

Cours Programmation et Objets Connectés

Auteur : Vincent Pagé : vincent.page@univ-antilles.fr

Introduction

Dans ce cours, nous verrons donc comment aborder la programmation des Objets Connectés.

Pour la définition, j'ai, sans scrupules, repompé ce qui se dit ici : <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=objets-connectes-definition>.

Donc, tel quel :

Un objet connecté est un objet physique équipé de capteurs ou d'une puce qui lui permettent de transcender son usage initial pour proposer de nouveaux services. Il s'agit d'un matériel électronique capable de communiquer avec un ordinateur, un smartphone ou une tablette via un réseau sans fil (Wi-Fi, Bluetooth, réseaux de téléphonie mobile, réseau radio à longue portée de type Sigfox ou LoRa, etc.), qui le relie à Internet ou à un réseau local.

On distingue communément deux grands groupes d'objets connectés :

- les objets destinés à la collecte et l'analyse de données, dont la mission principale est de collecter et transmettre des informations ;
- les objets qui répondent à une logique de contrôle-commande et permettent de déclencher une action à distance.

Les capteurs installés sur ces objets connectés sont plus ou moins intelligents, selon qu'ils intègrent ou non eux-mêmes des algorithmes d'analyse de données, et qu'ils soient pour certains auto-adaptatifs.

Sortie en 2003, la lampe DAL connectée en Wi-Fi est le premier objet connecté de l'histoire. Selon ses créateurs, elle s'est vendue à une cinquantaine d'exemplaires. Grâce à ses 9 LED, elle pouvait s'allumer de différentes couleurs en fonction de différents événements liés à la météo, la situation boursière, la pollution, les alertes Google ou encore des « envois de messages de couleurs » par SMS ou courriel.

Dans la pratique, on voit donc qu'un objet connecté, c'est avant tout :

- un circuit électronique
- dont les actions sont programmables
- qui peut dialoguer sur un réseau (local ou global)

A terme, lors des Travaux Pratiques, nous souhaiterions mettre en place un équipement dans les salles de TP permettant de contrôler

- la clim
- l'éclairage
- des brasseurs d'air

Tout ceci serait contrôlable depuis un **smartphone**, via un serveur. Le serveur serait, lui, hébergé sur un **raspberry**.

Si certains de ces mots vous échappent pour le moment, ce n'est pas grave, on va voir cela calmement.

Mais pour faire tout cela, il va nous falloir quelques notions, et pour commencer, quelques notions sur les **circuits électroniques programmables**.

Vous pouvez repartir vers le Sommaire

Introduction aux cartes Arduino

Avant même de faire des objets connectés, il faudrait donc pouvoir programmer des circuits électroniques. Pour avoir une idée de choses qui nécessitent une des circuits électroniques programmables, considérez un peu :

- la barrière d'entrée de l'université
- un distributeur automatique de boissons.

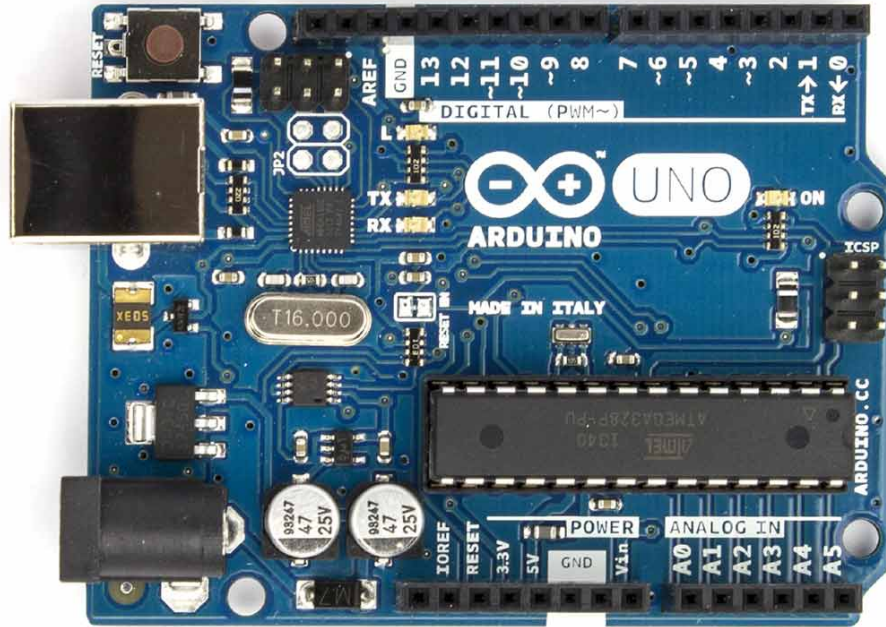
Ce sont des objets qui ne sont pas forcément connectés, mais dans lequel on doit effectuer des actions spécifiques lorsque certains événements se produisent dans le bon ordre (faire tomber une cochonnerie sucrée lorsque l'on a mis de l'argent et qu'on a appuyé sur le bon bouton. Accessoirement, il faut aussi calculer la monnaie à rendre, puis la rendre (ou blinder la machine contre les coups de genoux)).

Pour faire tout cela, la solution la moins cher consiste à intégrer dans votre circuit électronique une **carte électronique programmable**. Il en existe énormément de type, de prix très variables. (ici, je vous mettrais une liste non exhaustive).

Dans le domaine du DIY (Do It Yourself), ce qu'on appellerait sans doute en français le domaine du "je bricole moi même mes trucs de geek", une carte a, au cours des dernières années, obtenue beaucoup de succès : les cartes **Arduino**.

Les cartes Arduino

Ci dessous, une photo de l'Arduino Uno, très pratique pour les enseignements.



En soi, elle n'ont rien de mieux que les autres, simplement, leurs plans sont **open source**, copiables, et il existe une documentation très vaste concernant leur utilisation par des novices.

Cette carte comporte, comme toutes les cartes programmables :

- Un microprocesseur (qui executera le programme)
- une alimentation
- une horloge (qui cadence le programme)
- des broches permettant d'interagir avec le matériel (les boutons, les moteurs, les capteurs ou les lumières)

L'idée est donc de concevoir un programme, qui va prendre en charge les différents cas qui peuvent se présenter au matériel et déclencher les événements voulus.

Le logiciel Arduino

Ce programme, dans le cas des cartes Arduino (et très souvent sauf pour certaines cartes récentes permettant de taper directement le code sur la carte), est conçu sur un ordinateur, pourvu d'un logiciel permettant de charger ensuite le programme sur la carte.

Lorsque la carte est mise sous tension, ce programme s'exécute (et on peut acheter un Mars. Ou un Snickers).

Ce logiciel permettant de préparer son programme et de le charger sur la carte est également **Open Source** et gratuit dans le cas des cartes Arduino, ce qui a contribué à leur succès.

Ci dessous, un exemple du logiciel Arduino, permettant de dialoguer avec



l'ensemble des cartes de la famille :

Le premier programme

L'équivalent des programmes de type **helloWorld** en électronique consiste à faire clignoter une diode LED.

Je ne vais pas m'apesantir sur le sujet de la programmation Arduino, car nous basculeront assez vite sur des Raspberry Pi, mais on retrouve néanmoins de nombreux points communs entre les programmes sur ces deux types de matériel.

Un programme Arduino est souvent écrit dans un langage proche du **langage C**. Il comporte deux parties :

- une fonction **setup** qui s'exécute une fois lorsque la carte est mise sous tension.
- Lorsque le **setup** est terminé, c'est la fonction **loop** qui s'exécute juste en boucle, indéfiniment tant que la carte est sous tension.

Pour faire clignoter une led, il faudrait :

- préparer le circuit électronique (je vais ajouter un schéma un jour)
- brancher ce circuit sur une des broches de la carte (disons la broche 4 par exemple)

Le **setup** consisterait à dire : je vais utiliser la broche 4 comme **broche de sortie**

La **loop** pourrait consister à dire :

1. Je met la broche 4 à 5V (a l'état **HAUT**)
2. J'attends un peu (disons une seconde ou 1000 ms)
3. Je met la broche 4 à 0V (a l'état **BAS**)
4. J'attends un peu (disons une seconde ou 1000 ms)

Tout ceci se retrouve dans le programme qui suit :

```
int brocheLed = 4

// the setup function runs once when you press reset or power the board
void setup() {
  // La broche 4 sera utilisée en SORTIE
  pinMode(brocheLed, OUTPUT);
}

// the loop function runs over and over again forever
void loop() {
  digitalWrite(brocheLed, HIGH); // Allume la diode
  delay(1000);                  // Attend 1s
  digitalWrite(brocheLed, LOW);  // Eteint la diode
  delay(1000);                  // attend une seconde
}
```

Le programme complet est disponible ici : `../Sources/Blink.ino` `###` Raspberry Pi, premiers pas

Ici, je vais vous présenter les Raspberry, et toujours faire un premier programme (qui fera aussi clignoter une diode)

Présentation des Raspberry Pi

Raspberry Pi est une fondation (originaire du Royaume Uni), qui développe des ordinateurs tenant sur une seule carte, de taille très réduite. Du coup, on dit souvent que les Raspberry Pi sont des **nano-ordinateurs**. Du coup, un raspberry pi est avant tout... un ordinateur.

Ci desous, le logo des raspberry pi, une célèbre framboise :

Par rapport a ses grands frères comme les PC, il offre de nombreux avantages pour travailler avec des objets connectés : - Ils sont petits. - Ils sont peu cher. - Ils consomment très peu d'énergie. - Ils ont des broches pour interagir avec le matériel (comme les cartes Arduino vues précédemment)

En revanche, ils sont relativement peu puissants, ce qui nous empêcherait de faire tourner des gros jeux vidéos dessus. Mais leur puissance est tout à fait adaptée à de nombreux usages.

Il en existe de nombreuses versions. En TP, nous utiliserons la version *3B* qui offre l'avantage d'intégrer nativement **le wifi, le bluetooth**. Actuellement, il

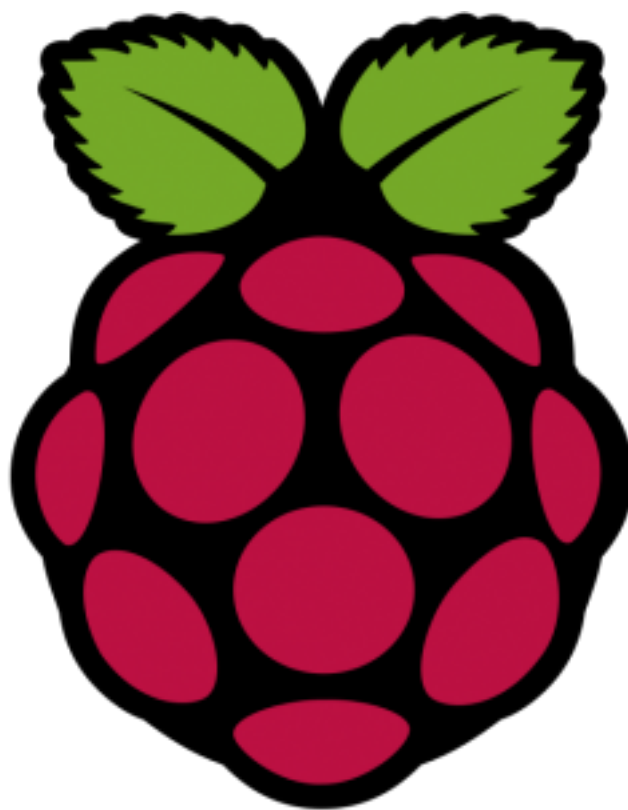


Figure 1: logo Raspberry Pi

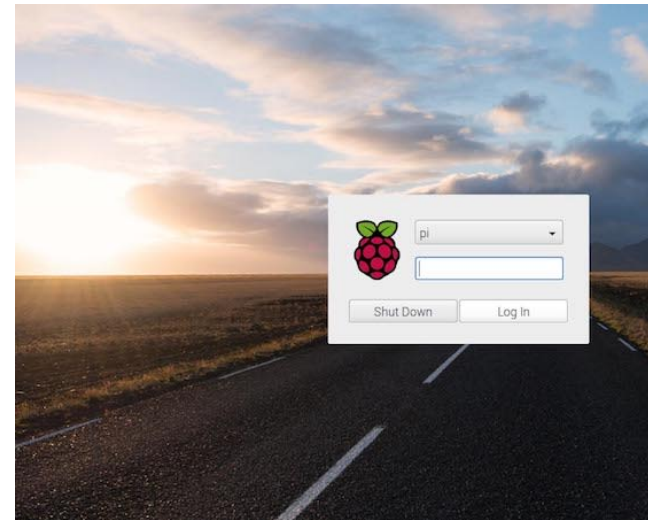
existe un **raspberry 4**, un peu plus cher et un peu plus puissant.

