

# D<sup>2</sup>C

## Drone Didactique Contrôlé

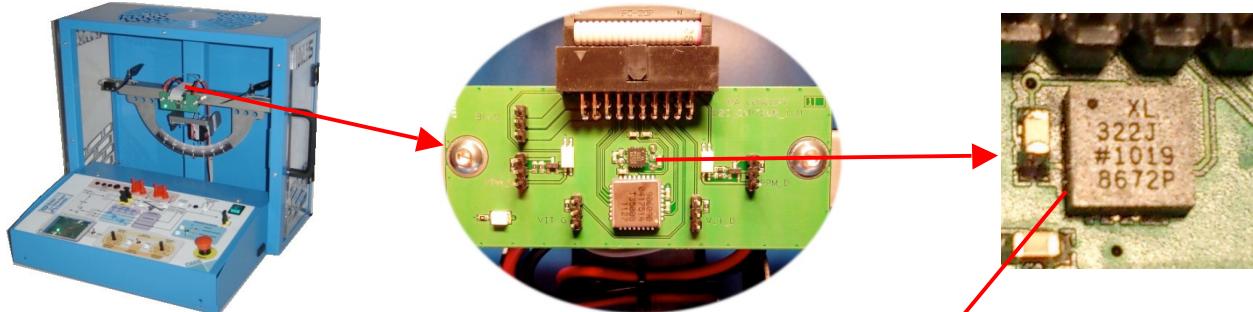
### Fiche d'information

### Accéléromètre et mesures



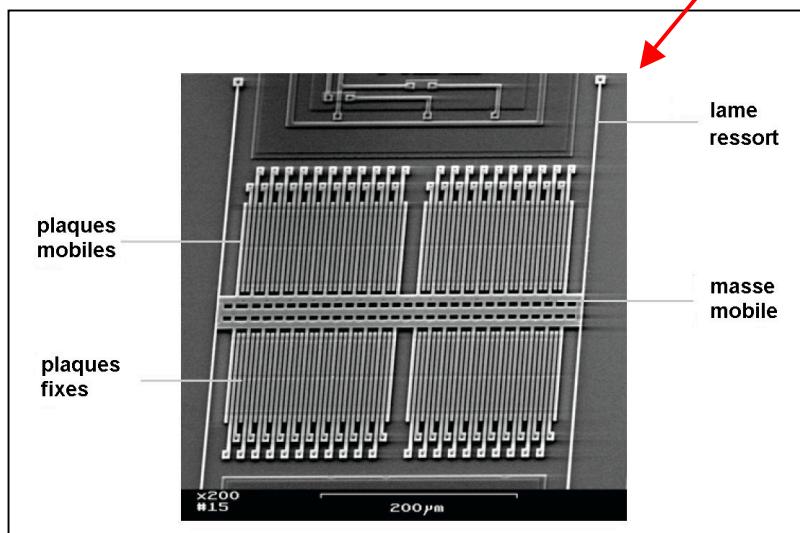


## 1- Situation de l'accéléromètre ADXL322 d'Analog Device sur le drone didactique D<sup>2</sup>C



## 2- Constitution de l'accéléromètre ADXL322 d'Analog Device

Il se compose de deux puces de silicium : l'élément de mesure et le circuit d'interprétation. Le cœur de l'élément de mesure dans sa structure n'est reconnaissable qu'au microscope.

