

# 2009

## Aide à la rééducation



Alexandre Amert  
Tristan Brillet de Cande  
Maxime Cazor

Projet suivi par :

**M. Basset**  
**M. Mithalal**

# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION</b>	<b>P. 3</b>
<b>OBJECTIFS ET CHOIX DES COMPOSANTS</b>	<b>P. 4</b>
<b>PARTIE EMISSION ET CAPTEURS (semelle du patient)</b>	<b>P. 7</b>
Branchement	
Fonctionnement	
Caractéristiques	
Conditionnement du Signal	
Alimentation	
<b>TRANSMISSION FM DES DONNEES</b>	<b>P. 16</b>
<b>PARTIE RECEPTION DES DONNEES (bureau du médecin, à vue du patient)</b>	<b>P. 19</b>
L’Afficheur à Diodes	
L’Afficheur 7 Segments et Calibrage du Poids limite	
<b>ACQUISITION ET TRAITEMENT DES DONNEES VIA LE MICROCONTRÔLEUR</b>	<b>P. 25</b>
Présentation du microcontrôleur MSP430F149	
Rôles du Microcontrôleur	
Le Convertisseur Analogique/Numérique	
L’interface USART – Transmission des données	
Le Pilotage de l’Afficheur 7 Segments	
Le Pilotage de l’Afficheur à Diodes	
<b>BILANS ET REMARQUES</b>	<b>P. 40</b>
<b>REMERCIEMENTS</b>	<b>P. 41</b>

**CONCLUSION**

**P. 42**

**ANNEXES**

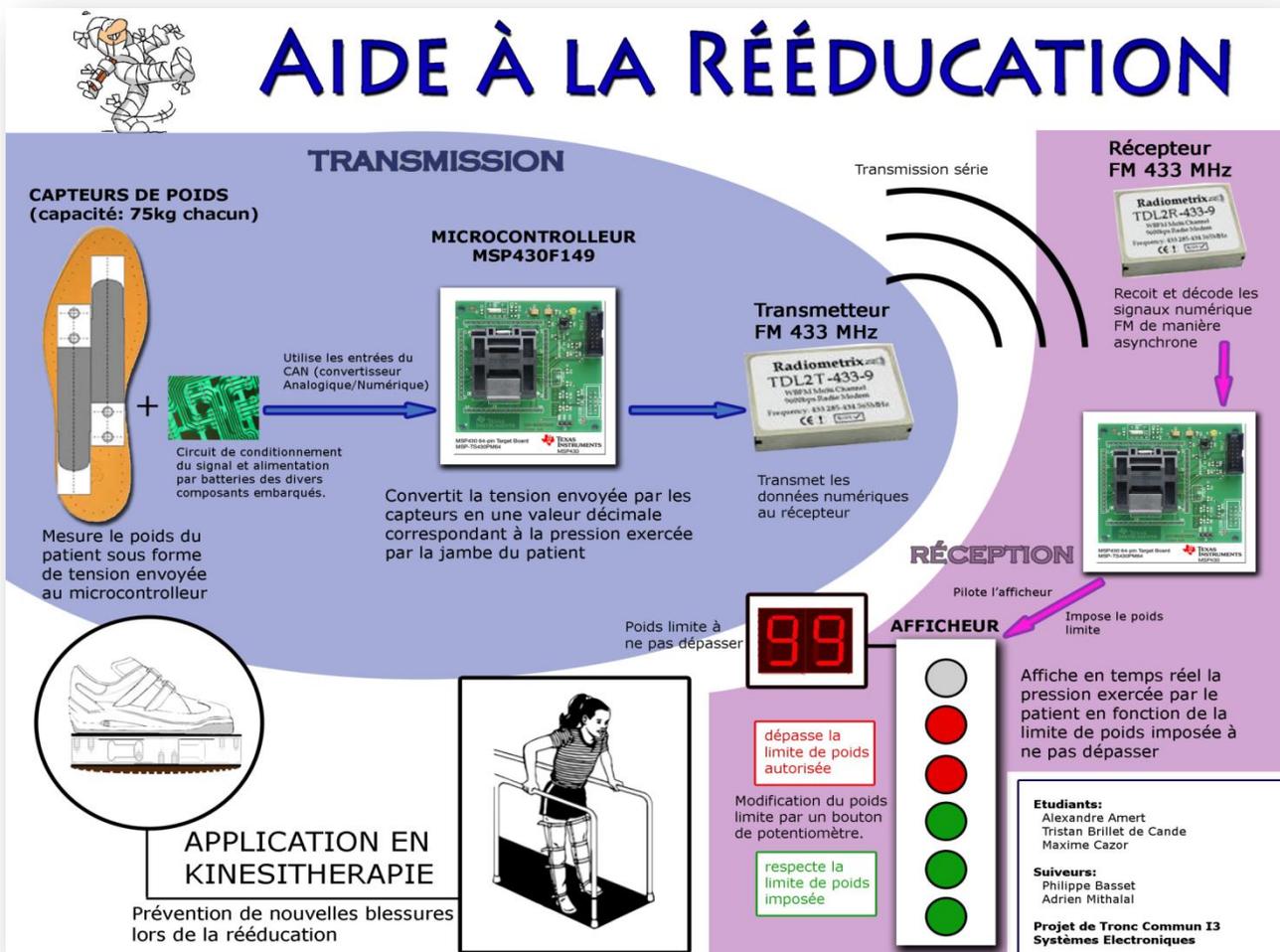
**P. 43**

## INTRODUCTION

L'objectif de notre projet est de réaliser un produit qui mesure le poids exercé par une personne sur sa jambe lorsqu'il marche. Il faut également que ce poids soit affiché en fonction d'une valeur de référence ajustable. Notre projet a un véritable but médical. En effet le sujet a été proposé par un kinésithérapeute du Val-de-Marne qui a besoin de notre produit pour apprendre à ses patients en rééducation à marcher en limitant le poids qu'ils exercent sur leur jambe.

Pour cela il nous a été transmis un cahier des charges. Notre capteur devait pouvoir accepter une charge allant jusqu'à 100 kg et disposer de 3 points de pression pour une plus grande précision sur les parties du pied jouant un rôle dans la marche. Le tout devait être d'un faible encombrement pour tenir dans la semelle ou sous-semelle d'une chaussure et rester raisonnable économiquement. En effet, bien que nous n'ayons pu vérifier cette information, il semblerait qu'un produit similaire existe déjà sur le marché américain mais qui coûterait plus de 3000\$. Nous devons donc réaliser un produit tout aussi performant mais bien moins cher pour être accessible par un grand nombre de kinésithérapeute.

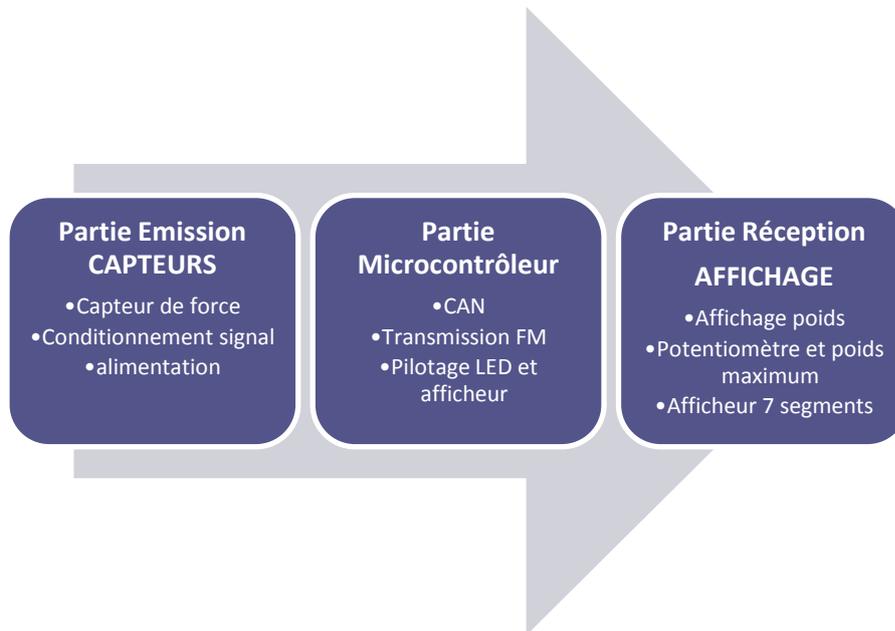
Vous pouvez voir ci-après le schéma général du fonctionnement de notre projet :



## OBJECTIFS et Choix des Composants

Réaliser l'acquisition du poids qu'exerce une personne sur sa jambe. Puis, afficher ce poids en temps réel sur un afficheur. Celui-ci prendra en compte le poids à ne pas dépasser pour une application en kinésithérapie sur des patients. Ce poids sera mesuré par des capteurs piézoélectriques situés dans la (les) semelle(s) d'une(des) chaussure(s). Le microcontrôleur sera lui aussi fixé sur la chaussure, en revanche les données seront transmises à l'afficheur LCD à la hauteur du patient par voie filaire dans un premier temps.

Le projet se répartira en trois grandes parties successives que voici :

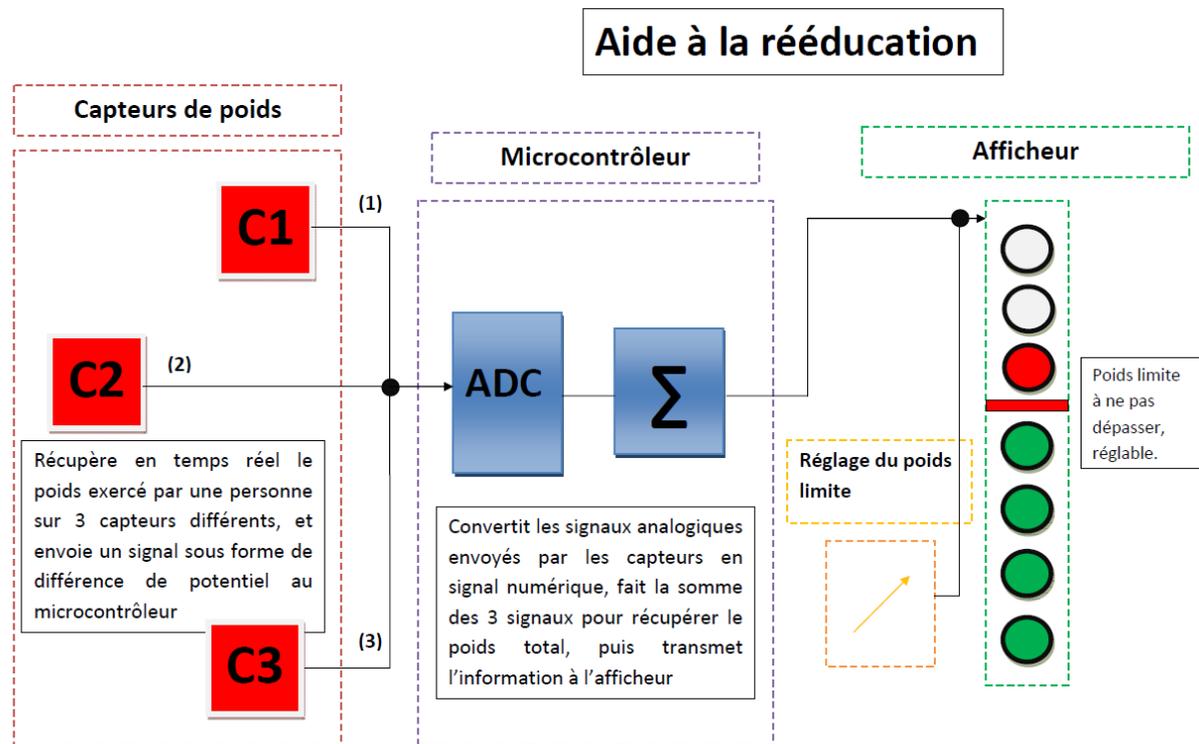


**Application :** Domaine médical, Kinésithérapie avant tout, c'est-à-dire dans le cadre de la rééducation d'un patient qui doit modérer le poids appliqué sur sa jambe.

### Cahier des charges :

- Dimensions : Surface d'un capteur d'au maximum 25cm<sup>2</sup>, et d'une hauteur de 2cm maximum
- Capteur d'une précision d'au moins 1 kilo
- Capacité de 100 kilos.
- Puissance : Quelques mW

- Pression : de l'ordre de centaines de milliers de bars



## CHOIX DES COMPOSANTS

Capteur piézoélectrique Model 1042, fabricant : TedeA Huntleigh

Nous nous sommes penchés sur le choix entre les capteurs de poids et les capteurs de force, les capteurs piezoélectriques et les capteurs piezorésistifs. La piézoélectricité est la propriété d'un matériau donné qui se polarise électriquement lorsqu'il subit une contrainte mécanique. La piézorésistivité est la propriété d'un matériau donné dont la résistance interne varie lorsqu'il subit une contrainte mécanique. Notre choix s'est affiné pour des capteurs piézorésistifs à base de jauges de contraintes car les capteurs piézoélectriques étaient pour d'autres applications que la nôtre.

Nous avons communiqué directement avec des fournisseurs spécialisés dans ce type de composants et les capteurs conseillés étaient des capteurs de force (équivalant au poids) à jauges de contrainte piézorésistives.

Au final, nous avons trouvé seulement 3 fournisseurs qui nous ont proposé des capteurs de qualité équivalente correspondant à notre cahier des charges.

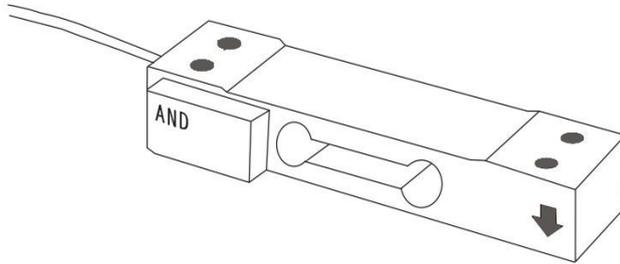
Le budget qui nous a été fixé était de 100€ maximum pour le capteur.

Nos 3 interlocuteurs furent Codemes, SMD sensors et Radiospare. Le moins cher était le S200 de SMD sensors, c'est-à-dire 75€HT mais qui était situé en Angleterre et qui ne faisait pas parti des fournisseurs officiels de l'ESIEE. Leur produit fut donc abandonné à l'instar de celui de Radiospare qui coûtait lui 145,79€HT malgré le non respect du budget. Quant à Codemes, ses capteurs étaient de meilleure qualité et situés en France mais coûtaient minimum 154€HT pour le type de capteur répondant au cahier des charges le moins cher.

Nous avons donc opté pour le plus simple à commander, malgré le fait qu'il soit au-dessus du budget après avoir eu l'accord du département de micro-électronique.

## CARACTÉRISTIQUES

C'est un dynamomètre piézorésistif à point unique bas profil de type 2-Beam (double poutre encastrée en français), conçu pour un montage direct sur des plates-formes de pesage économiques (type balances de détail, balances de table, balances de comptage, etc.) qui peut aller jusqu'à 75kg R.C (Rated Capacity) mais 52 en réalité (voir calculs dans la partie capteurs : calibration du capteur). Ce genre de capteur est réputé pour être assez précis et très linéaire dans sa mesure. En revanche, la fine épaisseur du corps d'épreuve augmente son fluage ([déformation irréversible](#) d'un matériau



**Type 2-Beam**

soumis à une [contrainte](#) constante grâce à sa viscosité). Il est fait d'aluminium anodisé

muni d'un revêtement de protection résistant à l'humidité garantissant une stabilité à long terme (norme IP66: Indice de Protection 66), sur toute la plage de température compensée.

Il est approuvé NTEP 5000 et OIML 6000.

Cela veut dire que les normes NTEP et OIML garantissent le bon fonctionnement de l'appareil avec toutes ses caractéristiques pour 5000 et 6000 utilisations respectivement au poids maximal (75kg dans notre cas).

### AMPLIFICATEUR D'INSTRUMENTATION :

INA131BP de chez Burr-Brown. Cet amplificateur était peu cher et d'un gain de 100.

### MICROCONTRÔLEUR :

MSP430 de chez Texas instruments

## Partie Emission – CAPTEUR (semelle du Patient)

## Branchements

Output
Output
Input
Input
Sense
Sense

Les fils « input » vert et noir sont les fils d'alimentation dont la différence de potentiel doit être de 10V.

Les fils « Output » blanc et rouge doivent récupérer la tension liée à la mesure du poids.

Les deux fils « Sense » marron et bleu sont les retours des fils de Input. Ainsi, ils servent à indiquer la perte de tension si les fils du « Input » sont très longs et qu'il y a des pertes en ligne. Dans notre cas, les fils du « Input » ne sont pas plus longs que ceux du « Sense », ça n'a donc pas d'intérêt : on a mesuré une différence de seulement 8uV entre les la tension d'entrée « Input » et le « Sense » en « Output ». C'est trop peu pour y prêter attention. Ainsi nous laisserons ces fils dans le vide ou reliés à différence de potentiel d'alimentation de 10V.

## Fonctionnement

Notre capteur de pression fonctionne à l'aide de jauges de contraintes.

## QU'EST-CE QU'UNE JAUGE DE CONTRAINTE ?

Sous sa forme la plus simple, une jauge est constituée d'un très fin fil (2 microns) conducteur collé sur un support la plupart du temps métallique. Cette feuille très mince est arrangée suivant la forme de la **figure 1**. Les brins de fil constituant la jauge étant principalement alignés suivant la direction de mesure, on peut admettre que le fil subit les mêmes déformations que la surface sur laquelle la jauge est collée.

La résistance d'un fil conducteur est définie par la loi de Pouillet :  $R = \frac{\rho L}{s}$

où  $R$  est la résistance électrique

$\rho$  la résistivité du matériau

$L$  la longueur du fil

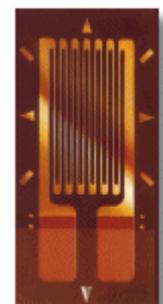


Figure 1 : Jauge de contrainte

s la section du fil

On applique ensuite ces jauges de contrainte à 2 endroits sur le support métallique comme sur la **figure 2**.

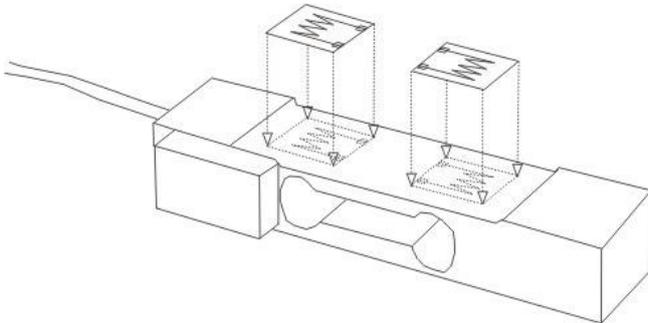


Figure 2-Pose des jauges de contraintes

Toute la technologie d'un capteur piézorésistif repose sur la propriété qui fait que la résistance du fil de la jauge de contrainte varie en proportion avec la longueur de ce fil. Plus la force appliquée au support mécanique est importante et plus la jauge de contrainte est déformée et plus la résistance varie comme on peut le voir sur la **figure 3**. Il faut garder en vue que la variation de résistance est minime.

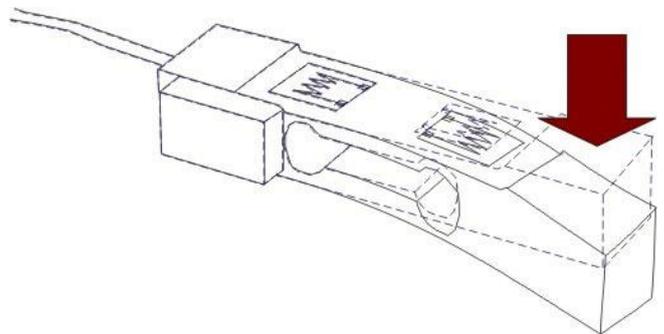


figure 3-La force appliquée plie le support

## Caractéristiques

### POIDS MAXIMUM CONSEILLÉ :

La capacité nominale de notre capteur est de 75kg mais la datasheet de ce composant nous prévient qu'il faut effectuer un calcul pour connaître le poids maximum conseillé à appliquer pour avoir les meilleures performances et garanties de longévité.

$C \geq ((\text{Impact coefficient} * \text{Load weight} + \text{Initial load}) * \text{Load eccentricity coefficient} * \text{Load imbalance coefficient}) / \text{Number of load cells}$

$$C \geq \frac{((CI.P) + I).CA.CD}{N}$$

Avec C=Capacité du capteur, CI=Coefficient d'impact, P=Poids, I=Poids de l'instrument, CA=Coefficient d'Approximation (eccentricity), CD=Coefficient de déséquilibre, N=Nombre de capteurs.

Or dans notre cas : C=100kg | CD=1 | N=1 | CI=1.2 | I=0.3 kg | CA=1.2. (données tirées d'un pdf que le fournisseur Codemes m'a donné).

Ainsi :

$$P \leq \frac{(\frac{N.C}{CA.CD} - I)}{CI} = \frac{(\frac{75}{1,2} - 0,3)}{1,2} = 51,8kg \approx 52kg$$

Ainsi, il n'est pas conseillé de dépasser les 52kg de charge sur ce capteur.

