Objets connectés

Les objets connectés, des robots dans nos maisons (http://lienmini.fr/3389-701) ?

L'impact de la robotisation dans les magasins (http://lienmini.fr/3389-707)

Question déclencheante : " *Si on dispose d'un employé et d'un robot. Faut il confier une tâche répétitive et fastidieuse à l'un ou à l'autre pour qu'elle soit correctement réalisée ?* "

Nous allons parler d'un certain type de robot appelés : les systèmes embarqués. Les connaissances de technologies sur la fabrication de robots est un prérequis pour comprendre ce cours.

Comment utiliser un microcontrôleur pour automatiser une tâche de caractérisation ? Dans le cas d'une série de résistors, cette tâche est particulièrement fastidieuse et il sera impossible de la reproduire à l'identique en changeant le manipulateur, un robot testeur doit donc être conçu pour relever le défi et permettre a tous de travailler en équipe.

A) Géneralités

1) Les systèmes informatiques embarqués

Un système informatique embarqué est intégré à un objet. Il contrôle les entrées et les sorties de celui-ci grâce à ses composants, dont les principaux sont :

- La carte programmable
- Les capteurs
- Les actionneurs Il est destiné à piloter l'objet à distance (en faisant remonter des informations sur le cloud) ou de manière autonome (grâce à des algorithmes qui permettent à son système de contrôle de s'orienter vers des objectifs programmés).

Lorsqu'un système informatique embarqué échange des données avec un ordinateur on parle d'**objet connecté**.

Le smartphone est un exemple d'un tel objet.

2) La programmation d'un système infomatique embarqué

Pour programmer un système informatique embarqué, on doit organiser la tâche à accomplir sous forme d'un **algorithme**. C'est une suite d'instructions qui comprends notament des **fonctions** spécifiques aux capteurs et actionneurs. On ecrit un **programme** dans un langage qui puisse être interprété par le système.

Pour l'execution de celui-ci il faut le **téléverser** dans le système à travers un **port** de communication. On parle aussi de `flashage` du logiciel pilote pour décrire cette étape d'implémentation.

Dans ce cours nous allons voire quelques éléments de codage qui seront utiles pour interpéter un programme de contrôle.

On va d'abord s'intéresser aux **fonctions** puis on vera un exemple d'**algorithme** et finallement nous rentrerons dans le **programme** du microcontroleur.

Première introduction aux fonctions en langage python

Une fonction est un outil de programmation qui permet de transformer des donnée en entrée (appelés arguments) par des résultats en sortie. Sa syntaxe est très formelle :

```
def NOM_DE_LA_FONCTION (argument1):
    return resultat
```

Notez bien les deux points après la déclaration de l'argument, ainsi que l'indentation (l'espace au début de la ligne où se trouve la commande

```
return
```

qui renvoie le produit de la fonction. On renvoie au notebook *informatique_embarquee_INTRO_FONCTIONS-DILLMANN.ipynb* qui présente des exemples de fonctions.

3) L'interface homme-machine

Les programmes à téléverser sont des codes écris dans un langage de haut niveau (le `C++`) qui doit être *compilé* par un EDI (un **Environement de Développement Intégre**)

La suite d'instructions d'un logiciel de programation est appellée à être "compilée" ce qui veut dire transformée en un langage adapté à la machine avant d'être téleversée sur la machine elle même en language machine.

Le transfert des données fait appel à la notion de *Binary Digit* que l'on peut ecrire **BI**nary digi**T** : ou plus simplement **BIT** , un mot valise qu'il faut absolument connaître pour comprendre le fonctionnement des programmes. Désormais nous utiliserons le mot "bit" pour caractériser la plus petite unité d'information qui puisse être transmise à un ordinateur.

Dès que le programme a été compilé de façon satisfesante, il doit être implémenté sur le microcontroleur. On appelle cette opération l'étape de *téeversement*. Il est indispensable que la liaison entre l'ordinateur ou se trouve l'EDI et la carte soit correctement pilotée.

3.1) La programmation d'un système de type Arduino (lecture d'un port analogique)

L'exemple suivant est extrait de la bibliothèque des exemples de base et permet de lire la valeur d'une résistance dans un potentiomètre.

La programmation de l'arduino se fait en langage `C++` , qui a de nombreux points de différence avec le langage Python. Mais à notre niveau c'est pratiquement la même chose :

```
void setup() {
  // initialise le port de communication serie a 115200 bits par seconde
  Serial.begin(115200);
}

// la fonction suivante est destinée à être executé en permanence
void loop() {
  // Lis la valeur du port analogique qui se trouve au pin 0 :
  int sensorValue = analogRead(A0);
  // imprimer la valeur qui est lue :
  Serial.println(sensorValue);
  delay(1);        // pour des raisons de stabilité
}
```

On retrouve deux sortes de fonctions principales :

```
void setup()
void loop()
```

La première définit la vitesse à laquelle les bits vont être envoyés quant à la deuxième elle constitue le coeur du programme puis-ce que c'est elle qui demande la lecture du signal qui se trouve sur le pin 0, grâce à la fonction `analogRead()` et qui imprime dans la console série le résultat grâce à une autre fonction `Serial.println()` .

3.2) La programmation d'un système de type Arduino (géneration d'un signal)

Dans le programme suivant on va voire comment utiliser une des sortie digitales qui se trouve alignées avec le bouton 'réset'. Ces sorties ne doivent **jamais** être reliées de l'une à l'autre sous peine de détruire la platinne.

```
/*

    Gradateur de lumière

          Cet exemple montre comment estomper progressivement la lueur
 d'une LED sur la broche 9 en utilisant la fonction :

          analogWrite()

  Description de la fonction.

  La fonction analogWrite() utilise PWM (Impulsion modulée en amplitude),
 donc si vous voulez changer la broche en utilisant une autre carte, assur
ez-vous d'utiliser une autre broche compatible PWM.
```