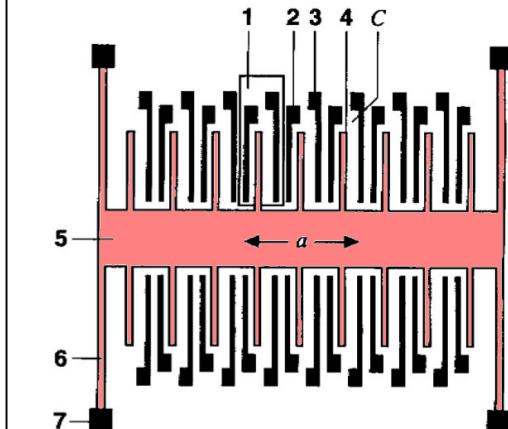


### 3- principe de la mesure sur un axe :

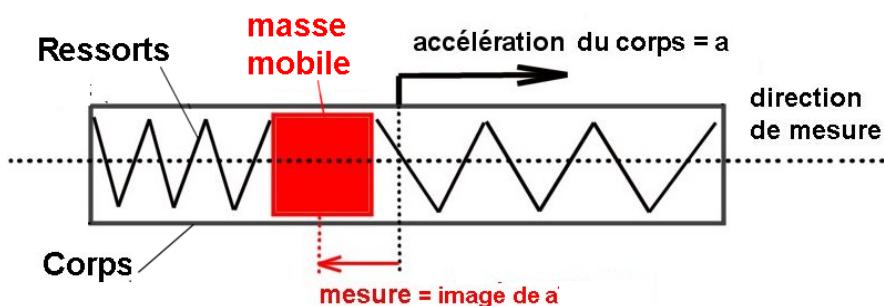
Dans le détail, la masse mobile (5) avec ses électrodes en forme de peigne (1, 2, 3, 4) est suspendue de manière souple sur de fines barrettes (6). Des électrodes fixes (2, 3) placées sur la puce se trouvent de chaque côté des électrodes mobiles (4).

A l'accélération du capteur, la distance entre les électrodes mobiles et celles fixes se modifie, entraînant une modification du signal électrique dans la puce d'interprétation.

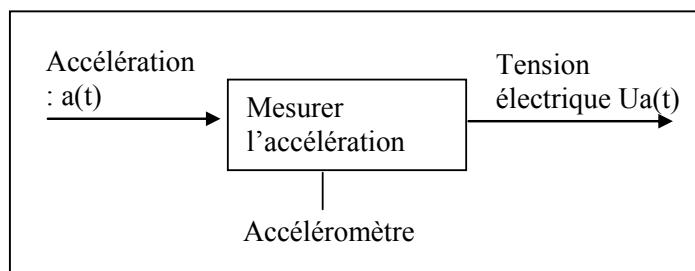
1 cellule élémentaire, 2,3 plaques fixes,  
4 plaques mobiles, 5 masse mobile,  
6 lame-ressort, 7 ancrage.  
 $a$  accélération, C capacités de mesure.



Un schéma équivalent qui représente bien le fonctionnement mécanique de l'accéléromètre à un axe est le « système masse-ressort » :