## SIGNAL DE SORTIE

Le capteur fonctionne avec une tension d'alimentation de 10V et transmet un signal de sortie de 2,0481mV/V de R.O (Rated Output). Cela veut dire que pour 1V en entrée, il y aura 2mV environ en sortie. Comme on va insérer 10V en entrée, il y aura donc 20mV environ en sortie. Comme la capacité du capteur est de 75 kg, alors il y aura 20mV en sortie pour ce poids là.

Le zero balance est de 0.0154mV/V soit 0.154mV. On a donc une tension de sortie théorique de 0.154mV lorsqu'il n'y a aucun poids sur la balance.

Comme l'erreur est de 0.02% du R.O c'est-à-dire de  $\frac{0.02}{100} \cdot 20 \text{ mV} = 4 \text{ uV}$ . Une erreur de 4uV en sortie correspond à une erreur de 0.02kg soit 20g. L'erreur est donc très faible et est largement inférieure au kilo de précision que l'on avait en cahier des charges et on va donc ne pas la prendre en compte.

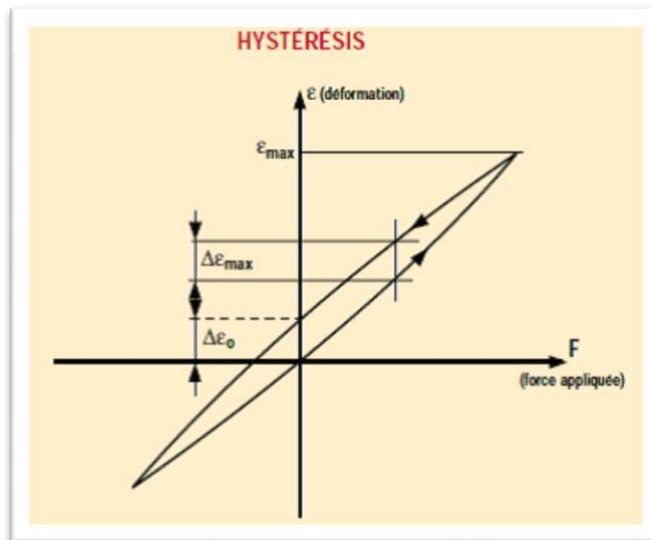
Si l'on veut une précision de 1 kg, alors il y aura une résolution de 1/52. On aura donc un pas de 20mV/52=380uV. On aura donc chaque kilo de notre capteur qui sera espacé de 380uV en théorie.

## PROBLÈMES POSSIBLES

On peut observer la un phénomène d'hystérésis. Il y a hystérésis si l'information que le capteur délivre est différente suivant que les mesures soient effectuées sous charge croissante ou décroissante.

De ce problème résulte une différence résiduelle de la tension de départ après et avant charge. Ce problème d'hystérésis ne devient vraiment gênant que lorsque l'on fait des mesures de charge répétées. Donc même si notre capteur est théoriquement linéaire, ce problème peut apparaître après une longue séance de rééducation.

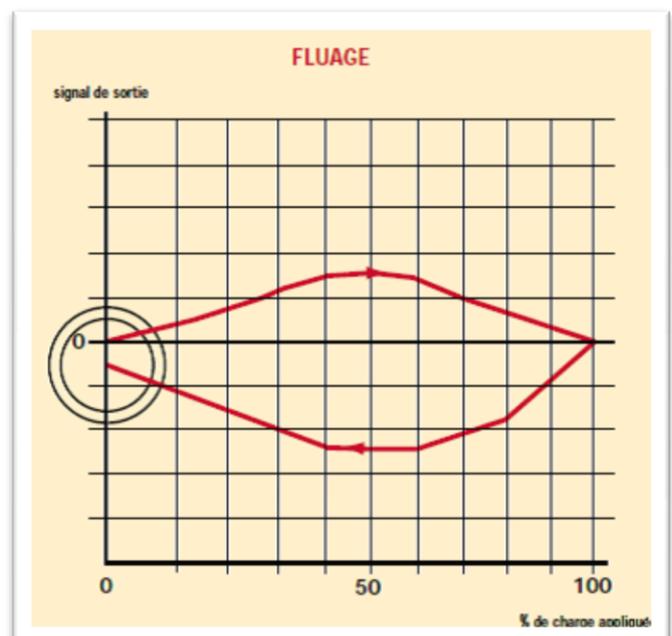
Sur la figure ci-contre se trouve la distance  $d_{max}$  qui est l'erreur entre la tension de départ et la tension après annulation de la force.



Un des autres problèmes possibles à long terme est le fluage.

Le fluage est le résultat de la déformation d'un solide soumis à une force constante et qui augmente avec le temps.

Dans notre cas, la qualité de notre capteur doit faire en sorte que les matériaux utilisés permettent un faible fluage. Mais il faut savoir que ce paramètre augmente avec la température et qu'il peut apparaître après de nombreuses utilisations.



## PONT DE WHEATSTONE

En pratique, les mesures de déformation impliquent rarement des quantités supérieures à quelques microdéformations ( $\epsilon \times 10^{-6}$ ). Par conséquent, le fait de mesurer une déformation nécessite la mesure précise de très petites variations de la résistance. Pour mesurer des variations si petites de la résistance, les jauges de contrainte sont presque toujours utilisées dans une configuration en pont avec une source d'excitation de tension  $V_{EX}$ . Le pont de Wheatstone, illustré en Figure n°3, se compose de quatre branches résistives avec une tension d'excitation,  $V_{EX}$ , appliquée sur le pont.

On fait deux diviseurs de tension avec  $V_A = \frac{R_2}{R_1+R_2} \cdot V_{EX}$  et  $V_B = \frac{R_4}{R_3+R_4} \cdot V_{EX}$ . La tension de sortie du pont,  $V_O$ , équivaut à :  $V_O = V_A - V_B = \left( \frac{R_3}{R_3+R_4} - \frac{R_2}{R_1+R_2} \right) \cdot V_{EX}$

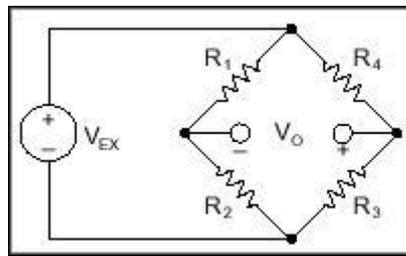


figure 3- Configuration en pont de Wheatstone

Cette équation indique que lorsque  $R_1/R_2 = R_4/R_3$ , la sortie de tension,  $V_O$ , est égale à zéro. Dans ces conditions, on dit que le pont est "équilibré". Tout changement de résistance dans une des branches du pont conduit à une tension de sortie non nulle. Si la résistance nominale de la jauge de contrainte est désignée par  $R_G$ , alors le changement induit par la contrainte dans la résistance,  $\Delta R$ , peut s'exprimer de la façon suivante :  $\Delta R = R_G \cdot GF \cdot \epsilon$ . En supposant que  $R_1 = R_2$  et  $R_3 = R_G$ , l'équation du pont ci-dessus peut se réécrire pour exprimer  $V_O/V_{EX}$  comme fonction de la contrainte (voir Figure n°4). Notez la présence du terme  $1/(1+GF \cdot \epsilon/2)$  qui indique la non-linéarité de la sortie du quart de pont en rapport avec la déformation.

Pour avoir une bonne sensibilité, nous avons opté pour un capteur dont la topologie est certainement en demi-pont. Par exemple, la Figure 5 illustre une application d'une poutre en flexion avec une jauge montée en tension ( $R_G + \Delta R$ ) et l'autre montée en compression ( $R_G - \Delta R$ ). Cette configuration en demi-pont produit une tension de sortie linéaire dont la sensibilité est doublée par rapport à celle où on n'a qu'une seule jauge de contrainte.

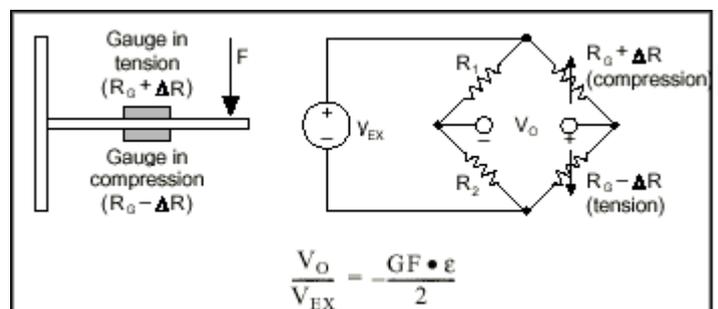


figure 4-Configuration en demi-pont

Comme aucune information sur notre capteur ne nous informe sur le type de pont de Wheatstone ou sur le nombre de jauges de contrainte, notre capteur pourrait aussi être en pont complet pour une précision encore doublée avec les résistances  $R_1$  et  $R_2$  qui sont des jauges de tension au même titre que  $R_3$  et  $R_4$  et qui sont perpendiculaires à celles-ci dans la direction. Cette configuration des jauges de contrainte permet de prendre en compte toutes les directions des compressions du support et d'améliorer la précision.  $R_1$  varierait dans les mêmes proportions que  $R_3$  selon la formule  $R_0 - \Delta_R$  et il en serait de même pour  $R_2$  et  $R_4$  qui compenseraient les deux autres avec une résistance de  $R_0 + \Delta_R$ .

N.B : Il est important de noter que les jauges de contrainte n'ont pas de polarité.

---

## Conditionnement du Signal

---

### L'AMPLIFICATEUR D'INSTRUMENTATION :

#### But :

Appelé aussi amplificateur de mesure, c'est un module amplificateur différentiel, circuit intégré adapté au traitement de signaux en présence de tensions de mode commun relativement importantes, c'est-à-dire tout à fait recommandé à la sortie de notre capteur de poids dont on doit faire la différence entre les deux tensions « Output » qui ont une très forte tension en mode commun.

La tension de mode commun  $V_{MC}$  représente la valeur de tension commune entre deux tensions  $V_A$  et  $V_B$  et qui n'est support d'aucune information tel que :  $V_{MC} = \frac{V_A + V_B}{2}$ . Cette tension est gênante car elle est inutilement élevée et parce qu'elle elle crée un fort bruit en sortie du capteur.

#### Caractéristiques théoriques:

Dans notre cas, la tension de mode commun  $V_{MC}$  est très importante (quasi-totalité) par rapport à la différence de tension entre  $V_A$  et  $V_B$  en entrée appelée  $V_m$ . L'amplificateur d'instrumentation permet donc la réjection du mode commun afin d'obtenir et pouvoir traiter la tension  $V_m$  indépendamment de  $V_{MC}$  qui insère du bruit dans le signal de sortie (voir les tests réalisés sur le bruit en **annexe 3**)

La tension aux bornes de l'entrée doit être inférieure à la tension d'alimentation. Or, la tension à l'entrée est de l'ordre du mV alors que celle de l'alimentation est de  $\pm 15V$ , on n'a donc aucun problème de ce côté-là.

Comme le zéro de la balance théorique est de 0.154mV en sortie du capteur et comme le gain de l'amplificateur de mesure est de 100, alors on a un zéro théorique à sa sortie de 0.154mV.100=15,4mV. C'est une valeur que l'on a pu vérifier avec une sortie de 16 mV environ en sortie.

Pour la tension maximum théorique, on a 20mV maximum à la sortie du capteur et donc 20mV.100=2000mV=2V à la sortie de l'amplificateur de mesure.

Le taux de réjection de l'amplificateur de mesure lorsqu'il est bien utilisé, c'est-à-dire avec une faible impédance entre la sortie et la masse de l'ampli, est de 120dB. C'est-à-dire largement suffisant pour éliminer l'ensemble de la tension en mode commun.

$V_{smin}=15.4mV$

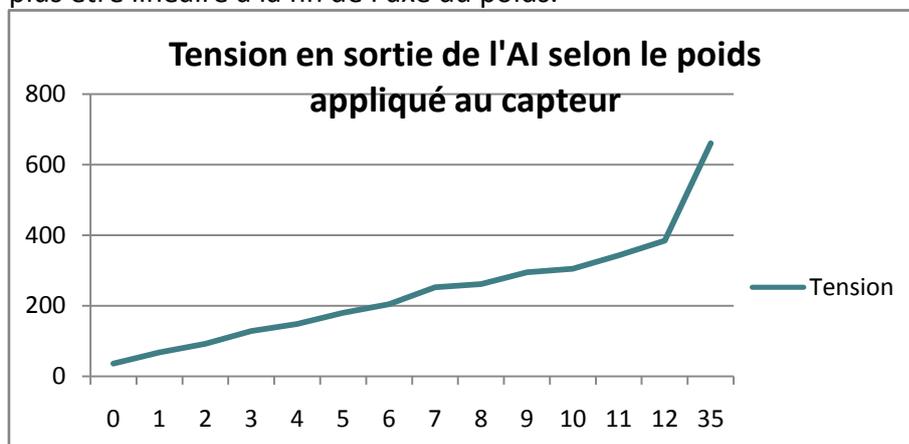
$V_{smax}=2V$

Comme la précision à avoir est de 1kg et que nous ne pouvons peser que jusqu'à 52kg, alors nous avons un pas de  $2V/52=38mV$  environ, soit  $100 \times 380uV$  après amplification par 100 du pas à la sortie du capteur que nous avons calculé auparavant. On veut donc avoir une résolution qui fait que chaque kilo est séparé de 38mV à la sortie de l'amplificateur de mesure.

### Caractéristiques pratiques:

Nous savons que le capteur est très linéaire grâce au pont de Wheatstone qui le compose. Cela nous sera donc très utile pour créer un tableau de correspondance dans le PIC entre la tension reçue et le poids appliqué au capteur. Ainsi, nous désirons trouver la relation qui lie ces deux valeurs en effectuant plusieurs relevés que nous avons ensuite retranscrits dans un tableur.

Nous avons utilisé une balance pèse-personne analogique de précision 1kg pour mesurer des poids allant de 1 à 12kg mais aussi pour un poids de 35kg. C'est à cause de cette dernière valeur et au non respect de l'échelle pour des questions de place que la courbe paraît ne plus être linéaire à la fin de l'axe du poids.



Cela dit, bien que la linéarité est approximative à cause du peu de précision des méthodes de pesage utilisées. on peut voir qu'elle bien au rendez vous.

Ainsi, on a pu remarquer avec le tableau des mesures que la moyenne des coefficients directeurs était de 28 (Voir tous les tests et résultats des mesures en détail en **annexe 2**).

Cela dit, on a aussi pu noter que le poids que l'on peut appliquer au capteur ne peut pas dépasser les 30kg à cause de la solidité rudimentaire du support que nous avons créé. Au dessus des 30kg, le support se plie tellement qu'il va toucher le capteur, qui lui-même touche le sol et ainsi du poids à

mesurer est perdu. C'est pour cela que la mesure des 35kg que l'on voit sur la courbe, n'est pas sur la trajectoire linéaire du capteur mais bien en-dessous (voir détails aussi dans l'**annexe 2**).

On peut ainsi dire que l'on peut déduire la tension de sortie en faisant :

$$\text{Poids} \times 28 = \text{Tension de sortie}$$

Exemple : Pour 50kg, on a  $50\text{kg} \cdot 28 = 1,4\text{V}$

Pour 75kg, on a  $75 \cdot 28 = 2,1\text{V}$ . Or nous avons théoriquement 2V maximum pour ce capteur de capacité de 75kg. Il y a donc un problème entre la théorie et la pratique. En faisant le calcul  $\frac{2000\text{mV}}{75\text{kg}} = 26,66666666 \dots \approx 27$ . On a donc un coefficient directeur théorique de 27 et un coefficient réel de 28. Cela fait donc une erreur de 3,5% entre les 2 ce qui reste tout de même très faible étant donné l'approximation de  $((27-26,6666667)/27) \cdot 100 = 1,23\%$  de la valeur du coefficient théorique.

Les valeurs de référence du PIC seront ensuite calculées par rapport à ce coefficient directeur.

---

## L'Alimentation

---

### **But :**

L'objectif est d'avoir une alimentation qui puisse alimenter le capteur, l'amplificateur d'instrumentation et le PIC mais aussi se glisser dans la structure de notre chaussure. De plus, cette alimentation se devait d'être légère, peu encombrante et sans fil pour ne pas gêner les mouvements du patient.

**Problème** : Le problème que l'on rencontra assez vite était de pouvoir alimenter le capteur, le PIC et l'amplificateur de mesure en même temps à partir de la même alimentation portable pour des raisons de place alors qu'ils ont des besoins différents.

PIC : 0 à 3V

Ampli de mesure :  $\pm 15\text{V}$  typique mais peut aller de  $\pm 2,25\text{V}$  à  $\pm 18\text{V}$ .

Capteur : différence de potentiel de 10V.

Nous avons donc opté pour une alimentation à partir de piles de 9V car elles sont suffisamment puissantes pour récupérer 5V et 3V par diviseur de tension. Ensuite, vint le problème de la manière de faire une alimentation stable de  $\pm 5\text{V}$  pour l'ampli d'alimentation. Nous avons pu découvrir que les régulateurs 7805 et 7905 pouvaient nous aider à avoir ce type de signal stable. Ils consistent en des circuits intégrés dans lesquels on insère une tension entre 7V et 20V (ou -7V et -20V pour le 7905) et l'on récupère inévitablement une tension de 5V en sortie (-5V pour le 7905). Cette tension reste stable même après des variations de tension en entrée.

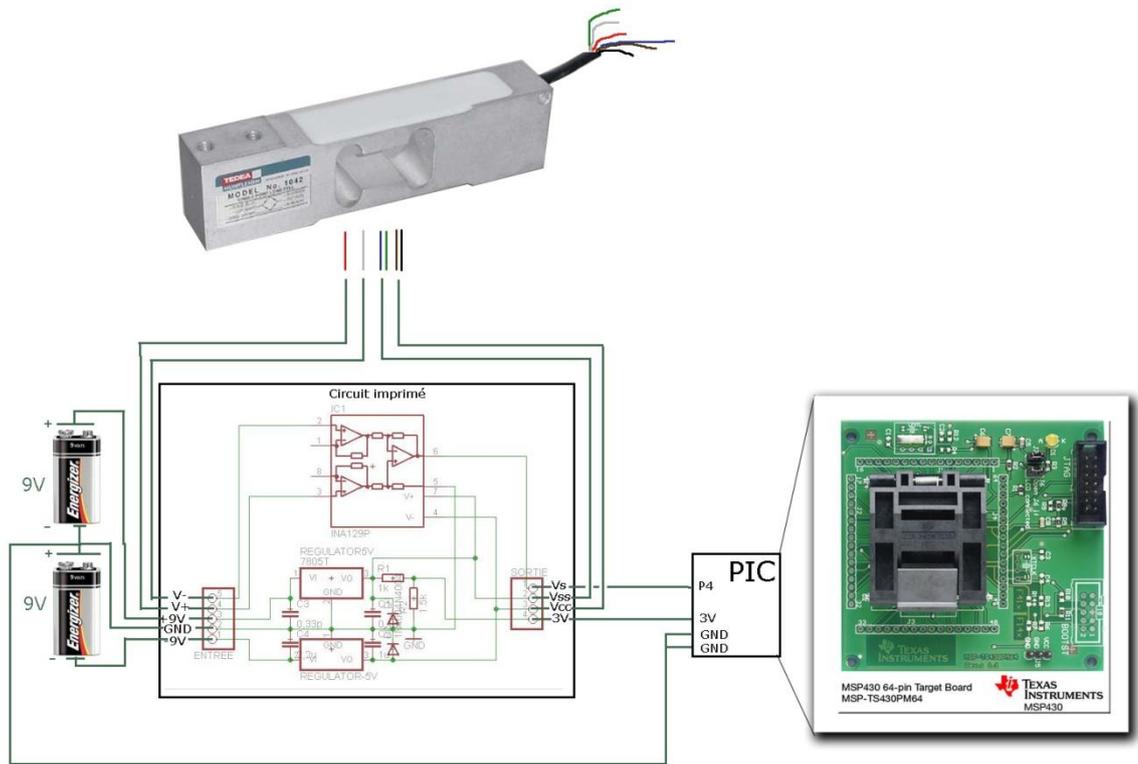
Pour passer de 5 à 3V nous avons dans un premier temps fait un pont diviseur de tension suivant ce calcul :

$$V_s = V_e \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \text{ avec } V_s = 3\text{V} \text{ et } V_e = 5\text{V}.$$

$$\frac{R_2}{R_1+R_2} = \frac{3}{5} \Rightarrow R_2 = \frac{3}{5} \cdot (R_1 + R_2) \Rightarrow R_2 \left(1 - \frac{3}{5}\right) = \frac{3}{5} \cdot R_1 \Rightarrow R_2 = \frac{\frac{3}{5}}{\left(1 - \frac{3}{5}\right)} \cdot R_1 = \frac{3}{2} \cdot R_1 = 1,5 \cdot R_1$$

On prendra donc  $R_2 = 15k\Omega$  et  $R_1 = 10k\Omega$  dû aux disponibilités du labo d'électronique.

Ainsi, en premier lieu, nous avons créé le circuit d'alimentation suivant :

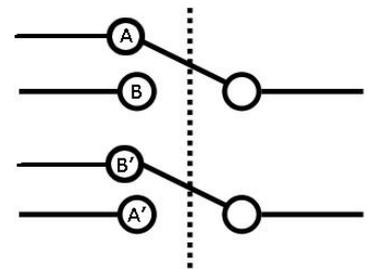


Avec le zoom du circuit en **annexe1**.

