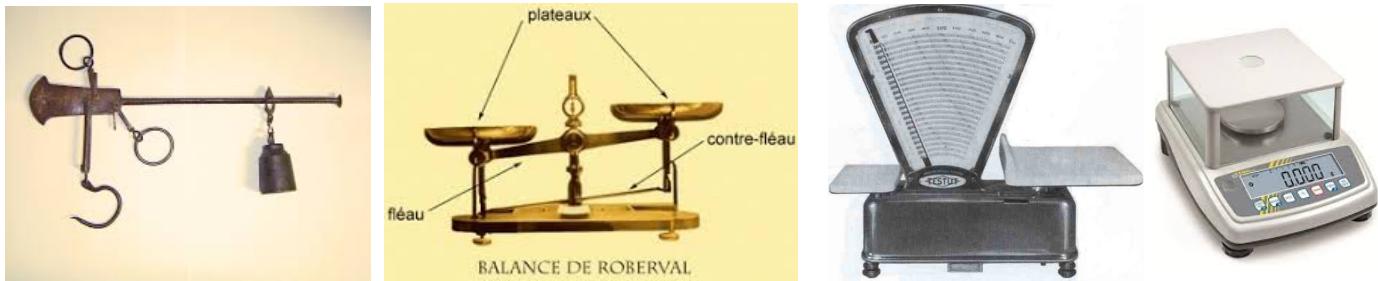


NOM:		CLASSE : TDD
PRÉNOM:		
Condition:	<ul style="list-style-type: none"> <li>travail seul ; durée 2x3 heures</li> </ul>	
Matériel:	<ul style="list-style-type: none"> <li>un ordinateur sous Windows avec les logiciels Proteus 8 et Flowcode 9</li> <li>un capteur de force (5 kg ou 10 kg)</li> <li>un amplificateur / convertisseur AN (module HX711)</li> <li>une carte de développement ( PIC , Arduino )</li> </ul>	
Documents:	<ul style="list-style-type: none"> <li>le sujet de cette Activité</li> </ul>	



## La balance au fil de l'histoire

### AU FIL DE L'HISTOIRE

Comparer la masse de deux objets ou définir celle d'un objet par rapport à une référence est un besoin qui remonte à plusieurs millénaires avant notre ère. Au fil du temps et grâce aux progrès techniques, la balance s'est améliorée afin de répondre, en fonction des différents usages, aux besoins toujours plus importants en termes de reproductibilité, d'exactitude et de précision de la mesure.



Egypte Ancienne : Pesar le métal

Sa première apparition remonterait au moins à cinq millénaires avant notre ère, durant l'Egypte ancienne. Les plus vieilles balances retrouvées sont des balances en pierre à bras égaux, ce qui a sans doute une origine anthropomorphe. La balance aurait été inventée pour mesurer les quantités relatives de petits fragments d'une matière très précieuse et très pesante comme le bronze, qui servait à faire des aiguilles, des pointes, des armes... La valeur réelle des objets résidait alors surtout dans la quantité de métal nécessaire à leur fabrication.

Représentation de la balance dans le livre des Morts pour juger l'âme du défunt (©Google).

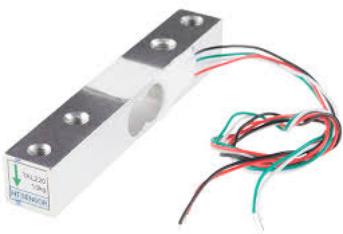


De nos jours : Améliorer la précision

Les avantages de la balance électronique sont sans conteste une précision sans pareille comparée à celle des balances mécaniques. Il ne s'agit plus ici d'un système physique mais d'un capteur associé à un signal électrique, et dont la valeur s'affiche numériquement. Avec l'avènement de la balance électronique, il est possible d'associer des fonctions de calcul à celle du pesage, et de communiquer avec d'autres appareils. La balance la plus sensible au monde, créée en 2012 par des chercheurs de l'institut Catalan de Nanotechnologie, permet de peser au yoctogramme près.

Balance électronique (©Google).

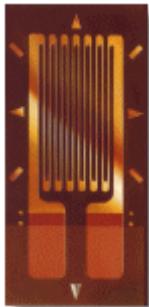
## I – Capteur de force (Load cell)



Un **capteur** de force (ou cellule d'effort) est un dispositif utilisé pour convertir une force (par exemple un poids) appliquée sur un objet en signal électrique.

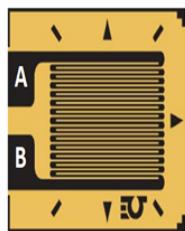
Le capteur est généralement construit en utilisant des **jauges de déformation** (*Strain gauge*) connectées en un pont approprié.