Comme tout ordinateur, le raspberry pi a besoin d'un **disque dur**, qui est dans ce cas une carte **micro SD**. Le raspberry pi a également besoin d'un système d'exploitation qui est, le plus souvent, un système **Linux**, dans sa variante **Raspbian**, dérivée de la distribution Linux **Debian**. Ce système d'exploitation, ainsi que tous les fichiers que vous pourriez créer ou télécharger seront stockés sur la carte micro SD.

La version du Raspberry Pi que je vous ai présentée en cours est équipée d'un système de fenêtrage qui permet d'interagir avec lui avec une souris comme pour tout ordinateur classique ces jours ci (nous verrons dans un autre cours qu'on peut s'en passer).

J'ai donc branché sur un **clavier usb**, une **souris usb** et un **écran HDMI** directement sur le raspberry. L'alimentation est en 5V sur un port **micro USB**. Dans ce premier cours, nous avons utilisé le powerbank

Lorsque le raspberry pi est configuré pour cela, lorsqu'on le met sous tension, l'ordinateur **boote**, puis vous propose un écran de connection. Le login par défaut est **pi**, son mot de passe est **raspberry**.



d'un de vos camarades, vu que j'avais oublié mon alim. . .

Ceci permet alors d'accéder au bureau, géré par un logiciel nommé **pixel**.

Nous sommes donc en présence d'un véritable ordinateur fonctionnel, permettant notamment de programmer dans toutes sortes de langages (C, java, python. . .).

Premier programme en Python

Dans notre cas, nous utiliserons Python que nous pouvons lancer pour le moment avec son environnement de développement.

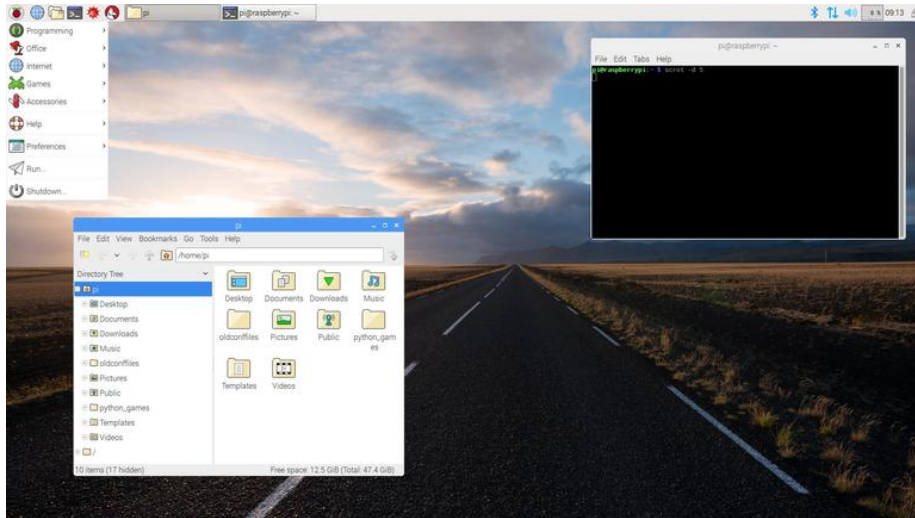


Figure 2: pixeldesk

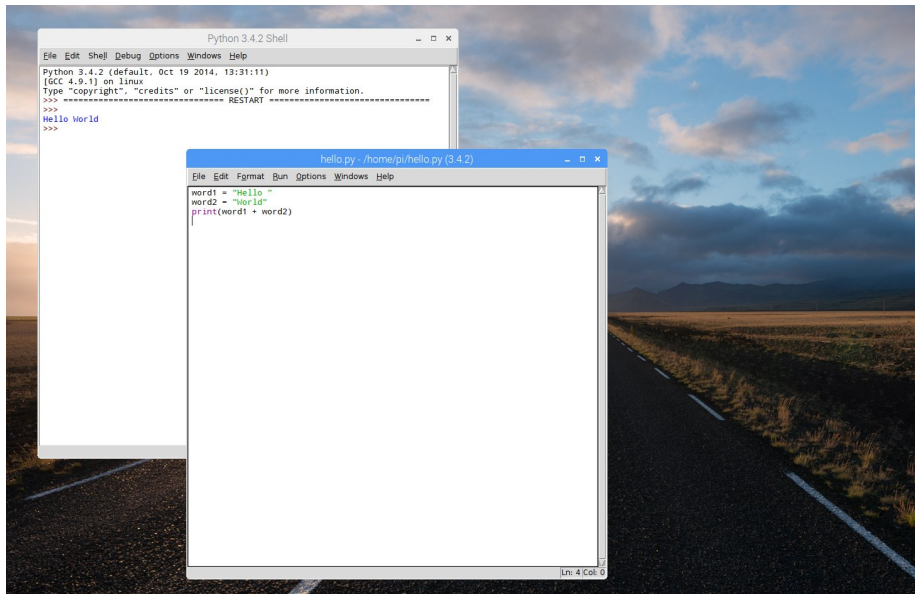


Figure 3: idle

A gauche, la console où s'exécute le programme, à droite, le programme python.
(Pour exécuter un programme dans ce contexte, appuyer sur la touche F5)

Comme précédemment, nous souhaitons faire clignoter une LED, branchée sur une broche du raspberry. Voyons calmement ce programme.

Tout d'abord, il faut choisir une broche sur laquelle brancher la LED. Pour cela, il faut disposer du plan des broches (le **pinout**) qui est présenté ci dessous

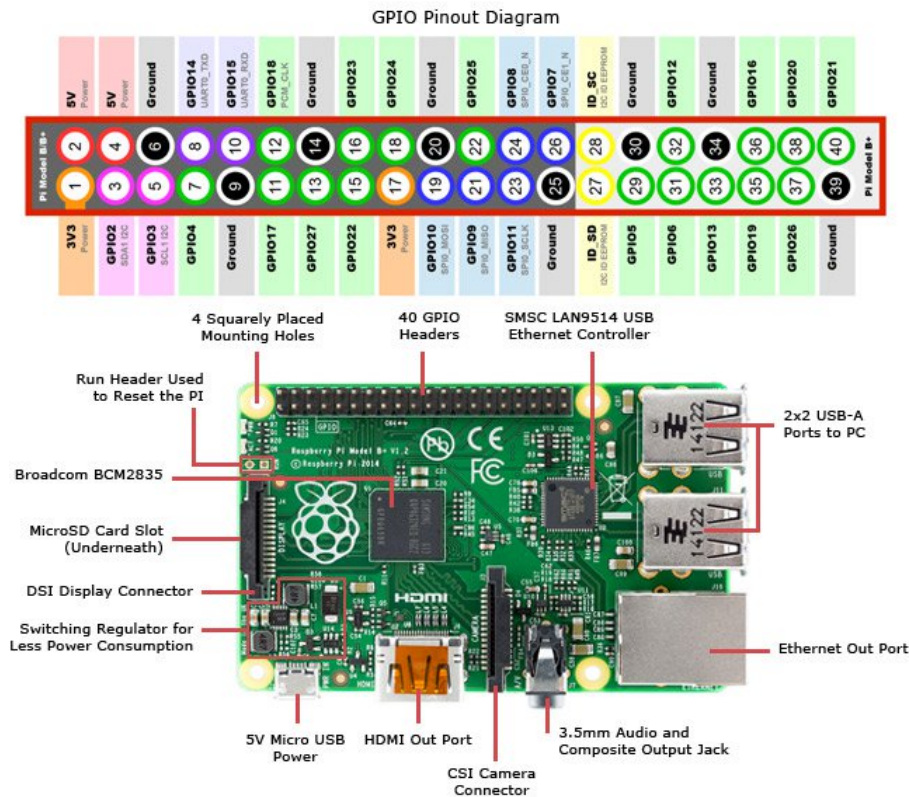


Figure 4: pinout Raspberry

On peut voir que les broches sont numérotées de 1 à 40. Par exemple, les broches 2 et 4 sont à 5V. Les broches 6 et 9 sont à la masse. La broche 8 est une broche d'interaction nommée *GPIO14*. **GPIO** est l'acronyme de *General Purpose Input Output*, ce qui signifie "Broches d'entrées / sorties à usage général".

Un programme qui veut utiliser une de ces broches devra donc la désigner, soit par son numéro physique sur la carte (la broche 8), soit par le numéro qui compose son nom de GPIO (14).

Voici le schéma de montage complet. La masse est prise sur la broche physique 6, la broche physique 8 est utilisée pour l'anode (positif) de la LED.

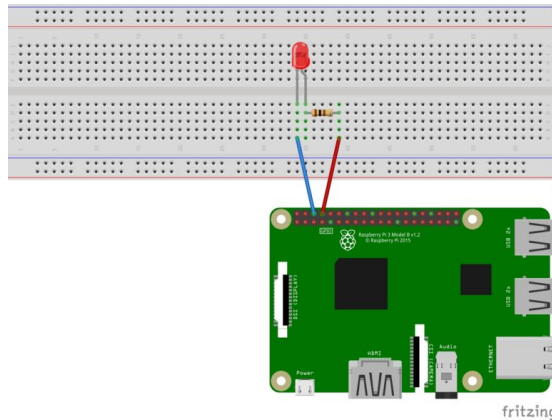


Figure 5: schema LED

Voyons donc le programme complet, qui suit exactement celui que nous avons fait pour l'arduino avec quelques petites modifications :

1. On specifie quelle broche est utilisée
2. Puis indéfiniment
3. On allume la diode
4. On attend 1s
5. On eteind la diode
6. On attend une seconde.

Tout d'abord, il faut dire à python que nous souhaitons utiliser la fonction *sleep* qui permet de mettre en pause le programme (pour attendre une seconde). Cette fonction est disponible dans le **module** *time*, que notre programme doit importer avec la ligne qui suit :

```
import time
```

A partir de cette ligne, la fonction *sleep* pourrait être appelée en tapant :

```
time.sleep(1)
```

Par ailleurs, notre programme doit utiliser les broches. Pour cela, on **importe le module** *RPi.GPIO* qui va nous fournir les outils pour cela, comme par exemple la fonction *setup* qui permet de dire qu'une broche va être utilisée en entrée ou en sortie. On pourrait donc importer le module *RPi.GPIO* comme nous l'avons fait pour le module *time*, mais il faudrait alors appeler la fonction *setup* comme suit :

```
RPi.GPIO.setup(.....)
```

Pour simplifier un peu notre programme, nous allons donc importer le module *RPi.GPIO* en lui donnant un alias (ici *GPIO*) comme suit.

```
import RPi.GPIO as GPIO      # Import Raspberry Pi GPIO library
```

Si je veux utiliser la fonction *setup*, je taperais maintenant :

```
GPIO.setup(.....)
```

Donc pour le moment, nous avons seulement importé nos deux modules et notre programme ne contient que deux lignes :

```
import RPi.GPIO as GPIO      # Import Raspberry Pi GPIO library
import time                  # Import the time module for the sleep function
```

Ajoutons deux lignes pour lui dire que nous utilisons la broche physique 8, (aussi appelée GPIO14) comme broche de sortie. On commence par dire au programme que nous utilisons la numérotation physique des broches (pas son numéro de GPIO)

```
GPIO.setmode(GPIO.BOARD)    # Use physical pin numbering
```

Puis on désigne la broche 8 comme broche de sortie :

```
GPIO.setup(8, GPIO.OUT, initial=GPIO.LOW)
```

Ces deux lignes constituent l'équivalent de ce qui se trouvait dans la fonction *setup* du programme Arduino.