Puis nous avons trouvé qu'il était difficile d'enlever et de remettre les piles à chaque utilisation. Il nous fallait une interface plus simple pour allumer l'alimentation. La solution la plus simple que nous avons trouvé est un interrupteur ou un bouton poussoir.

Nous avons donc choisi un interrupteur quelconque à levier de type DPST. Ce double interrupteur permet en un clic de switcher deux entrées sur 2 sorties A et B ou A' et B'.

Puis, nous ne comprenions pas pourquoi les piles chauffaient après une utilisation de quelques minutes. Cela venait sûrement du fait que le diviseur de tension faisait débiter continûment du courant. Nous avons donc remarqué qu'il valait mieux utiliser un régulateur de tension de 3V en sortie de celui de 5V pour avoir notre alimentation du PIC. On a donc choisi un LD1085V33 qui est un régulateur de tension de 3,3V, ce qui est exactement la tension que requiert le PIC. De plus, il a un boîtier TO220 comme les autres régulateurs et a des caractéristiques similaires plutôt satisfaisantes.



## RÉGULATEUR DE TENSION

### Schéma réalisé pour l'alimentation :

Suite à un problème de régulateur qui chauffe très fort et très vite dès le début de nos essais (voir **Annexe 4** avec les tests). La question des pertes par effet joule, c'est-à-dire la puissance dissipée dans notre cas, s'est posée.

Les régulateurs ont une operating temperature qui monte jusqu'à 125°C. Donc même dans des conditions normales, il ne faut pas s'inquiéter si ça chauffe.

Comme il y a une élévation de température de 65°C/W et qu'on a  $PO \leq 25W$  alors la chaleur peut monter très vite. Pour respecter l'operating temperature, il ne faut donc pas dépasser  $125/65=2W$  environ de puissance dissipée.

Il faut donc mettre un radiateur si nécessaire pour dissiper plus vite la température et pouvoir augmenter la puissance dissipée possible.

Il faut garder à l'esprit que :

- La masse doit être la même pour la tension d'entrée et de sortie. De plus, il faut que la tension d'entrée soit de 2V supérieure à celle de la sortie.
- CI est requis si le régulateur est à une certaine distance de l'alimentation.  $CI=0,33\mu F$ .
- CO améliore la stabilité de la sortie.  $CO=0,1\mu F$ .
- Plus la tension et l'intensité d'entrée sont élevées et plus le rendement du régulateur de tension est faible.
- Plus la température est élevée et plus la tension de sortie sera éloignée des 5V demandés.

Or, la puissance dissipée en chaleur par le régulateur intégré, correspond au produit de la différence de tension qui règne entre son entrée et sa sortie et le courant qui le traverse.

- Typiquement, si nous avons 9V en entrée et 5V en sortie, nous avons donc 4V de différence. Nous savons que l'intensité en sortie peut aller jusqu'à 1A maximum selon la datasheet, alors la puissance dissipée max est ici de  $4 \times 1 = 4W$ . C'est énorme mais on peut voir dans la datasheet du 7805 que  $PO \leq 15W$ , or 4W reste raisonnable par rapport à cette valeur.
- Avec 7V en entrée, la différence n'est que de 2V et nous avons donc une puissance maximum de  $2 \times 1$  soit 2W dissipés. Cette solution est très prometteuse mais elle risque d'aller en dessous de la différence fatidique des 2V à respecter.

Pour respecter l'operating temperature, nous devons avoir une puissance dissipée de moins de 2W. La seconde solution serait donc toute indiquée pour faire fonctionner notre montage. Mais nous avons une pile de 9V en entrée qui demanderait donc un diviseur de tension pour passer à 7V si l'on veut se passer de dissipateur de température.

En pratique (voir tous les tests en **Annexe 4**), nous avons pu voir que les régulateurs supportaient très bien les 9V de la pile en entrée sans chauffer puisque l'intensité en sortie du régulateur est nulle. Ainsi, nous garderons cette configuration de 9V en entrée qui est supposée pouvoir débiter 4W de puissance dissipée maximum.

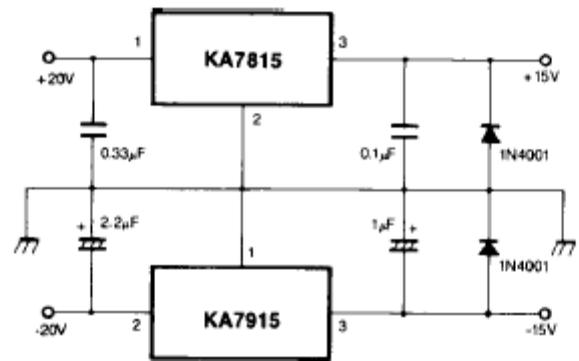


Figure 15. Split Power Supply ( $\pm 15V-1A$ )

## Transmission FM des Données

### OBJECTIF

Le but de notre projet étant de faire une chaussure qui embarquerait l'essentiel de l'électronique permettant de faire l'acquisition du poids appliqué sur la jambe d'un patient en rééducation et de l'envoyer sur un afficheur indépendant qui lui peut être fixe, nous nous devons de rendre les mouvements du patient totalement libres et sans contraintes. Ainsi, le fait de faire une télécommunication par radiofréquence FM permettait de relier les données récupérées dans la chaussure à l'afficheur.

### CHOIX DU MATÉRIEL

Pour permettre cette transmission, nous avons le choix entre une transmission bluetooth, une transmission ZigBee ou encore une transmission AM ou FM. Nous avons choisi de faire une transmission par onde FM parce que c'est ce qui se faisait de plus standard, moins gourmand, plus performant et tout ça pour un prix compétitif.



Nous avons choisi de prendre des modules RF de chez RadioMetrix car ils sont doués d'une longue expérience dans le milieu, qu'on en trouve dans un magasin d'électronique à seulement quelques kilomètres d'ici et pour leur réputation.

Nous avons donc pris deux modems unidirectionnels : un modem émetteur TDL2T et un récepteur TDL2R UHF (433MHz). Nous avons dû coupler ces modems de deux antennes du même format qui sont des antennes hélicoïdales semi-rigides de grande qualité. Elles sont fixées aux modules par des vis et mesurent 35mm.



### CARACTÉRISTIQUES

L'émetteur et le récepteur ne véhiculent que des données numériques (niveau logique 0/5V) en série. Le débit de la transmission est à un baud rate de 9600b/s. Or, la correspondance entre les [Bytes](#) (octets) /seconde et le baud se fait par une division par 10. Le débit est donc de 960 octets/s, soit  $960 \times 8 = 7680$  bits/s ou 7,68 kbits/s. La portée de la transmission est de 250 mètres, distance qui est largement suffisante pour une transmission qui ne doit pas sortir d'une salle moyenne.

Le module ne consomme que très peu car il se met à l'état de veille s'il n'y a pas de données à transmettre reconnues.

L'émetteur et le récepteur sont dotés de circuit de codage/décodage des données transmises (le module génère les trames de préambule, de synchro, ainsi que la mise en "packet" et le codage Manchester des données). Nous aurions pu effectuer ces codages/décodages nous même avec une puce de codage, une puce de décodage et une horloge interne aux MSP430 mais le fournisseur était à cours de stock.

Nous ne regrettons pas d'avoir pris cette solution car même avec celle-ci, nous avons eu de grandes difficultés à faire marcher cette transmission FM.

Il est possible de sélectionner 5 fréquences de transmission pré-définies dans la bande des 433MHz mais ces fréquences servent à pouvoir utiliser plusieurs modules au même moment, au même endroit. Ce genre d'application ne nous intéresse pas directement et nous allons donc rester à la fréquence par défaut CHAN0 de 433,925MHz.

Il est aussi possible d'utiliser les 8 possibilités de l'adressage interne des modems, ce qui permet de concevoir des mini-réseaux de communication dont chaque utilisateur utilise sa propre adresse. Encore une fois, cela ne nous intéresse pas pour le moment étant donné notre volonté d'une unique transmission FM. Nous sommes donc restés à l'adresse par défaut ADDR0.

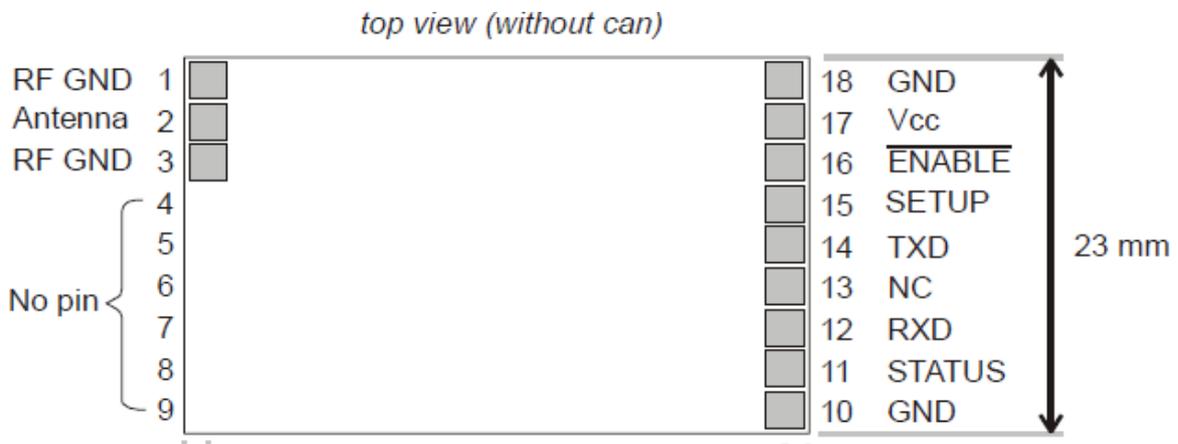
### BRANCHEMENT

Comme les données sont des données numériques et que le traitement de celles-ci peut s'avérer compliqué, nous avons dû mettre deux MSP430 dans la chaîne d'acquisition : un à l'émission et un à la réception.

Au bout du compte, le nombre de pins à connecter est assez réduit. Il n'y a que 2 pins qui soient primordiales à relier au microcontrôleur : le TXD pour l'émetteur (RXD pour le récepteur) par lequel passe les données et le STATUS qui prévient le microcontrôleur de réception qu'une donnée a été envoyée et bien reçue par le récepteur.

Les pins SETUP et ENABLE ne sont pas d'une grande utilité pour notre application. ENABLE doit être au niveau bas pour activer la transmission et la PIN SETUP sert à configurer les fréquences et adresses de travail que nous n'utiliserons pas dans notre projet.

Il n'y a que l'antenne et l'alimentation de 5V qui restent des entrées constantes simples elles aussi.

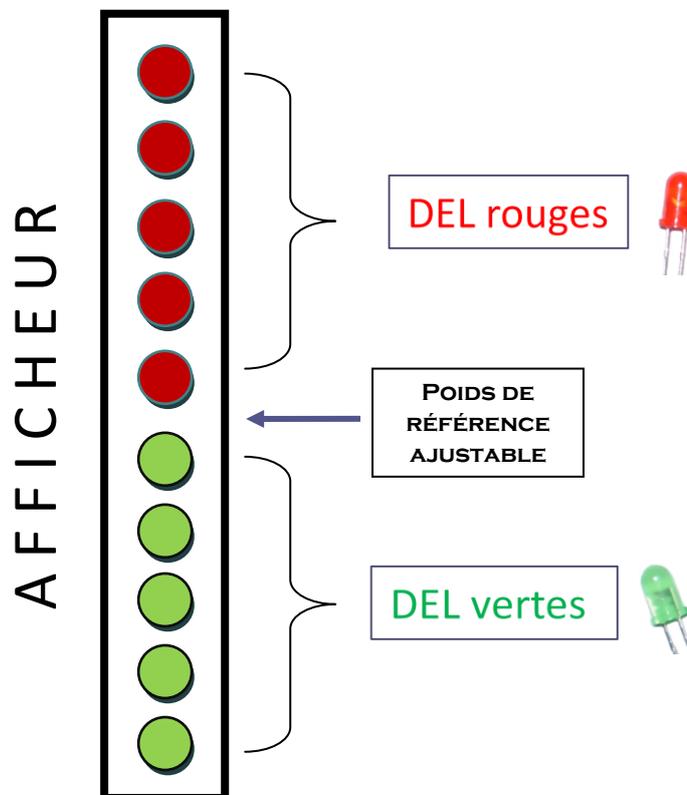


Le mode de transmission des données et son fonctionnement est détaillé plus loin dans le rapport, dans la partie Acquisition et Traitement des Données.

## PARTIE RECEPTION

## L’Afficheur à Diodes

Bien que non imposé par le cahier des charges, le kinésithérapeute avait clairement fait comprendre qu’il souhaitait un afficheur à allumage progressif. Nous avons donc rapidement pensé à réaliser un afficheur à diodes électroluminescentes (DEL). Nous voulions également que le patient puisse facilement visualiser son poids, grâce à l’afficheur, par rapport au poids de référence. C’est pourquoi nous avons composé l’afficheur de cinq DEL vertes (qui s’allument lorsque le poids de référence n’est pas dépassé) et de cinq DEL rouges (qui s’allument lorsque le poids de référence n’est pas dépassé)

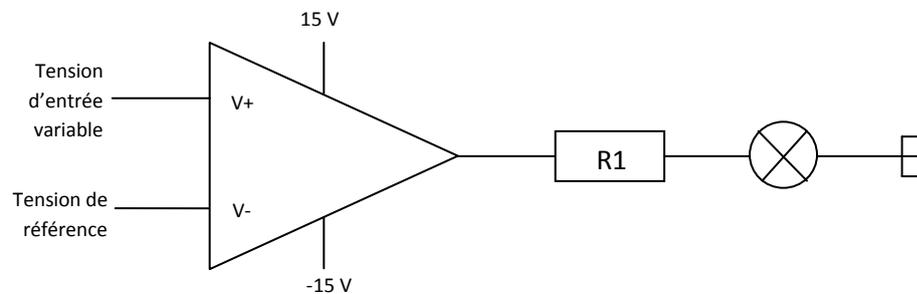


L’étude du microcontrôleur n’étant pas terminée à ce moment-là, nous avons décidé de réaliser un montage indépendant du reste de notre produit afin de vérifier l’idée et le fonctionnement général de l’afficheur à DEL. Il nous fallait donc réussir à allumer progressivement un nombre de DEL de manière proportionnelle à une tension d’entrée qui « simulerai » le poids du patient. Pour résoudre ce problème, nous avons décidé d’utiliser des comparateurs. Comme nous avons dix DEL à afficher, il nous fallait d’abord paramétrer 10 tensions de références. Si la tension simulant le poids dépassait quatre de ses tensions, par exemple, nous aurions 4 DEL allumées.

Tension de référence (en Volt)	DEL allumées
>10	
]9;10]	
]8;9]	
]7;8]	
]6;7]	
]5;6]	
]4;5]	
]3;4]	
]2;3]	
]1;2]	
< 1	

Les tensions de références ont été choisies arbitrairement et ne sont pas des valeurs qui nécessitent d'être très précises. Le but ici est simplement d'observer que l'afficheur à DEL fonctionne tel qu'on le souhaite.

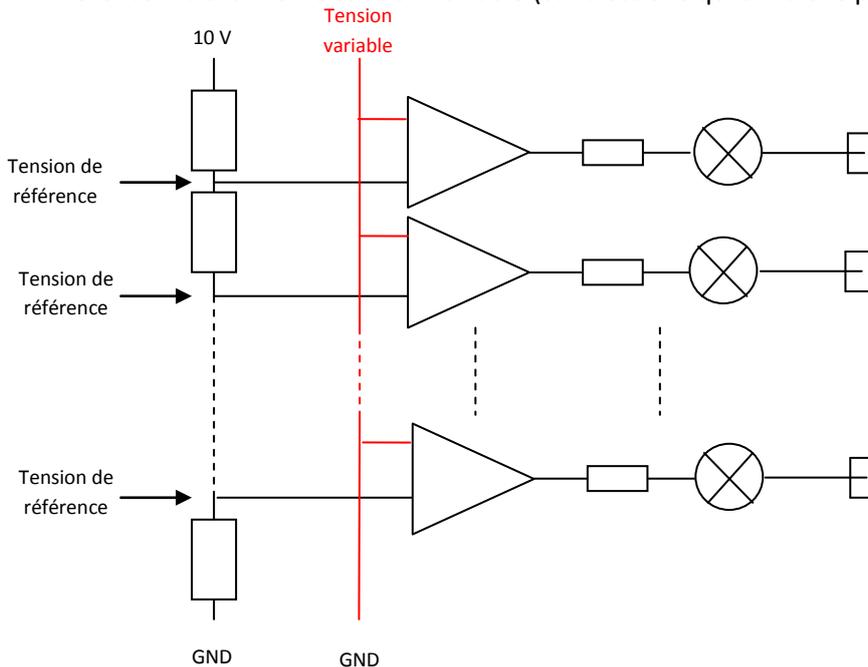
Voici le schéma électronique pour le fonctionnement d'une DEL :



Le courant en sortie du comparateur est proche de 20 mA et le courant de 14.5 V. Il nous faut donc placer une résistance pour protéger la DEL dont la tension doit avoisiner les 2V.

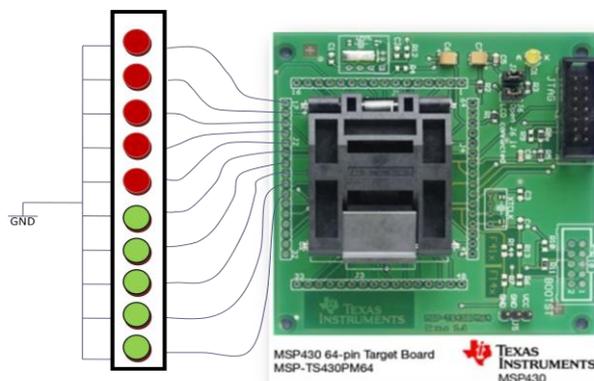
$$U = RI \Leftrightarrow R1 = \frac{U}{I} = \frac{12.5}{0.02} = 625 \text{ Ohms. Nous avons donc pris une résistance de } 619 \Omega.$$

Il ne nous restait plus qu'à mettre toutes les blocs « Comparateur – Résistance – DEL » en parallèle pour vérifier le fonctionnement. Chaque comparateur ayant en entrée une tension de référence différente mais la même tension variable (car c'est elle qui simule le poids).



Notre pont diviseur est composé de dix résistances identiques, les tensions de référence sont croissantes de bas en haut sur le schéma. Ainsi lorsque la *Tension variable* est supérieure à trois tensions de référence, nous avons trois diodes du bas allumées.

Le fonctionnement de notre montage étant vérifié par la pratique : nous avons bien un allumage progressif des diodes en fonction de la valeur de la *Tension variable*, nous avons décidé de le relier directement au microcontrôleur. Après étude plus approfondie de la datasheet, nous avons constaté que le MSP430 ne disposait pas de sortie analogique mais uniquement de sortie numérique. Nous avons donc mesuré le courant et la tension que délivraient ses sorties et constaté que nous pouvions directement brancher les DEL sur ses sorties. Après programmation du microcontrôleur nous avons connectées les DEL sur leur sortie respective du MSP430 de telle manière que lorsque la sortie passe sur état haut, la DEL s'allume, lorsqu'elle est sur état bas, la DEL reste éteinte ; le reste étant directement géré par le microcontrôleur.



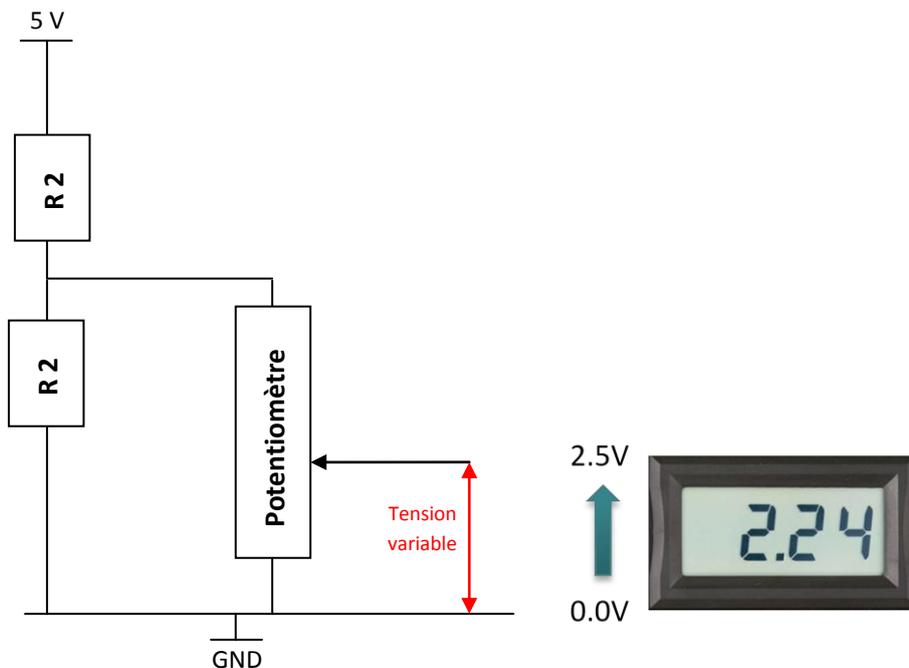
## Calibrage du Poids Limite et Afficheur 7 Segments

Imposé par le cahier des charges, nous devons offrir la possibilité à l'utilisateur de notre produit de modifier le poids de référence. En effet après 15 jours de rééducation vous avez le droit d'exercer un poids sur votre jambe bien plus important que lors des premières séances.