Un amplificateur est normalement nécessaire pour lire le signal délivré par le transducteur.

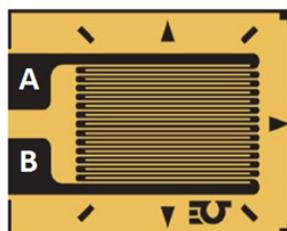


Le but des extensomètres à fils résistants ou jauge de déformation (ou, abusivement, jauge de contrainte) est de traduire la déformation d'une pièce en variation de résistance électrique (plus les extensomètres s'étirent, plus leurs résistances augmentent).

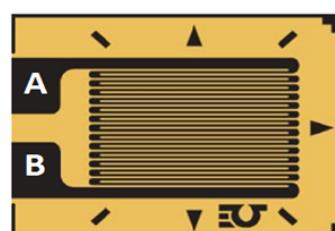
Elles consistent en des spires rapprochées et sont généralement fabriquées à partir d'une mince feuille métallique (quelques  $\mu\text{m}$  d'épaisseur) et d'un isolant électrique, que l'on traite comme un circuit imprimé (par lithographie et par attaque à l'acide).



Jauge compressée

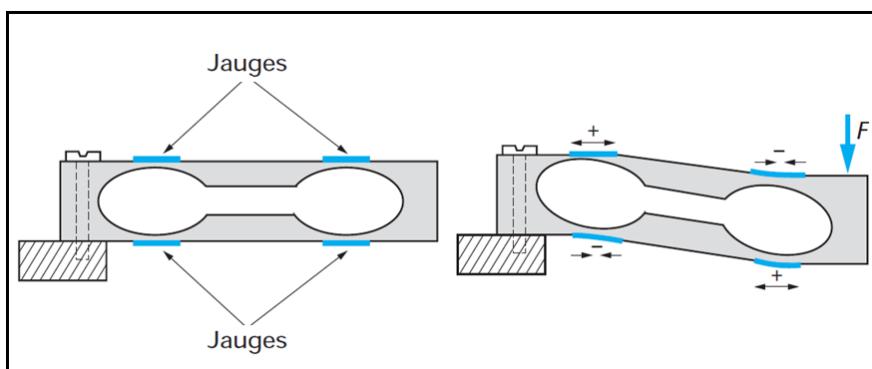
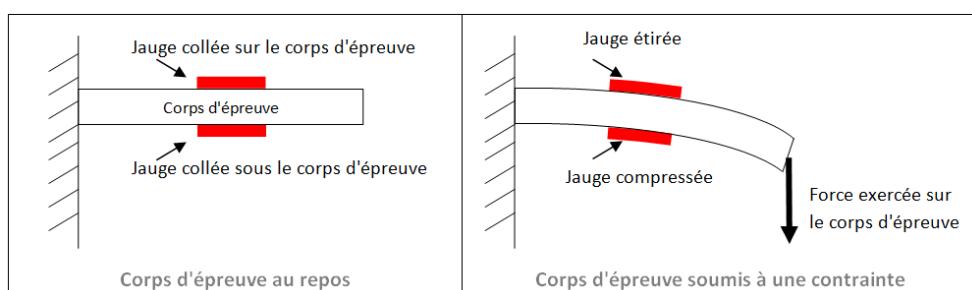


Jauge au repos



Juge étirée

Des jauge (une, deux ou quatre) sont collées sur un support (le corps d'épreuve) qui, lorsqu'il est soumis à une force, va se déformer. Les jauge de déformation vont s'allonger ou se raccourcir. Ainsi, la force dont on cherche à connaître la valeur déforme le corps d'épreuve qui provoque l'allongement ou le rétrécissement des jauge et donc la variation de la valeur de résistance. La variation de la valeur de la résistance est donc liée à la variation de la force appliquée.



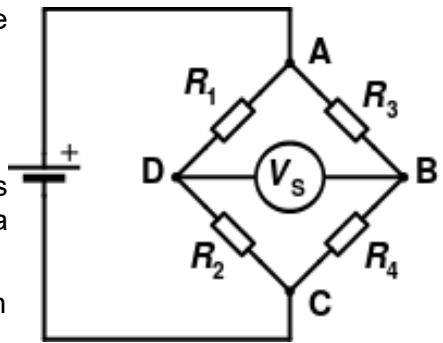
La mesure ne peut s'effectuer directement car les variations de conductivité de la jauge sont trop faibles pour être mesurées.

