

Correction du DS info instrument 2
17 octobre 2013, F. Auger

Exo 1 a) Si $-x = \bar{x} + 1$, alors en remplaçant x par $-x$
on obtient $-(-x) = \overline{-x} + 1$ soit $\boxed{x = \overline{-x} + 1}$

Si un code binaire est la notation en complément à 2 d'un
nombre négatif $-x$, on obtient x en calculant $\overline{-x} + 1$

Par exemple, pour $N=6$, si $-x = (101111)_{nc2}$

autre démonstration $x = -(\bar{x} + 1) \Rightarrow$
 $x - y = -\bar{x} - 1 - y = -(\bar{x} + y) - 1 = \overline{\bar{x} + y} + 1 - 1$

alors $\bar{x} = 010000$

donc $x = \overline{-x} + 1 = 010001 = 16 + 1 = 17$

donc $(101111)_{nc2} = -17$

On vérifie bien que si $x = 17 = (010001)_2$

$\bar{x} = 101110$

$-x = \bar{x} + 1 = (101111)_{nc2} = -17$

On obtient le même résultat
(bien sûr) en écrivant

$-x = \bar{x} + 1 \Rightarrow x = -(\bar{x} + 1)$

On a aussi $x = \overline{-x} + 1 \Rightarrow -x = \overline{x - 1}$

b) Si $x = \overline{-x} + 1$ alors $\overline{-x} = x - 1$. Si $-x = \bar{x} + 1$ alors $-x - 1 = \bar{x}$
donc $x - y = -(y - x) \Rightarrow \overline{x - y} = \overline{-(y - x)} = y - x - 1 = y + \bar{x}$
 $\Rightarrow x - y = \overline{y + \bar{x}}$

c) $6 = 4 + 2 = (000110)_{nc2}$ $23 = 16 + 4 + 2 + 1 = (010111)_{nc2}$

Si $x = 23$ et $y = 6$

$\bar{x} = 101000$

$y = 000110$

$\bar{x} + y = 101110$

$\overline{\bar{x} + y} = 010001 = 17$ on a bien $23 - 6 = 17$

Si $x = 6$ et $y = 23$

$\bar{x} = \overset{1}{1}11001$

$y = 010111$

$\bar{x} + y = 010000$ sur 6 bits 1

$\overline{\bar{x} + y} = 101111 = -17$ voir question a)

On vérifie bien que $6 - 23 = -17$

Exo 2

La fonction a 3 paramètres d'entrée g_x, g_y, g_z qui sont des nombres entiers relatifs codés en NC2 sur 12 bits fournis par le capteurs

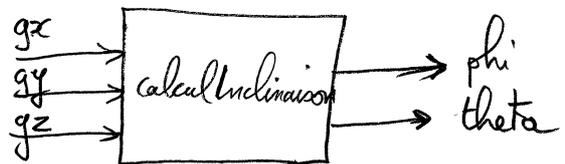
⇒ Ces trois nombres seront stockés dans des variables de type `int`

La fonction a 2 paramètres de sortie φ et θ qui sont deux nombres réels ⇒ Ces deux angles seront stockés dans des variables de type `float`

D'où la définition de la fonction

```
void calculInclinaison (int gx, int gy, int gz,  
                        float *phi, float *theta)
```

↑
La fonction ne renvoie rien d'autre que φ et θ , qui sont renvoyés à l'aide de pointeurs



Dans la fonction on trouvera essentiellement les deux expressions mathématiques données dans l'énoncé. On fera attention au dénominateur du rapport intervenant dans le calcul de θ , qui peut être nul.

```
void calculInclinaison(int gx, int gy, int gz, float *phi, float *theta)
{
  float den;
  *phi = atan2(gy,gz);
  den = gy*sin(*phi)+gz*cos(*phi);
  if ((den==0.0)&&(gx>0))
    {*theta = M_PI/2;}
  else if ((den==0.0)&&(gx<0))
    {*theta = -M_PI/2;}
  else
    {*theta = atan(gx/den);}
}

void setup() //
{

}

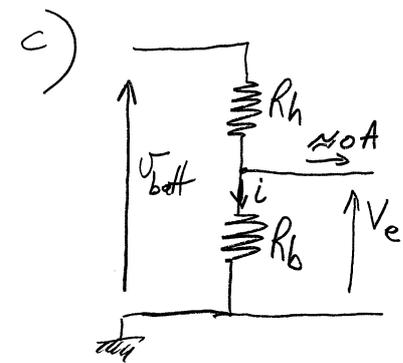
void loop() //
{

  delay(1000);
}
```