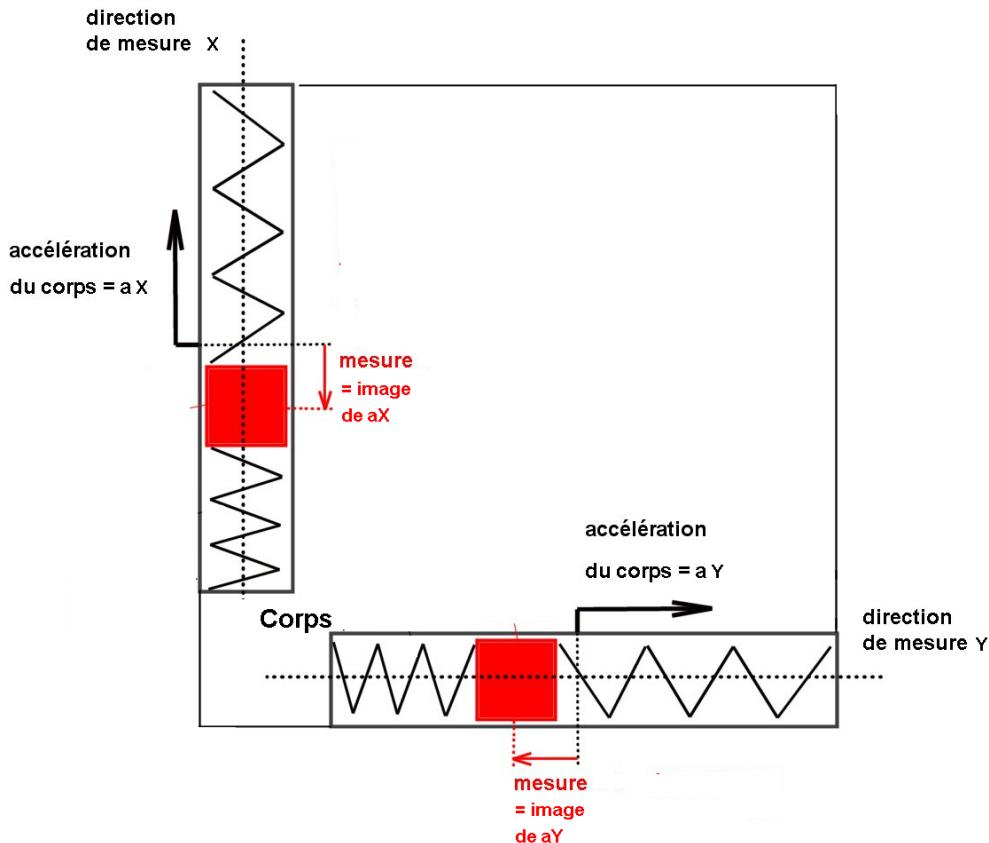
fonction pour laquelle l'accéléromètre a été conçu : « mesurer l'accélération selon la direction de mesure « dm » »



Nota :

L'accéléromètre ADXL322 est un accéléromètre à « 2 axes » ; son schéma équivalent mécanique est donc un schéma à deux directions de mesure :

Sur la figure ci-contre, ce sont les notations X et Y issues de la fiche technique qui désignent les deux directions de mesure.



#### 4- Principe physique de la mesure d'accélération sur une direction :

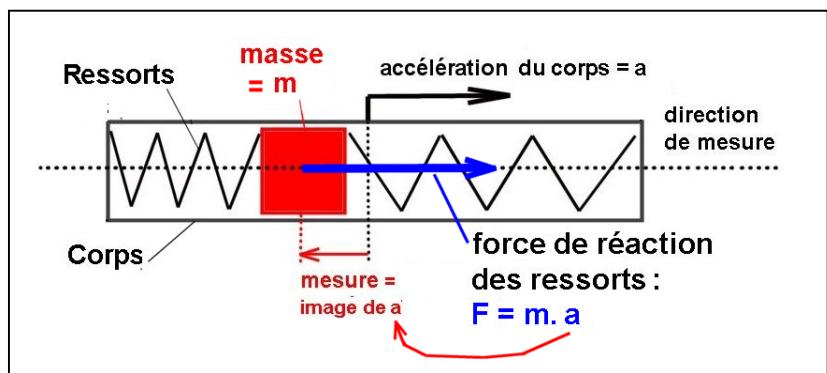
C'est le principe fondamental de la dynamique (ou deuxième loi de Newton) qui nous permet d'écrire que

La masse  $m$  est soumise à une force

$$F = m \cdot a ;$$

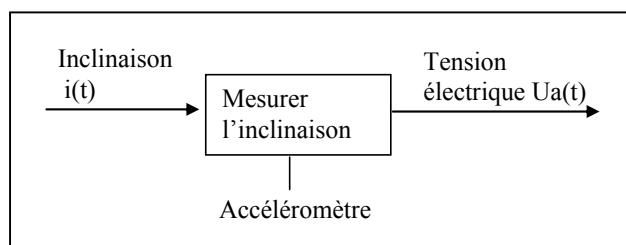
Et donc ce sont les ressorts qui exercent cette force  $F = m \cdot a$ . (en réaction à l'accélération)

La mesure fournie par le capteur est une image de cette force, et est donc une image de «  $a$  ».