Pour la suite, notre programme doit tourner en boucle indéfiniment, ce que l'on va faire ici avec une boucle *while*, contenant les 4 étapes (allume / attend / Eteint / attend)

```
while True: # Run forever
    GPIO.output(8, GPIO.HIGH) # Turn on
    time.sleep(1)             # Sleep for 1 second
    GPIO.output(8, GPIO.LOW)  # Turn off
    time.sleep(1)             # Sleep for 1 second
```

Le programme complet figure ci dessous. Il est également téléchargeable dans le répertoire Sources de ce site. Il s'agit du fichier *blinkBoard.py*.

```
import RPi.GPIO as GPIO      # Import Raspberry Pi GPIO library
import time                  # Import the time module for the sleep function
```

```
GPIO.setmode(GPIO.BOARD)    # Use physical pin numbering
```

```
GPIO.setup(8, GPIO.OUT, initial=GPIO.LOW) # Set pin 8 to be an output pin and set initial
```

```
while True: # Run forever
    GPIO.output(8, GPIO.HIGH) # Turn on
    time.sleep(1)             # Sleep for 1 second
    GPIO.output(8, GPIO.LOW)  # Turn off
    time.sleep(1)
```

On peut alors lancer ce programme et constater avec plaisir que notre diode clignote. Elle ne s'arrêtera jamais. Pour stopper le programme, il faut demander au système d'exploitation de l'arrêter, ce que l'on ferait en appuyant sur **CTRL** et **C** simultanément (noté **CTRL C**)

Pour raffiner un petit peu, j'aurais tendance à définir une variable pour contenir le numéro de la broche de la diode (si je veux modifier, ce sera plus simple). Mon programme deviendrait :

```
import RPi.GPIO as GPIO    # Import Raspberry Pi GPIO library
import time                # Import the time module for the sleep function
```

```
GPIO.setmode(GPIO.BOARD)   # Use physical pin numbering
```

```
ledpin = 8
```

```
GPIO.setup(ledpin, GPIO.OUT, initial=GPIO.LOW)    # Set pin 8 to be an output pin and set in
```

```
while True: # Run forever
```

```
    GPIO.output(ledpin, GPIO.HIGH) # Turn on
```

```
    time.sleep(1)                  # Sleep for 1 second
```

```
    GPIO.output(ledpin, GPIO.LOW) # Turn off
```

```
    time.sleep(1)
```

Par ailleurs, j'aurais aussi tendance à définir une variable pour contrôler la durée totale d'un cycle (ici, 2 secondes) ce qui me permettrait de faire clignoter ma diode plus ou moins vite. La diode reste allumée la moitié d'un cycle puis éteinte la moitié d'un cycle. Mon programme deviendrait :

```
import RPi.GPIO as GPIO    # Import Raspberry Pi GPIO library
import time                # Import the time module for the sleep function
```

```
GPIO.setmode(GPIO.BOARD)   # Use physical pin numbering
```

```
ledpin = 8
```

```
GPIO.setup(ledpin, GPIO.OUT, initial=GPIO.LOW)    # Set pin 8 to be an output pin and set in
```

```
dureeCycle = 2 # En secondes
```

```
while True: # Run forever
```

```
    GPIO.output(ledpin, GPIO.HIGH) # Turn on
```

```
    time.sleep(dureeCycle * 0.5 )    # Sleep for 1 second
```

```
    GPIO.output(ledpin, GPIO.LOW) # Turn off
```

```
    time.sleep(dureeCycle * 0.5)
```

Notons enfin que notre programme utilise la broche 8. En fait, il a demandé le contrôle de cette broche au Raspberry (qui lui donne de bon coeur). En

revanche, il faudrait que quand le programme s'interrompt, il libère toutes les broches utilisées. Ceci pourrait être fait avec la fonction `GPIO.cleanup()`.

Le problème est qu'il faudrait faire ceci quand notre programme s'arrête, et il ne s'arrêtera que quand on l'interrompra avec **CTRL C**. On va donc dire au programme : Tourne indéfiniment, et si une interruption de type CTRL C arrive, libère les broches.

Le programme complet serait alors, disponible ici : `blinkBoardClean.py`

```
import RPi.GPIO as GPIO      # Import Raspberry Pi GPIO library
import time                  # Import the time module for the sleep function

GPIO.setmode(GPIO.BOARD)    # Use physical pin numbering

ledpin = 8
GPIO.setup(ledpin, GPIO.OUT, initial=GPIO.LOW)  # Set pin 8 to be an output pin and set in

dureeCycle = 2 # En secondes
try:
    while True: # Run forever
        GPIO.output(ledpin, GPIO.HIGH) # Turn on
        time.sleep(dureeCycle * 0.5 )           # Sleep for 1 second
        GPIO.output(ledpin, GPIO.LOW) # Turn off
        time.sleep(dureeCycle * 0.5)

except KeyboardInterrupt:
    GPIO.cleanup() # clean up GPIO on CTRL+C exit
```

Et voilà ! ## Connection au Raspberry en SSH

Pour aller un peu plus loin avec le Raspberry Pi, il va nous falloir nous intéresser un peu au monde Linux, de façon à interagir avec lui à travers un terminal (à la fin de ce cours, nous le ferons depuis un autre ordinateur).

Du coup, il me faut vous raconter deux ou trois choses sur Linux / Unix :

Organisation des fichiers sous Linux

Tout d'abot, il nous faut comprendre comment est organisé l'**arborescence des fichiers** sous Linux.

Dans le monde Linux, tous les fichiers de l'ordinateur sont stockés dans un seul arbre. La **racine** de cette arborescence est notée / Tous les autres fichiers sont quelque part à l'intérieur de cette racine.

A la racine, on trouve des sous répertoires, comme :

- `/home/` qui contient les comptes de tous les utilisateurs (sauf un...)

- */etc/* qui contient des fichiers de configuration.
- */bin/* qui contient la plupart des programmes executables.
- ...

Ces répertoires peuvent contenir des sous répertoires et/ou des fichiers.

Enfin, dans chaque répertoire, on trouve deux autres sous répertoires : - *.* qui désigne le répertoire lui même - *..* qui désigne le répertoire parent. Par exemple **/home/vpage/..*** est en fait */home/*

De plus, Linux permet, depuis toujours, à plusieurs utilisateurs de partager le même ordinateur.

Chaque utilisateur est caractérisé par son *login* et il se connecte sur la machine par l'intermédiaire de son login et de son *mot de passe*. Chaque utilisateur dispose d'un répertoire personnel, appelé **home directory**, stocké dans */home/* et qui contiendra tous ses fichiers.

Par exemple, si mon login est *vpage*, mon repertoire personnel sera (le plus souvent) : */home/vpage*, dans lequel je pourrais créer des sous répertoires pour ranger mes programmes, mes images...

Enfin, il existe un utilisateur spécial : **root** qui dispose des droits d'administration (certains utilisateurs auront le droit de passer momentanément **root** pour effectuer ces actions, nous reviendrons la dessus plus loin). Dans une distribution *Debian* comme celle qui tourne sur nos Raspberry Pi, cet utilisateur ne se connecte jamais directement.

Pour l'utilisation de Linux avec un gestionnaire d'écran, pas besoin de cours, tout est a peu près intuitif. Vous aurez les mêmes façon d'interagir avec l'ordinateur qu'avec les autres Systèmes d'exploitation (Windows, Mac Os) et le même temps d'acclimatation à l'interface.

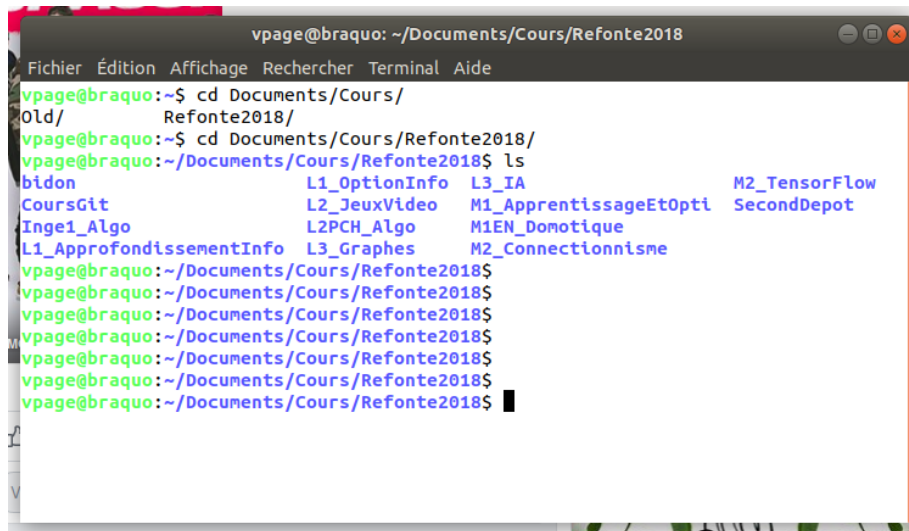
Néanmoins, il est très fréquent que certaines opérations doivent être faites en **ligne de commande**, dans un terminal. Voyons donc le minimum vital pour survivre en ligne de commande.

La ligne de commande Bash

Quand on se trouve face à un terminal, on voit ce genre de choses :

On tape ses commandes sur la ligne qui clignote (le **prompt**). Ce **prompt** donne en général quelques informations :

1. Dans l'image, l'utilisateur a pour login *vpage*
2. l'ordinateur sur lequel je travaille s'appelle *braquo*
3. je suis actuellement dans le répertoire */home/vpage/Documents/Cours/Refonte2018*
 . Ce répertoire est appelé **répertoire courant**.

A screenshot of a terminal window titled 'vpage@braquo: ~/Documents/Cours/Refonte2018'. The window has a menu bar with 'Fichier', 'Édition', 'Affichage', 'Rechercher', 'Terminal', and 'Aide'. The terminal shows the following commands and output:

```
vpage@braquo:~$ cd Documents/Cours/  
Old/  
Refonte2018/  
vpage@braquo:~$ cd Documents/Cours/Refonte2018/  
vpage@braquo:~/Documents/Cours/Refonte2018$ ls  
bidon          L1_OptionInfo  L3_IA          M2_TensorFlow  
CoursGit       L2_JeuxVideo   M1_ApprentissageEtOpti  SecondDepot  
Inge1_Algo     L2PCH_Algo     M1EN_Domotique  
L1_ApprofondissementInfo  L3_Graphes     M2_Connectionnisme  
vpage@braquo:~/Documents/Cours/Refonte2018$  
vpage@braquo:~/Documents/Cours/Refonte2018$  
vpage@braquo:~/Documents/Cours/Refonte2018$  
vpage@braquo:~/Documents/Cours/Refonte2018$  
vpage@braquo:~/Documents/Cours/Refonte2018$  
vpage@braquo:~/Documents/Cours/Refonte2018$  
vpage@braquo:~/Documents/Cours/Refonte2018$
```

Figure 6: terminal

Évidemment, si je me déplace dans l'arborescence, le répertoire courant change... Le répertoire courant est le répertoire où je suis actuellement.