Nous avons donc décidé d'utiliser une entrée analogique du MSP430 pour réaliser cette modification du poids de référence. En effet à l'aide d'un potentiomètre, le kinésithérapeute ferait varier la tension d'entrée et en fonction de cette dernière le microcontrôleur calculerait le poids de référence correspondant. Comme cela a déjà été expliqué dans la partie nous appliquons en entrée une tension comprise entre 0 et 2.5V : 0V correspond à un poids de 0 kg et 2.5V correspond à un poids de 99 kg.

Comme nous ne disposons que d'un générateur 0-5V au niveau de l'afficheur, il a d'abord fallu diviser cette tension en deux pour pouvoir 2.5V aux bornes de notre potentiomètre.

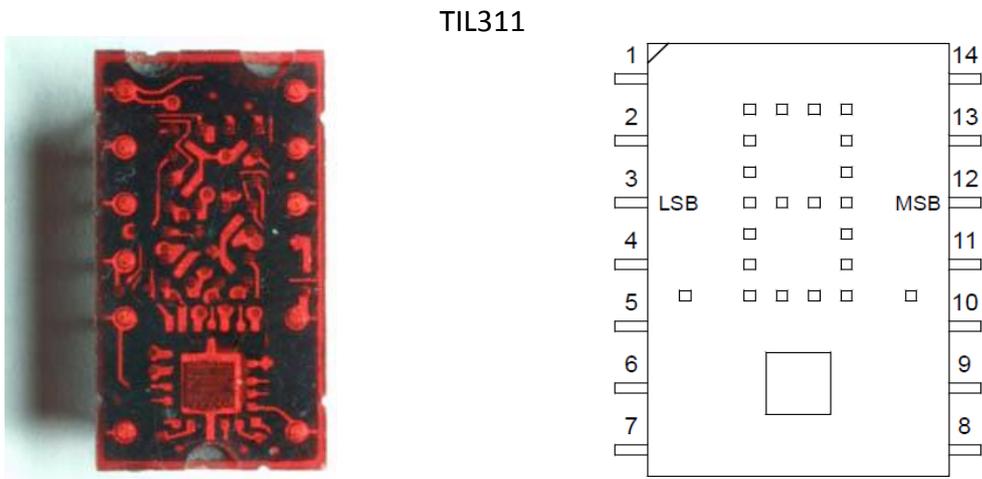
Nous avons choisi  $R2 = 1k\Omega$  et Potentiomètre =  $100k\Omega$



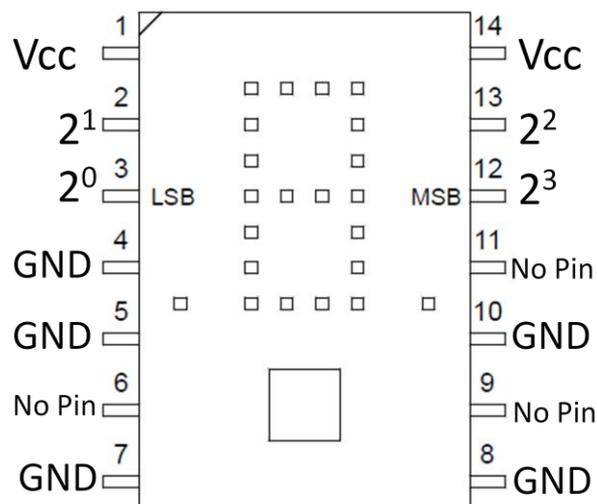
En faisant varier le potentiomètre, nous obtenons bien une tension comprise entre 0 et 2.5V que nous avons donc connectée sur une entrée ADC du MSP430.

Le problème qui se posait ensuite était le suivant : Comment, en faisant varier uniquement le potentiomètre, le docteur pouvait-il savoir qu'elle valeur de poids de référence venait-il de fixer ?

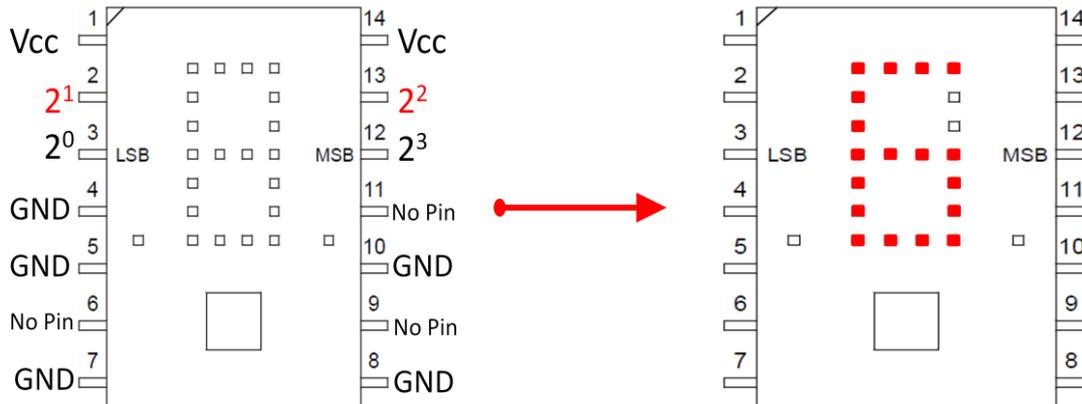
Il nous a donc fallu réaliser un second afficheur qui permettra au kiné de visualiser le poids de référence. Nous avons donc d'abord pensé à un écran LCD. Cependant cette solution était bien compliquée par rapport au besoin que nous avons. Nous nous sommes donc penchés sur l'utilisation d'afficheurs 7 segments. Les seuls afficheurs de ce type que nous a proposé l'ESIEE étaient des TIL311. Après étude de la datasheet, nous avons constaté qu'ils correspondaient très bien à nos besoins et nous avons décidé de travailler avec.



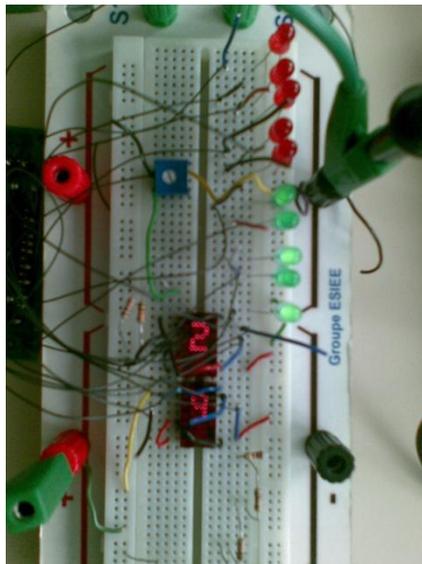
Le TIL311 est un composant à 14 pattes qui affiche un caractère en fonction de l'état (haut ou bas) de ses entrées. Ses pattes 1 et 14 sont reliés à l'alimentation (5V), ses pattes 4 et 10 servent à allumer les points décimaux (inutiles ici donc relier à la masse), ses pattes 5 et 8 sont également reliés à la masse pour permettre au TIL311 de ne pas clignoter et de rafraichir tous le temps le caractère affiché en fonction des entrées. La patte 7 correspond à la masse tandis que les pattes 2,3,13 et 12 sont les entrées, elles sont directement reliées aux sorties du MSP430.



Les pattes d'entrée correspondent donc à des puissances de 2. Pour savoir quel caractère sera affiché, il suffit de faire la somme de ces puissances des pattes d'entrée à l'état haut :

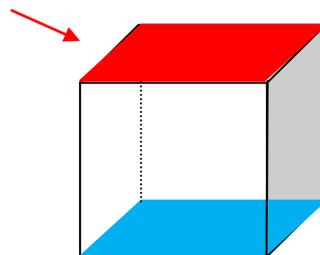


Pour afficher un nombre compris entre 0 et 99, nous avons donc utilisé deux TIL311, un pour les unités et un pour les dizaines. Chacun étant alimenté de la même façon, seul les 4 pattes d'entrée sont différentes, elles ne sont pas reliées aux mêmes sorties du MSP430.



Afin de finaliser notre produit, nous avons décidé de réaliser la partie affichage et calibrage sur un circuit imprimé à l'aide du logiciel EAGLE. Les dimensions de notre circuit sont les mêmes que celle du MSP430 afin de réaliser un boîtier en les superposant.

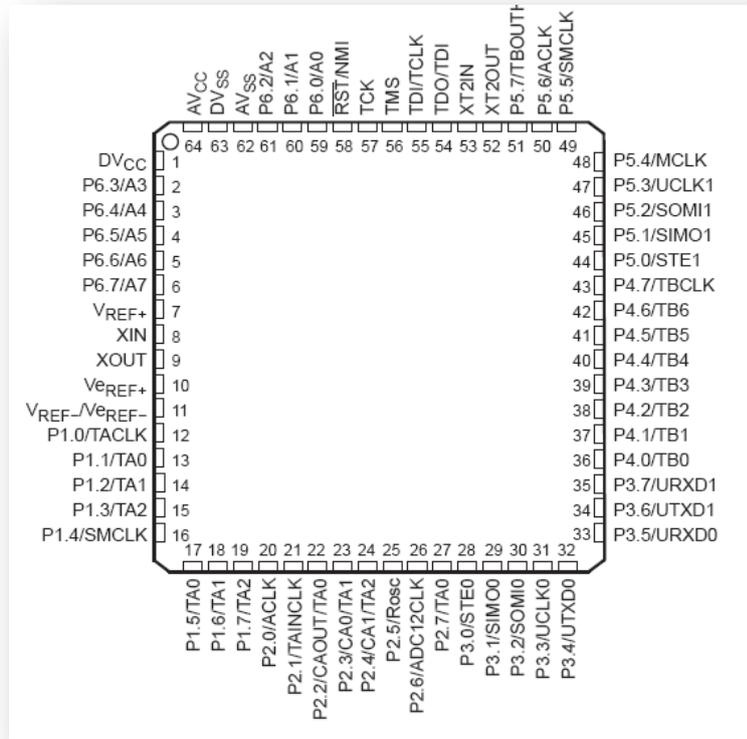
Afficheur/Calibrage



Circuit MSP430

## Acquisition et Traitement des Données via le Microcontrôleur MSP430F149

## Présentation du Microcontrôleur MSP430 Texas Instrument



Pour la réalisation de notre projet, nous avons choisit d'utiliser un microcontrôleur de chez Texas Instrument. Pourquoi ce constructeur ? Nous avons besoin que notre PIC comporte un convertisseur analogique numérique (CAN), un ensemble d'entrées sorties numérique et un port USART nécessaire pour la transmission sans fils de nos signaux. Suite aux conseils d'Adrien Mithalal, notre choix s'est porté sur un MSP430F149 qui en plus de répondre à tous les critères, était déjà disponible à l'ESIEE. De plus, Texas Instrument propose un grand ensemble de schéma de code permettant de mieux comprendre la façon dont fonctionne les différentes parties du microcontrôleur, ainsi qu'un logiciel dédié à la programmation de leur produit, IAR Embedded Workshop, ce qui nous a permit de maitriser plus rapidement le PIC.

Le MSP430 utilisé comporte deux Timers de 16 bits, un convertisseur analogique/numérique 12 bits, deux interfaces USART et 48 entrées/sorties numériques. Le schéma fonctionnel du microcontrôleur est fourni en annexe à la fin du rapport.

Une particularité de notre projet est que nous avons utilisé 2 microcontrôleurs, un nécessaire pour la partie émission, l'autre pour la partie réception. Le premier utilise le convertisseur analogique numérique 12 bits intégré du MSP430 ainsi que l'interface USART, nécessaire pour la transmission du

signal obtenu. Le second utilise l'interface USART, nécessaire à la réception, ainsi que les sorties P1 P2 P3 et P4 (chacune comprenant 8 pins) pour piloter l'afficheur à diodes et l'afficheur 7 segments.

Enfin, pour utiliser ces deux microcontrôleurs, nous avons travaillé sur des kits MSP-TS430PM64 comme ci-dessous. Nous avons programmé les différentes fonctions nécessaires en langage C++.



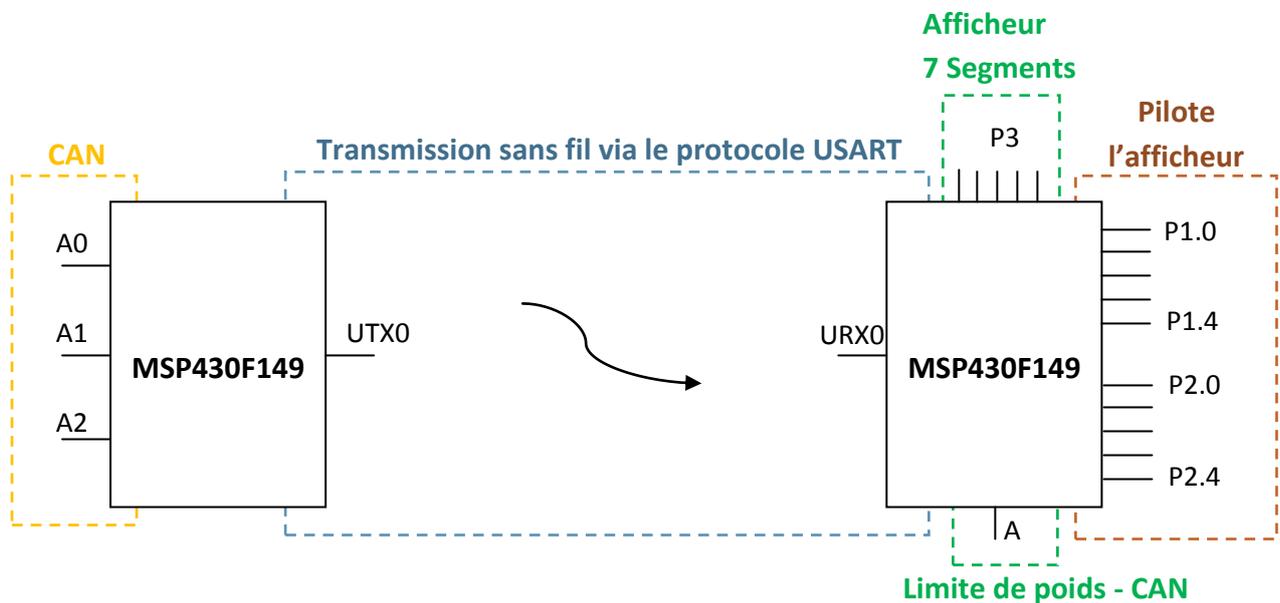
MSP430 64-pin Target Board  
MSP-TS430PM64



## Rôles du (des) Microcontrôleur(s)

Les microcontrôleurs ont en tout quatre rôles distincts :

- Convertir la tension envoyée par les capteurs (signal analogique), en une valeur numérique (signal numérique) correspondant au poids du patient exercé sur les capteurs. Cette valeur obtenue est une valeur décimale.
- Transmettre (et recevoir) la valeur numérique obtenue via le port UART0 (Universal Asynchrone Receive\Transmit) du microcontrôleur, à partir d'une transmission sans fil (transmission FM impliquant deux antennes, chacune lié à un des deux MSP430)
- Piloter l'afficheur en fonction du poids exercé par le patient
- Prendre en compte la valeur de poids limite à ne pas dépasser, imposé par l'utilisateur (le kinésithérapeute) et l'afficher sur un afficheur 7 segments



Les deux microcontrôleurs permettent de faire la liaison entre les capteurs de poids et l'afficheur, qui sont les deux parties visibles du projet. Le premier MSP430 appartient à la partie émission, qui correspond en fait à tout ce qui appartient à la « semelle du patient », tandis que le second appartient à la partie réception, c'est-à-dire au niveau du bureau du médecin ou à vue du patient.

## Le Convertisseur Analogique/Numérique (CAN)

### POURQUOI UN CAN ?

Un CAN est un composant qui permet de « traduire » un signal analogique (en général une tension) en une valeur numérique unique associée. Pour mesurer le poids d'un patient, nous avons utilisé des capteurs qui renvoient une tension et non une valeur correspondant au poids, comme on peut le voir sur des balances classiques. Pour obtenir le poids, il nous faut donc convertir cette tension mesurée, d'où la nécessité d'un CAN dans la partie émission. Un CAN est également nécessaire pour convertir la tension envoyée par l'utilisateur sur le second microcontrôleur, permettant d'imposer le poids limite que le patient ne doit pas dépasser.

### UTILISATION ET FONCTIONNEMENT DU CAN INTEGRE AU MSP430F149

La formule de conversion d'un signal analogique en une valeur numérique, sur les CAN du MSP430, s'écrit comme suit :

$$N_{ADC} = 4095 \times \frac{V_{in} - V_{ref-}}{V_{ref+} - V_{ref-}}$$

$V_{in}$  correspond à la tension analogique que l'on souhaite convertir.  $V_{ref+}$  et  $V_{ref-}$  sont deux tensions de référence définies arbitrairement par l'utilisateur du CAN, qui définissent les valeurs limitent de la conversion. Par exemple, si  $V_{in}$  est supérieur à  $V_{ref+}$ , alors  $N_{ADC}$  prend pour valeur 4095. Or cette valeur correspond à la plus grande valeur décimale que l'on peut coder sur 12 bits. Nous avons configuré le CAN de telle manière que la tension de référence positive  $V_{ref+}$  soit égale à 2,5V (tension de référence interne du MSP430 définie par Texas Instrument), et la tension de référence négative  $V_{ref-}$  soit égale à 0 (connectée à la masse  $A_{VSS}$ ). Notre formule devient ainsi :

$$N_{ADC} = 4095 \times \frac{V_{in}}{2,5}$$

Pour configurer le CAN, il faut manipuler différents registres de contrôle qui sont associés à celui-ci et dont les principaux sont le ADC12CTL0 et le ADC12CTL1 qui permettent de faire les manipulations citées ci-dessus. Les registres ADC12IE gèrent les différentes interruptions que l'on souhaite utiliser, et les ADC12MEMx qui détiennent le résultat de la conversion, si elle a eu lieu. Ici, x correspondant à l'entrée du CAN utilisée, on peut par exemple travailler sur A0 et la conversion sera enregistrée dans ADC12MEM0.

Dans le cadre de notre projet, nous avons besoin de convertir trois tensions différentes issues des 3 capteurs de poids. Pour ce faire, nous avons utilisé 3 entrées du CAN, A0, A1 et A2. De plus, nous avons besoin de convertir en continue les tensions reçues qui varient continuellement en fonction du poids exercé par le patients. Or le CAN peut être configuré en un mode appelé *Repeat-Sequence-of-Channels*, qui correspond exactement à nos exigence, c'est-à-dire qu'il va nous permettre de convertir successivement les tensions en entrée du CAN sur A0, A1 et A2 de manière répétitive.

On initialise le CAN de cette manière :

```
void ADCinit(void)
{
    P6SEL = 0x07;
    // P6SEL: Enable A/D channel inputs A0 A1 A2
    ADC12CTL0 = ADC12ON+MSC+SHT0_4+REFON+REF2_5V;
    // ADC12ON: met en marche l'ADC
    // MSC: permet de convertir plusieurs entrées de l'ADC successivement
    // SHT0_2: nombre de cycles d'horloge par conversions (2 = 0010 = 8 cycles)
    // REFON: on travaille avec la référence interne de l'ADC
    // REF2_5V: celle de 2.5V

    ADC12CTL1 = SHP+CONSEQ_3;
    // SHP: on utilise une horloge carré (pulse sample mode) de l'ADC
    // CONSEQ_3: Convertit plusieurs entrées de l'ADC
    // CSTARTADD_0: Commence la conversion sur A0, soit Capteur1
    ADC12MCTL0 = INCH_0+SREF_1;
    // INCH_0: On mémorise Capteur1 dans ADC12MEM0
    // SREF_1: Vr+ = Vref = 2.5V, Vr- = AVss = masse
    ADC12MCTL1 = INCH_1+SREF_1;
    // INCH_1: On mémorise Capteur2 dans ADC12MEM1
    // SREF_1: Vr+ = Vref = 2.5V, Vr- = AVss = masse
    ADC12MCTL2 = INCH_2+SREF_1+EOS;
    // INCH_2: On mémorise Capteur3 dans ADC12MEM2
    // SREF_1: Vr+ = Vref = 2.5V, Vr- = AVss = masse
    // EOS: end of sequence
    ADC12IE = 0x04;           // Enable ADC12IFG2, qui indique la fin d'une conversion
    ADC12CTL0 |= ENC;         // La conversion devient possible
    ADC12CTL0 |= ADC12SC;     // Start conversion
    _BIS_SR(LPM0_bits + GIE); // Enter LPM0, GIE: get interrupt error
}
```

Pour utiliser le mode *Repeat-Sequence-of-Channels* du CAN, il faut ajouter aux registres ADC12CTL0 (registre de contrôle 0) le bit MSC (Multiple Sample and Conversion), qui indique que plusieurs conversions se feront automatiquement sur les entrées sélectionnées; et mettre les deux bits CONSEQ à 3, dans le second registre de contrôle.