#### 5 - Utilisation de l'accéléromètre en « inclinomètre » :

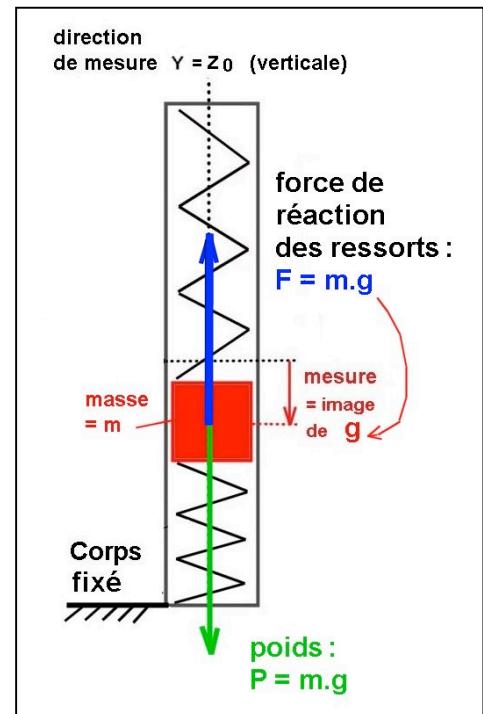
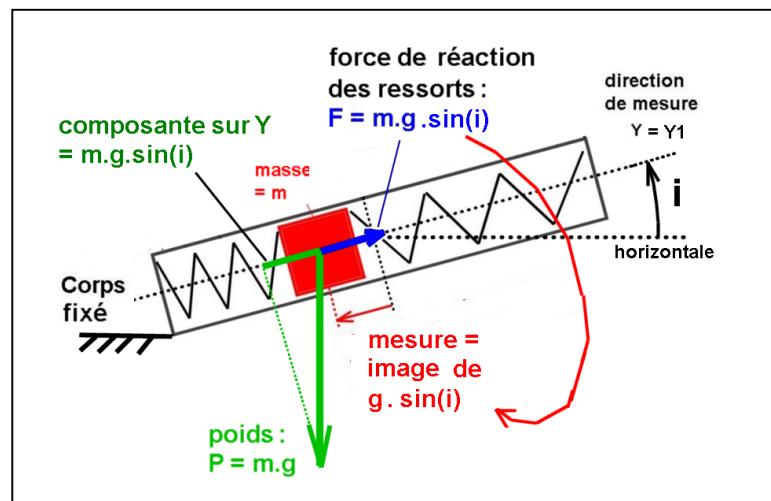
Fonction que réalise l'accéléromètre sur le drone : « mesurer l'inclinaison «  $i$  » » (voir l'angle «  $i$  » sur la figure ci-contre)



### 5-1 Expliquons cette possibilité d'utilisation en « inclinomètre » :

- si l'accéléromètre est placé verticalement, et fixé au sol, la masse mobile est soumise à la force de pesanteur  $P = m.g$  ; les ressorts exercent sur la masse la force de réaction  $F = m.g$  ; donc l'accéléromètre donne une mesure qui est l'image de l'accélération de la pesanteur : « g »

- si l'accéléromètre est placé incliné d'un angle « i » par rapport à l'horizontale, la composante du poids qui intervient dans la direction de mesure est  $P_y = m.g.\sin(i)$  ; en conséquence les ressorts exercent la force de réaction  $F = m.g.\sin(i)$  ; l'accéléromètre fournit donc une image de  $g.\sin(i)$  et permet donc de mesurer l'angle « i ».



### 5-2 Analysons les grandeurs d'entrée-sortie,

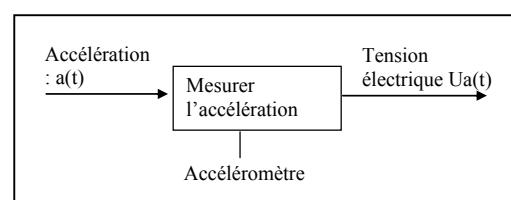
On supposera pour simplifier l'étude, que le rapport « sortie / entrée » reste constant, quelles que soient les valeurs d'entrée.