Il est nécessaire de faire un montage en pont de Wheatstone.

(voir figure →)

Soit un circuit constitué de quatre résistances R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>, R<sub>4</sub> montées en pont. On alimente par une source électromotrice « E » suivant la diagonale AC.

À l'équilibre la tension de sortie entre B et D est nulle mais la variation d'une quelconque des résistances fait apparaître une tension V<sub>s</sub>.



Pour de très faibles variations (de l'ordre du micro-Ohm pour les jauge de contrainte), la sortie V<sub>s</sub> est proportionnelle aux variations relatives  $\Delta R/R$  de chacune des résistances.

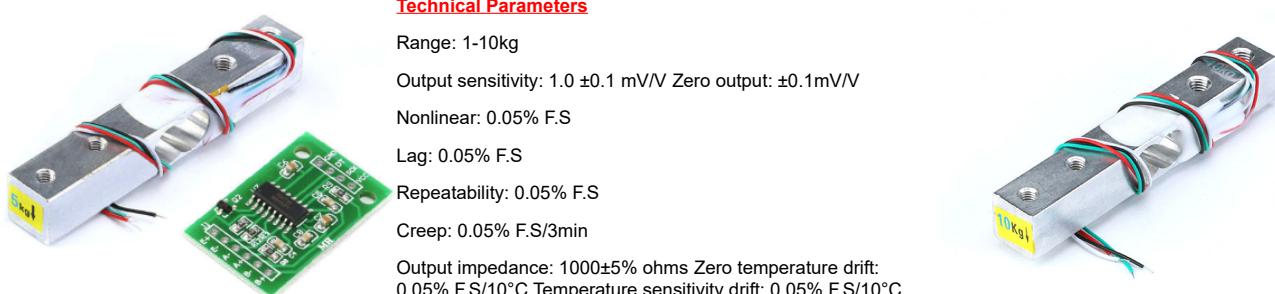
$$V_s = \frac{E}{4} \left( \frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_4}{R_4} - \frac{\Delta R_3}{R_3} \right)$$

Dans la pratique, ces résistances sont souvent d'autres jauge (une, deux ou quatre).

L'alternance des signes + et - caractérise la propriété fondamentale des ponts : deux résistances adjacentes agissent en sens opposé et deux résistances opposées agissent dans le même sens. On peut donc réduire les variations parasites (comme la température) et avoir une meilleure précision.

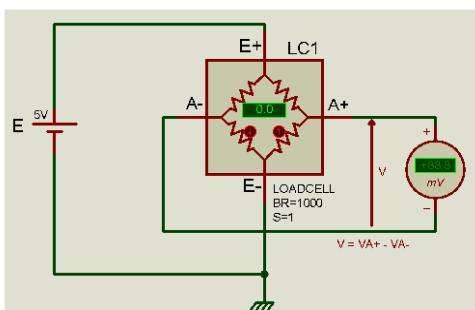
Un capteur à quatre jauge permet d'avoir encore une meilleure précision qu'un capteur à une jauge. Dans la pratique, le nombre de jauge est souvent dicté par la géométrie de la pièce.

Le capteur utilisé pour cette activité est celui-ci (en version 5 kg ou 10 kg)



## II – Simulation du capteur de force

Dessiner sous Proteus 8 le montage suivant:



Modifier les propriétés de «LC1» afin de les rendre conformes à notre capteur.

Output sensitivity: 1.0 mV/V

Output impedance: 1000 Ohms

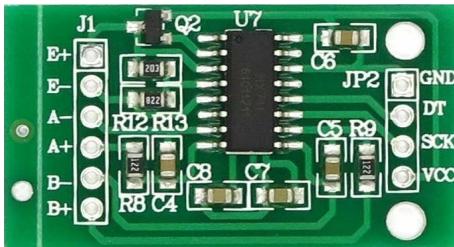
Puis compléter le tableau ci dessous:

Vidéo

Masse	0g										5kg
%	0%	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100%
V	0										5 mV

Pour un capteur de force gamme 5 kg.