Puisque l'on souhaite convertir en continue les tensions reçues à partir du moment où une pression est exercée sur les capteurs, on fait intervenir une interruption à l'aide de la dernière instruction. Celle-ci nous permet d'entrer dans les lignes de code suivantes mais sans en sortir (à l'image d'une boucle infinie) tant que l'utilisateur ne coupe pas la machine :

```
#pragma vector=ADC12_VECTOR
__interrupt void ADC12ISR (void)
{
  Capteur1 = ADC12MEM0;      // On récupère le résultat de conversion, IFG is cleared
  Capteur2 = ADC12MEM1;      // On récupère le résultat de conversion, IFG is cleared
  Capteur3 = ADC12MEM2;      // On récupère le résultat de conversion, IFG is cleared
  SommeCapteur = Capteur1 + Capteur2 + Capteur3;
}
```

Pour calculer le poids du patient à partir de la valeur décimale obtenue dans SommeCapteur, il nous faut encore exécuter une table de trois. En effet, la tension théorique maximale que peut envoyer un capteur est égale à 2V, et correspond donc au poids maximal exercé par le patient (théoriquement, le capteur a une capacité de 75kg).  $N_{ADC}$  pour  $V_{in} = 2V$  est égal à 3276. On pose donc que 75kg équivaut à 3276, et on obtient le poids exercé sur un capteur comme suit :

$$Poids_{patient} = 75 * \frac{N_{ADC}}{3276} (kg)$$

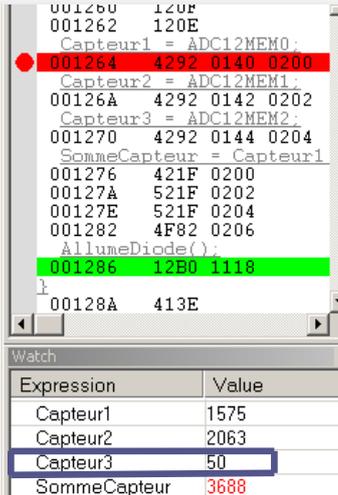
Une fois le poids obtenu sous forme de valeur numérique, il nous faut transmettre l'information contenue dans le microcontrôleur de la semelle du patient vers la partie réception du projet, à l'aide de l'interface USART des deux MSP430 utilisés.

## TEST DE L'ADC

Pour valider le bon fonctionnement de l'ADC, en fonction de la tension renvoyée par les capteurs, nous avons choisi de tester le poids zéro (qui envoie une tension de 30mV si on tient compte du bruit), et le poids d'une bouteille de 2kg, qui envoie une tension de 100 mV, sur un seul capteur (appelé Capteur3) :

```
#pragma vector=ADC12_VECTOR
__interrupt void ADC12ISR (void)
{
    Capteur1 = ADC12MEM0; // On récupère le résultat de conversion, IFG is
    Capteur2 = ADC12MEM1; // On récupère le résultat de conversion, IFG is
    Capteur3 = ADC12MEM2; // On récupère le résultat de conversion, IFG is
    SommeCapteur = Capteur1 + Capteur2 + Capteur3;
    AllumeDiode();
}

void main(void)
{
    WDTCTL = WDTPW+WDTHOLD; // Stop watchdog timer
    ADCinit();
}
```



Expression	Value
Capteur1	1575
Capteur2	2063
Capteur3	50
SommeCapteur	3688

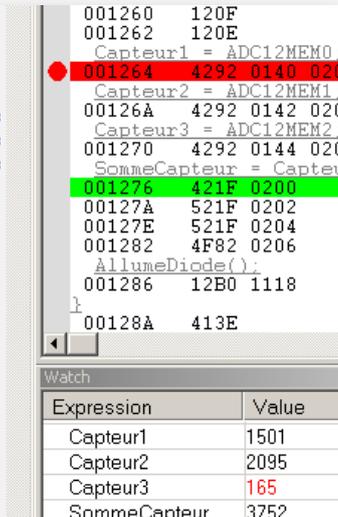
Pour le poids zéro, on obtient la valeur décimale 50 alors que l'on obtient une tension de 30 mV en entrée mesurée à l'aide d'un voltmètre. En reprenant notre formule de conversion de départ :

$$N_{ADC} = 4095 \times \frac{0,030}{2,5}$$

On obtient après conversion  $N_{ADC} = 49,19 \approx 50$ . Le résultat obtenu est donc très satisfaisant.

```
#pragma vector=ADC12_VECTOR
__interrupt void ADC12ISR (void)
{
    Capteur1 = ADC12MEM0; // On récupère le résultat de conversion, IFG is
    Capteur2 = ADC12MEM1; // On récupère le résultat de conversion, IFG is
    Capteur3 = ADC12MEM2; // On récupère le résultat de conversion, IFG is
    SommeCapteur = Capteur1 + Capteur2 + Capteur3;
    AllumeDiode();
}

void main(void)
{
    WDTCTL = WDTPW+WDTHOLD; // Stop watchdog timer
    ADCinit();
}
```

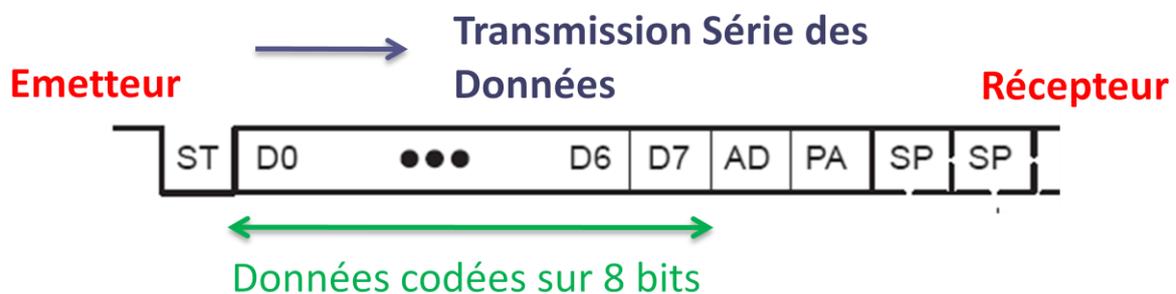


Expression	Value
Capteur1	1501
Capteur2	2095
Capteur3	165
SommeCapteur	3752

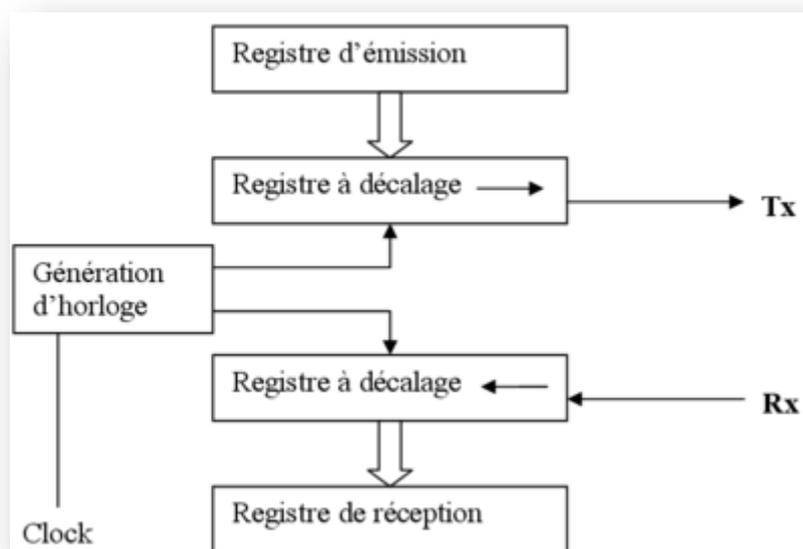
De la même manière, on obtient une valeur égale à 165 pour une tension entrée égale à 100 mV. En reprenant la formule de conversion, on obtient 163.8. Le résultat est donc la aussi très satisfaisant.

## L'Interface USART – Transmission des Données

L'interface USART des deux microcontrôleurs fait intervenir deux pins, P3.4 et P3.5, qui correspondent à l'entrée TX (Transmission de données) et RX (Réception de données). USART signifie littéralement Récepteur/Transmetteur Synchrone/Asynchrone Universel, protocole associé à la transmission de données en série. Cette méthode de transmission nous permet de n'utiliser qu'un seul câble pour transmettre les données codées sur 8 bits, ce qui facilite grandement notre travail lors de nos tests de transmission. Cependant, nous avons choisi cette méthode de transmission surtout parce que les antennes avec lesquelles on a travaillé ne supportaient que la transmission série, et également parce que l'interface USART était disponible sur nos deux microcontrôleurs.



La transmission USART d'une donnée suit le schéma fonctionnel simplifié suivant, ce qui fait intervenir deux registres à décalages (un en émission et un en réception), ainsi que deux buffers (TXBUF0 et RXBUF0) comportant la donnée à transmettre ou la donnée reçue.



## CONFIGURATION DE L'INTERFACE USART DES DEUX MICROCONTRÔLEURS

Nous avons deux contraintes à obligatoirement respecter durant notre projet : transmettre de manière continue les données récupérées par le premier microcontrôleur dans la semelle vers la partie bureau du projet, et ce de manière asynchrone.

De plus, il fallait que notre transmission se fasse avec un baud rate de 9600 baud/s, imposé par les deux modules radiofréquences (RF). Enfin, on transmet en continue des données de 8 bits, sans faire intervenir les bits de start, de parité et de stop, intégralement gérés par ces mêmes modules.

Pour transmettre ces données, nous avons utilisé la fréquence interne du MSP430, à savoir la DCO clock (digital clock oscillator), correspondant à environ 850 kHz. Afin d'obtenir un baud rate de 9600 baud/s, il fallait placer dans un des registres de configuration (UBR0) de l'interface USART la valeur 0x5D, valeur hexadécimale de 88, c'est-à-dire le quotient de 850000/9600.

Pour programmer toutes nos exigences, on utilise le code suivant :

```
void UARTinit(void)
{
  P3SEL |= 0x30;
  UCTL0 |= CHAR;
  // Parity disabled
  // One stop bit
  // CHAR: 8bit data
  // LISTEN disabled
  // UART mode
  // Idle-line multiprocessor mode
  // receive start edge
  UTCTL0 |= SSEL1;
  // UCKL1 = UCKL horloge liée à la transmission de données
  // SSEL1: Sub Main Clock
  // URXSE = 0, receive start-edge disabled
  // next caractere is a data
  BCCTL1 |= XT2OFF+0x04;
  BCCTL2 |= 0x00;
  DCOCTL = 0x50;
  ME1 |= UTXE0 + URXE0;
  UBR0 = 0x5D;
  UBR10 = 0x00;
  UOMCTL = 0x00; // pas de modulation
  UCTL0 &= ~SWRST;
  IE1 |= UTXIE0;
}
```

Une fois la fonction *UARTinit* lancé, le MSP430 est prêt à envoyer ou recevoir les données émises par les capteurs.

## LE PASSAGE DE 12 BITS À 8 BITS

On a vu que notre CAN faisait des conversions sur 12 bits, ce qui signifie que la donnée que l'on souhaite transmettre est codée sur 12 bits alors que l'on transmet des données codées sur 8 bits à partir de l'interface USART. Pour obtenir une donnée sur 8 bits, on a choisi tout simplement de diviser la valeur obtenue en sortie du CAN par 16, ou le quotient de 4095 par 255. Ainsi toutes nos valeurs prêtes à être transmises seront comprises entre 0 et 255. Une fois arrivée sur le port RX du MSP430 de la partie réception, on multiplie par 16 à nouveau, pour traiter la valeur obtenue en sortie du premier CAN à l'arrondi prêt.

N.B : On aurait aussi pu laisser les 4 bits de poids faible de notre MSP430 dans le vide et cela aurait donné le même résultat.

## TRANSMISSION DES DONNÉES

Pour transmettre des données via le port TX de l'interface USART, il suffit, après avoir initialisé le MSP430 comme on le souhaite, de mettre notre donnée dans le buffer TXBUF0. Ceci va en effet activer le registre à décalage liée à l'émission de données, et permettre la transmission série bit par bit de la donnée placée dans ce buffer.

```
void TransmissionDonnee(void)
{
  if(SommeCapteurEchelonne != 0)
  {
    TXBUF0 = SommeCapteurEchelonne; // 8bits data à transmettre
  }
}
```

## RÉCEPTION DES DONNÉES

On récupère les données transmises à l'aide du buffer RXBUF0 et cela de manière continue. On fait ensuite appel au programme AllumeDiode(), qui va gérer l'afficheur à diodes. Cet afficheur aura été calibré au préalable en fonction du poids limite imposé par l'utilisateur.

```
void ReceptionDonnee(void)
{
  URCTLO |= URXEIE;
  SommeCapteurRX = RXBUF0*48;
  AllumeDiode();
}
```

## Pilotage de l’Afficheur 7 Segments

L’afficheur 7 Segments permet au kinésithérapeute de visualiser le poids limite qu’il souhaite imposé au patient lors de sa rééducation. L’affichage de ce poids se fait en deux étapes distinctes :

- Calcul du poids limite en fonction de la valeur reçue en sortie du CAN
- Afficher cette valeur sur les deux afficheurs 7 segments, traitant les dizaines et les unités

### CALCUL DU POIDS LIMITE

Le poids limite est réglé à l’aide d’un potentiomètre que l’on connecte à l’entrée du CAN du second MSP430. Ce potentiomètre peut fournir une tension comprise entre 0 et 2.5V.

Pour déterminer le poids limite (poids à partir duquel les diodes rouges de notre afficheur s’allument), on envoie une tension en entrée du second CAN que l’on convertit en sa valeur numérique. La valeur numérique obtenue est comprise entre 0 et 4095 (domaine du CAN) et est calibrée de cette manière :

- Si la valeur numérique vaut 0, on ne calibre pas l’afficheur à diode. Celui-ci se comporte alors comme un afficheur de balance (on voit varier le poids exercé par le patient sans tenir compte d’une limite)
- Si la valeur numérique vaut 4095 (valeur maximale possible), on calibre l’afficheur de telle manière que le patient ne doit pas appuyer plus que 99kg (capacité maximale théorique des capteurs), sinon les diodes rouges s’allument
- Entre ces deux extrema, on fait une table de trois pour obtenir un poids limite compris entre 0 et 99kg, à ne pas dépasser. Sinon les diodes rouges s’allument. Plus la valeur limite est dépassée et plus il y a de diodes rouges allumés.

De cette manière, le domaine de définition (ou domaine d’affichage) de l’afficheur varie entre [0 – Poids limite] (diode vertes), et [Poids limite – 2\*Poids limite] (diodes rouges).

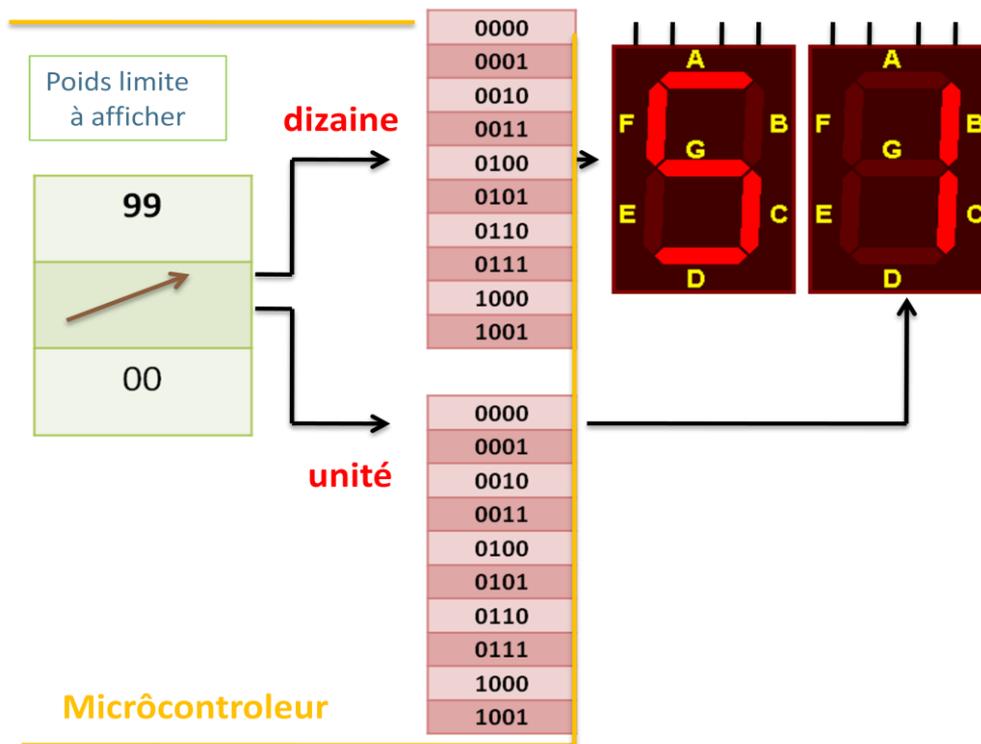
On obtient ainsi une valeur comprise entre 0 et 99 qu’il faut maintenant afficher.

### PILOTAGE DES AFFICHEURS 7 SEGMENTS

Pour afficher correctement notre poids limite sur les deux afficheurs, il nous a suffi de séparer le chiffre des dizaines et le chiffre des unités de la valeur obtenue. La valeur indiquée correspond au poids limite et est toujours comprise entre 0 et 99.

Une fois les deux chiffres compris entre 0 et 9 obtenus, on a construit un tableau de 10 cases contenant des valeurs allant de 0 à 9 codés en binaire. De cette manière, on sélectionne la case correspondant au chiffre obtenue, et on peut ainsi piloter l’afficheur et afficher le chiffre souhaité.

Le schéma ci-dessous résume l’opération effectuée :



Nous avons codé le programme suivant, pour obtenir ce que l'on souhaitait :

```
void AllumeSegments(void)
{
    // Tableau permettant le calcul du chiffre des dizaines et des unités
    int Sel [10];
    int SelDecimal [10];
    for (int i=0;i<10;i++)
    {
        SelDecimal[i] = i;
    }
    // Tableau de Selection des POUT.X utilisés
    Sel[0] = 0x00;
    Sel[1] = 0x01;
    Sel[2] = 0x02;
    Sel[3] = 0x03;
    Sel[4] = 0x04;
    Sel[5] = 0x05;
    Sel[6] = 0x06;
    Sel[7] = 0x07;
    Sel[8] = 0x08;
    Sel[9] = 0x09;
    if ((Calibre2 <= (Calibre4-1)) || (Calibre2 > (Calibre4+1)))
    // permet d'éviter les clignotements dues à de petites oscillations
    // de la valeur de TareEntree
    {
        Calibre1 = TareEntree*10;
    }
}
```

```
Calibre2 = Calibre1/410;
P3DIR |= 0x55;
    P4DIR |= 0x55;
dizaine = Calibre2/10;
P4OUT &=~ 0x55;
P4OUT |= Sel[dizaine]; // met à l'état bas les POUT souhaités
unite = (Calibre2)-(10*SelDecimal[dizaine]);
P3OUT &=~ 0x55; // met à l'état bas les POUT souhaités
P3OUT |= Sel[unite];
}
}
```

## Pilotage de l’Afficheur à Diodes

La dernière partie à gérer à partir du microcontrôleur MSP430 est l’afficheur à diodes. Il affiche en temps réel le poids exercé par le patient sur les capteurs en fonction du poids limite choisi et imposé par le médecin.

Pour piloter notre afficheur, on utilise les sorties P1 et P2 du microcontrôleur, et plus particulièrement les pins 1, 3, 5 et 7 afin d’éviter des problèmes de contact entre les différentes sorties assez rapprochées.

Le pilotage de l’afficheur fonctionne de deux manières différentes : en fonction du poids limite imposé, ou alors sans poids limite.

### PILOTAGE DE L’AFFICHEUR SANS POIDS LIMITE

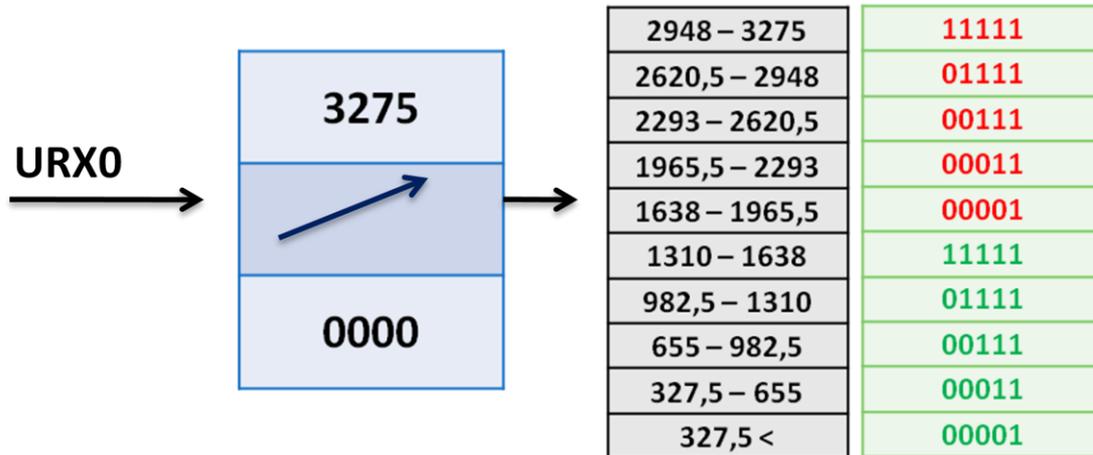
On récupère les données envoyées par les capteurs, sur l’entrée RX de l’interface USART. La donnée reçue est une valeur comprise entre 0 et 3275, valeur correspondant à une tension de 2V, c’est à dire la tension maximale que peut renvoyer un capteur.