B) Application : Le robot caracteriseur de dipoles

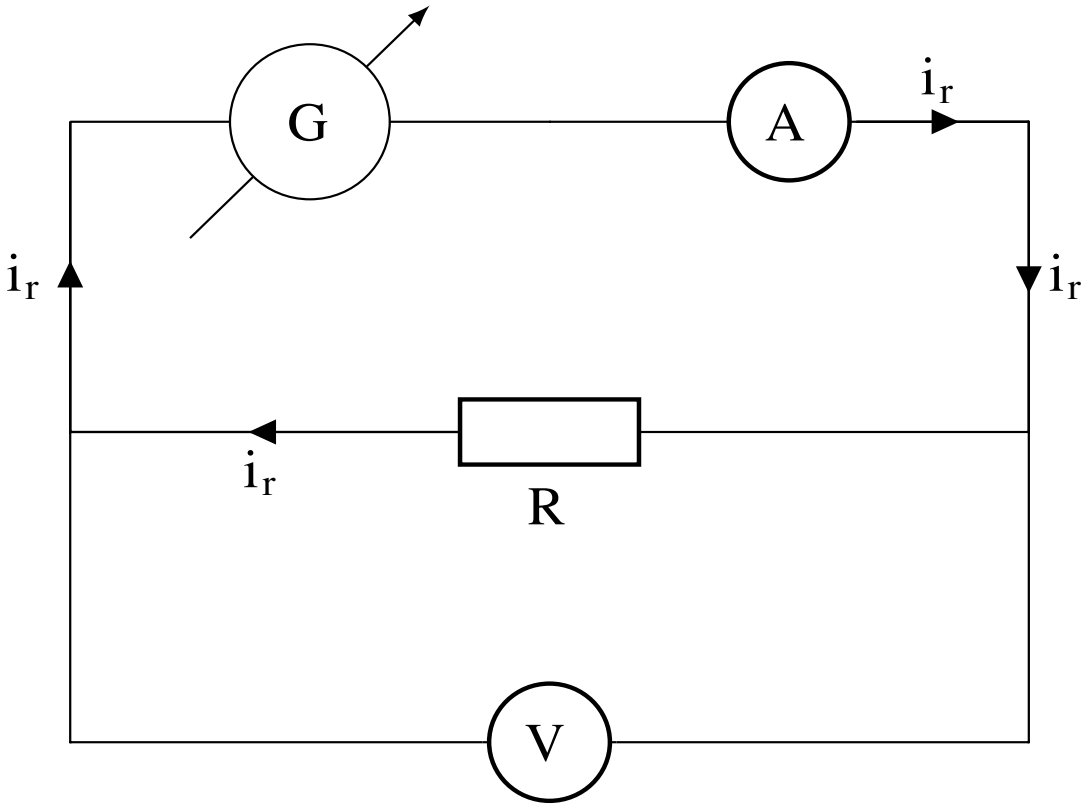
Nous allons nous intéresser à un type d'automate très courant dans les équipes de recherche et développement dans lesquelles on prépare la conception de nouveaux composants. On appelle cela des "Flying Probes (https://youtu.be/syQDnRmdhmA)".

La tension U_{AB} aux bornes du dipôle est une fonction de la variable intensité I qui le traverse : $U_{AB} = f(I)$. La caractéristique tension-courant d'un dipôle est la courbe représentative de f avec I en abscisse et U_{AB} en ordonnée.

1) Démarche à suive pour tracer la caractéritique avec des multimètres

On s'intéresse d'abord à la démarche "artisanalle" qui consiste à relever pour différentes tensions d'un générateur à tension variable l'intensité I et la tension U_{AB} que l'on reporte dans un tableau.

Le montage correspont à ce qui a été vu en 4ème :



Tracez la caractéritique tension-courant de la résistance étudiée. Sur du papier milimètré identifiez le modèle physique qui permet de représenter la distribution des couples de points.

On observe que quand on augmente la tension, les électrons circulent mieux et le courant électrique augmente en intensité. La tension et l'intensité sont proportionnelles.

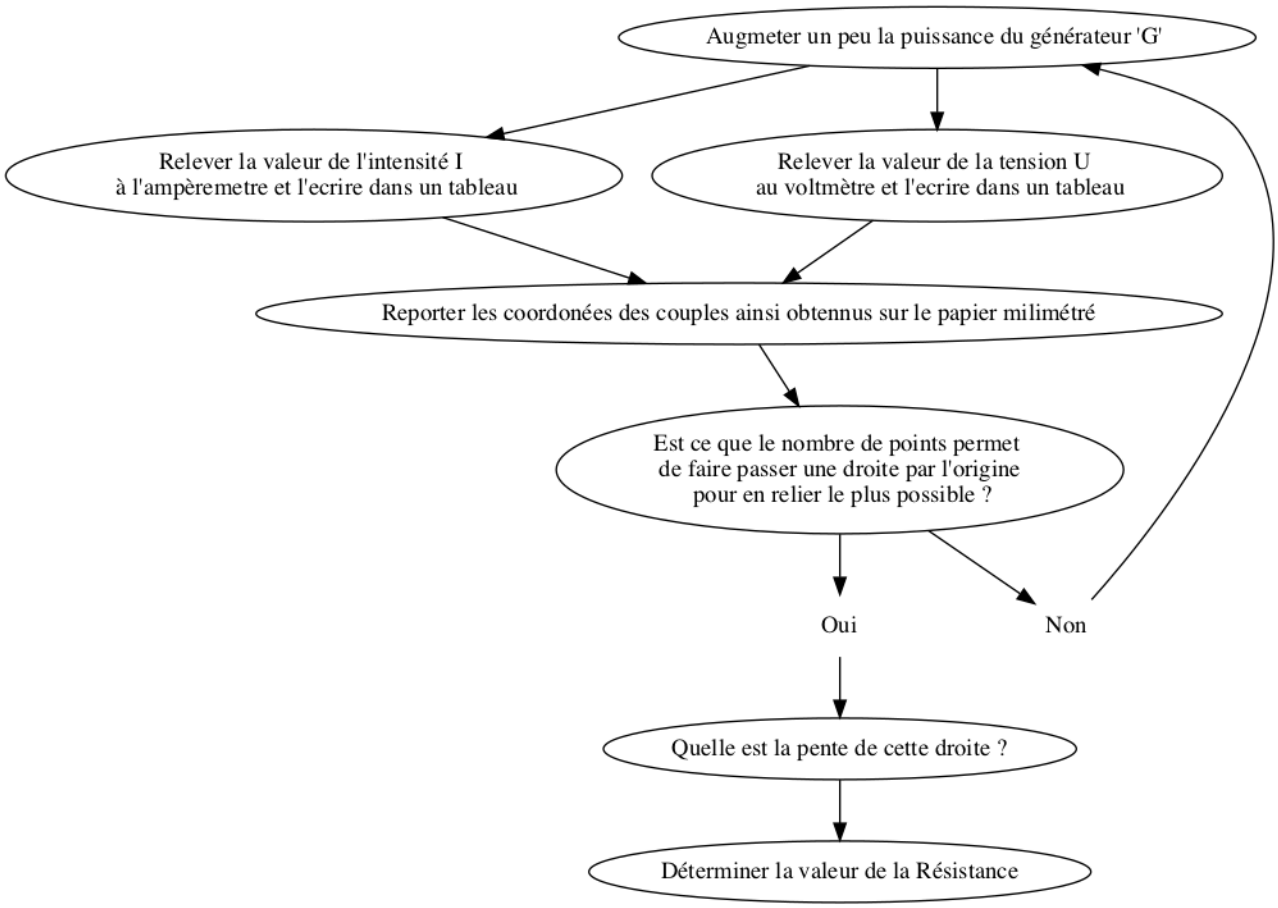
Grâce à la loi d'Ohm $U = R \times I$, qui permet de modéliser la relation entre la tension aux bornes d'un résistor et le courant qui le traverse, on peut "ajuster" une valeur de la résistance : c'est à dire trouver un paramêtre juste pour la variable résistance.