Les commandes les plus usuelles

Vite fait, quelques commandes utiles :

- **pwd** (path of working directory) affiche le chemin du répertoire courant)
- **ls** (list) : affiche les répertoires et les fichiers d'un répertoire) On peut ainsi taper :
 - *ls* : cela liste les fichiers du répertoire courant.
 - *ls /home/vpage/* : cela liste les fichiers du répertoire */home/vpage/*
- **cd** (change directory) ; permet de changer de répertoire. On peut ainsi taper :
 - *cd /home/vpage/Document* pour aller dans le répertoire */home/vpage/document*
 - *cd monRepertoire* pour aller dans le sous repertoire *monRepertoire* du répertoire courant.
 - *cd ..* (répertoire parent)
 - *cd ~* (home directory)
- **mkdir** (make directory) : créer un répertoire. la commande *mkdir Truc* va créer un répertoire nommé *Truc* dans le répertoire courant

- **rm** (remove) : effacer des fichiers, des dossiers. On pourra taper les commandes :
 - *rm toto* : pour effacer le fichier *toto* du répertoire courant.
 - *rm -r monRep* : pour effacer le répertoire *monRep* du répertoire courant.
- **cp** (copy) : fait une copie du fichier. par exemple, *cp toto.txt sauvegarde.txt* fait une copie du fichier *toto.txt* du répertoire courant, et la sauve sous le nom *sauvegarde.txt*, toujours dans le répertoire courant.

Pour toutes ces opérations, n'oubliez pas, comme vu en cours, qu'il est souvent inutile de taper le nom complet des commandes, des fichiers ou des répertoires. La touche < TAB > vous permet de demander la **complétion** des noms, ce qui permet de gagner beaucoup de temps (et de ne pas faire d'erreurs).

Les commandes d'administration

Certaines commandes ne peuvent être exécutées que par **root**. C'est par exemple le cas de la commande *raspi-config* qui permet de modifier des paramètres primordiaux du Raspberry Pi.

Dans les distributions Debian, cela se fait de la façon suivante : Si vous êtes un utilisateur de type **administrateur**, au lieu de taper la commande

```
raspi-config
```

vous taperiez

```
sudo raspi-config
```

la commande **sudo** demande ici de lancer la commande *raspi-config* en tant que **root**. Le terminal vous demandera d'entrer votre mot de passe pour s'assurer que c'est bien vous qui faites cette demande.

Editeurs de texte dans le terminal.

On peut aussi, depuis le terminal, lancer des programmes en les appelant par leur nom. Dans un contexte de programmation en python, il nous faudra par exemple lancer

1. un **éditeur de texte** pour écrire notre programme (*toto.py*).
2. l'interpréteur python pour exécuter ce programme.

Il en existe de multiples. En voici trois :

- *vi* : très efficace, mais sa prise en main est délicate.
- *emacs* : pas moins efficace, prise en main un peu plus facile.
- *nano* : basique mais facile d'utilisation.

Si vous débutez, je vous conseille *nano* le temps de vous familiariser avec votre terminal. Vous pourrez toujours vous intéresser à *vi* ou *Emacs* le jour où vous aurez compris ce que cela apporte (en gros, un gain de temps sur toutes vos opérations).

Mettons que je sois dans mon **home directory**, et que je veuille y créer un chemin *M1/Prog/* dans lequel ranger un fichier **blink.py** puis le lancer, voici la liste des commandes :

```
mkdir M1
mkdir M1/Prog
cd M1/Prog
nano blink.py
python blink.py
```

Avec cela, on doit pouvoir survivre pour la suite. Notre objectif étant de nous connecter à un Raspberry Pi via le réseau wifi, je vais devoir vous raconter deux ou trois choses sur les réseaux.

Un peu de réseau.

Comme vous le savez sans doute, les ordinateurs discutent sur le réseau par l'intermédiaire de **cartes réseaux** qui peuvent être filaire ou wifi. Chaque carte est identifiée par un numéro, le **numéro IP**. Mettons que je veuille discuter avec mon Raspberry Pi en wifi, il me faut connaître le numéro IP de sa carte réseau wifi.

Pour cela, je vais taper dans un terminal du Raspberry Pi la commande

```
ifconfig
```

qui me donnera un résultat tel que le suivant (obtenu non pas sur un raspberry mais sur mon pc...)

Dans cette réponse, je vois 4 interface réseaux, nommément : - docker0 - enp2s0 - lo - wlp9s0b1

celle qui commence par w est la carte wifi. son numéro IP est **192.168.1.12**

SSH

Je veux donc me connecter sur le Raspberry Pi depuis un autre ordinateur. Pour cela, je vais utiliser le protocole **SSH** qui va me permettre d'obtenir un terminal ouvert sur le Raspberry Pi.

pour utiliser **SSH**, il vous faut 2 choses : - Un **client ssh** sur mon PC. - Un **serveur ssh** sur le Raspberry pi (qui va accepter la connection)

```
vpape@braquo: ~/Documents/Cours/Refonte2018/M1EN_Domotique/Cours
Fichier Édition Affichage Rechercher Terminal Aide
vpape@braquo:~/Documents/Cours/Refonte2018/M1EN_Domotique/Cours$ ifconfig -a
docker0: flags=4099<UP,BROADCAST,MULTICAST> mtu 1500
    inet 172.17.0.1 netmask 255.255.0.0 broadcast 172.17.255.255
    ether 02:42:f9:36:b1:90 txqueuelen 0 (Ethernet)
    RX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

enp2s0: flags=4099<UP,BROADCAST,MULTICAST> mtu 1500
    ether 60:eb:69:3a:71:60 txqueuelen 1000 (Ethernet)
    RX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0
    device interrupt 16

lo: flags=73<UP,LOOPBACK,RUNNING> mtu 65536
    inet 127.0.0.1 netmask 255.0.0.0
    inet6 ::1 prefixlen 128 scopeid 0x10<host>
    loop txqueuelen 1000 (Boucle locale)
    RX packets 4530 bytes 394663 (394.6 KB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 4530 bytes 394663 (394.6 KB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

wlp9s0b1: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
    inet 192.168.1.12 netmask 255.255.255.0 broadcast 192.168.1.255
    inet6 fe80::4e0f:6eff:fe61:97dc prefixlen 64 scopeid 0x20<link>
    ether 4c:0f:6e:61:97:dc txqueuelen 1000 (Ethernet)
    RX packets 993922 bytes 1376309502 (1.3 GB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 540820 bytes 69526630 (69.5 MB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

vpape@braquo:~/Documents/Cours/Refonte2018/M1EN_Domotique/Cours$
```

Figure 7: ifconfig

Le Raspberry du cours est configuré pour avoir un serveur ssh fonctionnel. (sinon, cela se fait grâce à la commande *raspi-config*)

Mon Pc linux dispose d'un client ssh. Sur une machine windows, on peut utiliser par exemple le logiciel *Putty* qui fournit un client.

Mon objectif étant de me connecter, en tant qu'utilisateur *pi* sur le Raspberry Pi dont j'ai trouvé l'adresse IP tout à l'heure : *192.168.1.12*. La commande sera :

```
ssh pi@192.168.1.12
```

Après avoir entré notre mot de passe, nous disposons d'un terminal, sur le Raspberry Pi permettant de lancer nos programmes qui font clignoter nos LED... ## PWM sur un Raspberry Pi

Raspberry Pi : des broches Numériques.

Au cours du premier cours, nous avons vu comment allumer et éteindre une LED. Il est temps de clarifier un peu les choses pour aller plus loin et voir ce qu'il est possible de faire ou pas avec les Raspberry Pi.

Tout d'abord, je vous avais signalé que les broches du Raspberry peuvent être à l'état HAUT ou Bas. Ce sont des broches **numériques**.

Formalisons un peu cela : le Raspberry est alimenté en 5V. Ses broches fonctionnent en **3.3 V**. L'état HAUT est donc une tension de 3.3V, l'état BAS, une tension de 0V.

Qu'est ce que cela implique ? Il n'y a pas de broche analogique sur un Raspberry Pi. On peut donc lire ou écrire des valeurs 0 ou 1, mais en aucun cas 0.5.

A vrai dire, si on applique 0.2V sur une broche d'entrée, le Raspberry la lira comme un état BAS. Si on applique 2.8V, il lira un état HAUT)

De ce fait, il semble impossible d'allumer une lampe avec une intensité variable sur un Raspberry, la lampe ne pouvant être que Allumée ou Eteinte.

PWM : principe

Pour y arriver néanmoins, on va utiliser une feinte, dite **PWM** pour *Pulse Width Modulation*.

Lorsque l'on fixe l'état HAUT d'une broche, cela signifie que, durant un cycle, de durée spécifique, l'état de la broche est HAUT. Si l'on souhaite envoyer moitié moins de puissance à la broche, on peut simplement mettre cette broche à l'état HAUT durant la moitié du cycle.

Si la durée du cycle est très faible, on ne pourra pas voir que la lampe s'allume puis s'éteint, on ne verra qu'une lampe allumée avec une intensité plus faible.

Dans le cas d'un moteur, même principe permettrait de faire varier la vitesse du moteur...

Voici une image représentant ces cycles, empruntée ici <https://www.mbtechworks.com/projects/raspberry-pi-pwm.html>

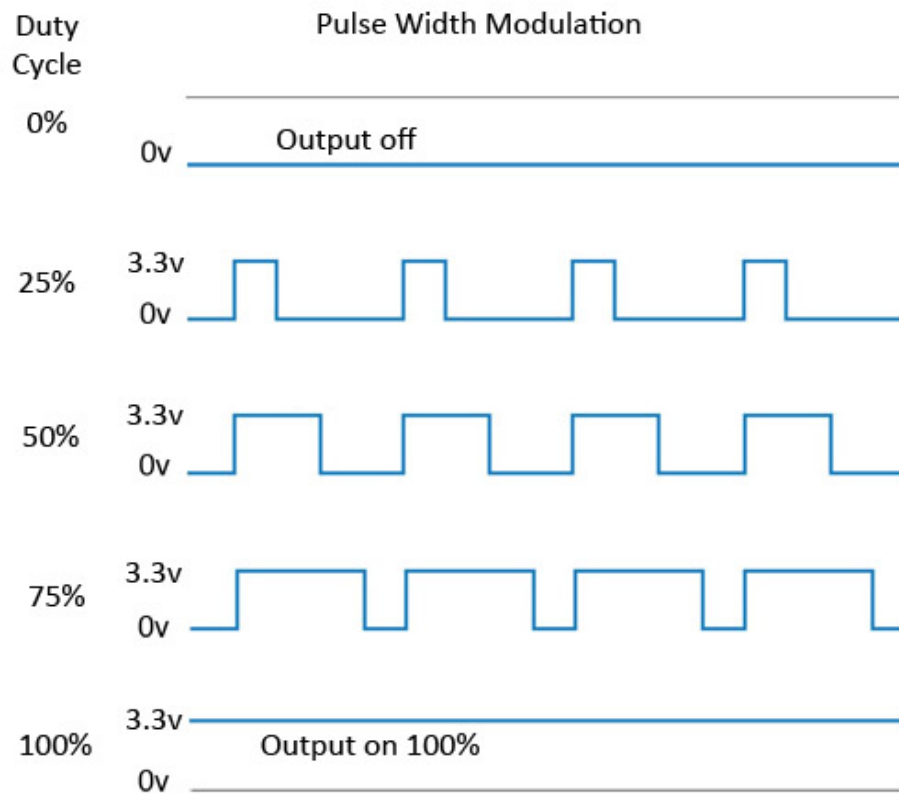


Figure 8: duty cycle

La proportion de temps au cours d'un cycle pendant lequel la broche est allumée est appelée **Duty Cycle**.

