétez le programme pour pouvoir afficher les résultats.
3. Ajoutez une boucle pour lire et afficher les résultats plusieurs fois.

4. Editez le programme suivant , charger le sur la carte PYCOM-X et vérifiez son fonctionnement.

```
import machine
i2c = machine.I2C(scl=machine.Pin(0), sda=machine.Pin(10))
print('Scan i2c bus...')
devices = i2c.scan()
if len(devices) == 0:
  print("No i2c device !")
else:
  print('i2c devices found:',len(devices))
  for device in devices:
    print("Decimal address: ",device," | Hexa address: ",hex(device))
```

```
%Run -c $EDITOR_CONTENT
Warning: I2C(-1, ...) is deprecated, use SoftI2C(...) instead
Scan i2c bus...
i2c devices found: 2
Decimal address:  60  | Hexa address:  0x3c
Decimal address:  64  | Hexa address:  0x40
```

1.3 Troisième exemple – lecture d'un capteur (L) - BH1750

Dans cet exemple nous utilisons le capteur **de la luminosité BH1750**

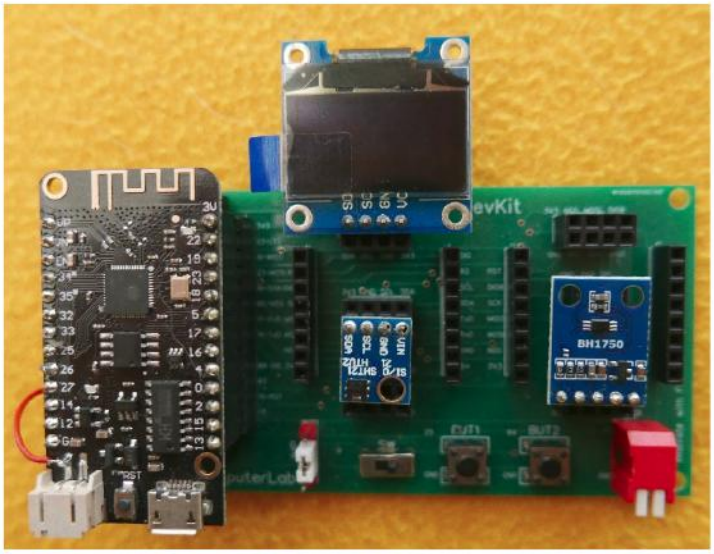


Fig 1.5 **PYCOM-X** avec l'écran OLED (SSD1306) et capteurs **SHT21** et **BH1750**

Voici le code. Le programme effectue une simple lecture par la fonction **`sample()`**.
Cette fonction commence par l'initialisation du capteur à l'adresse – **`0x23`** avec 3 octets envoyés séparément par **`i2c.writeto()`** : **`clear, power up, mode`**

Ensuite on lit 2 octets – données par **`i2c.readfrom(i2c_addr,2)`**, et on termine par l'envoie de la commande **`power down`**.

```
import time
import machine

OP_SINGLE_HRES1 = 0x20
OP_SINGLE_HRES2 = 0x21
OP_SINGLE_LRES = 0x23
DELAY_HMODE = 180  # 180ms in H-mode
DELAY_LMODE = 24  # 24ms in L-mode

def sample(i2c, mode=OP_SINGLE_HRES1, i2c_addr=0x23):  # sample() function with default values
    i2c.writeto(i2c_addr, b"\x00")  # make sure device is in a clean state
    i2c.writeto(i2c_addr, b"\x01")  # power up
    i2c.writeto(i2c_addr, bytes([mode]))  # set measurement mode
    time.sleep_ms(DELAY_LMODE if mode == OP_SINGLE_LRES else DELAY_HMODE)
    raw = i2c.readfrom(i2c_addr, 2)
    i2c.writeto(i2c_addr, b"\x00")  # power down again
    # we must divide the end result by 1.2 to get the lux
    return ((raw[0] << 24) | (raw[1] << 16)) // 78642

sda=machine.Pin(12)
scl=machine.Pin(14)
i2c=machine.I2C(0,sda=sda,scl=scl,freq=400000) #I2C channel 0,pins,400kHz max
lum=sample(i2c,mode=OP_SINGLE_HRES1, i2c_addr=0x23)
print('lum')
print(lum)

%Run -c $EDITOR_CONTENT
lum
496
```

A faire:

1. Etudiez le programme pour comprendre le fonctionnement du bus I2C.
   Notez que la fonction **`sample(..)`** intègre les paramètres avec **les valeurs par défaut**.
2. Ajoutez l'écran OLED et complétez le programme pour pouvoir afficher les résultats.
3. Ajoutez une boucle pour lire et afficher les résultats plusieurs fois.

1.4 Quatrième exemple – lecture d'un capteur PIR - SR602

SR602 est un capteur de présence s'active en présence de rayonnement Infra Rouge (IR). Le signal de sortie porte une valeur 1 si la présence est détectée sinon il est mis à 0.

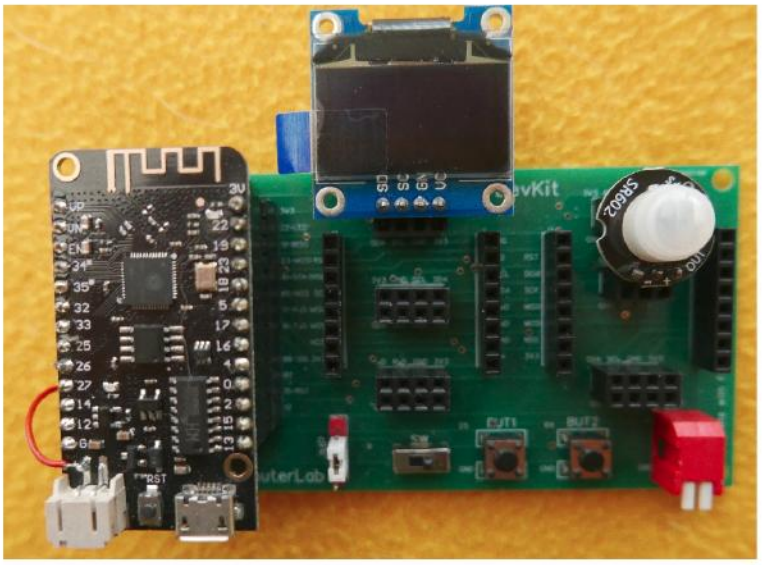


Fig 1.6 PYCOM-X avec l'écran OLED (SSD1306) et le capteur des mouvements **PIR** : **SR602**

```
from machine import Pin
import time

ldr = Pin(0, Pin.IN) # create input pin on GPIO2

while True:
    if ldr.value():
        print('OBJECT DETECTED')
    else:
        print('ALL CLEAR')
    time.sleep(1)
```

```
>>> %Run -c $EDITOR_CONTENT
ALL CLEAR
ALL CLEAR
ALL CLEAR
OBJECT DETECTED
OBJECT DETECTED
OBJECT DETECTED
OBJECT DETECTED
ALL CLEAR
ALL CLEAR
ALL CLEAR
OBJECT DETECTED
OBJECT DETECTED
OBJECT DETECTED
ALL CLEAR
```

A faire:

1. Etudiez et testez le programme.

Laboratoire 2

Communication WiFi et broker MQTT

Dans ce laboratoire nous allons étudier et expérimenter avec les fonctionnalités WiFi intégrées dans le SoC ESP32 . Nous allons **scruter (*scan*)** les réseaux disponible avec **`WiFi.scan`** puis nous allons nous connecter à un **serveur/broker IoT** de type **MQTT**.

La communication avec un **broker MQTT** passe par l'utilisation de deux opérations: abonnement - ***subscribe*** et publication - ***publish*** des messages MQTT sur le ***topic*** – sujets proposés.
Dans cet exercice nous pouvons utiliser un smartphone avec une application **MyMQTT** pour s'abonner au sujets disponible et de poster nos message sur ces sujets.

Dans la deuxième partie du laboratoire nous allons montrer comment développer un mini-serveur WEB sur notre réseau local ou monter notre propre point d'accès.