On crée parallèlement un tableau de dix cases. Il va nous permettre d’allumer un certain nombre de diodes, 10 au maximum. Ce tableau va contenir dix valeurs de référence calculées à partir de la valeur maximale que peut contenir l’entrée RX, soit pour le moment 3275. La première case du tableau contiendra la valeur 327,5, c'est-à-dire 3275/10. La seconde contiendra 327,5 + 327,5 soit 655. La troisième sera 655 + 327,5, c'est-à-dire 982,5, etc.

Dans la cinquième case, on trouve la valeur 1637,5 qui correspond à la moitié de 3275. C’est ici en faite notre poids limite par défaut. En effet, ce tableau nous permet d’allumer un certain nombre de diodes. Si la valeur reçue par exemple correspond à 1000 alors on dépasse les 3 premières cases du tableau précédent ; on va pointer la quatrième case qui va donc nous signaler qu’il faut allumer 4 diodes, vertes en l’occurrence. L’allumage des diodes se fait de même façon que l’allumage de l’afficheur 7 segments : on utilise des tableaux contenant des valeurs binaires allumant un certain nombre de diodes.

On remarque donc que si on dépasse 1638 (la valeur limite par défaut), on allume par conséquent une première diode rouge.

Le schéma ci-dessous résume le pilotage de l'afficheur à diodes, sans poids limite :



3275 correspond à une tension de 2V, tension maximal que peut renvoyer un capteur

On utilise le code suivant :

```
void AllumeDiode(void)
{
    int TableauPoidsLow [5]; // P1
    int TableauPoidsHigh [5]; // P2
    int SelectDiode [5]; // Px.x
    int Pref = (4095)/10;
    for (int i=1;i<6;i++)
    {
        TableauPoidsLow[i-1]=Pref*i;
        // TableauPoidsLow[0] = 60; avec le capteur
        TableauPoidsHigh[i-1]=Pref*(i+5);
    }

    SelectDiode[0] = 0x01; // Px.0
    SelectDiode[1] = 0x05; // Px.0 & Px.2
    SelectDiode[2] = 0x15; // Px.0 & Px.2 & Px.4
    SelectDiode[3] = 0x35; // Px.0 & Px.2 & Px.4 & Px.5
    SelectDiode[4] = 0x75; // Px.0 & Px.2 & Px.4 & Px.5 & Px.6

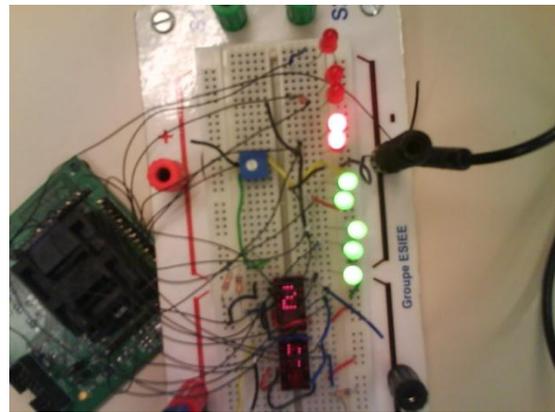
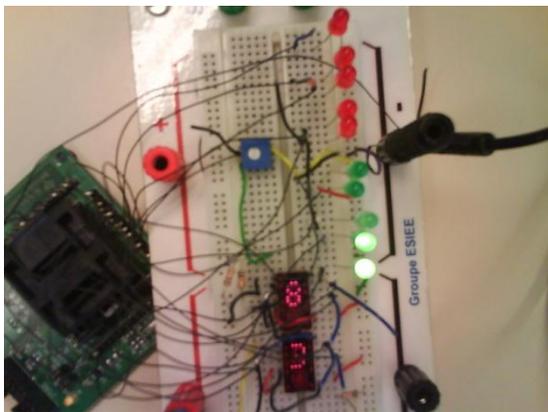
    P1DIR |= 0x75;
    P1OUT &=~ 0x75;
}
```

```
P2DIR |= 0x75;
P2OUT &=~ 0x75;
for (int i=0;i<5;i++)
{
  if (SommeCapteurRX > TableauPoidsLow[i])
  {
    P1OUT |= SelectDiode[i]; // met à l'état bas les POUT souhaités
  }
  if (SommeCapteurRX > TableauPoidsHigh[i])
  {
    P2OUT |= SelectDiode[i]; // met à l'état bas les POUT souhaités
  }
}
}
```

### PILOTAGE DE L’AFFICHEUR AVEC UN POIDS LIMITE

Si un poids limite est choisi et imposé par l'utilisateur, alors notre tableau contenant des valeurs de référence va être modifié. En effet, le poids limite choisi sera alors la valeur de la 5<sup>ème</sup> case du tableau. A partir de là, la 10<sup>ème</sup> case aura pour valeur deux fois le poids limite choisi, et la première case aura  $(2 * \text{Poids limite}) / 10$  comme valeur.

De cette manière, notre afficheur évoluera d'une manière différente selon le poids exercé sur les capteurs. Ci-dessous, on exerce un poids d'environ 37 kg sur les capteurs, avec deux poids limites différents pour l'afficheur à diodes :



## BILANS et REMARQUES

### BILAN TECHNIQUE ET HUMAIN

Ce projet d'une durée initiale de 25 jours, proposé par Adrien Mithalal, étudiant en 5<sup>ème</sup> année, aura été très satisfaisant et enrichissant pour tous les trois. Ce projet avait été notre premier choix parmi les projets proposés ce qui nous a encore plus motivé pour sa réalisation.

Du point de vue technique, on aura tous acquis de nouvelles compétences, tant bien au niveau Electronique qu'au niveau Programmation. En effet, ce projet nous a permis de travailler sur des Capteurs, domaine que l'on a très peu étudié durant nos trois premières années à l'ESIEE. Il nous aura fallu apprendre à les conditionner de la bonne manière, afin de réduire au maximum le bruit interférant avec le signal obtenu à traiter. On aura également développé et amélioré nos connaissances sur les microcontrôleurs. De plus, nous avons choisi de travailler sur un MSP430 qui n'est pas étudié à l'ESIEE. Ce microcontrôleur se programme en C, et il nous aura fallu apprendre et connaître tous les registres de contrôle à manipuler pour configurer le CAN et l'interface USART du MSP430. Enfin, on aura également touché à plein de circuits électroniques différents, diodes, afficheurs etc... On a pu également manipuler des modules radiofréquence, une application directe de nos cours d'élective EL313, un atout non négligeable quant à la suite de nos études.

Du point de vue personnel et humain, le travail en équipe a été l'élément le plus important de notre projet. C'était la première fois que l'on travaillait tous ensemble et cela s'est plutôt très bien passé. On a rapidement partagé notre travail en trois parties distinctes, et l'on s'est toujours concerté lorsque l'on avançait dans certaines directions. Le contact Etudiants/Professeur aura aussi été très intéressant. En effet, notre projet touchant à de nombreux domaines que l'on ne maîtrisait pas particulièrement, il nous aura fallu aller à la rencontre de nombreux professeurs pour demander des conseils, en plus de notre suiveur M. Basset. Niveau autonomie, c'était encore intéressant puisque l'on travaillait entièrement selon notre propre-chef, en s'imposant nos horaires de travail et nos choix d'études du type : quel afficheur utiliser, quel microcontrôleur, pourquoi, etc.

Enfin, ce type de projet était particulièrement agréable à faire du fait de ne pas avoir de cours à côté. Nous n'avions pas à nous préoccuper du prochain contrôle de Maths ou du prochain test de Physique du lendemain. On était entièrement plongé dans notre projet, et les seules contraintes que nous ayons étaient le respect des délais et l'attente des commandes selon le bon vouloir des fournisseurs.

Nos seules remarques négatives vont à l'encontre des commandes qui ont mis beaucoup trop de temps à arriver (10 jours pour le capteur) et le temps perdu à chercher un microcontrôleur MSP430 à l'ESIEE à cause d'un échange d'e-mail entre différents permanents de l'ESIEE. Notre temps de travail est donc passé de 25 jours à 17 jours. De plus, notre date de soutenance nous a été communiquée deux jours avant le passage devant les professeurs, ce qui nous a laissé un délai très court pour finir ce que l'on était en train de faire et préparer le PowerPoint de présentation.

## CE QU'IL RESTE À FAIRE

Mettre les circuits imprimés dans leur structure. Pour cela, faire des trous pour loger des vis dans la structure et visser les circuits une fois percés avec des écrous et des rondelles.

Comprendre pourquoi les piles chauffent.

Commander un autre capteur et le mettre en quinconce par rapport à l'autre. Cela veut dire, refaire des trous fraisés et améliorer la forme de la structure. Pourquoi pas faire des trous de chaque côté des plaques pour faire passer une lanière à attacher au pied. Faire une deuxième structure factice.

## LES REGRETS

Le mois de Juin est passé à une très grande vitesse. Notre plus grand regret est que notre projet est loin d'être fini pour des questions de temps et d'argent. Les problèmes sur lesquels on a bloqué, l'absence de personnes à l'ESIEE pouvant faire avancer notre projet, le faible suivi, les délais de livraison qui ont parfois duré 10 jours, les mauvaises directions prises et beaucoup d'autres choses ont été les raisons qui nous ont fait perdre beaucoup de temps. A cela s'ajoute les moyens financiers qui ne nous ont pas permis de prendre des composants plus miniaturisés, de prendre plusieurs capteurs et d'avoir une transmission sans fil.

Au bout du compte, nous aurions aimé pouvoir contacter un mouleur qui aurait pu nous faire le moule de notre semelle spécialisé ainsi que la moulure en caoutchouc. Il nous aurait fallu les composants définitifs, le temps de la réalisation et l'argent de ce service très personnalisé. De manière plus réalisable, peut-être aurions nous pu acheter un deuxième capteur, le fixer en quinconce par rapport au premier comme il était montré dans le schéma, puis découper le support avec la forme d'un pied, coller une semelle en dessous de celui-ci et faire deux trous sur la partie du support du dessus pour y glisser des lanières maintenant le pied au support.

Le temps nous a aussi manqué pour comprendre parfaitement la transmission sans fil qui reste inutilisable à ce jour à cause d'un problème d'antenne inconnu.

## REMERCIEMENTS

Nous souhaitons remercier :

- M. BASSET et M. MITHALAL pour le suivi de notre projet
- M. FINKELSTEIN pour nous avoir offert un bon espace de travail en 4105
- Tous les professeurs ESIEE qui nous auront donné des conseils pour avancer rapidement
- M. LATORRE et M. SANGOUARD pour leur présence à notre soutenance

## CONCLUSION

Nous sommes tous trois très satisfaits du travail réalisé. Nous avons travaillé sur un sujet que nous avons choisi et qui nous plaisait : le peu de contraintes imposées par le cahier des charges nous a permis de travailler avec les méthodes que nous voulions et les composants que nous trouvions. De plus bien que n'ayant jamais l'habitude de travailler ensemble, nous avons su parfaitement nous entendre et travailler main dans la main pour avancer le plus rapidement et efficacement possible. Cela reste une de nos plus grandes satisfactions.

Cependant, pour obtenir un résultat encore plus abouti, nous aurions voulu rencontrer nous même le kinésithérapeute afin de comprendre au mieux ses besoins et répondre à ses attentes de la meilleure des manières. Nous regrettons aussi de ne pas avoir eu un budget un peu plus conséquent. En effet, si notre produit ne possède qu'un seul capteur au lieu des trois prévus initialement, cela est uniquement dû à des raisons financières.

Partant tous les trois à l'étranger en quatrième année, nous ne pourrions pas continuer ce projet à la rentrée mais différents interlocuteurs rencontrés lors de la journée des projets nous ont affirmé que notre produit pouvait avoir un réel avenir commercial. Nous espérons donc qu'une autre équipe pourra reprendre notre projet l'année prochaine afin qu'elle puisse réaliser des tests devant le kinésithérapeute et finaliser notre prototype.

## ANNEXES

Vous trouverez en Annexes l'avancement de notre projet ainsi que des compléments et tests quand au calibre de notre capteur de poids. Vous trouverez aussi le schéma fonctionnel du microcontrôleur MSP430.

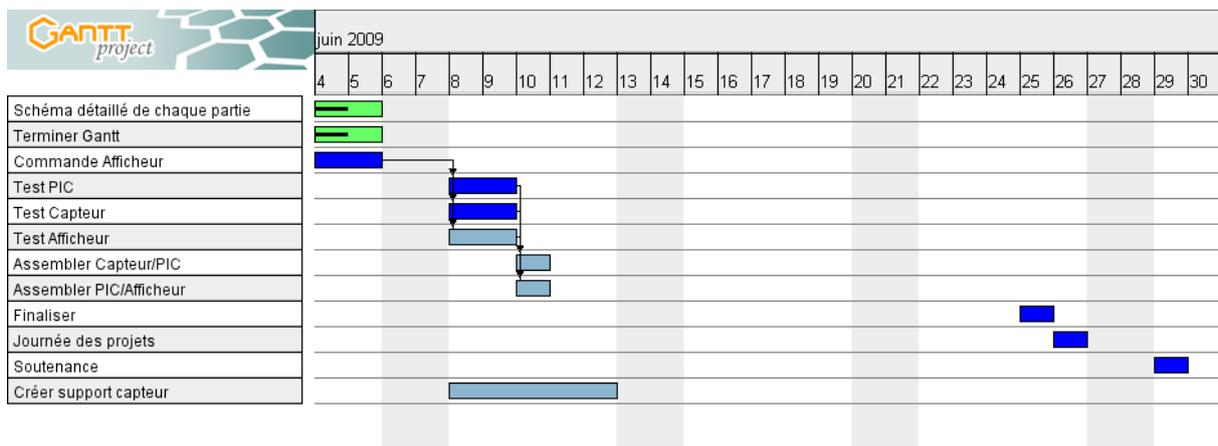
<b>AVANCEMENT DU PROJET</b>	<b>P. 44</b>
<b>SCHEMA DU PREMIER CIRCUIT IMPRIME DE CONDITIONNEMENT</b>	<b>P. 48</b>
<b>SCHEMA DU SECOND CIRCUIT IMPRIME DE CONDITIONNEMENT</b>	<b>P. 49</b>
<b>TEST DE LA LINEARITE DU CAPTEUR A LA SORTIE DE L'AMPLIFICATEUR DE MESURE</b>	<b>P. 50</b>
<b>TEST DE L'AMPLIFICATEUR DE MESURE ET PROBLEMES RENCONTRES</b>	<b>P. 56</b>
<b>TEST DE L'ALIMENTATION ET PROBLEMES RENCONTRES</b>	<b>P. 57</b>
<b>SCHEMA FONCTIONNEL DU MSP430F149</b>	<b>P. 60</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>P. 61</b>

### Avancement du Projet

Nous avons utilisé tout au long de ce projet un diagramme de Gantt de nos activités pour que notre suiveur qui ne pouvait se trouver sur le site puisse vérifier le bon avancement du projet. Nous avons fait des mises à jour de ce diagramme tous les 3 jours environ. Nous avons utilisé pour cela le logiciel « Gantt Project » spécialisé dans ce genre de réalisation. Les tâches générales à réaliser, ainsi que les commandes étaient répertoriées. Chaque tâche avait un responsable et des ressources pour la réaliser. Ainsi, chaque personne pouvait avoir son emploi du temps avec les tâches quotidiennes qu'il avait à réaliser. Au début, nous nous donnions ce diagramme par un site internet présentant le projet et son avancement mais nous avons arrêté ce site pour des raisons de confidentialité après les remarques de notre suiveur. Le diagramme fut donc envoyé par e-mail ensuite.

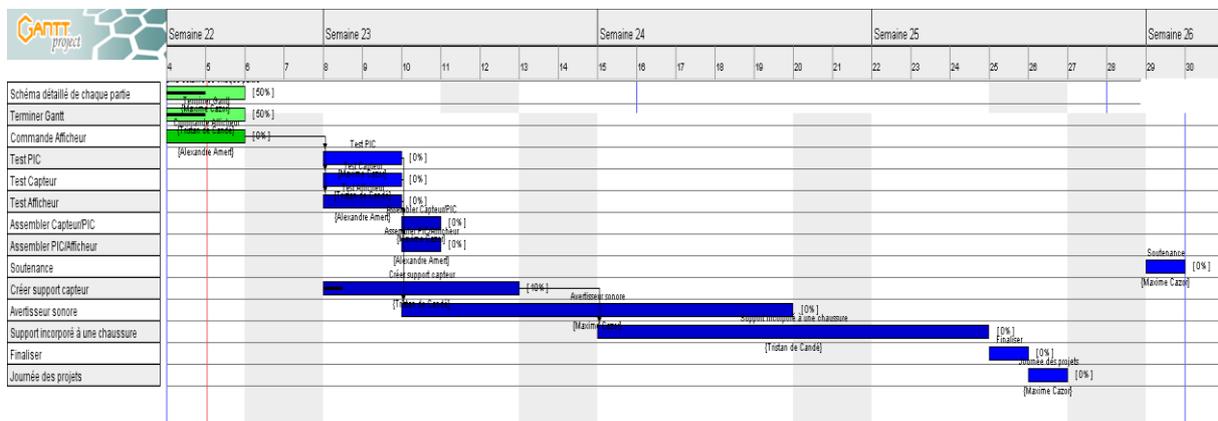
Le 02/06/09 :

Le projet venait tout juste de débuter. Nous n'avions qu'une vague idée des tâches à accomplir. C'était aussi la découverte du logiciel qui nous rendait la tâche un peu plus dure. Nous n'avions alors que la commande et les tests de nos composants en tête sans oublier la date de la journée des projets et une hypothétique date de soutenance.



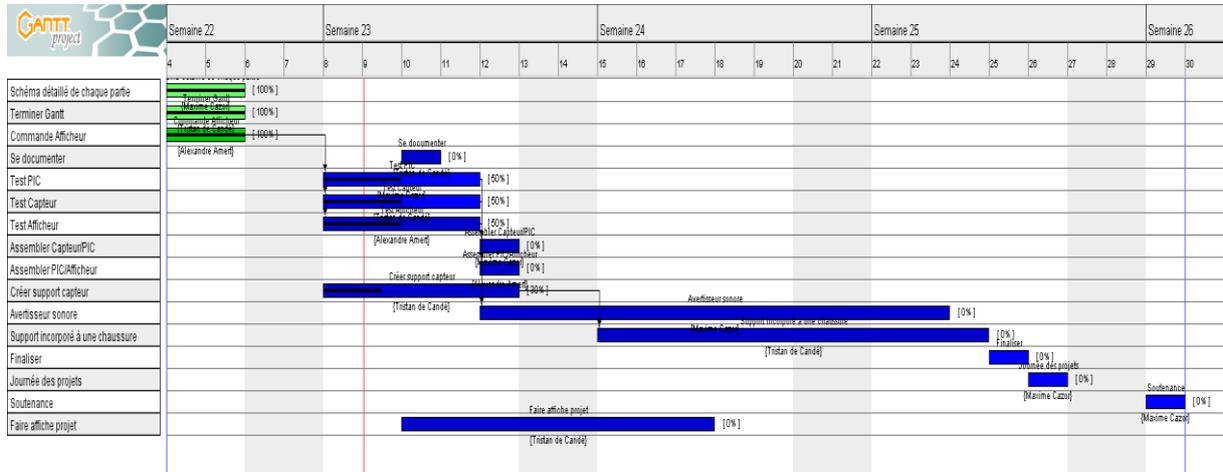
Le 05/06/09 :

A cette date là, nous avons découvert toutes les subtilités du logiciel et nous avons rendu chaque tâche la plus précise possible. Nous avons aussi instauré un code couleur : bleu=en cours de réalisation, vert=réalisé, rouge=non réalisé.



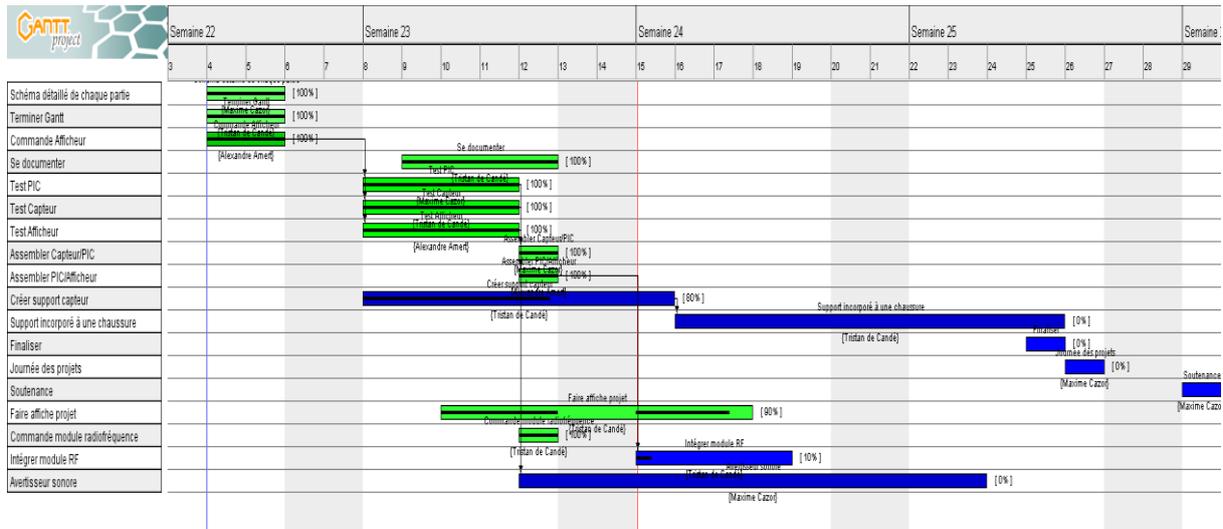
Le 09/06/09 :

Quelques tâches ont apparus car nous voulions donner plus de visibilité aux tâches à accomplir à venir.