### III – Mesure de la masse

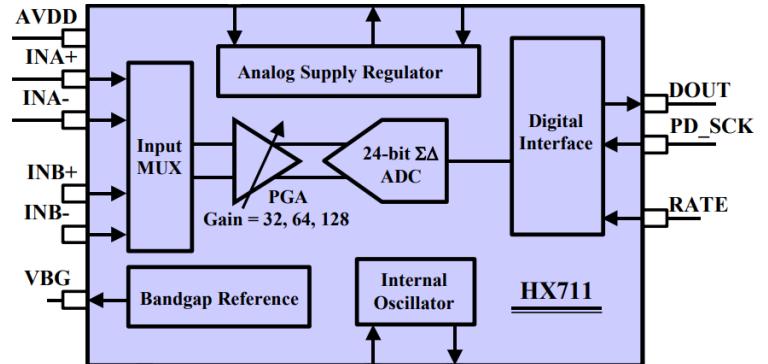
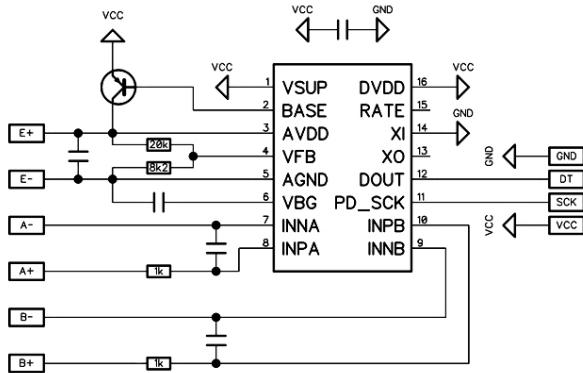


Pour faire une mesure précise, il convient d'amplifier le signal, la tension V (VA+ - VA-) avant de réaliser, à l'aide d'un microcontrôleur, une Conversion Analogique / Numérique.

C'est pour cela que nous allons utiliser un module, basé sur le composant HX771, qui intègre un amplificateur à gain ajustable ainsi qu'un Convertisseur Analogique / Numérique de 24 bits.

Schéma structurel du module et synoptique du HX711

Datasheet du HX711



CAN ---> Convertisseur Analogique / Numérique

ADC ---> Analog to Digital Converter

### Analyse de la documentation constructeur du HX711

Traduire les phrases suivantes

- ➔ 24-Bit Analog-to-Digital Converter (ADC) for Weigh Scales
- ➔ Two selectable differential input channels
- ➔ ... with selectable gain of 32, 64 and 128
- ➔ On-chip power supply regulator for load-cell
- ➔ Operation supply voltage range: 2.6 ~ 5.5V
- ➔ Current consumption including on-chip analog power supply regulator: normal operation < 1.5mA, power down < 1uA
- ➔ Output data coding 2's complement

Note: Two's complement ---> Complément à deux

Puis compléter le tableau de description des broches ci-dessous

N° de broche	Nom	Fonction	Description
1	VSUP		
2			
3	AVDD		
4			
5	AVDD		
6			
7	INA-		
8	INA+		
9			
10			
11	PD_SCK		
12	DOUT		
13			
14			
15			
16	DVDD		

### Reset and Power-Down

When chip is powered up, on-chip power on rest circuitry will reset the chip.

Pin PD\_SCK input is used to power down the HX711.

When PD\_SCK Input is low, chip is in normal working mode.

When PD\_SCK pin changes from low to high and stays at high for longer than 60µs, HX711 enters power down mode (Fig.3).

When internal regulator is used for HX711 and the external transducer, both HX711 and the transducer will be powered down.

When PD\_SCK returns to low, chip will reset and enter normal operation mode. After a reset or power-down event, input selection is default to Channel A with a gain of 128.

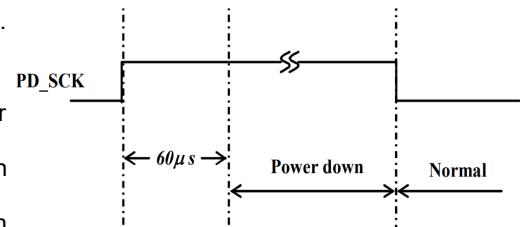
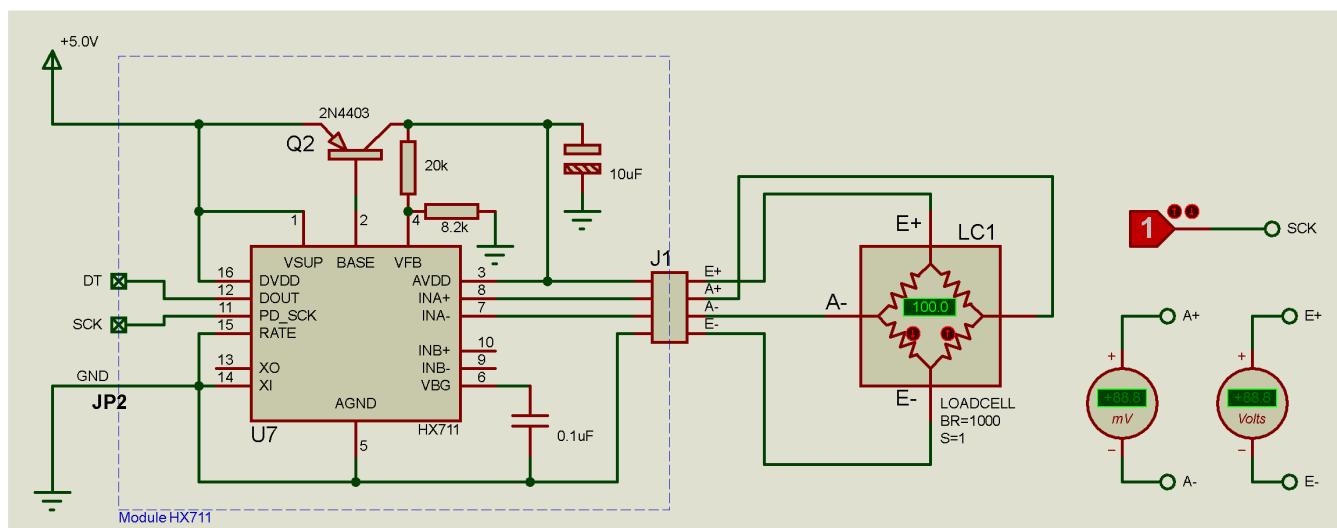