Exo 3

a) Pour que le microcontrôleur ait connaissance de la tension qui se trouve au point milieu du pont diviseur résistif il faut relier ce point à l'une des voies d'entrée du convertisseur analogique - numérique inclus dans le microcontrôleur.

b) Pour que le microcontrôleur puisse commander l'ouverture ou la fermeture de l'interrupteur, il faut connecter le signal de commande de l'interrupteur à une broche d'entrée-sortie logique du microcontrôleur que l'on configurera en sortie.



• le courant absorbé par le microcontrôleur étant négligeable, R_h et R_b sont traversés par le même courant i

$$\begin{aligned} \text{donc } V_{batt} &= (R_h + R_b) i \\ V_e &= R_b i \end{aligned} \Rightarrow \frac{V_e}{V_{batt}} = \frac{R_b}{R_h + R_b}$$

$$\begin{aligned} \bullet R_h + R_b &= \frac{V_{batt}}{V_e} R_b \Rightarrow R_h = \left(\frac{V_{batt}}{V_e} - 1 \right) R_b = \left(\frac{3,6}{1} - 1 \right) \times 2 \cdot 10^3 \\ &= 2,6 \times 2 \cdot 10^3 = 5,2 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

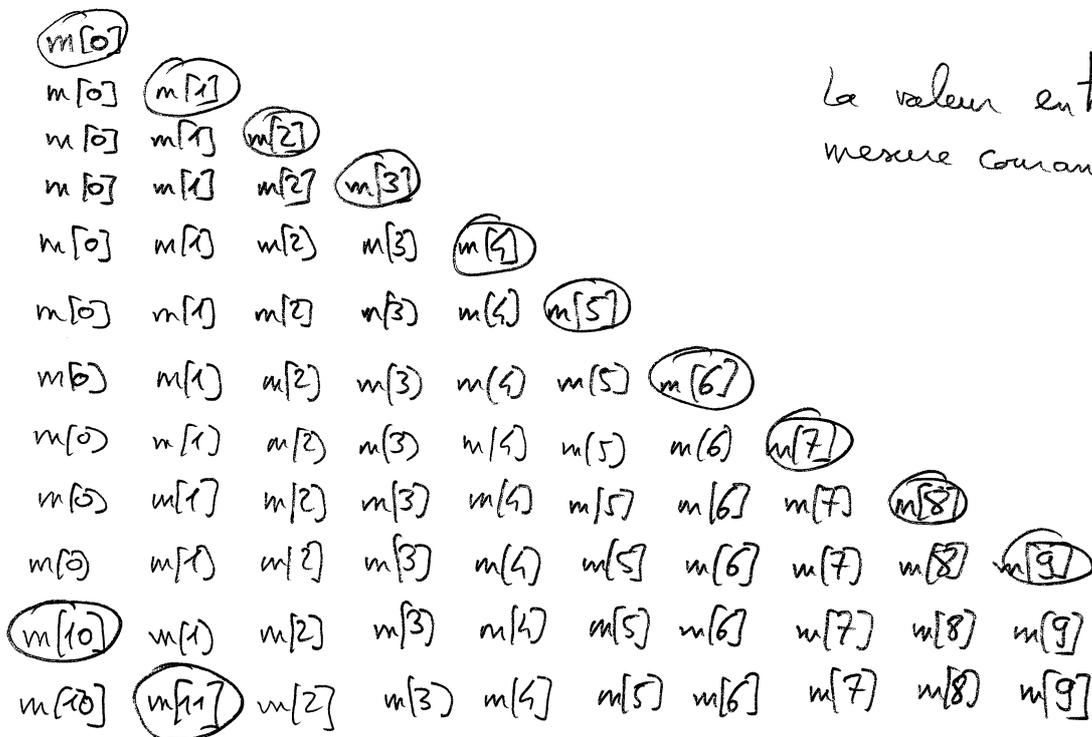
$$\bullet V_e = \frac{R_b}{R_h + R_b} V_{batt} \Rightarrow V_e = \frac{2 \cdot 10^3}{(2 + 5,2) \cdot 10^3} V_{batt} = \frac{2}{7,2} V_{batt}$$