Le 12/06/09 :

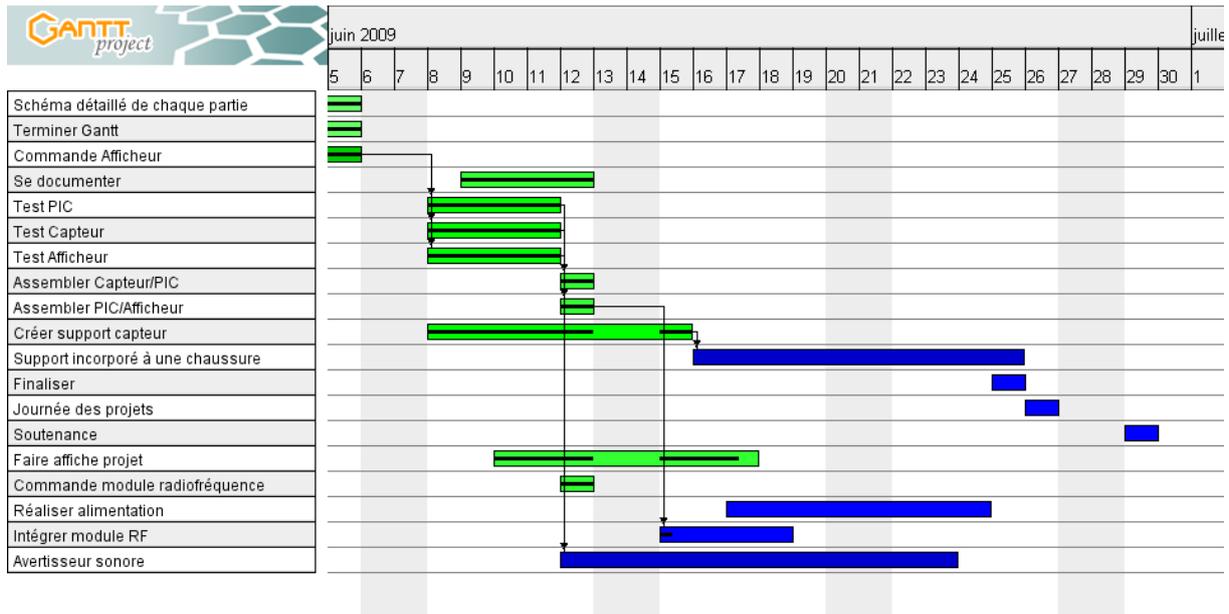
De grandes avancées ont été faites pendant cette période. La date pour rendre l’affiche a été placée et celle-ci était quasiment terminée. De plus, nous avons commandé un module RF pendant ce temps.



Le 16/06/09 :

A partir de cette date là, nous avons fait peu de progrès mis à part la réalisation du support du capteur. Le module RF étant commandé, nous mettons du temps pour connaître sa manière de fonctionner. Nous avons commencé à nous pencher sur le fait de réaliser une alimentation portable.

Il y a moins de détails autour des barres de tâche car on trouvait le diagramme plus lisible ainsi et les détails sont toujours consultables en double-cliquant sur les tâches.



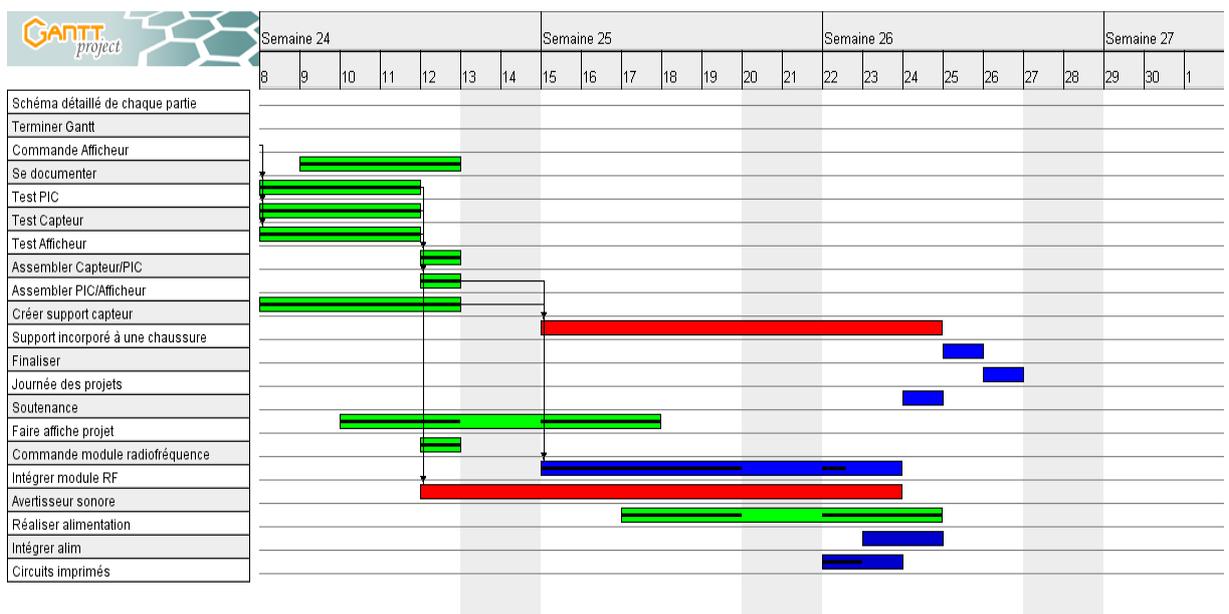
Le 22/06/09 :

A cette date, la fin du projet était très proche, c'est-à-dire à 2 jours de la soutenance. L'alimentation avait été réalisée, les circuits imprimés réalisés sur EAGLE et imprimés sur papier calque en attente du labo des circuits imprimés.

Nous nous sommes renseignés pour faire une chaussure sur mesure en caoutchouc avec le support que nous avons mais le temps nous manquait clairement ainsi que l'argent pour faire ce genre de réalisation alors que notre projet n'était toujours pas finaliser dans ses dimensions.

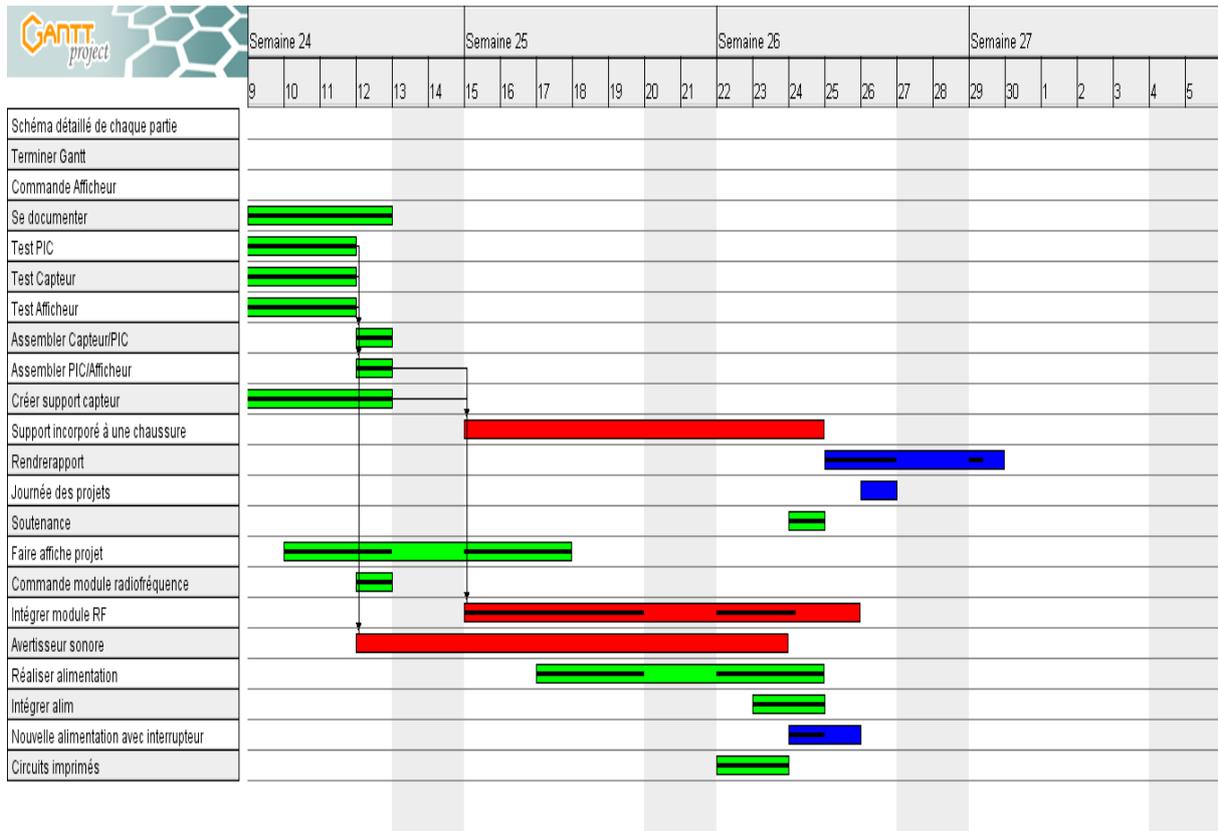
De plus, nous avons abandonné la partie avertisseur sonore à cause d'une faute de temps et que ça n'était qu'un plus au projet. Sinon, ça aurait pu être réalisable de manière économique.

C'est aussi seulement à ce moment là que nous avons appris la date de notre soutenance qui devait se faire le 24/06/09 à 10h comme ce que nous avons prévu au départ.



Le 24-06-09 :

Ce mercredi 24 Juin s’est déroulée notre soutenance. Nous avons donc consacré les derniers jours à la préparer. Elle s’est d’ailleurs très bien déroulée. Nous avons décidé d’ajouter quelques modifications à notre projet pour la journée des projets. Nous avons envoyé à imprimer un nouveau circuit imprimé de l’alimentation qui comprenait un interrupteur et un régulateur de tension 3V ainsi que des améliorations dans le layout. Nous en avons profité pour faire des améliorations dans le code du MSP430 et quelques soudures en plus dans l’électronique de nos montages.



## Schéma du Premier Circuit Imprimé de Conditionnement

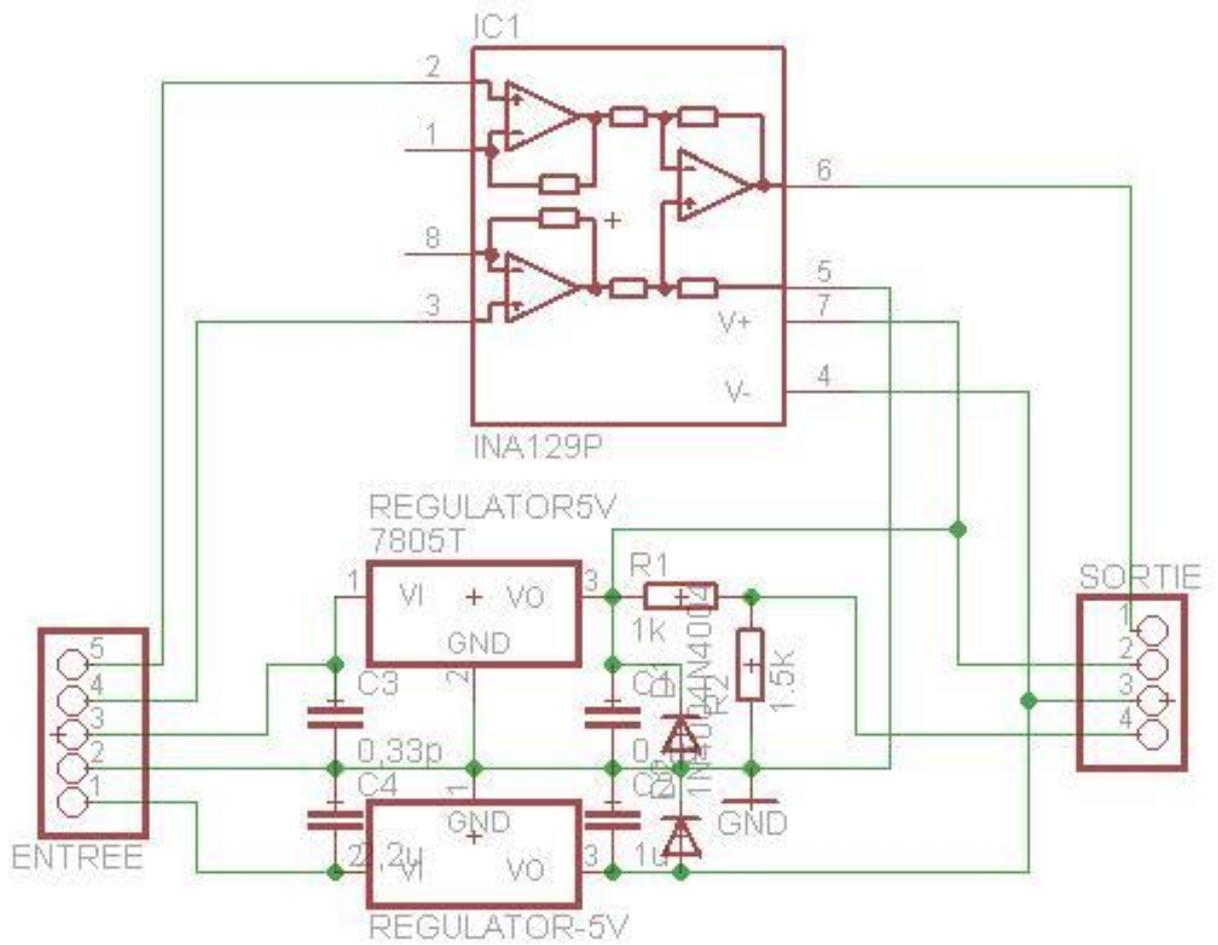
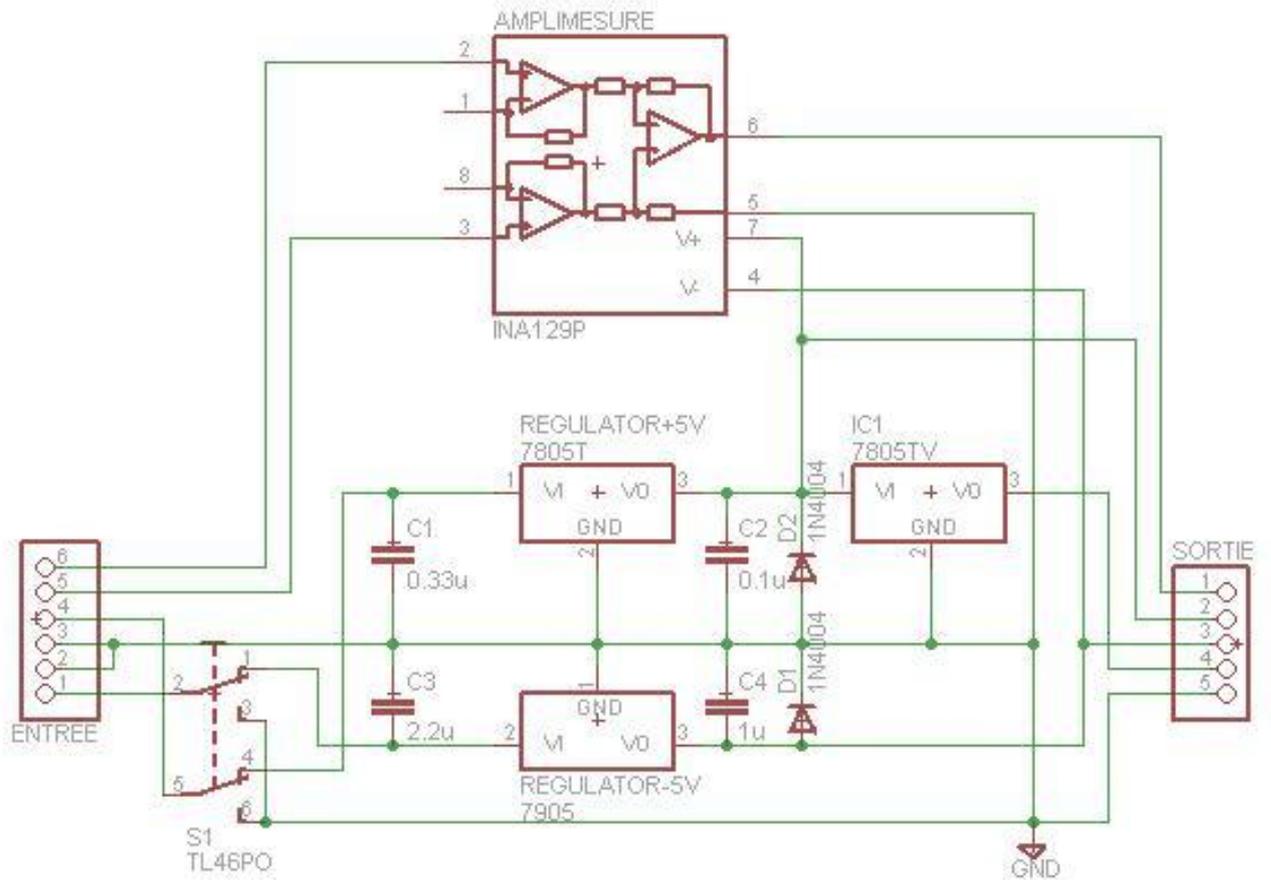


Schéma du Second Circuit Imprimé de Conditionnement



## Test de la Linéarité du Capteur à la sortie de l'Amplificateur de Mesure

Nous avons du faire des tests de notre capteur pour vérifier sa linéarité et pour trouver le coefficient multiplicateur permettant de retrouver le poids appliqué sur le capteur à partir de la tension de sortie.

*Test 0kg* : Nous nous devons de commencer nos mesures à partir de zéro kilo. Il y a bien évidemment une valeur non nulle en sortie car il y a les 15,4mV de sortie venant du zéro du capteur et le poids ajouté de la plaque de la structure elle-même.

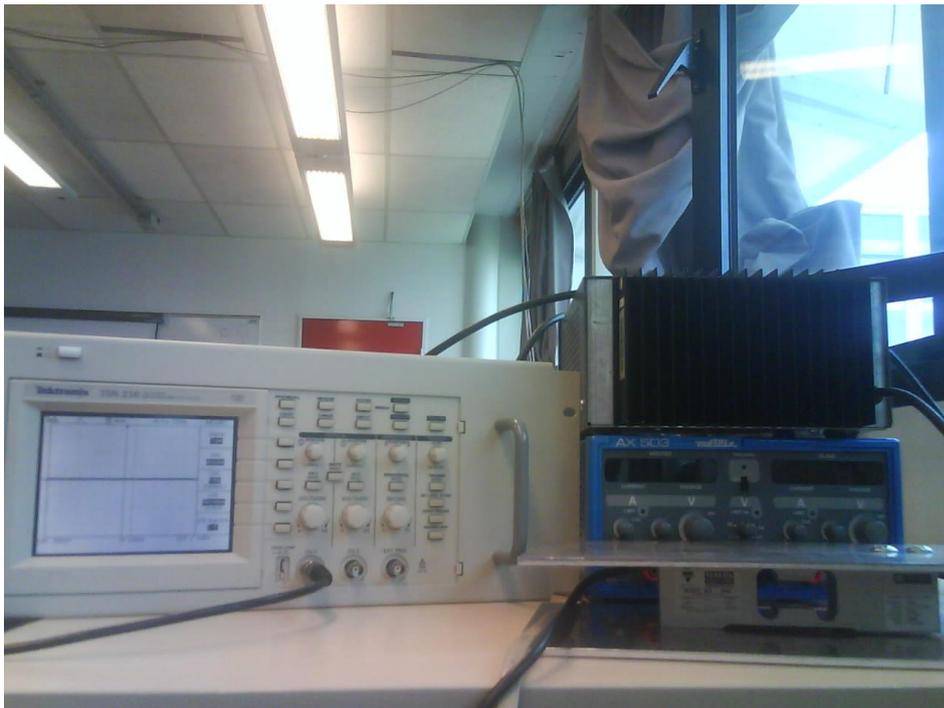


Photo 1- Montage général 0kg



Photo 2- Capteur

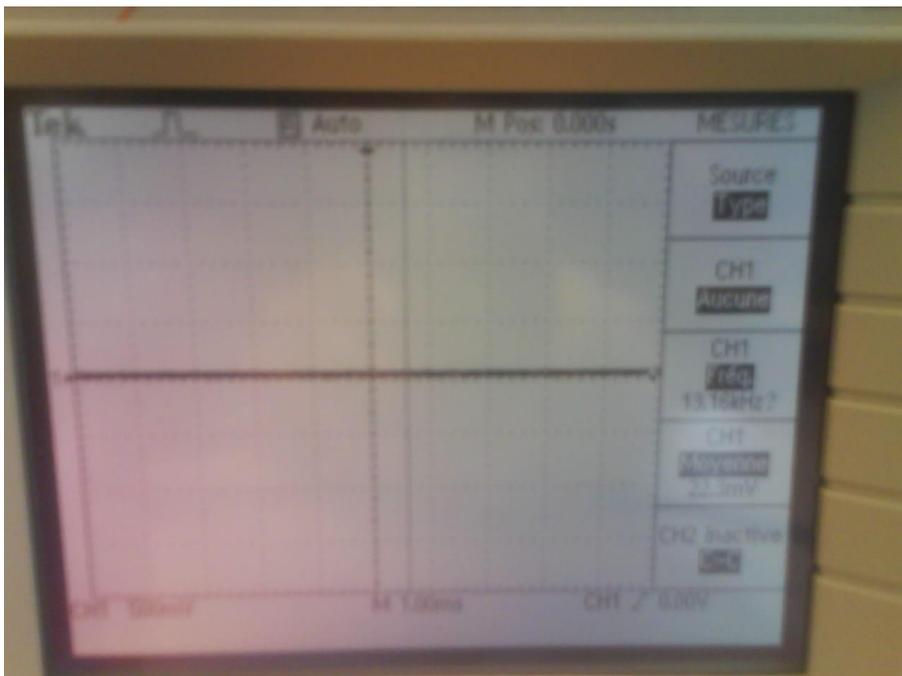


Photo 3- Signal de sortie 0kg (36mV)

*Test 2kg environ* : Nous avons aussi fait un test de 2kg avec une bouteille de 2L remplie et le résultat était bien environ le double de celui de 1kg.