2.1 Scrutation *scan* du réseau

```
import network
station = network.WLAN(network.STA_IF)
station.active(True)

for (ssid, bssid, channel, RSSI, authmode, hidden) in station.scan():
  print("* {:s}".format(ssid))
  print("   - Channel: {}".format(channel))
  print("   - RSSI: {}".format(RSSI))
  print("   - BSSID: {:02x}:{:02x}:{:02x}:{:02x}:{:02x}:{:02x}".format(*bssid))
  print()
```

```
>>> %Run -c $EDITOR_CONTENT
* DIRECT-G8M2070 Series
   - Channel: 11
   - RSSI: -62
   - BSSID: 86:25:19:53:78:8f

* VAIO-MQ35AL
   - Channel: 5
   - RSSI: -72
   - BSSID: d0:ae:ec:bf:3a:82

* PIX-LINK-2.4G
   - Channel: 11
   - RSSI: -76
   - BSSID: 90:91:64:50:7e:04

..
```

A faire:

1. Etudiez et testez le programme.
Asseyez de comprendre le formatage des données retournées par la méthode **`station.scan()`**

Remarque importante:

Le programme de **WiFi scan** « **nettoie** » le modem WiFi en le mettant en état de base.
Vous pouvez l'utilisez **en cas des problèmes de connexion** dans les exemples du code à suivre.

2.2 Connexion au réseau WiFi , mode station - STA

Notre carte **PYCOM-X** peut se connecter au réseau WiFi en **mode station** (**STA**). Dans ce cas le modem peut récupérer automatiquement (par le biais du protocole **DHCP**) une adresse IP et les adresses du router et du serveur DNS.
Le modem peut également imposer une configuration avec son adresse statique choisie par l'utilisateur.

Le programme suivant montre ces fonctionnalités :

```
def connect():
    import network

    ip        = '192.168.1.110'
    subnet    = '255.255.255.0'
    gateway   = '192.168.1.1'
    dns       = '8.8.8.8'
    ssid      = "Livebox-08B0"
    password  =  "G79ji6dtEptVTPWmZP"

    station = network.WLAN(network.STA_IF)

    if station.isconnected() == True:
        print("Already connected")
        print(station.ifconfig())
        return

    station.active(True)
    # station.ifconfig((ip,subnet,gateway,dns))  # uncomment to set static IP
    station.connect(ssid,password)

    while station.isconnected() == False:
        pass

    print("Connection successful")
    print(station.ifconfig())

def disconnect():
    import network
    station = network.WLAN(network.STA_IF)
    station.disconnect()
    station.active(False)


connect()
```

```
>>> %Run -c $EDITOR_CONTENT
disconnected - start connection
Connection successful
('192.168.1.37', '255.255.255.0', '192.168.1.1', '8.8.8.8')
>>>
```

A faire:

1. Etudiez et testez le programme avec votre point d'accès.
2. Enregistrer le code principal avec **`def connect()`** et **`def disconnect()`** dans un module python **`wifista.py`**.

Remarque importante

On va utiliser ce module dans les exemples à suivre.

2.3 Lecture d'une page WEB

L'exemple suivant montre comment se connecter à un pont d'accès WiFi et comment envoyer une requête HTTP pour recevoir une page WEB.

Pour faciliter le développement nous utilisons la bibliothèque **`urequests.py`** qui contient des méthodes de connexion au serveurs WEB et d'envoi des requêtes HTTP (**`GET`**,**`POST`**).

```
import machine
import sys
import network
import utime, time
import urequests
import wifista

# Pin definitions
led = machine.Pin(22,machine.Pin.OUT)

# Network settings
wifista.connect()

# Web page (non-SSL) to get
url = "http://www.smartcomputerlab.org"
# Continually print out HTML from web page as long as we have a connection
c=0
while c<4:
    wifista.connect()
    # Perform HTTP GET request on a non-SSL web
    response = urequests.get(url)
    # Display the contents of the page
    print(response.text)
    c+=1
    time.sleep(6)

print("End of program.")
```

A faire:

Utilisez la LED pour signaler la lecture d'une page.

Exemple d'un code avec la LED sur pin 22.

```
from machine import Pin
from time import sleep

led=Pin(22,Pin.OUT)

while True:
    led.value(not led.value())
    sleep(1.1)
```

2.3 Simple serveur WEB – lecture d'une variable

Il est possible de créer un serveur HTTP (ou serveur WEB). Le code HTML est directement écrit dans le programme principale ou contenu dans un fichier séparé.
Communication entre client et serveur :

- Le serveur écoute le port. Il attend la connexion d'un client.
- Tant qu'aucun client ne se présente, on reste bloqué (**accept**)
- Le client envoie une requête.
- Le serveur traite la requête puis envoie la réponse.

```
from machine import Pin
import usocket as socket
import wifista

def web_page():
    pot = 55
    print("CAN =", pot)
    html = """
    <!DOCTYPE html>
    <html>
        <head>
            <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1">
            <title>ESP32 Serveur Web</title>
            <style>
                p { font-size: 36px; }
            </style>
        </head>
        <body>
            <h2>Hello from PYCOM-X</h2>
            <h3>Une variable = </h3>
            <p><span>""" + str(pot) + """</span></p>
        </body>
    </html>
    """
    return html

wifista.connect()
socketServeur = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)
socketServeur.bind(('', 80))
socketServeur.listen(5)

while True:
    try:
        if gc.mem_free() < 102000:
            gc.collect()
        print("Attente d'une connexion client")
        connexionClient, adresse = socketServeur.accept()  # accept TCP connection request
        connexionClient.settimeout(4.0)
        print("Connecté avec le client", adresse)
        print("Attente requete du client")
        requete = connexionClient.recv(1024)               # receiving client request - HTTP
        requete = str(requete)
        print("Requete du client = ", requete)
        connexionClient.settimeout(None)
        print("Envoi reponse du serveur : code HTML a afficher")
        connexionClient.send('HTTP/1.1 200 OK\n')
        connexionClient.send('Content-Type: text/html\n')
        connexionClient.send("Connection: close\n\n")
        reponse = web_page()
        connexionClient.sendall(reponse)
        connexionClient.close()
        print("Connexion avec le client fermee")

    except:
        connexionClient.close()
        print("Connexion avec le client fermee, le programme a declenché une erreur")
```

A faire:

1. Testez le programme avec votre smartphone
2. Modifiez le texte sur la page HTML.

2.4 Simple serveur WEB – l'envoi d'une commande

Dans l'exemple précédant nous avons lit une valeur générée par notre PYCOM-X. Dans cette section nous allons envoyer une commande d'affichage (activation) à partir de notre smartphone.

Voici le code du serveur WEB qui permet de recevoir les requêtes HTTP et afficher les messages correspondant sur l'écran OLED .

```
from machine import Pin, SoftI2C
import ssd1306
import usocket as socket
import wifista


i2c = SoftI2C(scl=Pin(14), sda=Pin(12), freq=100000)
oled = ssd1306.SSD1306_I2C(128, 64, i2c, 0x3c)

oled.fill(0)
oled.text("SmartComputerLab", 0, 0)
oled.show()


def web_page():

    html = """
    <!DOCTYPE html>
    <html>
        <head
            <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1">
            <title>ESP32 Serveur Web</title>
            <style>
                p { font-size: 36px; }
            </style>
        </head>
        <body>
            <h1>Commande LED</h1>
            <p><a href="/?led=green">LED GREEN</a></p>
            <P><a href="/?led=red">LED RED</a></p>
            <p><a href="/?led=blue">LED BLUE</a></p>
        </body>
    </html>
    """
    return html


wifista.connect()

socketServeur = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)
socketServeur.bind(('', 80))
socketServeur.listen(5)

while True:
    try:
        if gc.mem_free() < 102000:
            gc.collect()

        print("Attente connexion d'un client")
        connexionClient, adresse = socketServeur.accept()
        connexionClient.settimeout(4.0)
        print("Connecté avec le client", adresse)

        print("Attente requete du client")
        requete = connexionClient.recv(1024)     #requête du client
        requete = str(requete)
        print("Requete du client = ", requete)
        connexionClient.settimeout(None)

        #analyse de la requête, recherche de led=on ou led=off
        if "GET /?led=green" in requete:
            print("LED GREEN")
            oled.fill(0)
            oled.text("LED GREEN", 0, 0)
```

```
            oled.show()
        if "GET /?led=red" in requete:
            print("LED RED")
            oled.fill(0)
            oled.text("LED RED", 0, 0)
            oled.show()
        if "GET /?led=blue" in requete:
            print("LED BLUE")
            oled.fill(0)
            oled.text("LED BLUE", 0, 0)
            oled.show()

        print("Envoi reponse du serveur : code HTML a afficher")
        connexionClient.send('HTTP/1.1 200 OK\n')
        connexionClient.send('Content-Type: text/html\n')
        connexionClient.send("Connection: close\n\n")
        reponse = web_page()
        connexionClient.sendall(reponse)
        connexionClient.close()
        print("Connexion avec le client fermee")

    except:
        connexionClient.close()
        print("Connexion avec le client fermee, le programme a declenché une erreur")
```

A faire:

1. Analysez le programme
1. Testez le programme avec différentes messages à afficher

2.4.3 Mini serveur WEB avec Point d'Accès – gestion de la LED RGB

Le programme suivant est presque identique à celui présenté sans le point 2.4.2, mais il créé son propre point d'accès avec **`ssid = MyAP`** et l'adresse IP par défaut : **`192.168.4.1`** ; le mot de passe est « **`smartlab`** ».