$$\text{Si } V_{batt} = 2,2 \text{ V} \quad V_e = \frac{2}{7,2} \cdot 2,2 = \frac{2,2}{3,6} = 611 \text{ mV}$$

$$\bullet \text{ Si } V_{batt} = 2,2 \text{ V}, \quad V_e = \frac{2,2}{3,6}, \quad \text{donc } N \approx \frac{1024}{1,1} \times \frac{2,2}{3,6} = \frac{2048}{3,6} = 569$$

d)

- Pour que le microcontrôleur commande l'ouverture ou la fermeture de l'interrupteur, il faut que la broche à laquelle cet interrupteur est relié soit configurée en sortie, ce qui s'obtient par l'instruction
pin Mode (BrocheInterrupteur, OUTPUT);
- Pour stocker 10 résultats obtenus en sortie du convertisseur analogique numérique il faut déclarer un tableau de 10 entiers
int tableauMesures[10];
- Pour qu'il y ait toujours les 10 dernières mesures dans le tableau, une façon possible consiste à stocker la mesure courante à un indice qui varie cycliquement de 0 à 9



La valeur entourée est la mesure courante

et ainsi de suite

Pour cela, on peut utiliser un indice i (déclaré de type byte et initialisé à zéro dans le setup), stocker mesure dans tableauMesures[i] et faire progresser i de 0 à 9 (cycliquement)

```
if (i == 9)
  i = 0;
else i = i + 1;
```

- Pour savoir si toutes les valeurs du tableau sont inférieures au seuil, une façon de faire est de créer une variable logique toutes inférieures, initialisée à vrai, et mettre faux dans cette variable logique si une des 10 valeurs du tableau est supérieure au seuil (ou égale)

```
bool toutesInférieures = true;  
for (j=0; j<10; j=j+1){  
    if (tableauReserves[j] > Seuil)  
        toutesInférieures = false; }  
}
```

```
// DS informatique d'instrumentation 2, F. Auger, 5/10/2013
```

```
// declaration des constantes
```

```
const byte BrocheInterrupteur = 2;
```

```
const byte VoieMesureTension = 0;
```

```
const int Seuil = 569;
```

```
int i, tableauMesures[10];
```

```
void acquisition() //
```

```
{  
  tableauMesures[i]=analogRead(VoieMesureTension);  
  if (i==9)  
    {i=0;}  
  else  
    {i=i+1;}  
}
```

```
void commandeInterrupteur() //
```

```
{  
  boolean toutesInferieures = true;  
  int j;  
  for (j=0;j<10;j=j+1){  
    if (tableauMesures[j]>Seuil)  
      {toutesInferieures = false;}  
  }  
  
  if (toutesInferieures == true)  
    {digitalWrite(BrocheInterrupteur,HIGH);}  
  else  
    {digitalWrite(BrocheInterrupteur,LOW);}  
}
```

```
void setup() //
```

```
{  
  pinMode(BrocheInterrupteur, OUTPUT); digitalWrite(BrocheInterrupteur,LOW);  
  i=0;  
}
```

```
void loop() //
```

```
{  
  acquisition();  
  commandeInterrupteur();  
  delay(1000);  
}
```

Devoir surveillé d'Informatique d'Instrumentation II

17 octobre 2013. Durée : 1 heure 45.

Les trois exercices sont indépendants. Toutes vos réponses doivent être justifiées. Si vous joignez cet énoncé à votre copie, indiquez ci-dessous votre nom, prénom et groupe.	
nom, prénom	groupe

1. (5 points) L'objectif de cet exercice est de montrer comment sont réalisés les soustractions entre nombres codés en notation en complément à deux dans les circuits d'électronique numérique tels que les microcontrôleurs. Rappelons tout d'abord que si x est un nombre entier relatif codé en notation en complément à 2 sur N bits, et si on note \bar{x} le nombre obtenu en prenant la négation de chaque bit, la notation en complément à deux de l'opposé de x s'écrit simplement $-x = \bar{x} + 1$, où le symbole "+" désigne l'addition arithmétique.