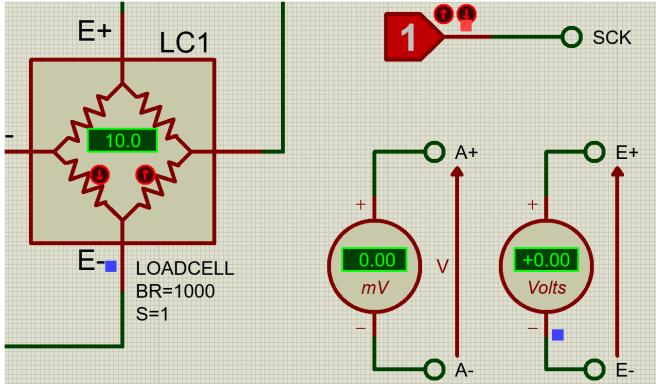
Fig.3 Power down control

Que se passe-t-il lors de l'initialisation (à la mise sous tension ou suite au réveil du HX711) ?

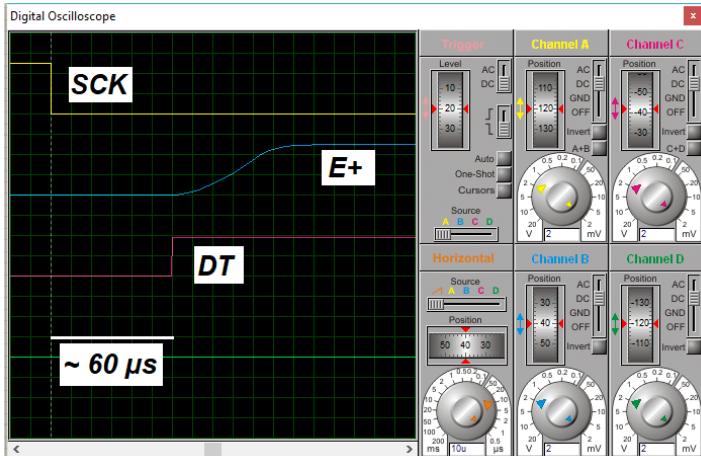
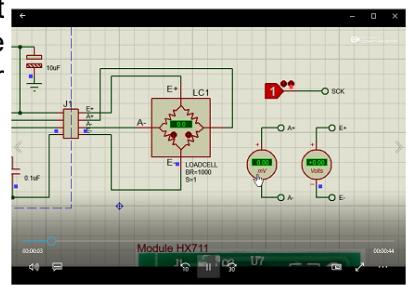
### Vérification par la simulation du module

### Schéma structurel du capteur associé au module HX711



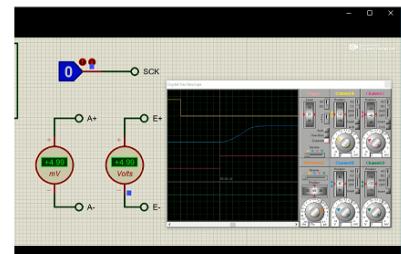


La simulation nous montre que si l'entrée SCK du module HX711 est au niveau haut depuis plus de 60 µs, le composant se place en mode veille et le capteur n'est plus alimenté.