In [18]:

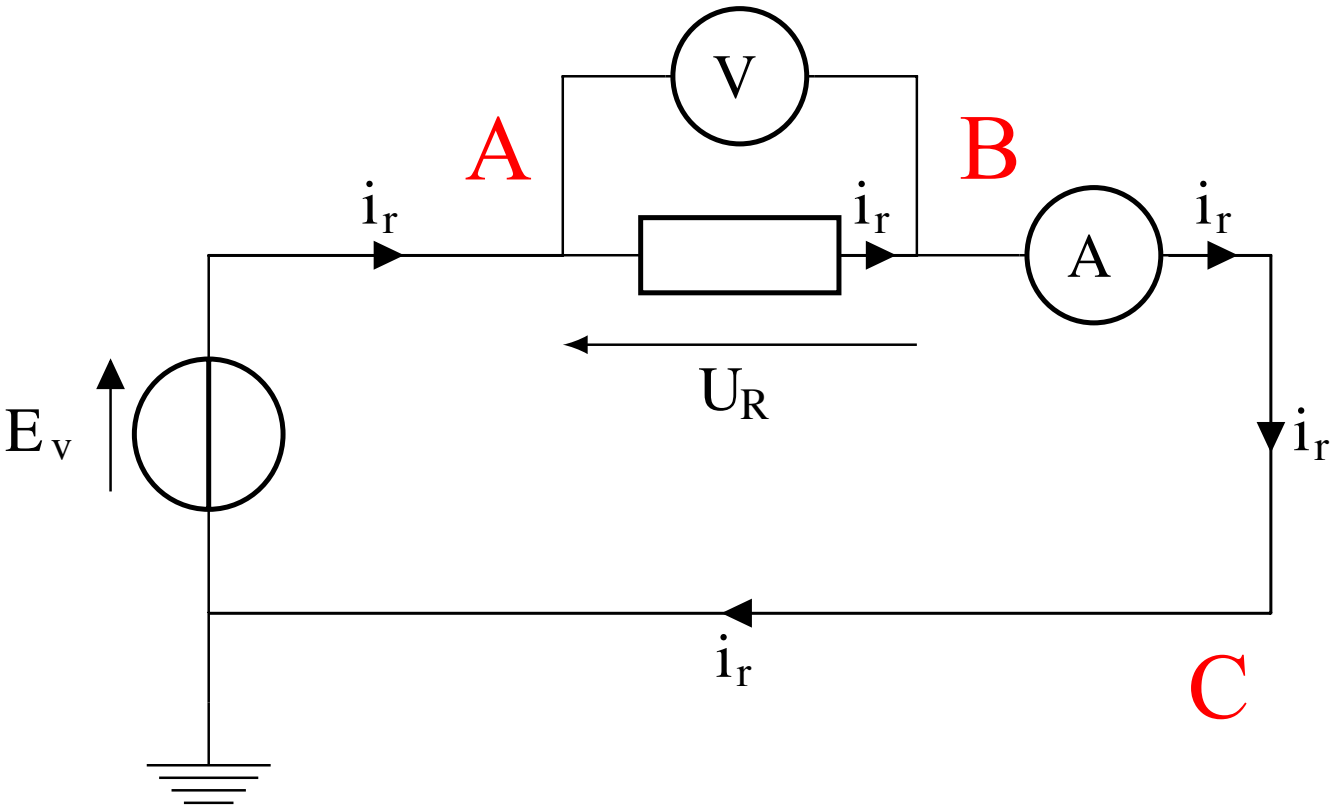
```
import pygraphviz as pgv
```

In [19]:

```
G1=pgv.AGraph(strict=False,directed=True)

G1.add_node("Augmeter un peu la puissance du générateur 'G' ")
G1.add_node("Relever la valeur de l'intensité I \n à l'ampèremetre et l'ecrire d
ans un tableau")
G1.add_node("Relever la valeur de la tension U \n au voltmètre et l'ecrire dans
 un tableau")
G1.add_node("Reporter les coordonées des couples ainsi obtennus sur le papier mi
limétré")
G1.add_node("Est ce que le nombre de points permet \n de faire passer une droite
par l'origine \n pour en relier le plus possible ?")
G1.add_node("Oui",color="white")
G1.add_node("Non",color="white")
G1.add_node("Quelle est la pente de cette droite ?")
G1.add_node("Déterminer la valeur de la Résistance")

G1.add_edge("Augmeter un peu la puissance du générateur 'G' ","Relever la valeur
de l'intensité I \n à l'ampèremetre et l'ecrire dans un tableau")
G1.add_edge("Augmeter un peu la puissance du générateur 'G' ","Relever la valeur
de la tension U \n au voltmètre et l'ecrire dans un tableau")
G1.add_edge("Relever la valeur de l'intensité I \n à l'ampèremetre et l'ecrire d
ans un tableau","Reporter les coordonées des couples ainsi obtennus sur le papie
r milimétré")
G1.add_edge("Relever la valeur de la tension U \n au voltmètre et l'ecrire dans
 un tableau","Reporter les coordonées des couples ainsi obtennus sur le papier m
ilimétré")
G1.add_edge("Reporter les coordonées des couples ainsi obtennus sur le papier mi
limétré","Est ce que le nombre de points permet \n de faire passer une droite pa
r l'origine \n pour en relier le plus possible ?")
G1.add_edge("Est ce que le nombre de points permet \n de faire passer une droite
par l'origine \n pour en relier le plus possible ?","Oui")
G1.add_edge("Est ce que le nombre de points permet \n de faire passer une droite
par l'origine \n pour en relier le plus possible ?","Non")
G1.add_edge("Non","Augmeter un peu la puissance du générateur 'G' ")
G1.add_edge("Oui","Quelle est la pente de cette droite ?")
G1.add_edge("Quelle est la pente de cette droite ?","Déterminer la valeur de la
 Résistance")

G1.layout(prog='dot')

G1.draw('file_prof1.png')
```


