

# Les accéléromètres

Electronique pour Arduino

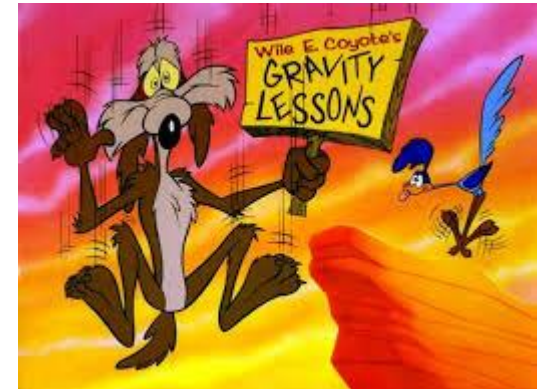
F. Ferrero

# Accéléromètre : Définition

$$v = \frac{\partial x}{\partial t}$$

$$a = \frac{\partial^2 x}{\partial t^2}$$

- Que mesure un accéléromètre ?
- L'accélération merci ! Mais encore
- Quelque chose qui vous dit comment un objet accélère ou ralenti
- L'accélération est donnée en mètre par seconde au carré ( $\text{m/s}^2$ ), ou G-force (g), qui est proche de  $9.8\text{m/s}^2$  (la valeur exacte dépend de la hauteur et de la masse de la planète sur laquelle vous vous trouvez).



# Accéléromètre : Définition

- Dès qu'il y a un changement de vitesse ou de direction, il y a une accélération :

$$F = ma$$

- La gravité sur Terre: 1g
- Bugatti Veyron, 0 to 100km/h in 2.4s= 1.55g
- Dos d'âne sur la route: 2g
- Top Thrill Dragster roller-coaster = 4.5g
- virage d'une F-1 = 5g to 6g
- Fusée : 10g
- Max pour les pilotes de jet de combat = 11g to 12g
- Mort ou blessure grave = +50g

# Accéléromètre : Définition

- Les accéléromètres sont utilisées pour enregistrer à la fois les accélérations statiques (la gravité) et dynamique (choc, mouvement).
- Une des applications principale des accéléromètre est le calcul d'inclinaison. Grace à l'effet de la gravité, un accéléromètre peut vous dire comment est orienté votre objet par rapport à la terre. Sur un smart phone, ça vous permet de passer du mode portrait au mode paysage.
- Un accéléromètre peut aussi capter les mouvement. Par exemple, dans les WiiMote de Nintendo, il sont utilisés pour reproduire à l'écran vous mouvement au tennis ou au golf.
- Enfin, un accéléromètre peut aussi être utilisé pour capter si un objet est en chute libre. C'est utilisé pour protéger des objets fragile (disque dur), car une chute libre implique in fine un choc !

# Accéléromètre : Caractéristiques

- Dynamique : s'exprime en g : de -/+1g à -/+250g

En fonction des applications

- Interfaces : analogique ou numérique (SPI/I2C)
- Nombre d'axes : 1 à 3 axes, parfois plus, mais on parle d'accéléromètre et de gyroscope, voir magnétomètre
- Consommation : capteurs destinés aux objets portables (bracelet, etc ..) : donné souvent en  $\mu\text{A}$  ou mA.

# Accéléromètres 6 axes, 9 axes ?

- Gyroscope : mesure de la vitesse angulaire (rotation autour d'un axe)  
: Jusqu'à 3 axes
- Magnétomètre : Boussole numérique : jusqu'à 3 axes aussi



## 9-axis Sensor Fusion Motion and Orientation

### Accelerometer

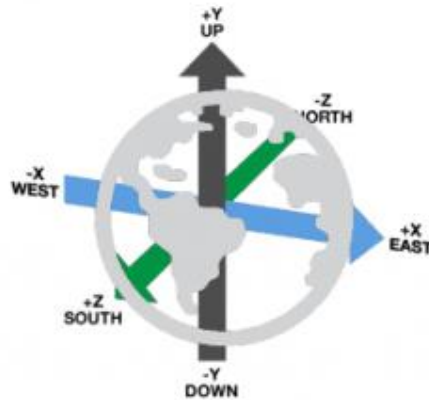
- Measures linear acceleration
- Orientation relative to gravity