- (a) Que devient l'expression précédente si on remplace partout x par $-x$? Cette nouvelle expression permet de trouver facilement la signification de la notation en complément à deux d'un nombre négatif. Par exemple, pour $N = 6$, quelle est le nombre dont la notation en complément à deux est $(101111)_{nc2}$?
- (b) En partant de la relation $x - y = -(y - x)$, soit $\overline{x - y} = \overline{-(y - x)}$, en déduire que

$$x - y = \overline{\bar{x} + y},$$

ce qui montre qu'une soustraction peut être réalisée facilement à l'aide d'une addition et de deux négations.

- (c) Quelles sont les notations en complément à deux sur $N = 6$ bits des nombres 6 et 23 ? Vérifier la relation présentée à la question 1b en effectuant de cette manière le calcul de $23 - 6$ et de $6 - 23$.
2. (5 points) À partir des trois données g_x, g_y, g_z fournies par un accéléromètre tridimensionnel soumis au champ de pesanteur terrestre, on peut en déduire l'inclinaison de ce capteur (et de l'appareil dans lequel il est utilisé) par les calculs¹ de son angle de roulis φ et de son angle de tangage θ :

$$\varphi = \arctan\left(\frac{g_y}{g_z}\right)$$

$$\theta = -\arctan\left(\frac{g_x}{g_y \sin(\varphi) + g_z \cos(\varphi)}\right)$$

Écrire une fonction `calculInclinaison` qui, à partir des trois nombres entiers relatifs g_x, g_y, g_z fournis par un accéléromètre tridimensionnel, codés en notation en complément à deux sur 12 bits, renvoie les deux angles φ et θ . Pour le calcul de φ , on utilisera la fonction `atan2(y, x)`, qui renvoie un angle compris entre $-\pi$ et π égal à $\arctan(y/x)$. Pour le calcul de θ , on utilisera la fonction `atan(x)`, qui renvoie un angle compris entre $-\pi/2$ et $\pi/2$ égal à $\arctan(x)$.

3. (10 points) Pour allonger la durée de vie d'une batterie NIMH ou Li-Ion², il faut éviter de la décharger complètement. Ceci peut être réalisé à l'aide d'un microcontrôleur, qui surveille la tension aux bornes de la batterie et commande l'ouverture ou la fermeture d'un interrupteur (un simple transistor de puissance) pour que la batterie n'alimente la charge que si la tension est supérieure à un seuil (voir figure 1).

¹Voir T. Ozyagcilar, "Implementing a Tilt-Compensated eCompass using Accelerometer and Magnetometer Sensors", Freescale

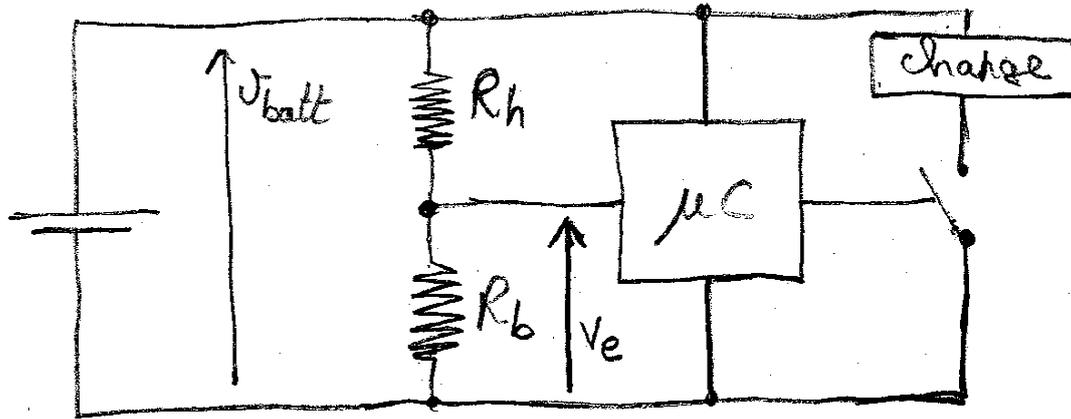


Figure 1: Schéma de principe du système étudié.