Augmeter un peu la puissance du générateur 'G'
Relever la valeur de l'intensité I
à l'ampèremetre et l'ecrire dans un tableau
Relever la valeur de la tension U
au voltmètre et l'ecrire dans un tableau
Reporter les coordonées des couples ainsi obtennus sur le papier milimétré
Est ce que le nombre de points permet
de faire passer une droite par l'origine
pour en relier le plus possible ?
Oui
Non
Quelle est la pente de cette droite ?
Déterminer la valeur de la Résistance

Avant de passer à la section suivante on va modifier un peu la disposition des élements du montage vu auparavant

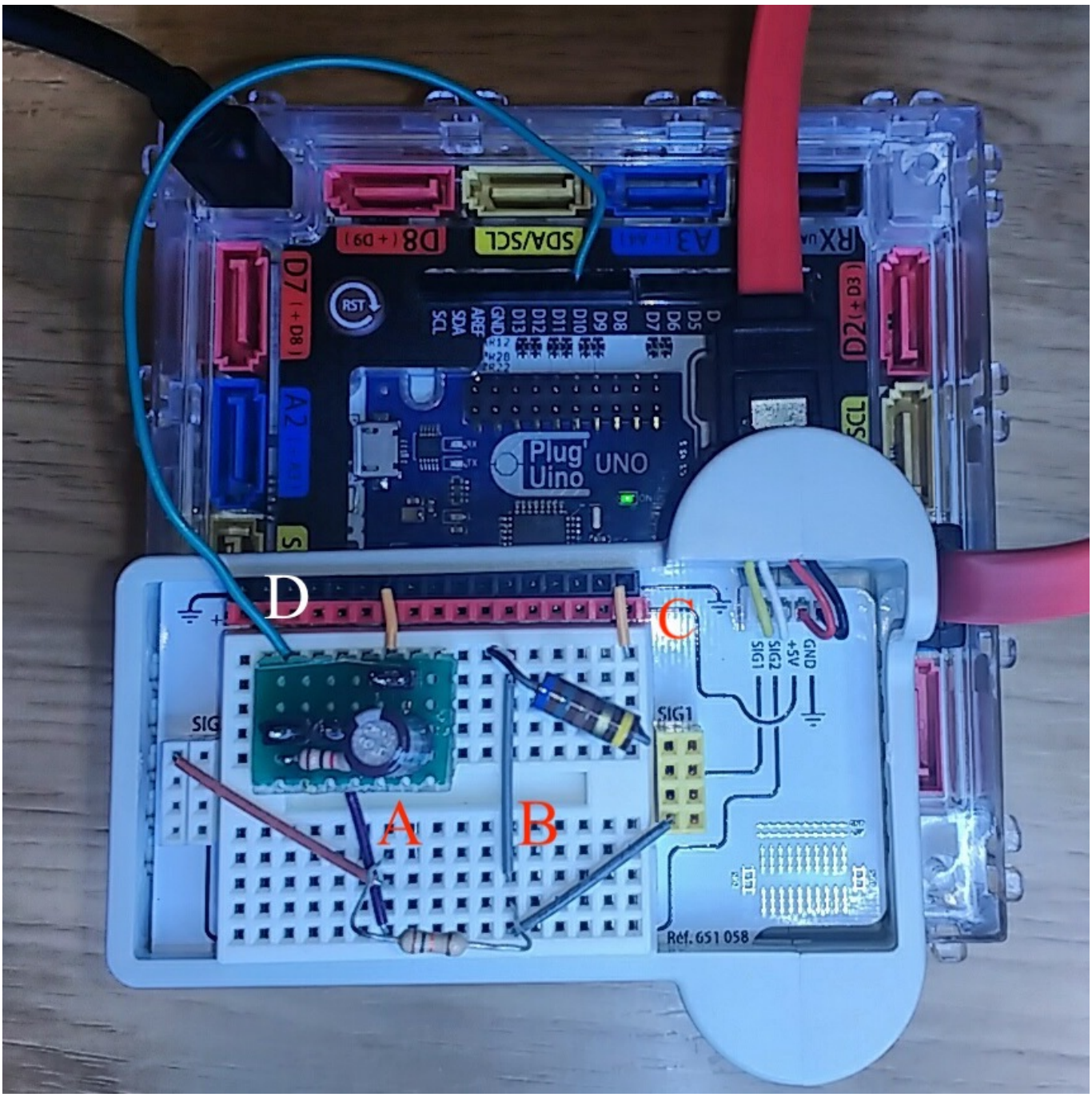


Dans ce deuxième schéma les composant ont été redistribués, mais ils accomplissent exactement les mêmes fonctions. On notera que E_v est un générateur variable qui alimente les deux résistance en série. Son implémentation n'est pas au programme de seconde car il implique la notion de circuit RC sur laquelle nons allons passer.

2) L'algorithme d'estimation de la résistance d'un résistor inconnu à l'aide d'une platine Arduino / PlugUino UNO

2.1) Quel circuit equivalent ?

Nous allons maintenant étudier l'algorithme de tracé de la courbe caractéristique d'un résistor. Et présenter le code `cpp` qui va être effectivement utilisé pour la mesure de la resistance.



- Le point A correspond à l'entrée du signal filtré programmé comme pour le gradateur de lumière.
- Le point B est le point de contact entre la résistance inconnue et la charge de référence
- Le point C est le point de masse
- Le point D est l'entrée du PWM sur le filtre. C'est le seul cable qui sorte du brochage des sorties digitales. Ce canal alimente le générateur variable E_v

On remarque que le filtre à été soudé sur une platine de test pour le rendre indépendant. Une résistance de $1\ k\Omega$ en série acec une capacité de $470\ \mu F$ convient pour obtenir une tension lissée dont la valeur maximale est à déterminer en fonction du filtre.