Voici le code :

```
from machine import Pin, SoftI2C
import network,ssd1306
import usocket as socket

i2c = SoftI2C(scl=Pin(14), sda=Pin(12), freq=100000)
oled = ssd1306.SSD1306_I2C(128, 64, i2c, 0x3c)

oled.fill(0)
oled.text("SmartComputerLab", 0, 0)
oled.show()


def web_page():

    html = """
    <!DOCTYPE html>
    <html>
        <head
            <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1">
            <title>ESP32 Serveur Web</title>
            <style>
                p { font-size: 36px; }
            </style>
        </head>
        <body>
            <h1>Commande LED</h1>
            <p><a href="/?led=green">LED GREEN</a></p>
            <P><a href="/?led=red">LED RED</a></p>
            <p><a href="/?led=blue">LED BLUE</a></p>
        </body>
    </html>
    """
    return html
```

```
ssid="MyAP"
password="smartlab"
ap = network.WLAN(network.AP_IF)    # set WiFi as Access Point
ap.active(True)
ap.config(essid=ssid, password=password)
print(ap.ifconfig())

socketServeur = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)
socketServeur.bind(('', 80))
socketServeur.listen(5)


while True:
    try:
        if gc.mem_free() < 102000:
            gc.collect()

        print("Attente connexion d'un client")
        connexionClient, adresse = socketServeur.accept()
        connexionClient.settimeout(4.0)
        print("Connecté avec le client", adresse)
        print("Attente requete du client")
        requete = connexionClient.recv(1024)     #requête du client
        requete = str(requete)
        print("Requete du client = ", requete)
        connexionClient.settimeout(None)
        #analyse de la requête, recherche de led=on ou led=off
        if "GET /?led=green" in requete:
            print("LED GREEN")
            oled.fill(0)
            oled.text("LED GREEN", 0, 0)
            oled.show()
        if "GET /?led=red" in requete:
            print("LED RED")
            oled.fill(0)
            oled.text("LED RED", 0, 0)
            oled.show()
        if "GET /?led=blue" in requete:
            print("LED BLUE")
            oled.fill(0)
            oled.text("LED BLUE", 0, 0)
            oled.show()

        print("Envoi reponse du serveur : code HTML a afficher")
        connexionClient.send('HTTP/1.1 200 OK\n')
        connexionClient.send('Content-Type: text/html\n')
        connexionClient.send("Connection: close\n\n")
        reponse = web_page()
        connexionClient.sendall(reponse)
        connexionClient.close()
        print("Connexion avec le client fermee")

    except:
        connexionClient.close()
        print("Connexion avec le client fermee, le programme a declenché une erreur")
```

A faire:

1. Testez le programme
2. Ajoutez l'affichage de l'adresse IP et du nom SSID sur l'écran OLED

Laboratoire 3

Broker MQTT et serveur ThingSpeak

Dans ce laboratoire nous allons étudier et expérimenter avec les serveurs IoT type **MQTT** et **ThingSpeak**.

3.1 Protocole MQTT et Client MQTT

Dans cette section nous allons étudier le protocole MQTT et nous allons écrire un programme qui permet d'envoyer (publier) les messages MQTT sur un serveur-broker MQTT, puis récupérer le derniers messages postés en s'abonnant (subscribe) au topic donné.
MQTT, pour '*Message Queuing Telemetry Transport*',est un protocole de messagerie de publication et d'abonnement (*publish/subscribe*) basé sur le protocole TCP/IP. Un client, appelé *publisher*, établi dans un premier temps une connexion de type '*publish*' avec le serveur MQTT, appelé *broker*.
Puis, le *publisher* transmet les messages au broker sur un canal spécifique, appelé *topic*. Par la suite, ces messages peuvent être lus par des abonnés, appelés *subscribers*, qui au préalable ont établi une connexion de type '*subscribe*' avec le broker.

Ainsi, la transmission et la consommation des messages se font de manière asynchrone.

Le fonctionnement que nous venons de détailler est illustré dans le schéma ci-dessous.

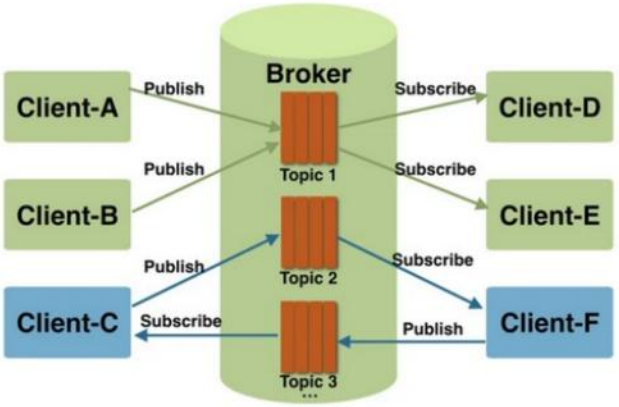


Fig. 3.1 Client-A, Client-B et Client-F sont des publishers alors que Client-C, Client-D et Client-E sont des subscribers.

Pour préparer notre programme nous avons besoin de la bibliothèque – **`umqtt`** .

3.1.1 Client MQTT – le code

Dans cet exemple, nous allons connecter notre **PYCOM-V** au serveur public gratuit **MQTT** exploité et maintenu par **EMQ X MQTT Cloud**. **EMQ X Cloud** est une plate-forme de service cloud sécurisée MQTT IoT lancée par **EMQ**.

Voici un exemple du programme qui exploite la bibliothèque **`umqtt`** et sa classe **`MQTTClient`**.

```
from umqtt.robust import MQTTClient
import machine
import wifista
import utime as time
import gc
wifista.connect()
broker = "broker.emqx.io"
client = MQTTClient("PYCOM-X", broker)

def sub_cb(topic, msg):
    print((topic, msg))
    if topic == b'pycom-v/test' :
        print('ESP received '+ str(msg))

def subscribe_publish():
    count = 1
    client.set_callback(sub_cb)
    client.subscribe(b"pycom-x/test")
    while True:
        client.check_msg()
        mess="hello: " + str(count)
        client.publish(b"pycom-x/test", mess)
        count = count + 1
        time.sleep(20)
```

A faire:

1. Testez le programme sur votre smartphone avec l'application **`MyMQTT`**
2. Ajoutez l'affichage des messages reçues sur l'écran OLED
3. Ajoutez un capteur et postez les valeurs captées sur un **topic** (sujet)

3.1.2 Broker MQTT sur un PC

Il est très facile d'installer son propre broker MQTT sur un PC ; il s'appelle **`mosquitto.`**
La page de **download** qui explique l'installation de broker (et client) **`mosquitto`** est disponible ici :

`https://mosquitto.org/download/`

A faire:

1. Télécharger et installer **`mosquitto`**
2. Tester les programme de **client MQTT** avec le broker **`mosquitto`**

3.2 Serveur `ThingSpeak`

ThingSpeak est une API et une application open source pour l'«Internet des objets», permettant de **stocker** et de **collecter** les données des objets connectés en passant par le protocole HTTP via Internet ou un réseau local.
Avec **ThingSpeak**, l'utilisateur peut créer des **applications d'enregistrement** de données capteurs, des applications de suivi d'emplacements et un réseau social pour objets connectés, avec mises à jour de l'état.