PWM : programmes Python

Premier programme

Commençons par allumer une diode avec une valeur de duty cycle fixée par une variable. Le programme commence comme précédemment.

```
import RPi.GPIO as GPIO    # Import the GPIO library.
import time                # Import time library
```

```
GPIO.setmode(GPIO.BOARD)  # Set Pi to use pin number when referencing GPIO pins.
```

```
ledpin = 8
```

```
GPIO.setup(ledpin, GPIO.OUT)  # Set GPIO pin 12 to output mode.
```

Puis, nous demandons un objet PWM pour gérer la broche de la led. Au passage, nous fixons la fréquence des cycles à 100 Hz (donc la durée d'un cycle à 0.01s)

```
freq = 100 # en Hz
```

```
pwm = GPIO.PWM(ledpin, freq)  # Initialize PWM on pumPin 100Hz frequency
```

On fixe ensuite la valeur du duty cycle en fonction des besoins. Cette valeur peut fluctuer entre 0 (HAUT 0% du cycle) et 100 (HAUT 100% du cycle).

```
dc = 50
```

```
pwm.ChangeDutyCycle(dc)
```

Avec ceci, votre diode s'allume moins fortement qu'avec le programme du cours précédent. Le code complet de ce programme est ici : ../Sources/BlinkPwm01.py

En mixant ce principe avec nos compétences de programmation, nous pouvons faire de nombreuses choses.

Demander à l'utilisateur de choisir une intensité

pour cela, il suffit de faire une boucle dans laquelle on demande à l'utilisateur quelle intensité il souhaite, puis de fixer le duty cycle à cette valeur. Tant que l'utilisateur n'aura pas entré de nouvelle valeur, ce duty cycle ne change pas.

```
while True :
    print ("entrez l'intensité souhaitée")
    dc = int (input() )
    pwm.ChangeDutyCycle(dc)
```

Le code complet de ce programme est ici : ../Sources/BlinkPwm02.py

Faire croître l'intensité d'une led

Encore une fois, c'est relativement simple, il faut une variable qui croît à chaque tour de boucle, puis on atteint 0.1 seconde avant de changer la valeur du duty cycle. Si la valeur du Duty cycle passe au dessus de 100, on la contraint à rester à 100.

```
dc = 0
```

```
while True :
```

```

print ("duty cycle",dc)
pwm.ChangeDutyCycle(dc)

dc+= 1

if dc > 100:
    dc = 100

time.sleep(0.1)

```

Le code complet de ce programme est ici : ../Sources/BlinkPwm02.py

la led qui s'allume et s'eteint progressivement

Même principe mais quand le duty cycle arrive a 100, il faut redescendre. Quand il arrivera à 0, il faudra remonter.

Nous avons vu en cours que cela nécessitait une nouvelle variable (ici *step*) qui contienne la direction actuelle (monte ou descend) lorsqu'on arrive a une limite, on inverse la direction.

```

dc = 0
step = +1

while True :
    print ("duty cycle",dc)
    pwm.ChangeDutyCycle(dc)
    dc+= step

    if dc >= 100 or dc <= 0:
        step *= -1

    time.sleep(0.1)

```

Le code complet de ce programme est ici : ../Sources/BlinkPwm02.py

C'est tout pour le cours 2. ## Une application Web minimaliste

Pour aller un peu plus loin, nous souhaiterions contrôler notre led depuis un ordinateur, ou un téléphone portable, par exemple.

Pour cela, le plus simple est de construire une application Web.

Par exemple, le Raspberry Pi pourrait héberger un **serveur WEB**. Ce serveur Web proposera des pages permettant de contrôler le matériel. L'intérêt d'utiliser un serveur Web, est que tous les ordinateurs équipés d'un **navigateur Web** récent pourront agir sur notre raspberry pi. C'est notamment le cas de votre smartphone, de votre pc portable (mac, linux, windows) ou de votre tablette...

Voyons donc brièvement ce qu'il nous faut :

Le serveur web.

Un serveur Web est une application qui écoute le réseau et envoie des pages HTML à qui les demande.

Quand on tape une **URL** telle que *http://monServeur.gp/toto.html*, il se passe pas mal de choses, mais pour simplifier :

1. Le réseau trouve l'adresse IP correspondant à l'adresse *monServeur.gp*
2. le navigateur demande au serveur web hébergé à cette adresse le fichier *toto.html*
3. le serveur envoie le code HTML contenu dans cette page
4. Le navigateur affiche ce code HTML

Le serveur le plus utilisé au monde est, sans conteste, **Apache**. Il est relativement facile d'installer Apache sur un Raspberry.

Une page HTML de base

Pour écrire des sites Web, on écrit dans un langage, **HTML**, qui décrit le contenu de la page à afficher.

Voici une page minimaliste

```
<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
  <meta charset="utf-8">
  <title> Une page de test </title>
</head>

<body>
  Je suis une page Web minimaliste.
</body>
</html>
```

La première ligne signale que l'on ce document est écrit en... HTML (5). Puis, on trouve des **balises**, signalées par des < chevrons >. Ces balises s'ouvrent et se ferment (avec une balise de même nom mais commençant par un /).

La balise < html > signale le début d'une page HTML. Elle est fermée à la fin du document. Toute la page est contenue entre ces deux balises.

On trouve ensuite 2 balises, - **head** qui contient des informations sur la page (son titre, son encodage...) - **body** qui contient ce qui s'affichera réellement dans le navigateur

N'ayant pas pour objectif de vous apprendre à faire des pages Web, mais de vous fournir les notions minimal pour comprendre et faire des choses, cela nous suffira

pour le moment.

Le code complet est ici : `../Sources/minimal.html`

Où placer sa page

Une page HTML peut être ouverte par un navigateur directement comme un fichier. Néanmoins, ce n'est pas ce que nous voulons le plus souvent. Nous voulons que ce soit le serveur Web qui l'envoie. Il faut donc placer cette page parmi les fichiers gérés par le serveur.

Dans notre cas, nous allons placer cette page parmi les pages Utilisateurs (le module *USER_DIR* d'apache). Ce module permet à tous les utilisateurs d'une machine de disposer d'un répertoire dans leur **home directory** pour y placer leurs pages WEB. Ce répertoire est le répertoire *public_html*. Il doit être accessible en lecture.

Dans notre cas, sur le raspberry, l'utilisateur est *pi*. Nous avons donc créé un répertoire */home/pi/public_html* dans lequel nous placerons tous nos fichiers (comme *minimal.html*)

Ce fichier est accessible par l'URL suivante : `http://IPduRaspberryPi/~pi/minimal.html`

Une page HTML programmée

Le problème est que nous voulons faire un programme pour interagir avec le Raspberry Pi. Nos pages ne doivent pas se contenter d'afficher des choses, elles doivent pouvoir déclencher des actions paramétrables.

Pour cela, nous allons utiliser des pages **PHP**. PHP est un langage de programmation qui nous servira surtout à lancer d'autres programmes, donc nous ne verrons encore une fois que peu de choses à son propos.

Reprenons l'exemple d'une **requête** du navigateur, mais portant sur une page php cette fois :

Quand on tape une **URL** telle que `http://monServeur.gp/toto.php`, il se passe encore plus de choses :

1. Le réseau trouve l'adresse IP correspondant à l'adresse *monServeur.gp*
2. le navigateur demande au serveur web hébergé à cette adresse le fichier *toto.php*
3. Le serveur exécute le code contenu dans le fichier *toto.php*
4. l'exécution de ce code génère du code HTML
5. le serveur envoie le code HTML généré
6. Le navigateur affiche ce code HTML

Dans la version proposée ici, le fichier PHP contiendra le même code HTML que précédemment. Lorsque certaines opérations doivent être calculées, on bascule en php avec la balise

```
<?php>
```

qui se ferme avec le code

```
?>
```

Voyons donc le contenu de cette page :

```
<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
    <meta charset="utf-8">
    <title> Une page de test </title>
</head>

<body>
    Je suis une page Web minimaliste.
    <?php
    echo "Avec un programme qui s'exécute sur le SERVEUR";

    $var1 = 12;
    $var2 = 6;

    echo $var1+$var2;
    ?>
</body>
```

Ce code doit être clair si l'on sait que : - les variables commencent par un signe \$ en php. - *echo* est l'équivalent en PHP de *print* en python

Le code complet est ici : ../Sources/minimal.php

Encore une fois, on place ce fichier dans `/home/pi/public_html` et ce fichier est accessible par l'URL suivante : `http://IPduRaspberryPi/~pi/minimal.php`

ATTENTION : sur le Raspberry Pi, il faut veiller à avoir :

1. installé le module PHP pour apache
2. autorisé les USER DIR à utiliser php

Lancement d'un programme Python par le serveur web

Notre serveur web peut exécuter des commandes, par l'intermédiaire de PHP. Nous pourrions donc directement interagir avec les broches du Raspberry Pi en PHP. Mais je considère que Python vous sera plus utile et nous savons déjà faire des choses en Python, donc nous pouvons reformuler :

Nous voudrions donc un faire un programme en PHP qui lance, sur le serveur, un programme Python (qui va gérer la LED)

Imaginons ce programme Python :

```
print ("Je suis le programme python")

print ("je calcule un truc...")
a = 5
b = 8

print (a+b)
```

Le code complet est ici : ../Sources/test.py

Il est possible de le lancer depuis PHP, avec ce code :

```
<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
    <meta charset="utf-8">
    <title> Une page de test </title>
</head>

<body>
<?php

echo "<p>Je suis le script php. j'appelle un script
python et voici ce que celui écrit : </p>";

echo "<hr>";

$command = escapeshellcmd('python3 test.py');
$output = shell_exec($command);
echo "<p>";
echo $output;
echo "</p>";
?>
</body>
</html>
```

Le code complet est ici : ../Sources/phpLaunchPython.php

Encore une fois, on place ce fichier dans */home/pi/public_html* et ce fichier est accessible par l'URL suivante : *http://IPduRaspberryPi/~pi/phpLaunchPython.php*
Application à la gestion des LED

Allumage d'une Led pendant 1s

En remplaçant le programme *test.py* par un programme qui allume une led pendant une seconde, nous devrions avoir notre première gestion de matériel depuis un site web.

Voici un programme python qui allume une LED pendant une seconde :

```
import RPi.GPIO as GPIO    # Import Raspberry Pi GPIO library
import time                # Import the time module for the sleep function

GPIO.setmode(GPIO.BOARD)   # Use physical pin numbering
GPIO.setup(8, GPIO.OUT, initial=GPIO.LOW) # Set pin 8 to be an output pin and set initial

GPIO.output(8, GPIO.HIGH) # Turn on
time.sleep(1)              # Sleep for 1 second

GPIO.output(8, GPIO.LOW)   # Turn off

GPIO.cleanup()             # clean up GPIO on CTRL+C exit
```

Le code complet est ici : ../Sources/turnOn1s.py.

On appelle ce programme depuis une page php dont voici le code :

```
<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
    <meta charset="utf-8">
    <title> Une page de test </title>
</head>

<body>
<?php

echo "<p>Je suis le script php. j'appelle un script
python et voici ce que celui écrit : </p>";

echo "<hr>";

$command = escapeshellcmd('python3 turnOn1s.py');
$output = shell_exec($command);
echo "<p>";
echo $output;
echo "</p>";
?>
</body>
```

Le code complet est ici : `../Sources/startLed.php`

Encore une fois, on place ce fichier dans `/home/pi/public_html` et ce fichier est accessible par l'URL suivante : `http://IPduRaspberryPi/~pi/StartLed.php`

Et cela doit allumer la LED ! **Mais en fait non...**

Quelques problèmes rencontrés. En fait, nous avons eu plusieurs problèmes à régler.

Problèmes de permissions

Quand un navigateur demande une page *PHP* au serveur web du Raspberry Pi, c'est bien le serveur (apache) qui exécute le code PHP sur le Raspberry Pi. Dans le monde Linux, ce serveur est un utilisateur spécifique. Dans le cas de la Raspbian, cet utilisateur s'appelle *www-data*. Cet utilisateur a le droit de faire des choses, mais pas d'autres.

Droits d'accès aux fichiers php et python

Par exemple, le serveur ne peut pas fouiller dans tous les fichiers sauf si vous lui donnez explicitement l'autorisation de le faire).