L'élève est encouragé à déterminer cette valeur lors d'une étape de calibration.

Dans un cicuit la loi des mailles appliquée au tensions prédit que :

$$U_{AB} + U_{BC} = U_{AC}$$

Dans notre cas la tension au borne du circuit où la resistance connue (`charge_resistor`) est en série avec la résistance dont on veut connaître la caractéristique.

$$U_{AC} = \mathtt{v_{RC}}$$
$$U_{AB} = \mathtt{v_{R}}$$
$$U_{BC} = \mathtt{i_{circ}} \times \mathtt{R_{charge\ resistor}}$$

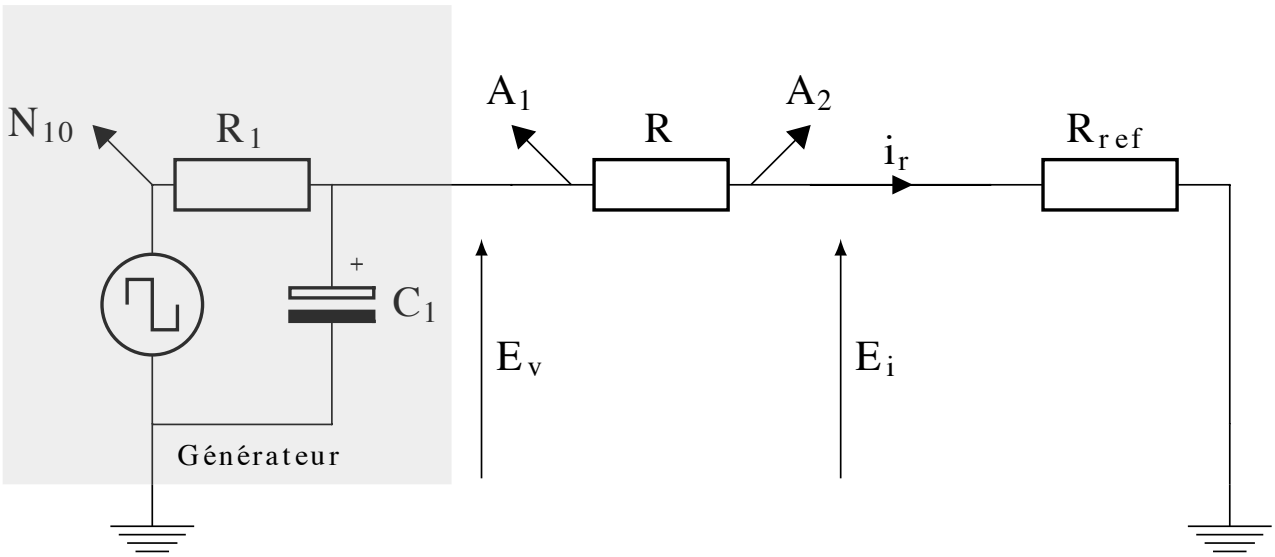
On voit que ce montage s'affranchit d'un ampèremetre en utilisant la tension aux bornes d'une résistance.

Finalemment la loi des nœuds prévoit que la somme des inténsités des courants **arrivant à un noeud** est égale à la somme des intensités des **courants qui en repartent**. Concrétement : Si Ie est le courant entrant, les courants sortants sont Is_1 et Is_1 en un noeud on peut écrire :

$$Ie = Is_1 + Is_2$$

Mais comme dans le cas de notre circuit aucun courant ne passe dans la platine arduino car les entrées analogiques on une résistance d'entré très grande. Il n'y a qu'un seul courant circulant dans les circuit : $\mathtt{i_{circ}}$

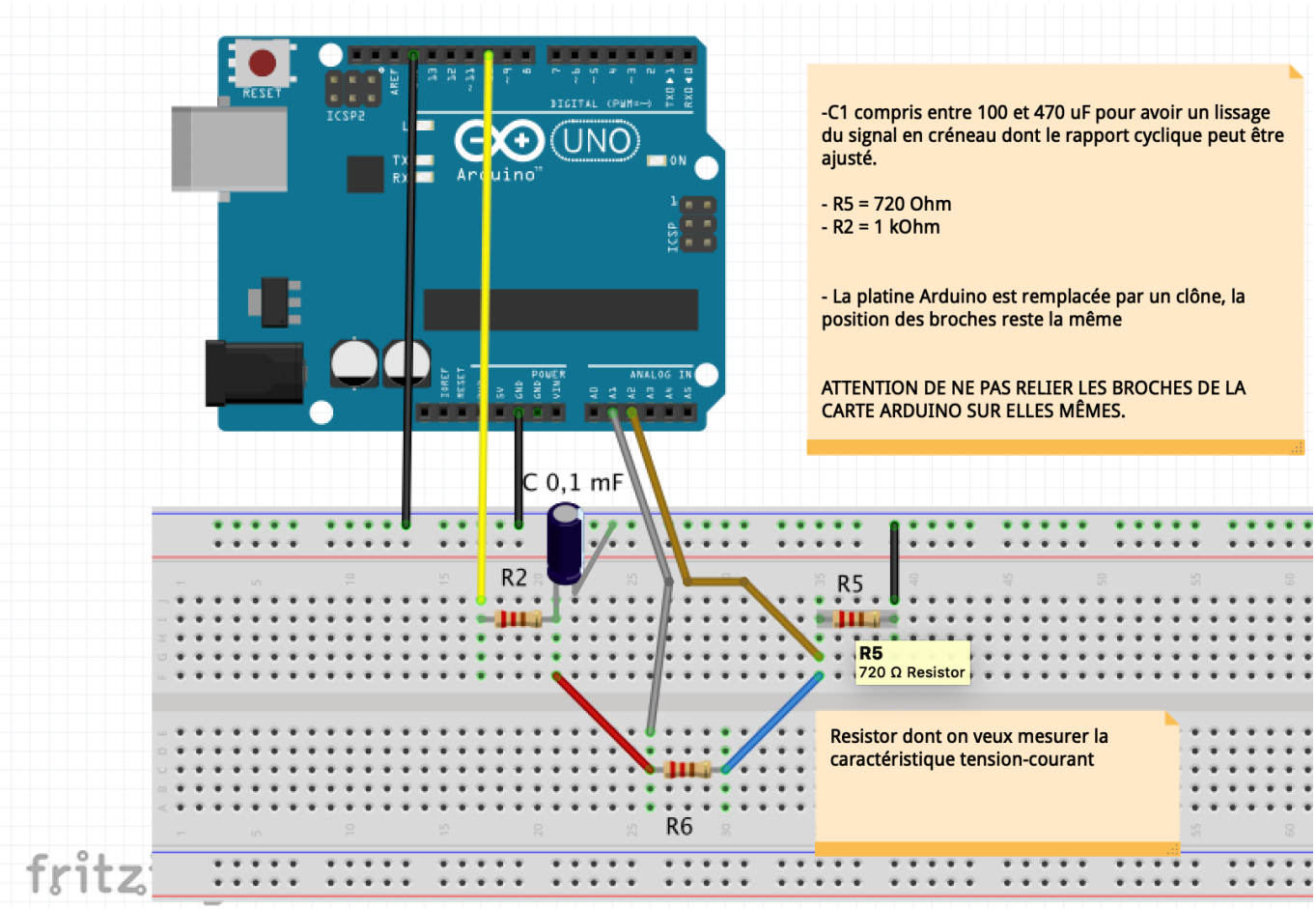
La représentation schématique du circuit devient donc la suivante.