Fonctions de **ThingSpeak**:

- API ouverte
- Collecte de données en temps réel
- Donnés de géolocalisation
- Traitement des données
- Visualisations de données
- Messages d'état des circuits
- Plugins

ThingSpeak peut être intégré aux plates-formes **RISC-V**, **ESP32**, **Raspberry Pi**, .., aux applications mobiles/Web, aux réseaux sociaux et aux analyses de données avec **MATLAB (`ThingSpeak.com`)**

3.2.1 Préparation pour l'envoie des données comme messages MQTT

Pour pouvoir utiliser **`ThingSpeak.com`** , **il faut créer un compte** (gratuit) et configurer un canal - ***channel*** avec ses champs - ***fields***. Puis il faut récupérer l'identificateur du canal et les clé d'écriture et lecture.

Dans notre exemple nous avons crée un **channel** numéro **`1626377`** avec une clé d'écriture **`3IN09682SQX3PT4Z.`**

Dans le programme suivant nous utilisons les messages type MQTT pour envoyer les données dans notre canal avec 2 champs (**température** et **humidité**).

Le ***topic*** est une **chaîne** :

```
topic = "channels/" + CHANNEL_ID + "/publish/" + WRITE_API_KEY
```

et le message lui même est :

```
payload = "field1="+str(temp)+"&field2="+str(hum)
```

Code complet:

```
from umqtt.simple import MQTTClient
import wifista
import time
server = "mqtt.thingspeak.com"
client = MQTTClient("umqtt_client", server)
CHANNEL_ID = "1626377"
WRITE_API_KEY = "3IN09682SQX3PT4Z"
topic = "channels/" + CHANNEL_ID + "/publish/" + WRITE_API_KEY

temp =21.5
hum =55.7

for i in range(60):
    wifista.connect()
    payload = "field1="+str(temp)+"&field2="+str(hum)
    client.connect()
    client.publish(topic, payload)
    client.disconnect()
    temp=temp+1.0
    hum=hum+2.0
    time.sleep(15)
```

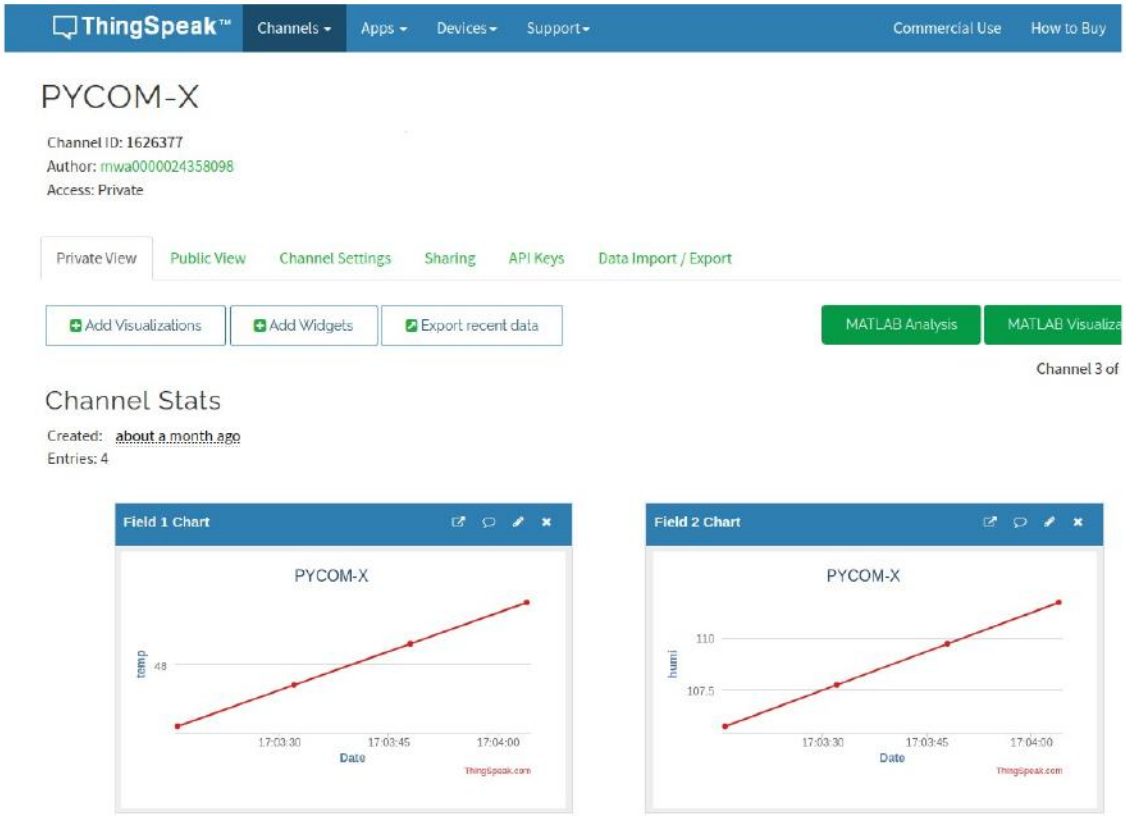


Fig. 3.2 Les diagrammes de ThingSpeak avec notre application

A faire:

1. Connectez vous sur votre compte **`ThingSpeak.com`** et testez le programme
2. Ajoutez un capteur et postez les valeurs captées dans un **topic** (sujet) avec le canal et les champs correspondant

3.2.2 Préparation pour l'envoi des données comme simples requêtes HTTP

La manière la plus simple d'envoi et réception des données sur le serveur **ThingSpeak** est l'utilisation directe de la bibliothèque **`socket`**.
Une connexion TCP avec socket permet d'établir lien avec le serveur ThingSpeak (**`s.connect(addr)`**) , puis transmettre les **requêtes HTTP** pour envoyer/recevoir les données.

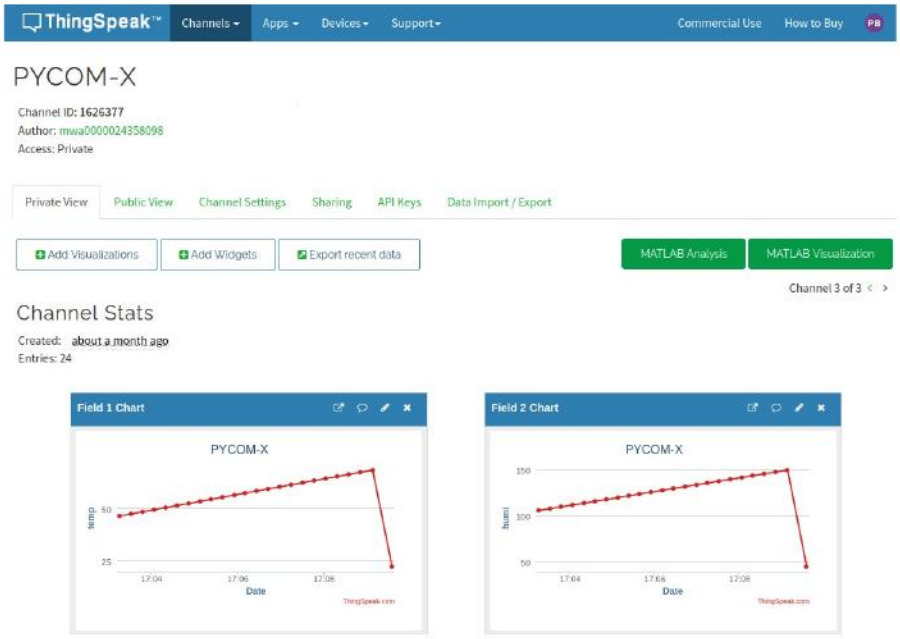
Voici un exemple simple, mais complet, avec une fonction **`http_get(url)`** permettant d'établir une connexion TCP/HTTP, puis d'envoyer les données (t,h) et enfin de lire une donnée (**field**) sur le canal demandé en format **json**.

```
import socket
import wifista
import time

def http_get(url):
    import socket
    _, _, host, path = url.split('/', 3)
    print(path)
    print(host)
    addr = socket.getaddrinfo(host, 80)[0][-1]
    s = socket.socket()
    s.connect(addr)

    s.send(bytes('GET /%s HTTP/1.0\r\nHost: %s\r\n\r\n' % (path, host), 'utf8'))
    while True:
        data = s.recv(100)
        if data:
            print(str(data, 'utf8'), end='')
        else:
            break
    s.close()

wifista.connect()
t=22.2
h=44.4
urlkey='https://api.thingspeak.com/update?api_key=3IN09682SQX3PT4Z'
fields='&field1='+str(t)+'&field2='+str(h)
#http_get('https://api.thingspeak.com/update?api_key=3IN09682SQX3PT4Z&field1=0')
http_get(urlkey+fields)
time.sleep(15)
http_get('https://api.thingspeak.com/channels/1626377/fields/2/last.json?api_key=9JVTP8ZHVTB9G4TT')
```