#### Cas de l'utilisation en accéléromètre :

La sensibilité  $S_{0a}$  de l'accéléromètre est le rapport de la grandeur de sortie «  $U_a$  » sur la grandeur d'entrée «  $a$  » :

$$S_{0a} = \left( \frac{U_a}{a} \right) ;$$

les fabricants fournissent la valeur de  $S_{0a}$  en « volt / g » ; ( « g » étant l'accélération de la pesanteur )

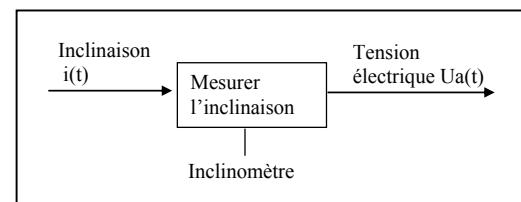


**Cas de l'utilisation en inclinomètre :**

La sensibilité  $S_{0i}$  de l'inclinomètre est le rapport de la grandeur de sortie «  $U_a$  » sur la grandeur d'entrée «  $i$  » :

$$S_{0i} = \left( \frac{U_a}{i} \right) ;$$

On exprime la valeur de  $S_{0i}$  en « volt / ° » ; ( volt par degré )

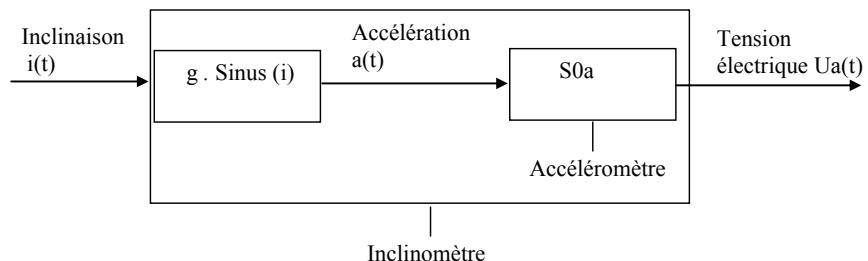


**Question : quelle relation existe-t-il entre  $S_{0i}$  et  $S_{0a}$  ??**

**Réponse :**

les transformations sont les suivantes :

$$\text{donc } U_a(t) = S_{0a} \cdot g \cdot \sin(i)$$



**Pour rester dans l'hypothèse fixée**

**« le rapport d'entrée – sortie reste constant quelques soient les valeurs d'entrée », il faut faire une approximation : sinus (i) ≈ i**

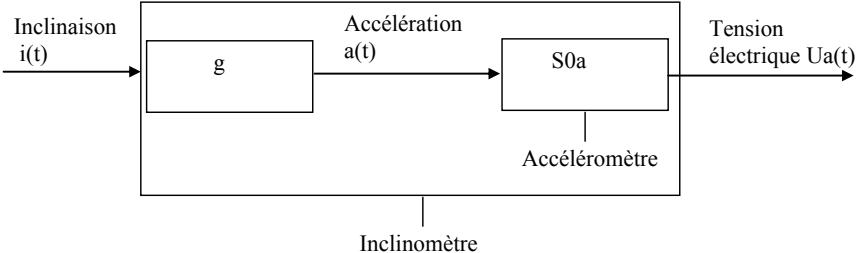
**Cette étude ne sera donc valable que pour les angles  $i$  pas trop grands :  $i < 30^\circ$  est une limite.**

Alors dans ce cas :  $a(t) = g \cdot i(t)$

$$\text{et } U_a(t) = S_{0a} \cdot g \cdot i(t)$$

Comme  $S_{0a}$  est exprimé en « volts / g » , on retient :

$$U_a(t) = S_{0a} \cdot i(t)$$



Dans cette formule  $i(t)$  est

exprimé en radians ; Comme on veut exprimer  $i(t)$  en degrés alors on doit écrire :  $U_a(t) = S_{0a} \cdot \pi/180 \cdot i(t)$

Et on en déduit :

$$S_{0i} = S_{0a} \cdot \pi/180$$

avec  $S_{0a}$  exprimé en « volts par g »

et une expression de l'angle d'entrée de l'inclinomètre «  $i$  » en degrés.