Notez que le code du programme *startLed.php* a été créé par un autre utilisateur (*pi*) et est stocké dans le répertoire de celui-ci. Il faut donc s'assurer que

1. *www-data* a le droit de traverser le répertoire `/home/pi` (pour accéder à `/home/pi/public_html`)
2. *www-data* a le droit de traverser `~/public_html` pour accéder au fichier *startLed.php*
3. *www-data* a le droit de lire le fichier *startLed.php*
4. *www-data* a le droit de lire le fichier *turnOn1s.py*

il suffit de lancer la commande

```
ls -alh ~/public_html
```

Vous devriez voir quelque chose comme ceci (je dois ajouter l'image, je n'ai pas mon pc avec moi) dans lequel on peut observer :

1. que tous les utilisateurs peuvent traverser `/home/pi` (c'est le répertoire ..)
2. que tous les utilisateurs peuvent traverser `~/public_html` (c'est le répertoire .)
3. que tous les utilisateurs peuvent lire le fichier *startLed.php*
4. que tous les utilisateurs peuvent lire le fichier *turnOn1s.py*

Dans le cas du cours, ceci n'était pas le problème.

Droits d'accès aux GPIO

Par défaut, tous les utilisateurs n'ont pas le droit d'accès aux GPIO (les broches du Raspberry). Il faut donc autoriser l'utilisateur *www-data* à pouvoir manipuler ces broches.

Pour cela, linux utilise la notion de **groupes d'utilisateurs**. Le groupe *gpio* à le droit d'utiliser les GPIO. Il nous faut donc intégrer *www-data* au groupe *gpio*. Ceci se fait avec cette commande.

```
sudo usermod -a -G gpio www-data
```

on peut vérifier les groupes de l'utilisateur *www-data* en tapant

```
groups www-data
```

Enfin, il peut falloir redémarrer le serveur apache.

```
sudo /etc/init.d/apache2 restart
```

Des problèmes d'accents

Pour une raison pas très claire, il est apparu que le python, lancé par *www-data* avait des soucis avec les accents dans le code (même dans les commentaires) En première solution, j'ai supprimé les accents dans le code

Rendons cela plus propre.

Pour une application de domotique, il faudra sans doute des boutons de réglages, puis un bouton sur lequel cliquer pour envoyer les commandes. Tout ceci est fait en **HTML** avec des formulaires.

Notre premier formulaire ne comportera qu'un bouton permettant de lancer la commande.

on ajouterait dans une page HTML les lignes suivantes

```
<form action="traitement.php" method="post">
  <button type="submit">Envoyer le message</button>
</form>
```

Ceci crée un formulaire qui va appeler le fichier *traitement.php* lorsque l'on clique sur le bouton. Comme lorsque l'on clique, je veux en fait appeler le fichier PHP qui lance le programme python qui allume la led, je modifie un peu ce code en

```
<form action="startLed.php" method="post">
  <button type="submit">Envoyer le message</button>
</form>
```

Voici le code complet de la page ../Sources/startForm.php

```
<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
  <meta charset="utf-8">
  <title> Une page de test </title>
</head>
```

```

<body>
  <form action="startLed.php" method="post">
    <button type="submit" id="submit" name="submit">Envoyer le message</button>
  </form>
</body>
</html>

```

Rendons cela plus encore propre.

c'est un peu dommage que lorsque l'on clique sur le bouton, on parte sur une nouvelle page. Nous allons donc modifier un peu le code pour rester toujours sur la même page. Notre formulaire va tenir dans la page *startForm2.php* et son traitement sera fait aussi par le fichier *startForm2.php*. Pour cela, on modifie un peu le code précédent

```
<form action="startForm.php" method="post">
```

Puis, il faut distinguer deux cas : 1. l'utilisateur arrive sur la page sans cliquer (on lui affiche juste le formulaire) 2. l'utilisateur arrive sur la page parcequ'il a cliqué : on lui affiche le formulaire ET on allume la LED.

Pour faire cela, il vous faut quelques explications sur \$ __POST
.Cettestvariablecontientlesdonnéesenvoyéesparleformulaire.Ceformulairenecontientqu'unedonnée,associéeausubmit.Ladonnéeassociéeauboutonsubmitestcontenue dans*_POST["submit"]**

- Si on arrive sur la page sans cliquer, cette variable est non définie.
- Si on arrive sur la page en ayant cliqué, cette variable est la chaîne de caractères vide.

On peut donc écrire facilement le code suivant :

```

<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
  <meta charset="utf-8">
  <title> Une page de test </title>
</head>

<body>
  <form action="startForm2.php" method="post">
    <button type="submit" id="submit" name="submit">Allumer</button>
  </form>

  <?php
  if (isset($_POST["submit"])){
    $command = escapeshellcmd('python3 turnOn1s.py');
    $output = shell_exec($command);

```

```
}  
?>  
</body>  
</html>
```

Voici le code complet de la page ../Sources/startForm2.php

Rendons cela joli !

On fera des CSS pour améliorer l'aspect visuel. Mais je n'ai pas eu le temps.
Amélioration de la gestion des LED

Introduction

Ici, nous voulons que l'on puisse, par exemple, faire clignoter une diode avec une fréquence définie.

Le problème est le suivant : Nos programmes précédents allumaient la diode une seconde puis s'arrêtaient.

Ici, le programme python qui pilote la diode doit : - tourner en permanence (et faire clignoter) - écouter le serveur web à l'écoute d'une nouvelle consigne.

Notre programme python va donc se comporter comme un **serveur** (un logiciel qui tourne en permanence). Ce serveur sera le programme *serverLed.py*

Il faudra que le serveur web **contacte** le serveur en tant que **client** pour envoyer ses consignes.

Pour rester le plus possible en Python, le nouveau mécanisme va être le suivant : quand on clique sur le bouton : 1. on appelle le formulaire *useLed.php*. 2. celui ci lance un programme python : *clientLed.py* 3. *clientLed.py* contacte *serverLed.py* pour lui donner ses consignes 4. *serverLed.py* actualise le comportement de la LED.

De fait, le programme *useLed.php* pourrait directement contacter le programme *serverLed.py* mais j'ai souhaité que PHP ne fasse que lancer du python.

Ceci nécessite deux ou trois nouvelles petites choses, telles que des **sockets** et des **threads**... Mais avant cela, préparons le fichier Php

Code PHP

Reprenons le code précédent vu auparavant, que l'on adapte puisque son nom est *useLed.php* et qu'il appelle le fichier python *clientLed.py*. J'ai également ajouté un titre de niveau 1 dans la page page (Gestion de Led)

```

<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
    <meta charset="utf-8">
    <title> Une page de test </title>
</head>

<body>
    <h1> Gestion de LED </h1>
    <form action="useLed.php" method="post">
        <button type="submit" id="submit" name="submit">Allumer</button>
    </form>

    <?php
    if (isset($_POST["submit"])){
        $command = escapeshellcmd('python3 clientLed.py');
        $output = shell_exec($command);

        echo "<p>";
        echo $output;
        echo "</p>";
    }
    ?>
</body>
</html>

```

Ajoutons dans le formulaire un champ pour la fréquence :

- On ajoute un paragraphe pour bien séparer les champs. Ceci grâce à la balise `<p>`,
- on ajoute un label pour écrire “Fréquence” devant le champ.
- on ajoute le champ *freq* pour que l'utilisateur puisse entrer un nombre.

Voici le code du formulaire, qui remplace l'ancien :

```

<form action="useLed.php" method="post">

    <p>
        <label for="freq">Fréquence</label>
        <input type="number" name="freq" id="freq" />
    </p>
    <button type="submit" id="submit" name="submit">Cliqueter</button>

</form>

```

On vérifie que l'affichage fonctionne :

Ajoutons que le script Php doit récupérer la valeur de la fréquence qu'il reçoit du formulaire, et la transmettre au programme python qu'il lance.

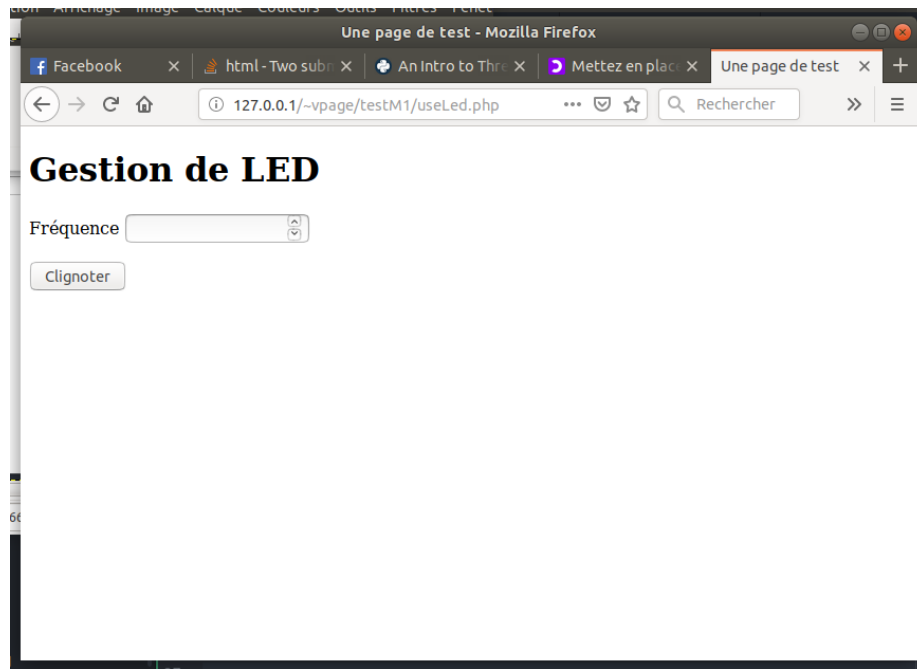


Figure 9: gestion Led 1

Pour récupérer cette valeur, on regarde dans `*$_POST*`

```
$frequence = $_POST["submit"]
```

Pour transmettre cela au programme python qu'on lance, il faut que la commande devienne :

```
python3 clientLed.py $frequence
```

je vais changer les simples guillemets du programme précédent par des doubles, ce qui va permettre a PHP de remplacer *\$frequence* par sa valeur

```
<?php
```

```
if (isset($_POST["submit"])){
    $frequence = $_POST["submit"];

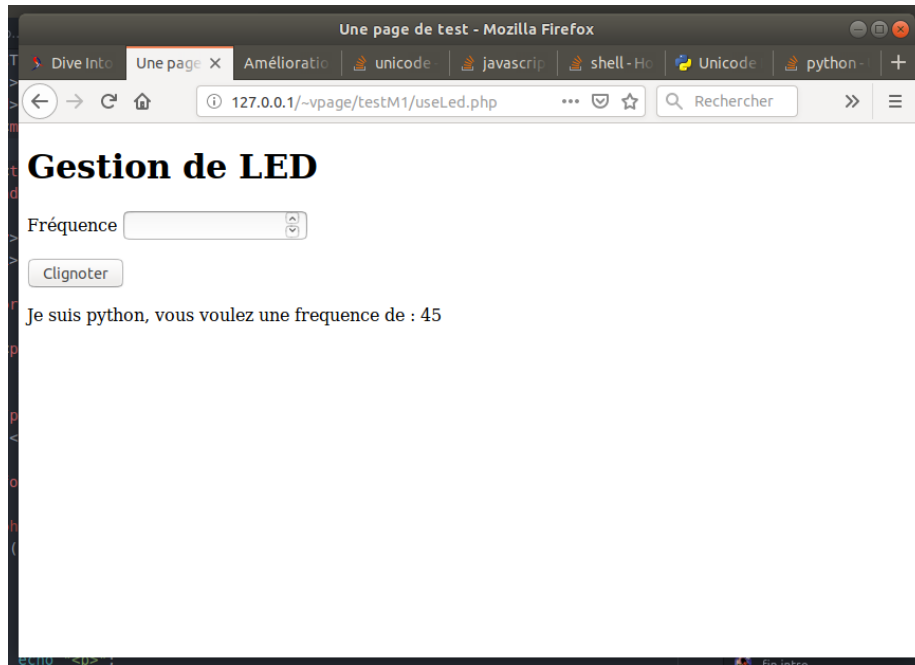
    $command = escapeshellcmd("python3 clientLed.py $frequence");
    $output = shell_exec($command);
```

Pour vérifier, on va faire un programme python *clientLed.py* tout bête qui affiche la valeur du paramètre avec lequel il est lancé.

```
import sys
```

```
freq = sys.argv[1]
print ("Je suis python, vous voulez une fréquence de :", freq)
```

Ceci nous permettra d'avoir ce type de choses :



Un peu de style.