Résultat d'exécution :

```
%Run -c $EDITOR_CONTENT
Already connected
('192.168.1.36', '255.255.255.0', '192.168.1.1', '192.168.1.1')
Already connected
('192.168.1.36', '255.255.255.0', '192.168.1.1', '192.168.1.1')
update?api_key=3IN09682SQX3PT4Z&field1=22.2&field2=44.4
api.thingspeak.com
HTTP/1.1 200 OK
Date: Sun, 06 Feb 2022 16:09:35 GMT
Content-Type: text/plain; charset=utf-8
Content-Length: 2
Connection: close
Status: 200 OK
X-Frame-Options: SAMEORIGIN
Access-Control-Allow-Origin: *
Access-Control-Allow-Methods: GET, POST, PUT, OPTIONS, DELETE, PATCH
Access-Control-Allow-Headers: origin, content-type, X-Requested-With
Access-Control-Max-Age: 1800
ETag: W/"c2356069e9d1e79ca924378153cfbbfb"
Cache-Control: max-age=0, private, must-revalidate
X-Request-Id: 581bea14-20c5-46a9-8d9c-8844d58aef13
X-Runtime: 0.104615
X-Powered-By: Phusion Passenger 4.0.57
Server: nginx/1.9.3 + Phusion Passenger 4.0.57

24channels/1626377/fields/2/last.json?api_key=9JVTP8ZHVTB9G4TT
```

```
api.thingspeak.com
HTTP/1.1 200 OK
Date: Sun, 06 Feb 2022 16:09:51 GMT
Content-Type: application/json; charset=utf-8
Connection: close
Status: 200 OK
X-Frame-Options: SAMEORIGIN
Access-Control-Allow-Origin: *
Access-Control-Allow-Methods: GET, POST, PUT, OPTIONS, DELETE, PATCH
Access-Control-Allow-Headers: origin, content-type, X-Requested-With
Access-Control-Max-Age: 1800
Cache-Control: max-age=7, private
ETag: W/"3c729f09e7a7d82847c98c647b419168"
X-Request-Id: fd0e3003-2be3-49d6-9cd5-05d06bbfaec5
X-Runtime: 0.005083
X-Powered-By: Phusion Passenger 4.0.57
Server: nginx/1.9.3 + Phusion Passenger 4.0.57

{"created_at":"2022-02-06T16:09:35Z","entry_id":24,"field2":"44.4"}
```



A faire:

1. Testez les programme ci-dessus avec votre compte ThingSpeak
2. Ajoutez un ou plusieurs capteurs pour envoyer les données réelles
3. Analysez le résultat en **`json`** et appliquez une fonction de décodage.

3.2.3 Préparation pour l'envoi des données avec `thingspeak.py`

Dans cet exemple nous allons utiliser une bibliothèque **`thingspeak.py`** disponible ici :
`https://raw.githubusercontent.com/radeklat/micropython-thingspeak/master/src/lib/thingspeak.py`
Téléchargez la et l'enregistrez sur votre PC et sur la carte PYCOM-V.

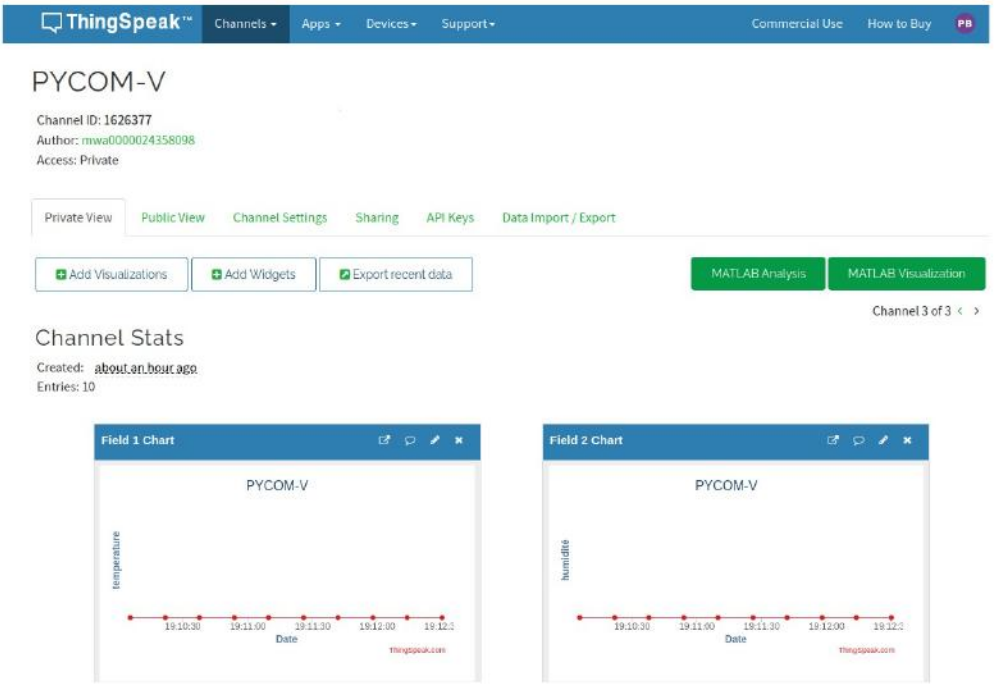
Ensuite éditez le code suivant :

```
import machine
import time
import wifista
import thingspeak

from thingspeak import ThingSpeakAPI, Channel, ProtoHTTP
channel_living_room = "1626377"
```

```
field_temperature = "Temperature"
field_humidity = "Humidity"

thing_speak = ThingSpeakAPI([
    Channel(channel_living_room , '3IN09682SQX3PT4Z', [field_temperature, field_humidity])],
    protocol_class=ProtoHTTP, log=True)

wifista.connect()
active_channel = channel_living_room
temperature = 21.4
humidity=33.7
while True:
    thing_speak.send(active_channel, {
        field_temperature: temperature,
        field_humidity: humidity
    })

    time.sleep(thing_speak.free_api_delay)
```

Dans la dernière instruction vous pouvez noter la valeur de **`sleep()`** disponible pour un compte gratuit (**`free`**) :

`time.sleep(thing_speak.free_api_delay)`



A faire:

1. Testez les programme ci-dessus avec votre compte ThingSpeak
2. Ajoutez un ou plusieurs capteurs pour envoyer les données réelles

Laboratoire 4

Technologie LoRa et Communication *Long Range*

4.0 Introduction

Dans ce laboratoire nous allons nous intéresser à la technologie de transmission **Long Range** essentielle pour la communication entre les objets.
Longe Range ou **LoRa** permet de transmettre les données à la distance d'un kilomètre ou plus avec les débits allant de quelques centaines de bits par seconde aux quelques dizaines de kilobits (100bit – 75Kbit).

4.1 Modulation LoRa

Modulation LoRa a trois paramètres :

- **`freq`** – *frequency* ou fréquence de la porteuse de 868 à 870 MHz,
- **`sf`** – *spreading factor* ou étalement du spectre ou le nombre de modulations par un bit envoyé (64-4096 exprimé en puissances de 2 – 7 à 12)
- **`sb`** – *signal bandwidth* ou bande passante du signal (31250 Hz à 500KHz)

Par défaut on utilise : **`freq`**=434MHz ou 868MHz , **`sf`**=7, et **`sb`**=125KHz

Notre DevKiT **PYCOM-V** peut être complété par une carte d'extension – **modem LoRa**.