On retrouve :

- Le point A qui est envoyé sur l'entrée analogique A_1
- Le point B qui est envoyé sur l'entrée analogique A_2
- Le point C qui est la masse
- Le point D qui correspond à la sortie digitale D_{10}

Nous avons documenté le montage sur une carte arduino UNO. La connection à l'ordinateur n'est pas visible, mais elle est indispensable pour récupérer les données sur le moniteur série de l'EDI. L'association série : {résistance inconnue + resistor de charge} est alimenté par un signal triangulaire dont le maximum atteint $4,9\,V$ on peut se servir d'un multimètre pour confirmer que V_{RC} correspond bien à la valeur renvoyée sur le moniteur série.

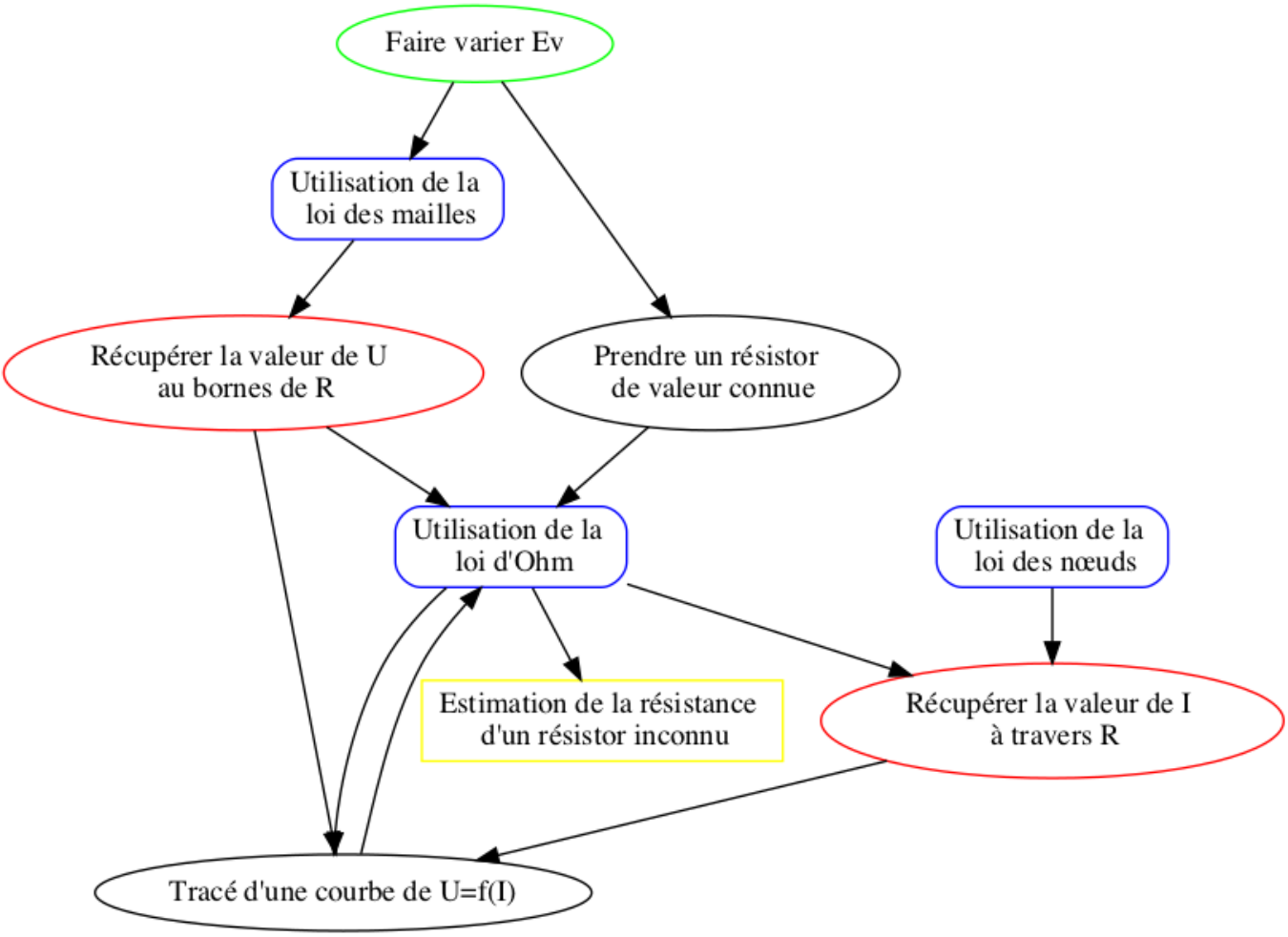


2.2) Algorithme de l'automate

Nous allons réaliser un algorigramme sommaire qui s'appuie sur six états qui sont mis en relation de haut en bas pour parvenir à la détermination de la résistance par une methode graphique. Nous verons ensuite que cet approche doit rentrer dans les détails...