### Magnetometer

- Used as e-compass to orient relative to earth

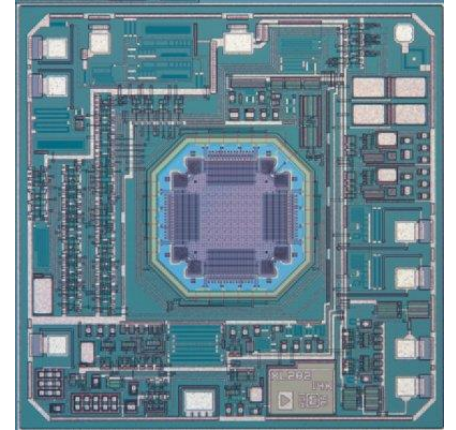
### Gyroscope

- Used to measure rotational speed

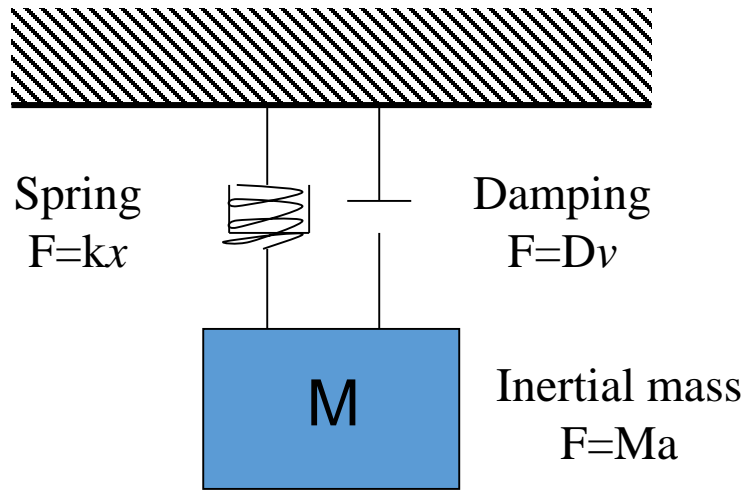


# Historique : MICRO ELECTRO MECHANICAL SYSTEM (MEMS)

- Premier accéléromètre en 1980-90 : Airbag
- En 2006, convergence de points positifs
  - MEMS low cost: après 15 ans de recherche active, il devient possible de faire des capteurs de mouvement pour moins d'1\$
  - Le marché de consommateur d'électronique explose avec des produit innovants pour le jeu, les smart phones, etc ..
  - Dans un marché qui explose, les acteurs cherchent à se différencier en cherchant des nouvelle interfaces IHM et à cause des faibles tailles des objets



# Principe de base



Static deformation:

$$d_{static} = \frac{F}{k} = \frac{Ma}{k}$$

Dynamic behavior

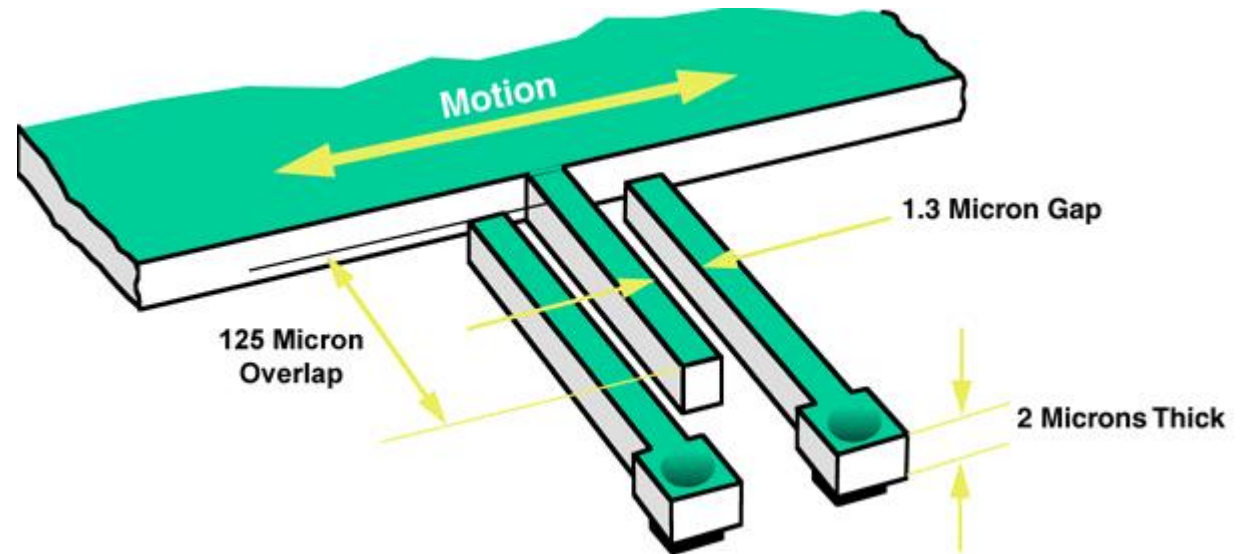
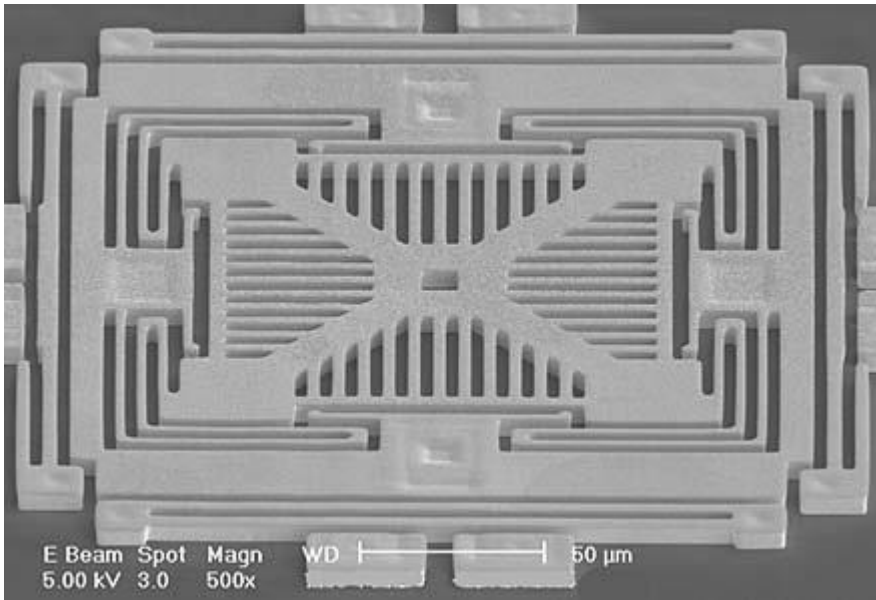
$$M \frac{d^2 x}{dt^2} + D \frac{dx}{dt} + kx = F_{ext} = Ma$$