4.2 Bibliothèque `sx127x.py`

La bibliothèque **`sx127x.py`** permet d'intégrer les fonctionnalités du modem **sx1276/8** dans nos applications.

Ce modem-circuit est connecté à notre carte de base par le bus **SPI**. Un bus SPI fonctionne sur 3 lignes (signaux) de base : **SCK** – clock/horloge, **MISO** – Master_In_Slave_Out, **MOSI** – Master_Out_Slave_In, et sur sur trois lignes de contrôle : **NSS** – sélection ou activation de la sortie de Slave, **RST** – signal d'initialisation, et **DIO0/INT** – signal d'interruption envoyé par Slave activé.

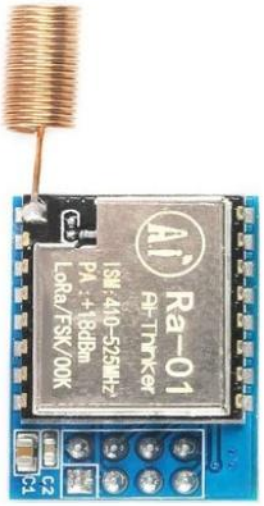


Fig 4.1 Le modem-module de LoRa (**Ra-01**) avec son connecteur SPI

Voici quelques extraits de la bibliothèque **`sx127x.py`**

```
class SX127x:

    default_parameters = {
        "frequency": 869525000,
        "frequency_offset": 0,
        "tx_power_level": 14,
        "signal_bandwidth": 125e3,
        "spreading_factor": 9,
        "coding_rate": 5,
        "preamble_length": 8,
        "implicitHeader": False,
        "sync_word": 0x12,
        "enable_CRC": True,
        "invert_IQ": False,
    }
```

Les paramètres (radio) par défaut peuvent être modifiés moyennant les fonctions disponibles dans la même bibliothèque :

```
self.setFrequency(self.parameters["frequency"])
self.setSignalBandwidth(self.parameters["signal_bandwidth"])
# set LNA boost
self.writeRegister(REG_LNA, self.readRegister(REG_LNA) | 0x03)
# set auto AGC
self.writeRegister(REG_MODEM_CONFIG_3, 0x04)
self.setTxPower(self.parameters["tx_power_level"])
self.implicitHeaderMode(self.parameters["implicitHeader"])
self.setSpreadingFactor(self.parameters["spreading_factor"])
self.setCodingRate(self.parameters["coding_rate"])
self.setPreambleLength(self.parameters["preamble_length"])
self.setSyncWord(self.parameters["sync_word"])
self.enableCRC(self.parameters["enable_CRC"])
self.invertIQ(self.parameters["invert_IQ"])
```

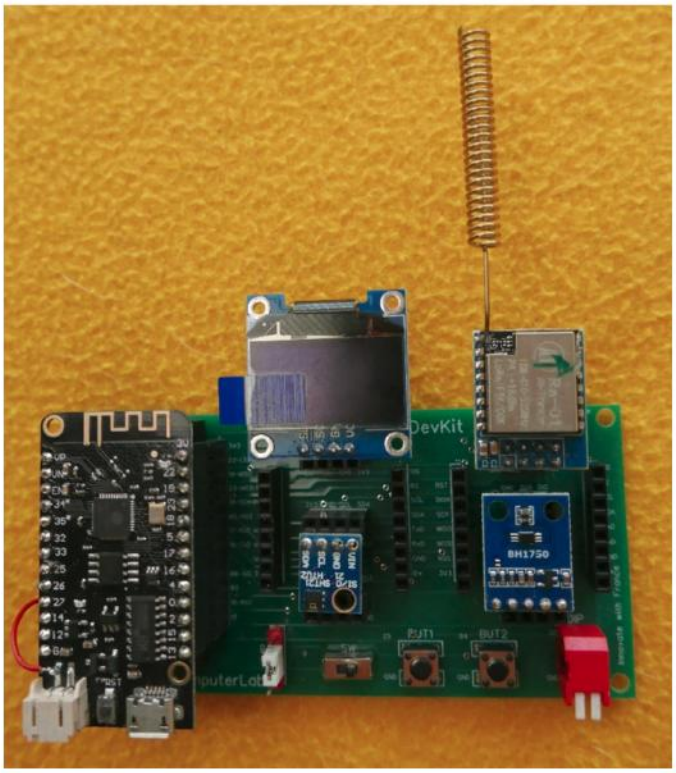


Fig 4.2 Connexion du module de LoRa (Ra-01) (SPI) sur le DevKit PYCOM-X

4.3 Programme principal

Dans le programme que nous allons étudier nous trouvons l'ensemble des paramètres et des fonctions d'initialisation et d'exploitation du module LoRa.

Dans la liste **`lora_default`** nous proposons les paramètres compatibles avec notre modem LoRa (**ISM** :**434MHz**).

Pour l'instant on va s'intéresser seulement au 3 paramètres:

- la fréquence,
- la bande passante du signal et
- le facteur d'étalement (***spreading factor***)

Le modem est connecté sur le **bus SPI** ; la liste lora_pins identifie les numéros des signaux utilisés pour la connexion de notre modem à la carte **PYCOM-X**.

Finalement on détermine les paramètres et les signaux de contrôle associés au bus SPI – **`lora_spi`** .

Avec tous les paramètres initialisés on active la communication entre la carte et le modem LoRa (**`SX127x`**). Une fois la connexion activée nous pouvons appeler différentes fonctions de communication LoRa :

```
        # type = 'sender'
        # type = 'receiver'
        # type = 'receiver_callback'
```

Voici le code complet :

```
from machine import Pin,SPI
from sx127x import SX127x
from time import sleep

import LoRaSender
# import LoRaReceiver
# import LoRaReceiverCallback
# radio - modulation parameters

lora_default = {
    'frequency': 434500000,   #869525000,
    'frequency_offset':0,
    'tx_power_level': 14,
    'signal_bandwidth': 125e3,
    'spreading_factor': 9,
    'coding_rate': 5,
    'preamble_length': 8,
    'implicitHeader': False,
    'sync_word': 0x12,
    'enable_CRC': False,
    'invert_IQ': False,
    'debug': False,
}

# modem - connection wires-pins on SPI bus

lora_pins = {  # pycom-x
    'dio_0':26,
    'ss':5,      #
    'reset':15,  #
    'sck':18,
    'miso':19,
    'mosi':23,
}

lora_spi = SPI(
    baudrate=10000000, polarity=0, phase=0,
    bits=8, firstbit=SPI.MSB,
    sck=Pin(lora_pins['sck'], Pin.OUT, Pin.PULL_DOWN),
    mosi=Pin(lora_pins['mosi'], Pin.OUT, Pin.PULL_UP),
    miso=Pin(lora_pins['miso'], Pin.IN, Pin.PULL_UP),
)

lora = SX127x(lora_spi, pins=lora_pins, parameters=lora_default)

# type = 'sender'
# type = 'receiver'
# type = 'receiver_callback'
type = 'sender'     # let us select sender method

if __name__ == '__main__':
    if type == 'sender':
        LoRaSender.send(lora)
#     if type == 'receiver':
#         LoRaReceiver.receive(lora)
#     if type == 'receiver_callback':
#         LoRaReceiverCallback.receiveCallback(lora)
```

Dans le **programme** ci-dessus nous avons choisie les fonctions permettant de configurer le code comme **`Sender - LoRaSender`**.

Le **switch** - **`type`** à la fin du programme va sélectionner le module de **`LoRaSender.py`**

4.4 Modules fonctionnels LoRa

4.4.1 Emetteur – `sender()` (`LoRaSender.py`)

Notre module émetteur (**`sender`**) utilise l'écran OLED pour présenter la valeur du compteur des messages LoRa.
Les données sont envoyées comme chaînes de caractères.

```
from time import sleep
import machine, ssd1306
from machine import Pin, SoftI2C
import esp32


def disp(c):
    i2c = SoftI2C(scl=Pin(14), sda=Pin(12), freq=100000)
    oled = ssd1306.SSD1306_I2C(128, 64, i2c, 0x3c)
    oled.fill(0)
    oled.text("SmartComputerLab", 0, 0)
    oled.text("LoRa sender", 0, 16)
    oled.text("Packet Nr:", 0, 32)
    oled.text(str(c), 0, 48)
    oled.show()


def send(lora):
    print("LoRa Sender")
    counter = 0
    while True:
        payload = 'Long long Hello ({0})'.format(counter)
        print('TX: {}'.format(payload))
        lora.println(payload)
        counter += 1
        disp(counter)
        sleep(5)
```

A faire:

1. Testez le programme principal avec le module **`LoRaSender.py`** ci-dessus.
2. Ajoutez la lecture d'un capteur (**`sht21.py`**) et l'envoi de la valeur captée.
3. Enregistrez le programme principal (4.3) comme **`main.py`** , lancez son exécution, puis détachez la carte de votre PC pour qu'il fonctionne d'une **façon autonome sur sa batterie**.