Rendons ceci plus joli : on va utiliser les Feuilles de styles (CSS) pour améliorer visuellement notre formulaire. C'est une bonne habitude de mettre les instructions de style dans un fichier séparé du code HTML. Ce fichier s'appellera ici *styleM1.css*

Commençons par dire, dans le fichier PHP, que le navigateur doit récupérer ce fichier pour la mise en page. Ceci se fait dans la balise *head*, en ajoutant la ligne suivante :

```
<link rel="stylesheet" href="styleM1.css" />
```

Je n'ai pas l'intention ici de faire un cours complet sur les CSS (c'est long), juste de vous en apprendre quelques notions. Dans un fichier css, on veut définir des **instructions de style** appliquer à certains **éléments** de la page HTML.

Les éléments sont choisis avec un **sélecteur**, comme par exemple le nom d'une balise. Puis on définit la **valeur** d'une **propriété** pour ce sélecteur.

Par exemple : Si je veux mettre un fond noir sur toute ma page, je dois sélectionner la balise *body*, et donner à la propriété *background-color* la valeur *black* (ou *#000000*). Dans mon CSS, j'écirais :

```
body
{
    background-color: black; /* Le fond de la page sera noir */
}
```

En bricolant un peu (et en repompant des styles sur le net), on arrive à ceci :

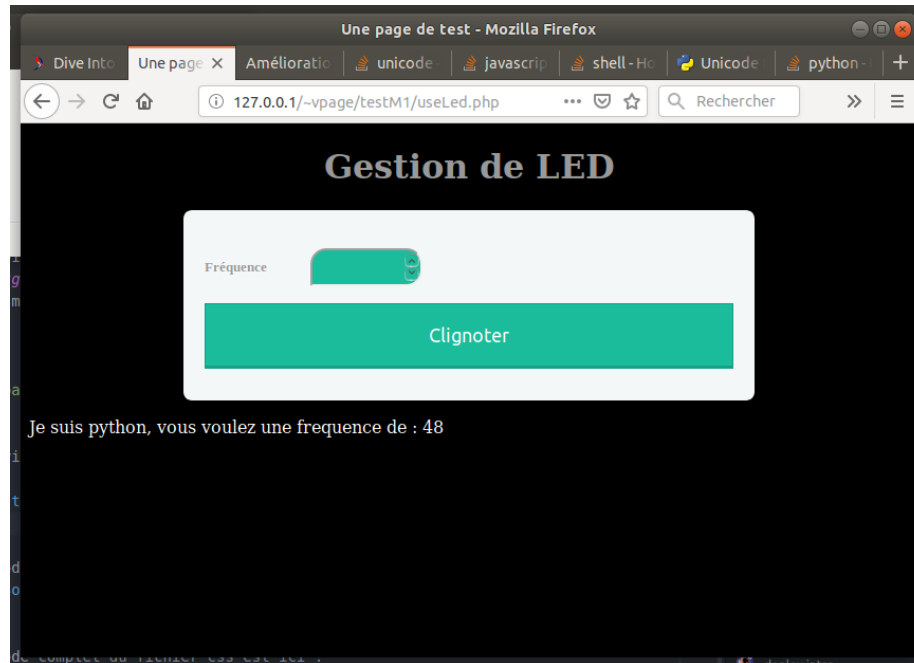


Figure 10: gestion Led CSS

Le code complet du fichier PHP est ici : ../Sources/useLed.php

Le code complet du fichier css est ici : ../Sources/styleM1.css ### Clignotement.

Oublions un instant le serveur web et voyons comment faire clignoter proprement. Comme je n'ai pas de Raspberry sous la main, je vais simuler avec un programme qui affiche des choses.

L'idée du clignotement est la suivante :

```
import time

clignote = True
while clignote:
    print ("allume")
    time.sleep(1)
    print ("eteint")
    time.sleep(1)
```

Si l'on veut prendre en compte une valeur passée de fréquence, cela deviendrait :

```
import time

freq = 1 # en Hz
t = 1/freq

clignote = True

while clignote:
    print ("allume")
    time.sleep(t/2)
    print ("eteint")
    time.sleep(t/2)
```

Disons que l'on veuille changer la fréquence quand l'utilisateur tape une nouvelle valeur au clavier... cette partie du code serait :

```
print("Entrez la fréquence")
freq = float(input());
```

Le problème est que je ne peux pas intégrer ces lignes dans la boucle : l'attente de l'utilisateur bloque le clignotement. Inversement, les *sleep* du clignotement pourraient empêcher la réception des arrivées de demande de changement de fréquence (pas dans le cas du clavier, mais si cela venait du réseau, oui)

Le code qui suit **ne permet donc pas** de clignoter :

```
import time

freq = 1 # en Hz
t = 1/freq

clignote = True

while clignote:
    print ("allume")
    time.sleep(t/2)
    print ("eteint")
    time.sleep(t/2)

    print("Entrez la fréquence")
    freq = float(input());
```

Notre programme doit donc avoir deux parties : - une qui clignote - une qui attend.

Pour cela, nous allons utiliser des **Threads**

Les Threads

Bon, on va dire que ce sont presque des processus qui s'exécutent parallèlement dans un programme.

Commençons par créer une fonction qui clignote. Cette fonction utilise les **variables globales** suivantes : - `clignote` (boolean) - `freq` (un float)

```
def clignoter():
    while clignote:
        t = 1/freq
        print ("allume")
        time.sleep(t/2)
        print ("eteint")
        time.sleep(t/2)
```

Mon programme principal va alors créer un thread qui exécute cette fonction *clignoter*. Le programme principal reste donc libre de faire autre chose...

On définit le thread à créer comme suit :

```
monThread = threading.Thread(target=clignoter)
```

On le lance comme cela.

```
monThread.start()
```

Voici donc un premier programme complet, qui clignote, tout en affichant d'autres choses.

```
# -*- coding: utf-8 -*-
import time
import threading

def clignoter():
    while clignote:
        t = 1/freq
        print ("allume")
        time.sleep(t/2)
        print ("eteint")
        time.sleep(t/2)

freq = 0.5 # en Hz
clignote = True

monThread = threading.Thread(target=clignoter)
monThread.start()

while True:
```

```

    print("pg principal")
    time.sleep(2)

```

Ne lancez pas ce programme, vous auriez du mal à arrêter le thread... Ajoutons donc quelques lignes pour que tout s'arrête proprement si on appuie sur CTRL + C... Il suffit que si le programme principal s'arrête, la variable *clignote* passe à *False*. Ainsi, la boucle du thread s'arrêtera et le thread se terminera avec la fonction *clignoter*.

Voici le code du programme principal seul :

```

freq = 0.5 # en Hz
clignote = True

try:

    monThread = threading.Thread(target=clignoter)
    monThread.start()

    while True:
        print("pg principal")
        time.sleep(2)

except (KeyboardInterrupt, SystemExit):
    clignote = False

```

Il ne reste plus qu'à prendre en compte les choix de l'utilisateur, c'est facile. Voici le code du programme complet :

```

# -*- coding: utf-8 -*-
import time
import threading

def clignoter():
    while clignote:
        t = 1/freq
        print ("allume")
        time.sleep(t/2)
        print ("eteint")
        time.sleep(t/2)

    print("j'arrete de clignoter")

freq = 0.5 # en Hz
clignote = True

try:

```

```

monThread = threading.Thread(target=clignoter)
monThread.start()

while True:
    print("pg principal")
    print ("entrez la frequence souhaitee")
    freq = float(input())

except (KeyboardInterrupt, SystemExit):
    clignote = False
    print ("je sors du programme principal")

```

Modification pour intégrer les Leds

On transforme ceci un petit peu... Il suffit d'injecter le code de clignement des leds dans notre fonction. On pourrait faire ceci :

```

def clignoter():
    broche = 8
    GPIO.setmode(GPIO.BOARD)
    GPIO.setup(broche, GPIO.OUT, initial=GPIO.LOW)

    while clignote:
        t = 1/freq

        GPIO.output(broche, GPIO.HIGH) # Turn on
        time.sleep(t/2)

        GPIO.output(broche, GPIO.LOW)  # Turn off
        time.sleep(t/2)

    print("j'arrete de clignoter")

```

Une remarque néanmoins : Je souhaite que le numéro de broche soit choisi par le programme principal (car potentiellement, je voudrais en faire clignoter plusieurs en meme temps).

C'est aussi le programme principal qui définira que cette broche est une broche de sortie.

Je pourrais faire de broche une variable globale mais c'est moche (et rendrait difficile d'en faire clignoter plusieurs en meme temps)

Je vais donc passer ce numéro de broche à ma fonction clignoter, qui devient :

```

def clignoter(broche):
    GPIO.setmode(GPIO.BOARD)
    GPIO.setup(broche, GPIO.OUT, initial=GPIO.LOW)

```

```

while clignote:
    t = 1/freq

    GPIO.output(broche, GPIO.HIGH) # Turn on
    time.sleep(t/2)

    GPIO.output(broche, GPIO.LOW) # Turn off
    time.sleep(t/2)

print("j'arrete de clignoter")

```

Il s'agit maintenant, pour le programme principal, de creer un thread qui execute la fonction *clignoter* en lui passant le numéro de broche comme argument. Dans mon programme principal, je vais donc trouver ceci :

```

ledpin = 8
GPIO.setmode(GPIO.BOARD) # Use physical pin numbering
GPIO.setup(ledpin, GPIO.OUT, initial=GPIO.LOW)

try:

    monThread = threading.Thread(target=clignoter, args=(ledpin,))
    monThread.start()

```

Au final, voici le code complet :

```

# -*- coding: utf-8 -*-
import time
import threading
import RPi.GPIO as GPIO # Import Raspberry Pi GPIO library

def clignoter(broche):

    while clignote:
        t = 1/freq

        GPIO.output(broche, GPIO.HIGH) # Turn on
        time.sleep(t/2)

        GPIO.output(broche, GPIO.LOW) # Turn off
        time.sleep(t/2)

    print("j'arrete de clignoter")

freq = 0.5 # en Hz
clignote = True

```



```

ledpin = 8
GPIO.setmode(GPIO.BOARD)                                # Use physical pin numbering
GPIO.setup(ledpin, GPIO.OUT, initial=GPIO.LOW)

try:

    monThread = threading.Thread(target=clignoter, args=(ledpin,))
    monThread.start()

    while True:
        print("pg principal")
        print ("entrez la frequence souhaitee")
        freq = float(input())

except (KeyboardInterrupt, SystemExit):
    clignote = False

```

Le code complet du fichier PHP est ici : ../Sources/blinkLedThread.py

Les Sockets

Principes : IP et ports

Ce que nous avons fait auparavant est une partie du programme *serverLed.py* qui gère la led. Il s'agit maintenant pour un autre programme (*clientLed.py*) de signaler au programme *serverLed* qu'il faut qu'il change la fréquence.

Pour établir une communication entre deux programmes, nous pouvons utiliser les **sockets** qui sont un moyen assez général de communiquer pour deux programmes, le plus souvent à travers le réseau.

Un programme qui tourne sur une machine, peut écouter les requêtes du réseau en utilisant une interface réseau de cette machine (une carte réseau). Comme plusieurs applications peuvent avoir besoin du réseau en même temps, les communications seront associées à un numéro de port permettant de les trier.