$$\omega_r = \sqrt{\frac{k}{M}} \quad \text{Resonance frequency}$$

$$Q = \frac{\omega_r M}{D} \quad \text{Quality factor}$$

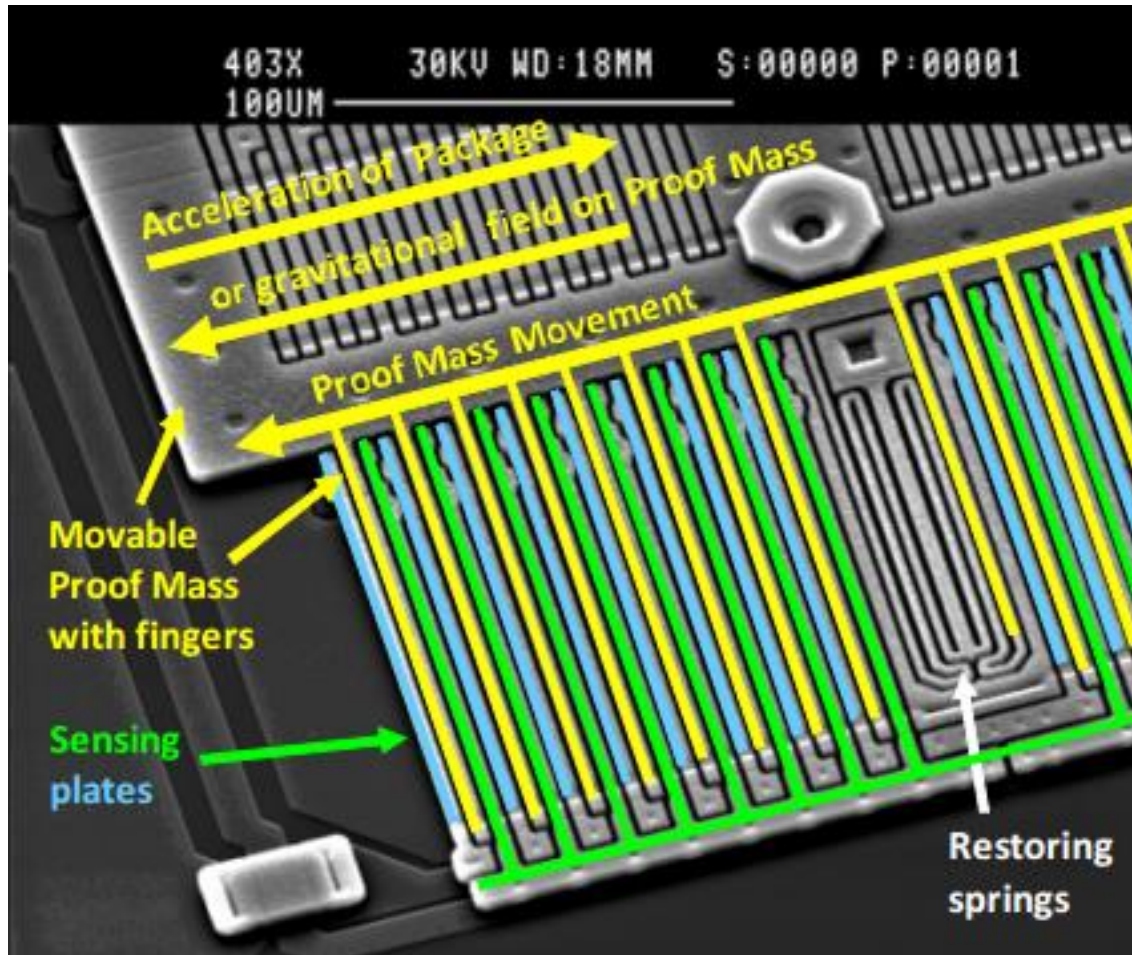