4.4.2 Récepteur – `receive (LoRaReceiver.py)`

Notre module récepteur (**`receive()`**) utilise l'écran OLED pour présenter la valeur de **RSSI** correspondant aux messages LoRa reçus.

```
from time import sleep
import machine, ssd1306
from machine import Pin, SoftI2C
import esp32

def disp(p):
    i2c = SoftI2C(scl=Pin(14), sda=Pin(12), freq=100000)
    oled = ssd1306.SSD1306_I2C(128, 64, i2c, 0x3c)
    oled.fill(0)
    oled.text("SmartComputerLab", 0, 0)
    oled.text("LoRa receiver", 0, 16)
    oled.text("Packet Nr:", 0, 32)
    oled.text(format(p), 0, 48)
    oled.show()

def receive(lora):
    print("LoRa Receiver")

    while True:
        if lora.receivedPacket():
            try:
                payload = lora.readPayload().decode()
                rssi = lora.packetRssi()
                print("RX: {} | RSSI: {}".format(payload, rssi))
                disp(payload)
            except Exception as e:
                print(e)
```

A faire:

1. Testez le programme principal avec le module **`LoRaReceiver.py`** ci-dessus.
2. Ajoutez la présentation de la valeur de payload sur l'écran OLED.
3. Enregistrez le programme principal (4.3) comme **`main.py`** , lancez son exécution, puis détachez la carte de votre PC pour qu'il fonctionne de façon autonome sur sa batterie.

4.4.3 Récepteur – `onReceive (LoRaReceiverCallback.py)`

La réception d'un paquet LoRa peut être effectuée de façon asynchrone moyennant le signal d'interruption généré par le modem **sx127x** (**`INT/DIO0`**) au moment de la réception de la trame physique et son enregistrement dans le tampon de réception.

Voici le code :

```
from time import sleep
import machine, ssd1306
from machine import Pin, SoftI2C
import esp32

def disp(p):
    i2c = SoftI2C(scl=Pin(14), sda=Pin(12), freq=100000)
    oled = ssd1306.SSD1306_I2C(128, 64, i2c, 0x3c)
    oled.fill(0)
    oled.text("SmartComputerLab", 0, 0)
    oled.text("LoRa receiver", 0, 16)
    oled.text("Packet Nr:", 0, 32)
    oled.text(format(p), 0, 48)
    oled.show()

def receiveCallback(lora):
    print("LoRa Receiver Callback")
    lora.onReceive(onReceive)
    lora.receive()


def onReceive(lora, payload):
    try:
        payload = payload.decode()
        rssi = lora.packetRssi()
        print("RX: {} | RSSI: {}".format(payload, rssi))
        disp(rssi)
    except Exception as e:
        print(e)
```

A faire:

1. Testez le programme principal avec le module **`LoRaReceiverCallback.py`** ci-dessus.
2. Ajoutez la présentation de la valeur de payload (donnée reçue du capteur **SHT21**) sur l'écran OLED.
3. Enregistrez le programme principal (4.3) comme **`main.py`** , lancez son exécution, puis détachez la carte de votre PC pour qu'il fonctionne de façon autonome sur sa batterie.

Laboratoire 5

Développement de simples passerelles IoT

Dans ce laboratoire nous allons développer une architecture intégrant plusieurs dispositifs essentiels pour la création d'un système IoT complet. Le dispositifs central sera la passerelle (*gateway*) entre les liens LoRa et la communication par WiFI.

5.1 Passerelle LoRa-WiFi (MQTT)

Notre premier exemple illustre la construction d'une passerelle LoRa-WiF vers un broker MQTT.
La passerelle (G – *gateway*) reçoit les paquets LoRa avec un **payload** prévu pour contenir les données des capteurs associés au terminal LoRa.

Les modules principaux à importer sont :

```
from umqtt.robust import MQTTClient
```

Ce module permet de définir le broker à utiliser (adresse IP) et d'établir une connexion **TCP** sur le port **1883**. (version non sécurisée)
La connexion WiFi est réalisée par notre module **`wifista`** ; ce module peut être modifié afin de pouvoir choisir entre une adresse statique ou dynamique.
Nous avons besoin de deux bus série : SPI et I2C (version soft). L'écran **OLED** est attaché sur le bus **`SoftI2C`**.
Le modem LoRa est connecté par le bus **`SPI`** dont paramètres sont définies dans le code. Les paramètres radio par défaut sont également définis dans le code (**`lora_default`**).

Voici le programme principal qui peut être modifié pour le faire fonctionner avec un autre module fonctionnel.
Pour commencer nous allons choisir le module **`LoRaReceiverGatewayMqtt.py`**

```
from machine import Pin,SPI
from sx127x import SX127x
from time import sleep
# import LoRaSender
# import LoRaReceiver
# import LoRaReceiverCallback
# import LoRaReceiverGatewayTsMqtt    # to import gateway LoRa-WiFi to TS with MQTT
# import LoRaReceiverGatewayMqtt      # to import gateway LoRa-WiFi to MQTT

# radio - modulation parameters
lora_default = {
    'frequency': 434500000,   #869525000,
    'frequency_offset':0,
    'tx_power_level': 14,
    'signal_bandwidth': 125e3,
    'spreading_factor': 9,
    'coding_rate': 5,
    'preamble_length': 8,
    'implicitHeader': False,
    'sync_word': 0x12,
    'enable_CRC': False,
    'invert_IQ': False,
    'debug': False,
}

# modem - connection wires-pins on SPI bus

lora_pins = {  # pycom-x
    'dio_0':26,
    'ss':5,      #
    'reset':15,  #
    'sck':18,
    'miso':19,
    'mosi':23,
}

lora_spi = SPI(
```

```
    baudrate=10000000, polarity=0, phase=0,
    bits=8, firstbit=SPI.MSB,
    sck=Pin(lora_pins['sck'], Pin.OUT, Pin.PULL_DOWN),
    mosi=Pin(lora_pins['mosi'], Pin.OUT, Pin.PULL_UP),
    miso=Pin(lora_pins['miso'], Pin.IN, Pin.PULL_UP),
)

lora = SX127x(lora_spi, pins=lora_pins, parameters=lora_default)

# type = 'sender'
# type = 'receiver'
# type = 'receiver_callback'
type = 'gatewaytsmqtt'
# type = 'gatewaymqtt'
# type = 'sender'     # let us select sender method

if __name__ == '__main__':
#     if type == 'sender':
#         LoRaSender.send(lora)
#     if type == 'receiver':
#         LoRaReceiver.receive(lora)
#     if type == 'ping_master':
#         LoRaPing.ping(lora, master=True)
#     if type == 'ping_slave':
#         LoRaPing.ping(lora, master=False)
#     if type == 'receiver_callback':
#         LoRaReceiverCallback.receiveCallback(lora)
#     if type == 'gatewaytsmqtt':
#         LoRaReceiverGatewayTsMqtt.receive(lora)
#     if type == 'gatewaymqtt':
#         LoRaReceiverGatewayMqtt.receive(lora)
#
```