Photo 4 - Schéma général 2kg



Photo 5 - Tension de sortie 2kg (92mV)

*Test 35kg* : Après avoir fait 13 mesures de poids de 0 à 12 kilogrammes, nous avons ensuite voulu faire un test d'un poids élevé : 35kg en l'occurrence. Cette tension très éloignée des 12kg avait pour objectif de confirmer la valeur du coefficient multiplicateur que l'on avait trouvé pour les petits poids et ainsi nous permettre de ne pas avoir à faire la mesure de tous les poids jusqu'à 52kg. La valeur que

l'on a trouvé n'était pas très concluante : 17 au lieu de 28 de moyenne de 0 à 12kg. Nous avons donc du remettre en cause le poids maximum pouvant être mesuré. Cela est du au fait que les limites de notre support ne sont pas adaptées pour un poids excédant 20kg. Plus le poids est élevé et plus les plaques de support se tordent sous le poids et se rapproche du capteur. La distance entre les deux étant de moins de 5mm, dépassé les 30kg, les plaques touchent le capteur. A ce moment là, la mesure du poids est plus faible car le support se repose sur le capteur qui lui-même se repose sur le sol et ainsi, une partie du poids appliqué n'est pas pris en compte. On pourra voir la plaque plier sur la figure.



Photo 6 - Capteur 35kg



Photo 7 - Schéma général 35kg

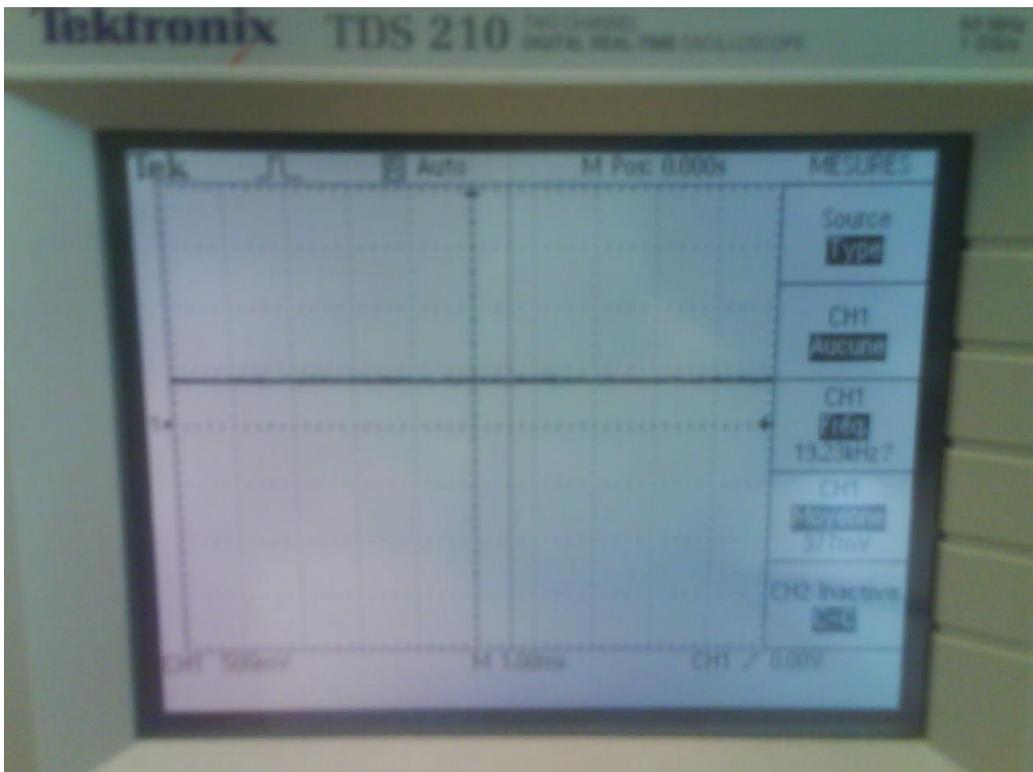


Photo 8 - Tension de sortie 35kg (660mV)

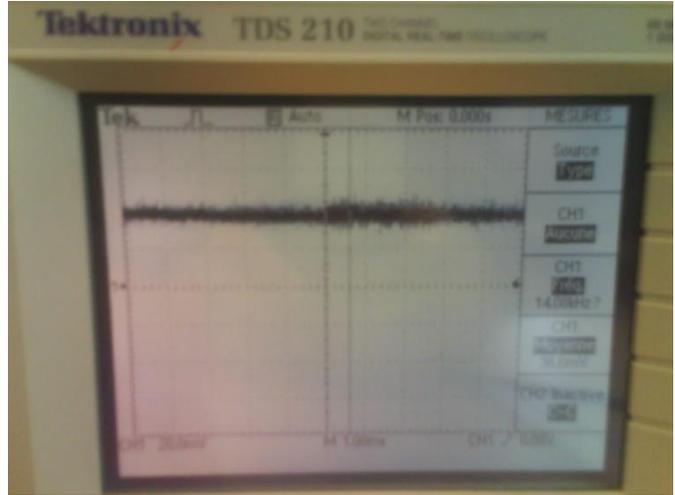
Résultats des tests :

Poids (en kg)	Tension de sortie (en mV)	Coefficient directeur / dernier point	Coefficient directeur / origine
0	36		
1	68	32	32
2	92	24	28
3	128	36	30,66666667
4	148	20	28
5	180	32	28,8
6	204	24	28
7	252	48	30,85714286
8	261	9	28,125
9	295	34	28,77777778
10	305	10	26,9
11	343	38	27,90909091
12	384	41	29
35	660	12	17,82857143
8,2	265		
	<b>Moyenne</b>	27,69230769	28,06648074

## Test de l'Amplificateur de Mesure et Problème Rencontrés

Pour commencer, nous avons testé notre amplificateur de mesure avec en entrée la sortie du capteur. Nous avons zoomé en prenant une échelle de 20mV pour bien voir le bruit qu'il apparaissait sur la tension continue.

Résultat : On peut voir qu'il y a tout même du bruit qui devrait être d'une dizaine de mV sur toute la courbe. Ce bruit est gênant car le zéro de notre capteur est de 15mV et que le pas entre chaque kilo en sortie de l'ampli est de 38mV. C'est donc bien suffisant pour fausser notre mesure. On peut voir que ce bruit est de plusieurs kHz.



On a donc essayé de rajouter un filtre RC passe bas pour enlever le bruit résiduel à la sortie de l'amplificateur de mesure. Nous avons pris un filtre avec  $R=6,8k$  et  $C=100nF$ , cela faisait donc une fréquence de coupure de  $f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \cdot 6,8 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^{-9}} \approx 234Hz$ . Avec cette fréquence de coupure, nous supposons que toutes les fréquences au dessus disparaissent et notamment celles de plusieurs kHz.

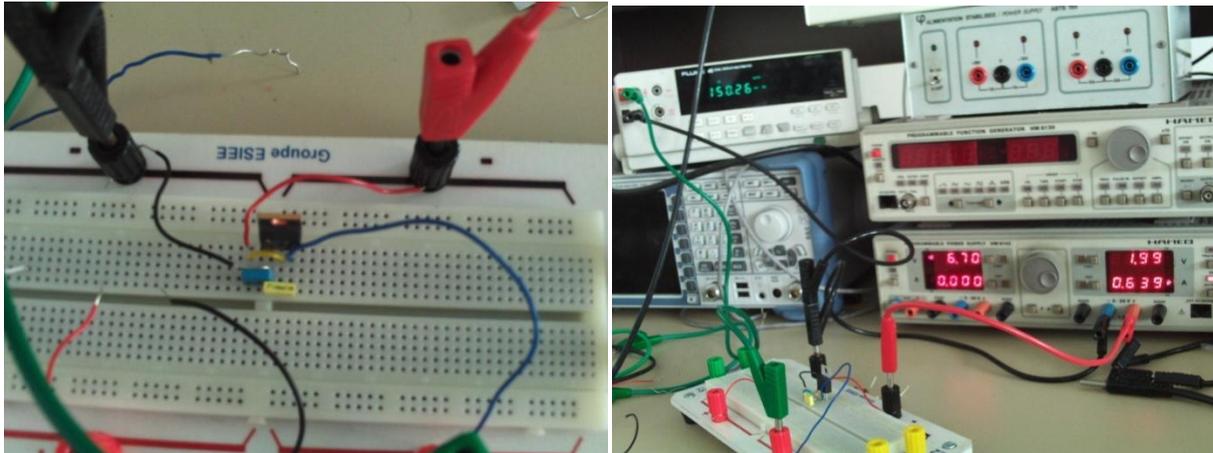
Résultat : Ce fut pire que quand il n'y en avait pas. Nous n'avons pas pu l'expliquer. Nous avons donc enlever ce filtre qui ne faisait qu'ajouter du bruit et nous avons gardé le signal tel quel même s'il pouvait induire de petites erreurs.



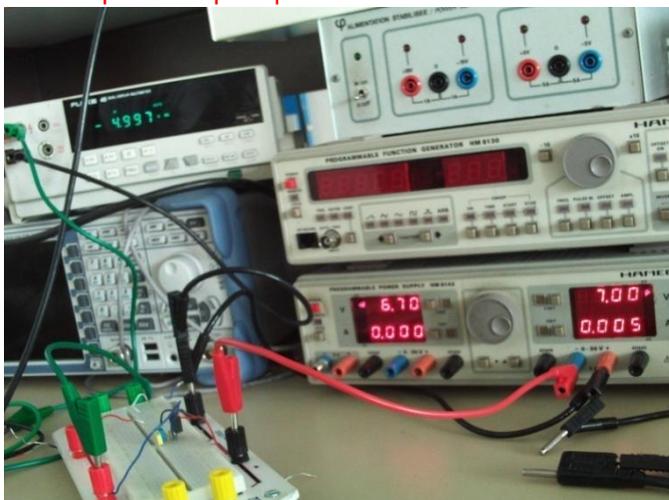
## Test de l'Alimentation et Problèmes Rencontrés

Tout d'abord, nous avons fait marcher le régulateur 7805 à l'aide d'un générateur de tension de 7 à 10V. Nous avons ensuite observé la sortie en tension, en **courant** et la température du régulateur.

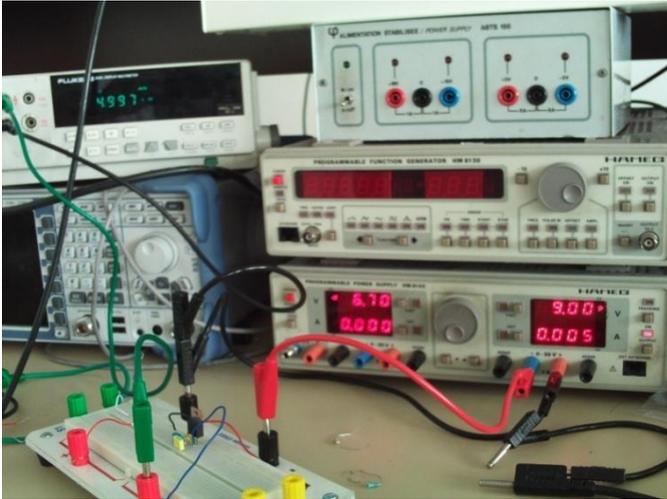
Résultat : La tension est restée à 0,5V en sortie et variait assez peu (jusqu'à 0,7V), en augmentant  $V_{IN}$  jusqu'à 10V. L'intensité était nulle en sortie et la température est devenue assez élevée lors de ces tests : + de 50°C. Nous nous sommes donc posé la question de la puissance dissipée dans les régulateurs. La tension  $V_I$  a chuté ensuite de 7V à 1,5V voire 2V en entrée du régulateur. Pourquoi ?



Tout simplement parce qu'il était mal branché (mais je ne l'ai remarqué que le lendemain) et cela mettait l'alimentation en court-circuit. J'ai donc pensé que le régulateur était HS. Le 7905 quant à lui marchait très bien quant à lui. Avec -7V en entrée, il débitait -4,997V en sortie soit -5V avec 0 A et une température presque nulle.



A -9V, le régulateur marche tout aussi bien sans chauffer.



A 15V idem et au-dessus aussi. J'ai pensé que cela est sûrement du au fait qu'il n'y a pas de charge. En mettant une charge, cela ne changeait strictement rien, le courant en sortie était toujours de zéro et la tension de -5V en sortie donc pour des tensions de plus de 7V, le résultat était le même.

J'ai ensuite testé le montage de la figure 5 avec les condensateurs CI et CO conseillés dans la datasheet.

Les résultats furent les mêmes sauf qu'on a 150mV en sortie cette fois-ci. On décida de les garder par sûreté pour le reste des tests.

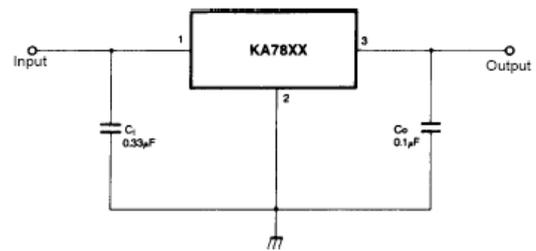


Figure 5. DC Parameters

On a ensuite refait le même schéma avec les piles

Les piles débitaient 8,8V en continue mais aucune intensité bien évidemment.

Avec le montage avec les piles, on a eu la même configuration qu'avec le générateur de tension, c'est-à-dire pas de courant, -5V et 5V en sortie pour le 7905 et 7805 respectivement et pas de température élevée et cela avec ou sans charge.



Le dernier test étant concluant, nous avons décidé de faire la figure 15 directement avec des alimentations puis avec les piles.

Les résultats furent tout à fait concluants mis à part que la tension de sortie était de  $\pm 5,17V$ . Nous ne savons pas vraiment pourquoi mais cette différence de 0,34V additionnée par le capteur amènera

tout même  $0,34V \cdot 2mV = 0,68mV$  en sortie du capteur, donc 68mV en sortie de l'ampli de mesure. Cela fait au final 2kg environ d'erreur. Cette erreur serait donc à modifier plus tard.

Pour finir, nous avons voulu faire le pont diviseur de tension permettant d'obtenir les 3V de la tension d'alimentation du PIC.

Nous avons choisi 10k et 15k comme valeur des résistances et nous avons bien 3,03V comme tension de sortie, ce qui est tout à fait raisonnable pour le PIC.

Nous avons ensuite fait un circuit imprimé de ce montage pour le miniaturiser et le placer dans le support mobile avec le capteur.

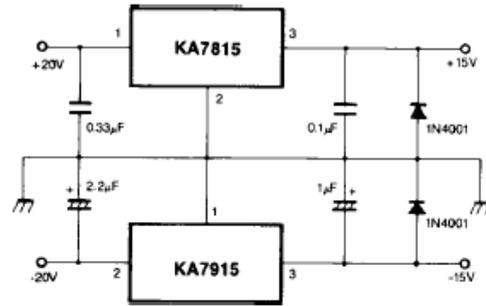
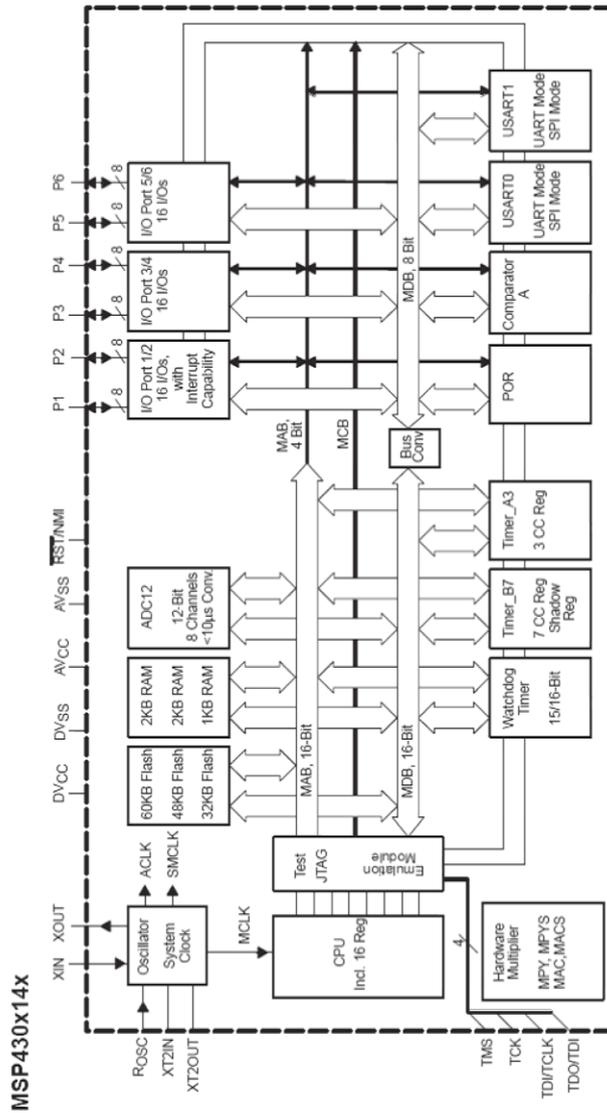


Figure 15. Split Power Supply ( $\pm 15V-1A$ )

Schéma Fonctionnel du MSP430F149



---

## Bibliography

---

### INTERNET :

#### **Capteurs les plus intéressants:**

<http://radiospares-fr.rs-online.com/web/search/searchBrowseAction.html?method=getProduct&R=4438213#header>  
<http://www.codemes.fr/produits/pesage/capteur.html>  
[http://www.directindustry.fr/prod/strain-measurement-devices/capteur-de-force-20551-45500.html#prod\\_45500](http://www.directindustry.fr/prod/strain-measurement-devices/capteur-de-force-20551-45500.html#prod_45500)

#### **Effet piezoelectrique:**

[http://www.kistler.com/fr\\_fr-fr/Technology\\_Piezoelectric/Leffet-piezoelectrique.html](http://www.kistler.com/fr_fr-fr/Technology_Piezoelectric/Leffet-piezoelectrique.html)  
[http://pagesperso-orange.fr/michel.hubin/capteurs/phys/chap\\_p3.htm#piezo](http://pagesperso-orange.fr/michel.hubin/capteurs/phys/chap_p3.htm#piezo)

#### **Amplificateur de charge:**

[http://www.kistler.com/fr\\_fr-fr/Technology\\_ChargeAmplifiers/Amplificateurs-de-charge.html](http://www.kistler.com/fr_fr-fr/Technology_ChargeAmplifiers/Amplificateurs-de-charge.html)  
<http://www.directindustry.fr/prod/kistler/amplificateur-de-charge-pour-capteurs-5346-40020.html#>

#### **Doc sur le pont de wheastone:**

[http://fr.wikipedia.org/wiki/Pont\\_de\\_Wheatstone](http://fr.wikipedia.org/wiki/Pont_de_Wheatstone)  
<http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/7272>  
[http://pagesperso-orange.fr/michel.hubin/capteurs/phys/chap\\_p4.htm](http://pagesperso-orange.fr/michel.hubin/capteurs/phys/chap_p4.htm)  
<http://www.volta-electricite.info/articles.php?lng=fr&pg=602>  
<http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/7272> =====>Très important

### LIVRES

Handbook of modern sensors-Third edition-Jacob Fraden

Dans les éditions AIP PRESS.

Les capteurs en instrumentation industrielle: Georges Asch

Dans les éditions Dunod.