Ainsi, la destination d'une communication est caractérisée par deux nombres : - Le numéro IP de la machine hôte (d'une de ses interfaces réseau) - Le numéro de port associé à l'application.

Un certain nombre de numéro de ports ont une application associée par défaut. Par exemple, si je contacte : - la machine 192.168.1.17 sur le port 80, c'est son serveur web qui répondra (sans doute) - la machine 192.168.1.17 sur le port 22, c'est son serveur ssh qui répondra (sans doute) - la machine 192.168.1.17 sur le port 443, c'est son serveur web qui répondra en connexion sécurisée, https. (sans doute)

Le numéro de port est compris entre 0 et 65535 (il y en a donc un certain nombre !) et les numéros entre 0 et 1023 sont réservés par le système. On peut les utiliser, mais ce n'est pas une très bonne idée.

premier serveur

Notre programme *serverLed.py* doit donc réquisitionner un port réseau de la machine sur laquelle il tourne. J'ai choisi le port 10000.

Notre programme *serverLed.py* devra donc faire les choses suivantes.

Pour importer les modules utiles :

```
import socket
import sys
```

Pour créer un objet *sock* gérant les connections

```
# Create a TCP/IP socket
sock = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)
```

Pour attacher cette socket à un port :

```
# Bind the socket to the port
server_address = ('', 10000)
print ('je démarre sur : ',server_address)
sock.bind(server_address)
```

Puis on dit au serveur de commencer à écouter (une seule connection pour simplifier) :

```
# Listen for incoming connections
sock.listen(1)
print ("waiting")
```

On va le mettre en attente d'une connection, ce qui va bloquer le programme jusqu'à ce que quelqu'un se connecte :

```
print 'waiting for a connection'
connection, client_address = sock.accept()
```

Si l'on passe cette ligne, on dispose d'une *connection* vers le client, dont l'adresse est indiquée dans *client_adress*. Cette connection va nous permettre d'envoyer (*send*) et de recevoir (*recv*) des informations.

Dans notre cas, pour simplifier, on va recevoir un paquet de données en provenance du client (de longueur max 256), transformée en chaîne de caractère de type utf8...

```
data = connection.recv(256).decode("Utf8")
print ('received ', data)
```

Enfin, on pourra fermer la connection :

```
connection.close()
```

Voici donc le code de notre premier serveur :

```
import socket
import sys

# Create a TCP/IP socket
sock = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)

# Bind the socket to the port
server_address = ('', 10000)
print ('starting up on',server_address)
sock.bind(server_address)

# Listen for incoming connections
sock.listen(1)
print ("waiting")

print ('waiting for a connection')
connection, client_address = sock.accept()

print ('connection from', client_address)

data = connection.recv(256)
print ('received ',data)

connection.close()
```

Le code complet du serveur python est ici : ../Sources/server1.py

premier client

Le client doit lui aussi créer une socket,

```
import socket
import sys

# Create a TCP/IP socket
sock = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)

Puis, il connecte sa socket au serveur

# Connect the socket to the port where the server is listening
server_address = ('localhost', 10000)
```

```
print ('connecting to', server_address)
sock.connect(server_address)
```

Puis il peut envoyer des informations au serveur (ou en recevoir)

```
message = 'hey, je parle dans une socket.'
print ('sending ' message)

sock.sendall(message)
```

Enfin, quand il a fini, il ferme la connection

```
print ('closing socket')
sock.close()
```

Soit le programme complet suivant :

```
import socket
import sys

# Create a TCP/IP socket
sock = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)

# Connect the socket to the port where the server is listening
server_address = ('localhost', 10000)
print ('connecting to', server_address)
sock.connect(server_address)

message = '99'
print ('sending ' message)
sock.sendall(message)

print ('closing socket')
sock.close()
```

Le code complet du client python est ici : ../Sources/client1.py

tests et améliorations

Le problème est que notre serveur s'arrête dès la fin de la première connection. On voudrait que lorsqu'une connection se termine, il se remette en attente d'une nouvelle...

Le code deviendrait :

```
import socket
import sys

# Create a TCP/IP socket
sock = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)
```

```

# Bind the socket to the port
server_address = ('127.0.0.1', 10000)
print ('starting up on',server_address)
sock.bind(server_address)

# Listen for incoming connections
sock.listen(1)
print ("waiting")

while True:
    print ('waiting for a connection')
    connection, client_address = sock.accept()

    print ('connection from', client_address)

    data = connection.recv(256)
    print ('received ',data)

    connection.close()

```

Le code complet du serveur python est ici : ../Sources/server2.py

Client : envoi du message de gestion de LED

Notre client est simple : On le lance avec une ligne comme

```
python3 clientLed.py 3
```

qui indique la fréquence à laquelle faire clignoter la led. Et il doit envoyer le message "clignote 3" au serveur.

Le code est le suivant :

```

import socket
import sys

freq = sys.argv[1] # pour recuperer l'argument de frequence'

# Create a TCP/IP socket
sock = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)

# Connect the socket to the port where the server is listening
server_address = ("127.0.0.1", 10000)
print ('connecting to port ', server_address)
sock.connect(server_address)

```

```

# Ici, j'ai ajoute un block try catch pour capter les problemes.
try:

    # Send data
    message = "clignote "+str(freq)
    print ('sending ', message)
    sock.sendall(message.encode("Utf8"))

except Exception as ex:
    print (ex)

finally:
    print ('closing socket')
    sock.close()

```

Le code complet du client python est ici : ../Sources/clientLed.py

Serveur : Ajoutons de quoi gérer la LED

Je ne fais ici que mixer la partie Socket avec la partie Threads vue auparavant.

La seule nouveauté consistera à éclater le message reçu (par exemple, "clignote 3" en deux parties : - la chaîne "clignote" qui est un ordre - la fréquence 3 qui doit être convertie en float.

Ce découpage de chaîne de caractère sera fait par la fonction *split*. On aura donc quelque chose comme :

```

data = connection.recv(256).decode("Utf8")

dataSplit = data.split()
ordre = dataSplit[0]
freq = float(dataSplit[1]) # en Hz

```

Voici le code complet du serveur :

```

import socket
import sys

import time
import threading
import RPi.GPIO as GPIO    # Import Raspberry Pi GPIO library

def clignoter(broche):

    while clignote:

```

```

    t = 1/freq

    GPIO.output(broche, GPIO.HIGH) # Turn on
    time.sleep(t/2)

    GPIO.output(broche, GPIO.LOW) # Turn off
    time.sleep(t/2)

    print("j'arrete de clignoter")

ledpin = 8
GPIO.setmode(GPIO.BOARD) # Use physical pin numbering
GPIO.setup(ledpin, GPIO.OUT, initial=GPIO.LOW)
clignote = False

# Create a TCP/IP socket
sock = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)

# Bind the socket to the port
server_address = ("127.0.0.1", 10000)
print ('starting up on port',server_address)
sock.bind(server_address)

# Listen for incoming connections
sock.listen(1)
print ("waiting")

while True:
    print ('waiting for a connection')
    connection, client_address = sock.accept()

    try:
        print ('connection from', client_address)

        data = connection.recv(256).decode("Utf8")
        print ('received ', data)

        dataSplit = data.split()
        ordre = dataSplit[0]
        print(ordre)
        freq = float(dataSplit[1]) # en Hz
        print ("frequence", freq)

        if clignote == False :
            clignote = True

```

```

        monThread = threading.Thread(target=clignoter, args=(ledpin,))
        monThread.start()

except Exception as ex:
    print (ex)
    clignote = False
    GPIO.cleanup()          # clean up GPIO on CTRL+C exit

finally:

    # Clean up the connection
    connection.close()

```

Le code complet du serveur python est ici : ../Sources/serverLed.py

Ajoutons un moyen d'éteindre la led

Il suffit d'ajouter un ordre possible au client... L'ordre d'extinction. Lorsque le serveur reçoit cet ordre, il éteint la LED.

Il va falloir aussi modifier la page PHP pour permettre d'envoyer l'ordre. Ceci peut être fait en ajoutant un autre bouton submit au formulaire. On aura - un bouton de type submit, nommé "clignote" qui devra déclencher le clignotement - un bouton de type submit, nommé "eteindre" qui devra déclencher l'extinction

Voici le nouveau formulaire :

```

<form action="useLed.php" method="post">

    <p>
        <label for="freq">Fréquence</label>
        <input type="number" name="freq" id="freq" />
    </p>
    <button type="submit" id="clignote" name="clignote">Clignoter</button>
    <button type="submit" id="eteindre" name="eteindre">Eteindre</button>

</form>

```

Ensuite, si l'utilisateur a cliqué sur "Clignote" le script php va lancer la commande
python3 clientLed2.py clignote \$frequence

Si l'utilisateur a cliqué sur "Eteindre", le script php va lancer
python3 clientLed2.py eteindre

Pour cela, le code php est maintenant :

```

<?php
    if (isset($_POST["clignote"]) || isset($_POST["eteindre"])){

```



```

        if (isset($_POST["clignote"])){
            $frequence = $_POST["freq"];
            $command = escapeshellcmd("python3 clientLed2.py clignote $frequence");
            $output = shell_exec($command);
        }
        else {
            $command = escapeshellcmd("python3 clientLed2.py eteind");
        }

        echo "<p>";
        echo "commande envoyee :";
        echo $command;

        $output = shell_exec($command);
        echo $output;
        echo "</p>";
    }
?>

```

Le client python doit simplement relayer la commande au serveur. Son code n'a pas changé

Le serveur python à un peu changé dans la gestion de la commande reçue. Lors de la réception de la commande du client, voici le code :

```

data = connection.recv(256).decode("Utf8")
print ('received ', data)

dataSplit = data.split()
ordre = dataSplit[0]
print(ordre)
if ordre == "clignote":
    print ("demande de clignotement")
    freq = float(dataSplit[1]) # en Hz
    print ("frequence", freq)

    if clignote == False :
        clignote = True

        monThread = threading.Thread(target=clignoter, args=(ledpin,))
        monThread.start()
else :
    print ("demande d'extinction")
    clignote = False
    GPIO.output(ledpin, GPIO.LOW) # Turn off

```

Tout ceci se comprend plus ou moins aisément...

Le code complet du script php est ici : ../Sources/useLed2.php

Le code complet du client python est ici : ../Sources/clientLed.py

Le code complet du serveur python est ici : ../Sources/serverLed.py

Définitions et formalisation

Protocole

Nous avons en fait défini un protocole. . .

un serveur de gestion de LED distant

Nous allons simplement déporter le serveur de LED sur un autre Raspberry. L'avantage d'avoir utilisé des sockets pour communiquer est que nous pouvons contacter une machine distante sans changer grand choses à nos programmes. ## Quelques liens externes concernant python.

Le problème quand on enseigne l'informatique (ou quoi que ce soit d'autre), est d'adapter son discours à son public. Ce que je propose dans ce cours est un kit de survie pour l'algorithmique et la programmation utile pour tout ingénieur.

J'y fais d'énormes raccourcis. Si vous souhaitez aller un peu plus loin voici quelques liens que j'ai glané sur internet.

Un tutoriel pour se former :

Si vous souhaitez des informations plus détaillées, d'autres exemples, des exercices à faire, voici un tutoriel Je vous conseille de faire tout le début, vous pourrez vous arrêter quand vous voudrez.

Le tutoriel officiel :

Vous voulez quelque chose de plus rigoureux, toujours sous forme de tutoriel ? Voici un autre tutoriel Il est bien aussi, mais il suppose souvent que vous travaillez sous Linux et/ou que vous ayez quelques bases en informatique. . .

Un cours :

Vous souhaitez un gros pdf avec tout ce qu'on peut vouloir savoir sur python ? Voici un gros cours J'aurais tendance à louer son côté très complet, tout en lui reprochant de ne pas être . . . synthétique. . .

Autres ressources

Si vous trouvez d'autres ressources utiles, n'hésitez pas à m'en faire part, je pourrais les ajouter. . .