- (a) À quel type de broche du microcontrôleur faut-il connecter le point milieu du pont diviseur résistif pour permettre au microcontrôleur de connaître la tension de la batterie ?
- (b) À quel type de broche du microcontrôleur faut-il connecter la tension de commande de l'interrupteur pour permettre au microcontrôleur de connecter ou de déconnecter la charge de la batterie ?
- (c)
- Quelle est l'expression de la tension v_e obtenue au point milieu du pont diviseur résistif en fonction de la tension de la batterie, v_{batt} et des résistances R_h et R_b ?
 - Si on prend $R_b = 2 \text{ k}\Omega$, quelle valeur de R_h faut-il prendre pour avoir $v_e = 1 \text{ V}$ quand $v_{batt} = 3.6 \text{ V}$?
 - La batterie est considérée comme déchargée si $v_{batt} = 2.2 \text{ V}$. Que vaut alors v_e ?
 - Le convertisseur analogique-numérique du microcontrôleur a une tension de référence de 1.1 V et sa sortie est codée sur 10 bits. La tension v_e appliquée sur son entrée sera donc convertie en l'entier le plus proche de $1024 v_e / 1.1$. Quel sera l'entier obtenu à la sortie du convertisseur analogique-numérique si $v_{batt} = 2.2 \text{ V}$?
- (d) On souhaite que le microcontrôleur fasse une acquisition de la tension toutes les secondes et stocke la mesure courante et les 9 mesures précédentes dans un tableau. Si toutes les valeurs du tableau sont inférieures à un seuil, le microcontrôleur ouvrira l'interrupteur, sinon il le laissera fermé. En faisant ainsi, on obtient une meilleure robustesse vis à vis du bruit de mesure.
- Compléter la procédure d'initialisation (`setup`, lignes 22 à 25) du programme ci-dessous pour permettre au microcontrôleur de commander l'interrupteur.
 - Compléter la zone de déclaration de variables (lignes 8 et 9) du programme ci-dessous pour définir un tableau `tableauMesures` qui puisse contenir 10 résultats de mesure fournis par le convertisseur analogique-numérique.
 - Compléter la procédure `acquisition` (lignes 11 à 15) afin de stocker la mesure fournie par le convertisseur analogique-numérique en gardant en permanence les valeurs des 10 dernières mesures. Cela peut amener à compléter la zone de déclaration de variables et la procédure d'initialisation.
 - Compléter la procédure `commandeInterrupteur` (lignes 17 à 20) afin de tester si toutes les valeurs contenues dans `tableauMesures` sont inférieures à la constante `Seuil`. Si c'est le cas, on appliquera la tension d'alimentation sur le signal de commande de l'interrupteur, afin de l'ouvrir. Dans le cas contraire, on laissera ce signal à la masse.

Semiconductor, Application Note 4248, janvier 2012. Cette note décrit également comment connaître l'orientation du circuit par rapport au nord magnétique à l'aide des données fournies par un magnétomètre tridimensionnel.

²Voir V. Schmidt, "Vivre vite, mourrir vieux, prolongateur de durée de vie de batterie", Projet Elektor-epost No 18, 2013.

```
1 // DS informatique d'instrumentation 2, F. Auger, 5/10/2013
2
3 // declaration des constantes
4 const byte BrocheInterrupteur = 2;
5 const byte VoieMesureTension = 0;
6 const int Seuil = 569;
7
8 // declaration des variables
9 // a completer
10
11 void acquisition() //
12 {
13   Mesure=analogRead(VoieMesureTension);
14   // a completer
15 }
16
17 void commandeInterrupteur() //
18 {
19   // a completer
20 }
21
22 void setup() //
23 {
24   // a completer
25 }
26
27 void loop() //
28 {
29   acquisition();
30   commandeInterrupteur();
31   delay(1000);
32 }
```