In [20]:

```
G=pgv.AGraph(strict=False,directed=True)

G.add_node("Estimation de la résistance \n d'un résistor inconnu",color='yellow'
,shape='box')
G.add_node("Utilisation de la \n loi d'Ohm",color='blue',shape='box',style="roun
ded")
G.add_node("Utilisation de la \n loi des mailles",color='blue',shape='box',style
="rounded")
G.add_node("Utilisation de la \n loi des nœuds",color='blue',shape='box',style=
"rounded")
G.add_node("Tracé d'une courbe de U=f(I)")
G.add_node("Faire varier Ev",color='green')
G.add_node("Récupérer la valeur de I \n à travers R",color='red')
G.add_node("Prendre un résistor \n de valeur connue")
G.add_node("Récupérer la valeur de U \n au bornes de R",color='red')

G.add_edge("Faire varier Ev","Utilisation de la \n loi des mailles")
G.add_edge("Utilisation de la \n loi des mailles","Récupérer la valeur de U \n a
u bornes de R")

G.add_edge("Récupérer la valeur de U \n au bornes de R","Tracé d'une courbe de U
=f(I)")
G.add_edge("Récupérer la valeur de U \n au bornes de R","Utilisation de la \n lo
i d'Ohm")
G.add_edge("Faire varier Ev","Prendre un résistor \n de valeur connue")
G.add_edge("Prendre un résistor \n de valeur connue","Utilisation de la \n loi
 d'Ohm")
G.add_edge("Utilisation de la \n loi des nœuds" ,"Récupérer la valeur de I \n à
 travers R")
G.add_edge("Utilisation de la \n loi d'Ohm","Récupérer la valeur de I \n à trave
rs R")
G.add_edge("Utilisation de la \n loi d'Ohm","Tracé d'une courbe de U=f(I)")
G.add_edge("Récupérer la valeur de I \n à travers R","Tracé d'une courbe de U=f
(I)")
G.add_edge("Tracé d'une courbe de U=f(I)","Utilisation de la \n loi d'Ohm")
G.add_edge("Utilisation de la \n loi d'Ohm","Estimation de la résistance \n d'un
résistor inconnu")

G.layout(prog='dot')

G.draw('file_prof2.png')
```



On constate la **centralité** de l'utilisation de la loi d'Ohm dans ce graphe. D'autre part le contrôle de U est le point de départ, à la fois pour établir I et pour la détermination de la courbe U=f(I)

3) L' interfaces utilisateurs du programme de caractérisation automatique

le logiciel (interface) Arduino est un programme `C++` qui est commanté ici : C'est le programme à téléverser pour lire les valeurs de la tension variable à l'entrée du circuit (équivalent de 'G') dans le port USB du microcontroleur.

```
/*
  U en fonction de I pour déterminer la valeur d'une résistance

  Baudouin DILLMANN
  23/06/2019
  baudouin.dillmann@ac-paris.fr

  Cet exemple montre comment tracer U=f(I)
  afin d'obtenir une droite caracteristique d'un résistor

  elle utilise
   -la fonction analogWrite() pour mesurer la tension aux bornes de la res
istance.

  Le circuit:
  - Un étage comprenant un Filtre RC en sortie de la tension variable obte
nue
    par train d'impulsions modulées en largeur (PMW).
  - Le résistor à tester à la sortie de ce filtre
  - Un résistor de faible résistance, dont la valeur connue nous permet de
calculer le courant circulant dans le
   circuit des deux résistances en série (appellé résistor de référence).

  Cet exemple de code s'inspire de deux exemples extraits de la documetati
on d'Arduino :

   http://www.arduino.cc/en/Tutorial/AnalogInput (mesure d'une tension)
   http://www.arduino.cc/en/Tutorial/Fading (pour faire varier la tension
 en signal triangulaire)

  Pour le calcul du filtre RC indispensable en sortie d'un PMW:

   https://www.instructables.com/id/Arduino-RC-Circuit-PWM-to-analog-DC

   Ce code a été testé avec succés pour des résistances comprises entre 10
et 30 kOhm

 */


/* Macro de conversion valeur numérique -> tension en volts */
#define ADC_TO_VOLTS(value) ((value / 1023.0) * 4.9)


int sortiePWM = 10;    // Utilisation d'un pin digital délivrant un PMW
const float charge_resistor = 720.; // Valeur de la resistance du  resisto
r de référence  en Ohm
const byte analog_pin_Volt = A1;   // Lecture de la tension aux bornes des
deux resistances
const byte analog_pin_Amp = A0;   // Lecture de la tension aux bornes du r
esistor de référence Ohm
```

```
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  // On force la fréquence de communication avec le traceur série
}

void loop() {


   unsigned int analog_V1; // mesure de la tension analogique en sortie du
RC
   unsigned int analog_V2; // mesure de la tension analogique entre la bor
ne commune de la resistance de reférence et la masse
   unsigned int analog_V3; // mesure de la tension analogique entre les de
ux bornes de la resistance à mesurer


  // Rampe vers le haut

  // Rampe de tension de 0 à 5V par increments de 1 pas :
  for (int rampeTension = 0 ; rampeTension <= 255; rampeTension += 1) {
    // sets the value (range from 0 to 255):
    analogWrite(sortiePWM, rampeTension);
    // attendre 300 millisecondes pour observer les fluctuations
    delay(300);

  /* Mesure de la tension de la batterie (en volts) */
  analog_V1 = analogRead(analog_pin_Volt);
  analog_V2 = analogRead(analog_pin_Amp);
  analog_V3 = analog_V1-analog_V2;

  float v_RC = ADC_TO_VOLTS(analog_V1);
  float v_R = ADC_TO_VOLTS(analog_V3);

  /* Calcul de l'intensité en utilisant U = R x I
  où U est v_2 et R charge_resistor
  I est donnée en dixième de miliampères : 1E-4 A */

    float v_2 = ADC_TO_VOLTS(analog_V2);
    float i_circ = (v_2 * 10000) / charge_resistor; // I = U / R

  /*
   Ecriture des valeurs en format "0.00" séparés par des virgules
   */

    Serial.print(v_RC);
    Serial.print(',');
    Serial.print(i_circ);
    Serial.print(',');
    Serial.print(v_R);
```

3) Spécificités de l'interface homme-machine

Quelques précisions technologiques concernant le matériel utilisé lors de la séance expérimentale :