### 5-3 Exploitation des données du fabricant

La figure 1 présente un extrait de la fiche technique de l'accéléromètre ADXL322 page 3/16 :

Tension d'alimentation pour laquelle sont données les caractéristiques

sensibilité (si alimentation à 3V)

tension de sortie à accélération nulle (si alimentation à 3V)

Figure 1

ADXL322					
fiche technique p 3/16					
SPECIFICATIONS					
$T_A = 25^\circ\text{C}$ , $V_S = 3 \text{ V}$ , $C_X = C_Y = 0.1 \mu\text{F}$ , Acceleration = 0 g, unless otherwise noted <sup>1</sup> .					
Table 1.					
Paramètre	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
SENSOR INPUT	Each axis				
Measurement Range	% of full scale	$\pm 2$	$\pm 0.2$	$\pm 1$	g %
Nonlinearity		$\pm 0.2$	$\pm 1$	$\pm 0.1$	Degrees Degrees
Package Alignment Error	X sensor to Y sensor	$\pm 0.1$	$\pm 2$	$\pm 0.1$	%
Alignment Error					
Cross-Axis Sensitivity					
SENSITIVITY (RATIO METRIC) <sup>2</sup>	Each axis				
Sensitivity at $X_{out}, Y_{out}$	$V_S = 3 \text{ V}$	578	420	462	mV/g
Sensitivity Change due to Temperature <sup>3</sup>	$V_S = 3 \text{ V}$		0.01		%/ $^\circ\text{C}$
ZERO g BIAS LEVEL (RATIO METRIC)	Each axis				
0 g Voltage at $X_{out}, Y_{out}$	$V_S = 3 \text{ V}$	1.3	1.5	1.7	V
Initial 0 g Bias Deviation from Ideal			$\pm 50$		mg
0 g Offset Vs. Temperature			$< \pm 0.5$		mg/ $^\circ\text{C}$

**Problème à résoudre :** Comme notre capteur est alimenté à la tension  $V_S = 5$  volts, et non pas 3 volts, il faut adopter un coefficient de proportionnalité pour obtenir les bonnes valeurs des tensions de sortie (voir l'extrait de la fiche technique p13/16 donné figure 2) :

Résultat :

Sensibilité (si alimenté à 5 V)

tension de sortie à accélération nulle (si alimenté à  $V_S$ )

Figure 2

#### extrait de la fiche technique p 13/16

##### USE WITH OPERATING VOLTAGES OTHER THAN 3 V

The ADXL322 is tested and specified at  $V_S = 3 \text{ V}$ ; however, this part can be powered with  $V_S$  as low as 2.4 V or as high as 6 V. Note that some performance parameters change as the supply voltage is varied.

The ADXL322 output is ratiometric, so the output sensitivity (or scale factor) varies proportionally to supply voltage. At  $V_S = 5 \text{ V}$ , the output sensitivity is typically 750 mV/g. At  $V_S = 2.4 \text{ V}$ , the output sensitivity is typically 335 mV/g.

The zero g bias output is also ratiometric, so the zero g output is nominally equal to  $V_S/2$  at all supply voltages.

En conclusion, dans le cas du D2C, avec l'alimentation en 5V :

Sensibilité :  $S_{0a} = 0,75 \text{ V/g}$

Sensibilité au voisinage de la position horizontale :  $S_{0i} = 0,013 \text{ V}/(^\circ)$

Biais (offset) = 2,5 V

## 6- la prise d'information autour de la boucle de position du drone didactique