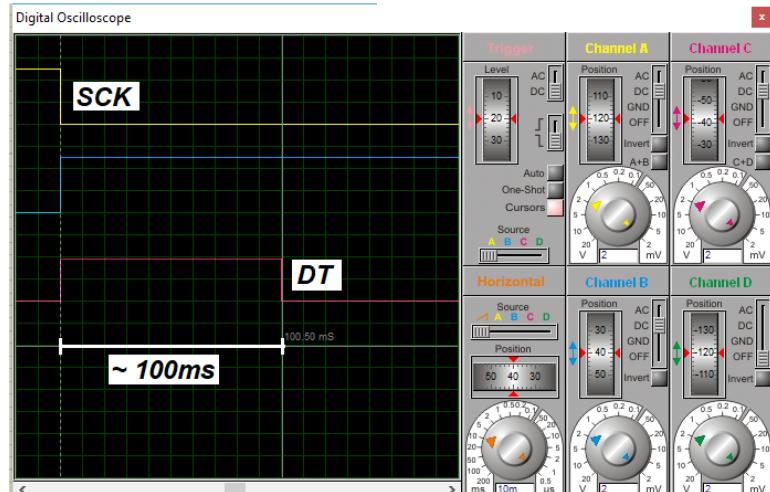
Mais elle nous montre aussi que lorsque l'horloge SCK passe au niveau bas, le module HX711 est activé, le capteur est alimenté. Et environ 60µs plus tard, le signal DT, passe à l'état haut indiquant le début d'une conversion analogique numérique.

Le gain de l'amplificateur interne du HX711 vaut alors 128.



En augmentant la base de temps de l'oscilloscope on peut estimer le temps nécessaire à la conversion, en effet, il faut attendre encore 100 ms pour que DT passe au niveau bas.

La lecture de la mesure peut alors être effectuée.



## Lecture de la mesure

En exploitant la documentation constructeur nous allons élaborer un programme, une procédure permettant la lecture du résultat de la conversion analogique numérique.