Le module appelé dans le programme principal - **`LoRaReceiverGatewayMqtt.py`** est le suivant :

```
from umqtt.robust import MQTTClient
import wifista
from time import sleep
import machine, ssd1306
from machine import Pin, SoftI2C
import esp32

CHANNEL_ID = "1626377"
WRITE_API_KEY = "3IN09682SQX3PT4Z"

def disp(p):
    i2c = SoftI2C(scl=Pin(14), sda=Pin(12), freq=100000)
    oled = ssd1306.SSD1306_I2C(128, 64, i2c, 0x3c)
    oled.fill(0)
    oled.text("SmartComputerLab", 0, 0)
    oled.text("LoRa receiver", 0, 16)
    oled.text("Packet Nr:", 0, 32)
    oled.text("{}".format(p), 0, 48)
    oled.show()


def receive(lora):
    print("LoRa Receiver")
    broker = "broker.emqx.io"
    client = MQTTClient("PYCOM-X", broker)
    count = 1
    rssi =0

    while True:
        if lora.receivedPacket():
            try:
                payload = lora.readPayload().decode()
                rssi = lora.packetRssi()
                print("RX: {} | RSSI: {}".format(payload, rssi))
                mess="RSSI: " + str(rssi)
                wifista.connect()
                client.connect()
```

```
                client.publish(b"pycom-x/test", mess)
                disp(rssi)
                count=count+1
                sleep(15)
            except Exception as e:
                print(e)
```

```
..
RX: Long long Hello (324) | RSSI: -61
Already connected
('192.168.1.36', '255.255.255.0', '192.168.1.1', '192.168.1.1')
RX: Long long Hello (328) | RSSI: -58
Already connected
('192.168.1.36', '255.255.255.0', '192.168.1.1', '192.168.1.1')
RX: Long long Hello (332) | RSSI: -58
Already connected
('192.168.1.36', '255.255.255.0', '192.168.1.1', '192.168.1.1')
..
```

A noter que seulement la valeur de **RSSI** est transmise vers le **broker MQTT**.

A faire:

1. Testez le programme ci-dessus.
2. Récupérez la valeur de **payload** (donnée reçue du capteur **SHT21**) et l'envoyez dans le message de MQTT.
3. Ecrivez la même application (**passerelle**) moyennant la réception des paquets LoRa par la fonction **callback** (interruption)

5.2 Passerelle LoRa-WiFi (ThingSpeak)

La passerelle **LoRa-WiFi (ThingSpeak)** permettra de retransmettre les données reçues sur un lien **LoRa** et de les envoyer par sur une connexion WiFi vers un serveur **ThingSpeak.**

Le program suivant permet de recevoir les paquets LoRa et de le retransmettre sur un lin WiFi vers le serveur ThingSpeak. Nous utilisons ici également la notion de **topic** (**MQTT**) et de messages.
Le **topic** est une chaîne de caractères incluant le numéro du canal la commande publish et la clé d'écriture.

```
topic = "channels/" + CHANNEL_ID + "/publish/" + WRITE_API_KEY
```

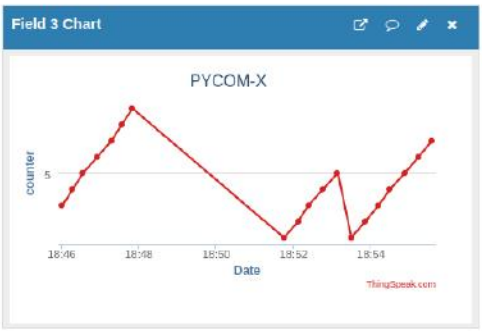
Le message correspond au **payload** avec les champs (**fields**) associés à chaque valeur :

```
payload = "field1="+str(temp)+"&field2="+str(hum)+"&field3="+str(rssi)
```

Voici le code complet :

```
from umqtt.robust import MQTTClient
import wifista
from time import sleep
import machine, ssd1306
from machine import Pin, SoftI2C
import esp32

CHANNEL_ID = "1626377"
WRITE_API_KEY = "3IN09682SQX3PT4Z"

def disp(p):
    i2c = SoftI2C(scl=Pin(14), sda=Pin(12), freq=100000)
    oled = ssd1306.SSD1306_I2C(128, 64, i2c, 0x3c)
    oled.fill(0)
    oled.text("SmartComputerLab", 0, 0)
    oled.text("LoRa receiver", 0, 16)
    oled.text("Packet Nr:", 0, 32)
    oled.text("{}".format(p), 0, 48)
    oled.show()


def receive(lora):
    print("LoRa Receiver")
   # wifista.disconnect()
    wifista.connect()
    server = "mqtt.thingspeak.com"
    client = MQTTClient("umqtt_client", server)
    topic = "channels/" + CHANNEL_ID + "/publish/" + WRITE_API_KEY

    temp =21.5
    hum =55.7
    count = 1
    rssi =0

    while True:
        if lora.receivedPacket():
            try:
                payload = lora.readPayload().decode()
                rssi = lora.packetRssi()
                print("RX: {} | RSSI: {}".format(payload, rssi))
                wifista.connect()
                ts_payload = "field1="+str(len(str(payload)))+"&field2="+str(rssi)
+"&field3="+str(count)
                client.connect()
                client.publish(topic, ts_payload)
                client.disconnect()
                disp(payload)
                count=count+1
                sleep(15)
            except Exception as e:
                print(e)
```

Le résultat d'affichage pour une séquence d'exécution de notre passerelle.



A faire:

1. Testez le programme ci-dessus.
2. Récupérez la valeur de payload (donnée reçue du capteur **SHT21**) et l'envoyez dans le message de **MQTT/TS**.
3. Ecrivez la même application moyennant la réception des paquets LoRa par la fonction **callback** (interruption)

Table of Contents

SmartComputerLab....1
SmartComputerLab....3
0. Introduction....3
0.1 ESP32 Soc – une unité avancée pour les architectures IoT....3
0.2 Carte ESP32 LOLIN32....4
0.3 IoT DevKit PYCOM-V une plate-forme de développement IoT....5
0.4 Le logiciel – Thonny IDE....6
0.4.1 Installation de Thonny - thonny.org....6
0.4.2 Préparation de la carte ESP32 LOLIN32....7
0.4.4 Premier exemple – x.led.blink.py....9
A faire:....9
Laboratoire 1....10
Lecture des capteurs et affichage (i2c)....10
1.0 Introduction....10
1.1 Premier exemple – l'affichage des données....10
1.2 Deuxième exemple – lecture d'un capteur (T/H) - SHT21....12
1.2.1 Préparation du code....12
A faire:....13
1.3 Troisième exemple – lecture d'un capteur (L) - BH1750....14
A faire:....14
1.4 Quatrième exemple – lecture d'un capteur PIR - SR602....15
A faire:....15
Laboratoire 2....16
Communication WiFi et broker MQTT....16
2.1 Scrutation *scan* du réseau....16
A faire:....16
Remarque importante:....16
2.2 Connexion au réseau WiFi , mode station - STA....17
A faire:....17
2.3 Lecture d'une page WEB....18
A faire:....18
2.3 Simple serveur WEB – lecture d'une variable....19
2.4 Simple serveur WEB – l'envoi d'une commande....20
A faire:....21
2.4.3 Mini serveur WEB avec Point d'Accès – gestion de la LED RGB....21
A faire:....22
Laboratoire 3....23
Broker MQTT et serveur ThingSpeak....23
3.1 Protocole MQTT et Client MQTT....23
3.1.1 Client MQTT – le code....23
A faire:....24
3.1.2 Broker MQTT sur un PC....24
A faire:....24
3.2 Serveur ThingSpeak....24
3.2.1 Préparation pour l'envoie des données comme messages MQTT....24
A faire:....25
3.2.2 Préparation pour l'envoi des données comme simples requêtes HTTP....26
A faire:....27
3.2.3 Préparation pour l'envoi des données avec thingspeak.py....27
A faire:....28
Laboratoire 4....29
Technologie LoRa et Communication *Long Range*....29
4.0 Introduction....29
4.1 Modulation LoRa....29
4.2 Bibliothèque sx127x.py....29
4.3 Programme principal....30
4.4 Modules fonctionnels LoRa....32
4.4.1 Emetteur – sender() (LoRaSender.py)....32
A faire:....32
4.4.2 Récepteur – receive (LoRaReceiver.py)....33
A faire:....33

4.4.3 Récepteur – onReceive (LoRaReceiverCallback.py)....34
A faire:....34
Laboratoire 5....35
Développement de simples passerelles IoT....35
5.1 Passerelle LoRa-WiFi (MQTT)....35
A faire:....37
5.2 Passerelle LoRa-WiFi (ThingSpeak)....38
A faire:....39
Annexe....41
Cartes d'extension et capteurs supplémentaires....41

Annexe

Cartes d'extension et capteurs supplémentaires

En préparation !