On utilise un EDI, ici c'est (*Arduino IDE 1.8.9*), mais cela pourrait tout aussi bien être *MBlocks* ou tout autre *interface*. C'est un programme qui permet à une carte de type Arduino/Genuino comme le PlugUino de la société sciencethic (https://www.sciencethic.com/ressources.html). L'accés au port *dev/cu.usbserial* par un connecteur USB sur USM micro B, se fait après avoir installé les drivers `ch34x` qui se trouvent là (https://www.srishtirobotics.com/more/blog/154-arduino-uno-r3-clone-ch340-ch341-usb-driver). Une fois que les paramètres de l'onglet *outil* ont été choisis on peut recopier le code `cpp` directement dans la fenètre "scketch"

Toujours dans l'EDI, selectionnez le port série qui correspond à votre carte, si vous avez installé le driver correctemment elle apparaît sur le port USB. Les données sont envoyés soit sous forme graphique à l'aide du *traceur série*, soit sous forme d'une liste de coordonéés a l'aide du *moniteur série* nous avons extrait ces valeurs pour le tracé de la caractéristique $U = R \times I$

4) Explotation des résultats

Intructions Python pour tracer la caractéristique

In [21]:

```
#Import nécessaires
%pylab
%matplotlib inline
import matplotlib.pyplot as plt
import re
from scipy.stats import linregress
```

```
Using matplotlib backend: TkAgg
Populating the interactive namespace from numpy and matplotlib
```

In [22]:

```
# Pour lire les données stoquées
# modifiez le code pour qu'il n'y ai pas
# a mettre en forme votre fichier IUplot.text

listfileN='IUplot.text'
f=open(listfileN,'rt')
I_val=[]
U_val=[]
pointList=[]
lines=f.readlines()
# On ne lis pas la première ligne dans laquelle il peut y avoir une entête
for  i in lines[1:]:
    (I,U)=i.split("\t") # Dans le cas où les valeurs sont séparés par une virgul
e remplacer "\t" par ","
    I_val.append(float(I))
    U_val.append(float(U))
```

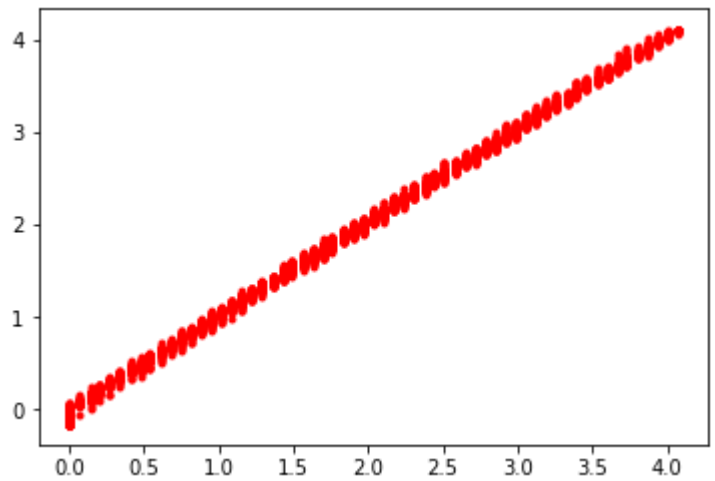
Pour tracer le nuage de points correspondant à une Intensité en absisse, et une tension en ordonnée

In [23]:

```
# Une première visualisation des resultats fait apparaître une dispersion
# liée à la quantification de Ev qui ne correspond pas à un triangle parfait
# mais a un escalier avec des paliers bien déterminés.

plt.scatter(I_val,U_val,color='red',marker='.')
```

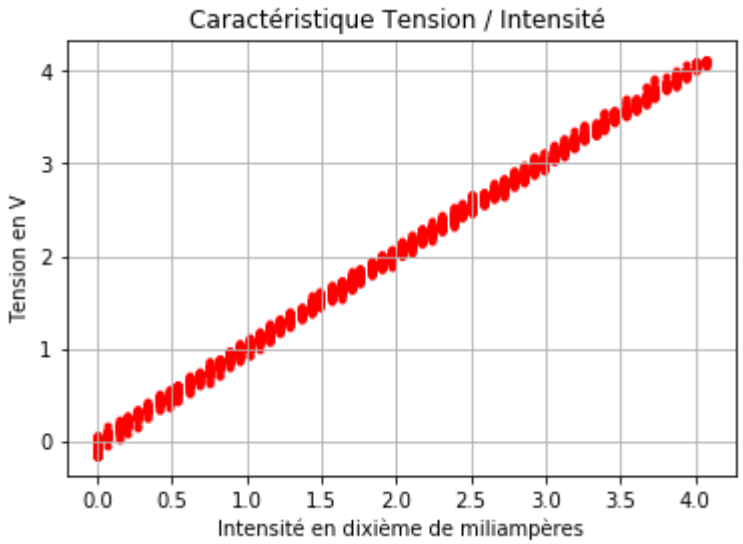
Out[23]:

```
<matplotlib.collections.PathCollection at 0x1a1aa3f240>
```



In [24]:

```
# Pour annoter la représentation graphique nous utilisons les données du program
me
# Le cadrillage permet de faire apparaître une proportionnalité.

plt.scatter(I_val,U_val,color='red',marker='.')
plt.xlabel("Intensité en dixième de miliampères")
plt.ylabel("Tension en V")
plt.title("Caractéristique Tension / Intensité ")
plt.grid(True)
```



In [25]:

```
# Pour obtennir mes caractéristiques de la droite qui modélise la loi d'Ohm
regression = linregress(I_val,U_val)
coefDirecteur = regression[0]
ordonneeOrigine = regression[1]
coeffCorrelation = regression[2]
```

In [26]:

```
#La valeur de la résistance est donc en Ohm:
round(coefDirecteur*10000)
```

Out[26]:

```
10141.0
```

In [27]:

```
# Nous alons superposer les résulats de l'ajustement numérique
# obtennu en simulant la cactéristique d'un résistor idéal
# Pour tracer un segment de droite il faut que la pente corresponde
# a une valeur que le modèle prédit comme étant la résistance

plt.xlabel("Intensité en dixième de miliampères")
plt.ylabel("Tension en V")
plt.plot(I_val,U_val,color='red',marker='.')
plt.plot([0,4],[0,4*coefDirecteur],color='black',linestyle='solid')
plt.title("Vérification de la loi d'Ohm pour une résistance")
plt.show()
```