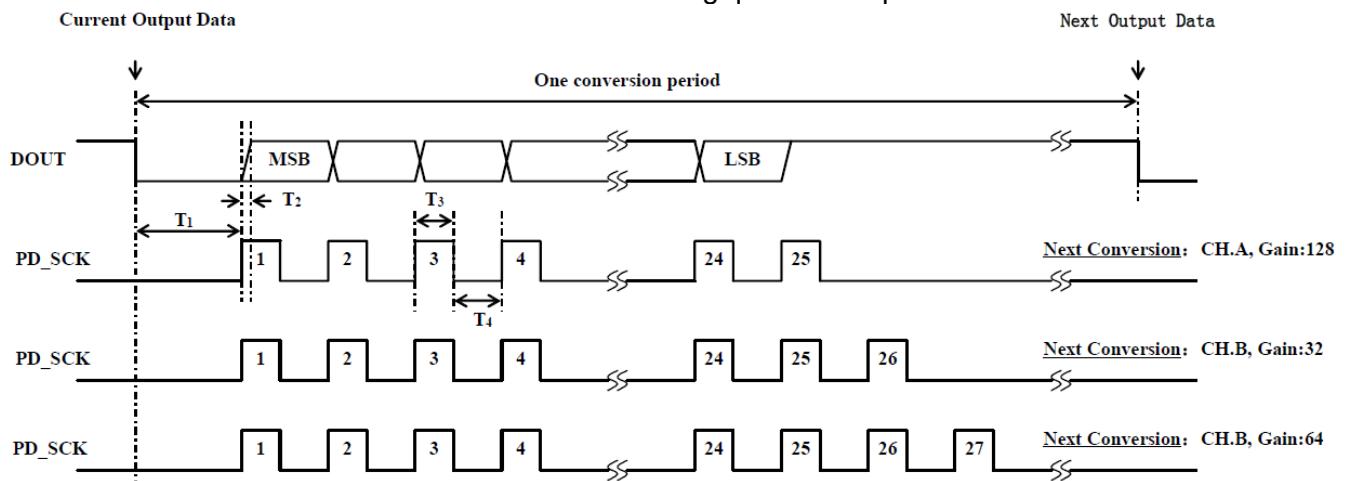


Fig.2 Data output, input and gain selection timing and control

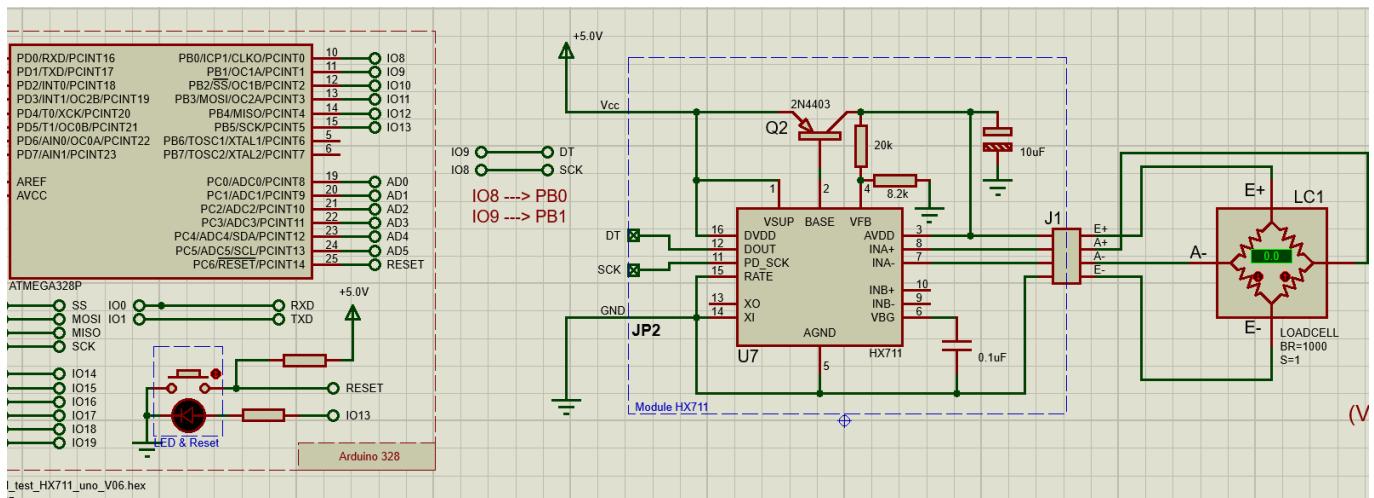
Symbol	Note	MIN	TYP	MAX	Unit
T <sub>1</sub>	DOUT falling edge to PD_SCK rising edge	0.1			μs
T <sub>2</sub>	PD_SCK rising edge to DOUT data ready			0.1	μs
T <sub>3</sub>	PD_SCK high time	0.2	1	50	μs
T <sub>4</sub>	PD_SCK low time	0.2	1		μs

Programme sous Flowcode: [ici](#)

Source en C: [ici](#)

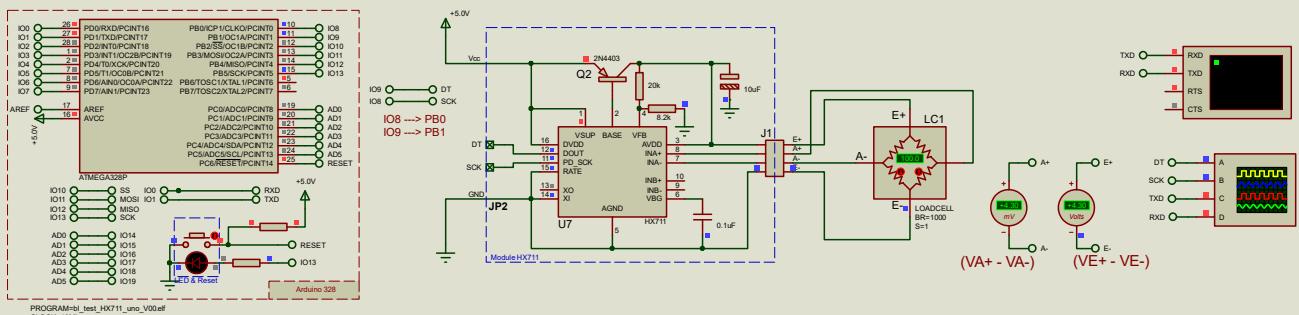
Le fichier hex: [ici](#)

Schéma structurel du capteur associé au module HX711 et piloté par un microcontrôleur.

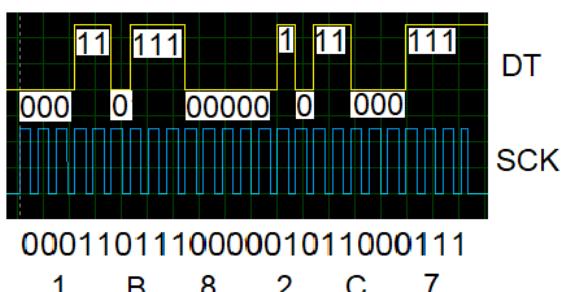
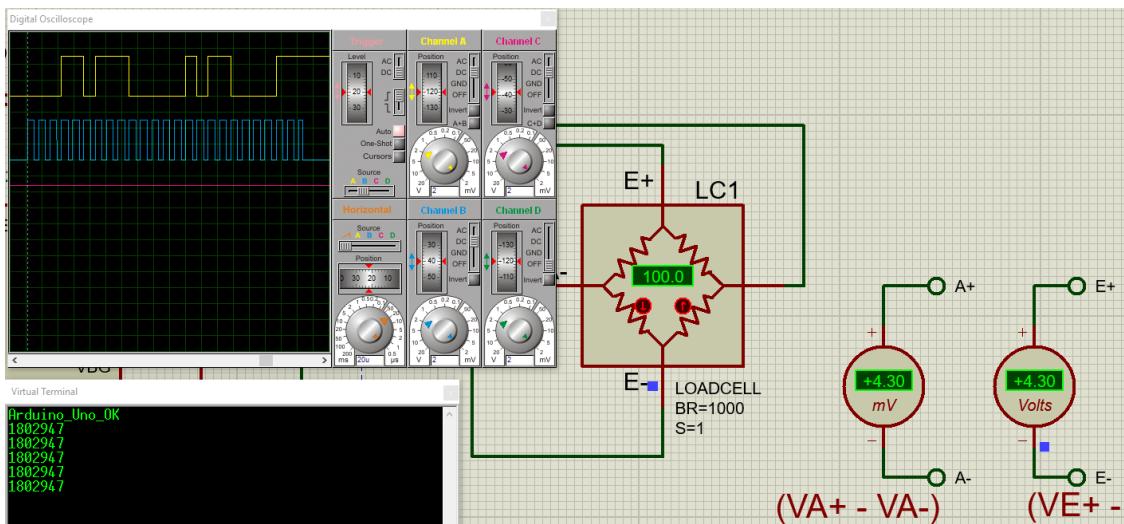
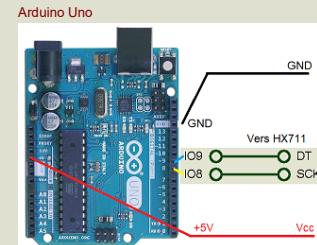
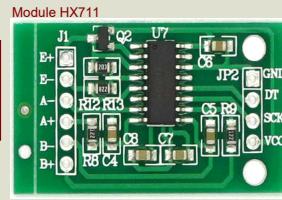


Une fois n'est pas coutume, un Arduino Uno pour le microcontrôleur.

### Capteur de force à jauge de déformation associé à un Module HX711



Fil Rouge >---< E+  
 Fil Noir >---< E-  
 Fil Blanc >---< A-  
 Fil Vert >---< A+



On obtient donc (c'est un exemple) pour une charge donnée, la valeur 1802951 en décimal (base 10)

	Valeur
Binaire	0b000110111000001011000111
Hexadécimal	0x1B82C7
Décimal	1802951

Convertisseur

## Compléter les tableaux (pour un capteur 5 kg)

### Valeurs attendues

%	0%	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100%
Masse	0g	500g				2,5kg					5kg
V (mV)	0	0,5				2,25					5
(Mesure) <sub>10</sub>	0	209 715				1 048 575					2 097 151
(Mesure) <sub>16</sub>	0	0x33333	0x	0x	0x	0xFFFFF	0x	0x	0x	0x	0xFFFFF

### Valeurs estimées (Simulation)

%	0%	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100%
Masse	0	500g				2,5kg					5kg
V (mV)	0	0,43									4,3
*(Mesure) <sub>16</sub>	0	0x02C046	0x	0x	0x	0x	0x	0x	0x	0x	0x1B82C2
*(Mesure) <sub>10</sub>	0	180 294									1 802 946

\* mesure effectuée à l'aide de la trame sur l'oscilloscope (les 24 premières impulsions)

### Valeurs négatives

### Valeurs (Simulation)

%	0%	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90	-100%
V (mV)	0	-0,43				-2,15					-4,3
(Mesure) <sub>16</sub>	0	0xFD3FBA	0x	0x	0x	0x	0x	0x	0x	0x	0x
C à 1		0x02C045									
C à 2		0x02C046									
Valeur		-180 294									-1 802 941

### Mesures en réel

### Valeurs mesurées

Masse	0	10g	50g	100g	200g	500g	1kg	1,5kg	2kg	2,5kg	3kg
(Mesure) <sub>10</sub>	0										

Justifier les écarts, et proposer un moyen de corriger les erreurs.