# MEMS accelerometer structure

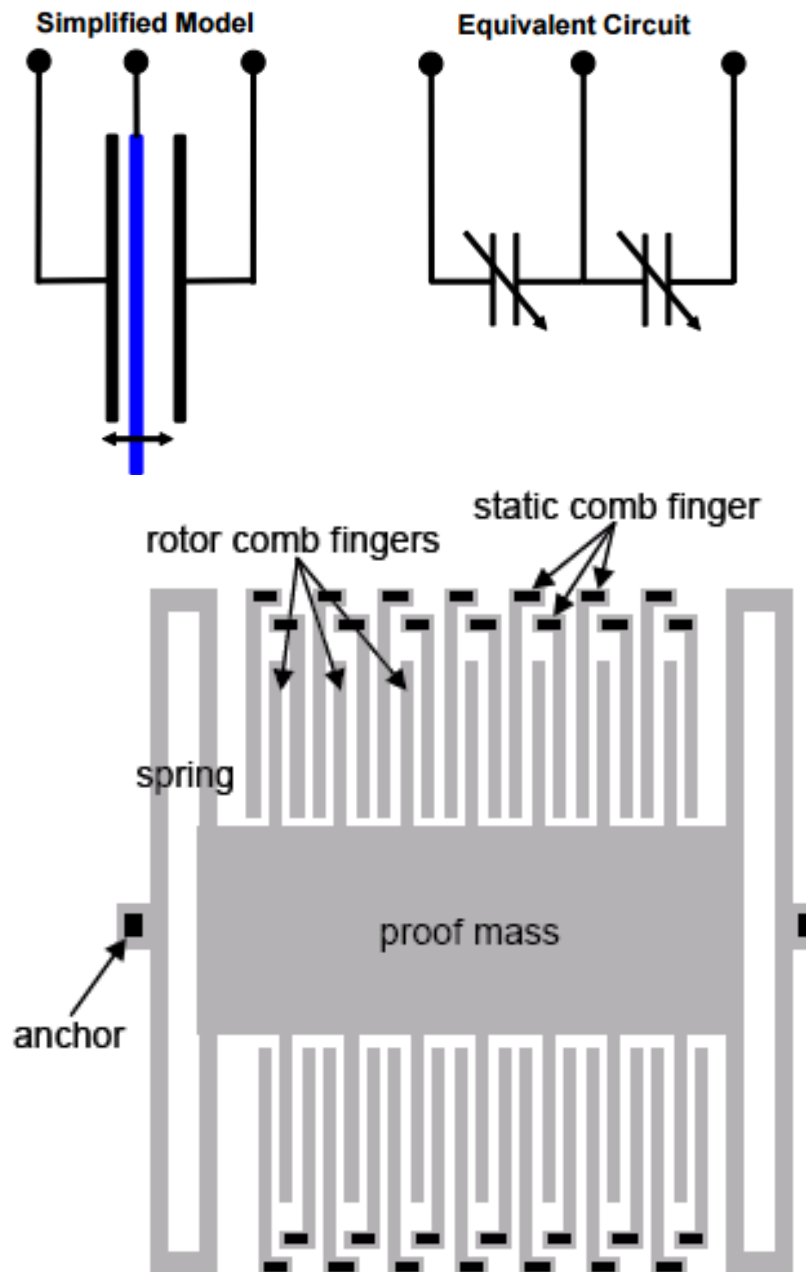


Basé sur les caractéristiques mécaniques du silicium

# Capa interdigitité

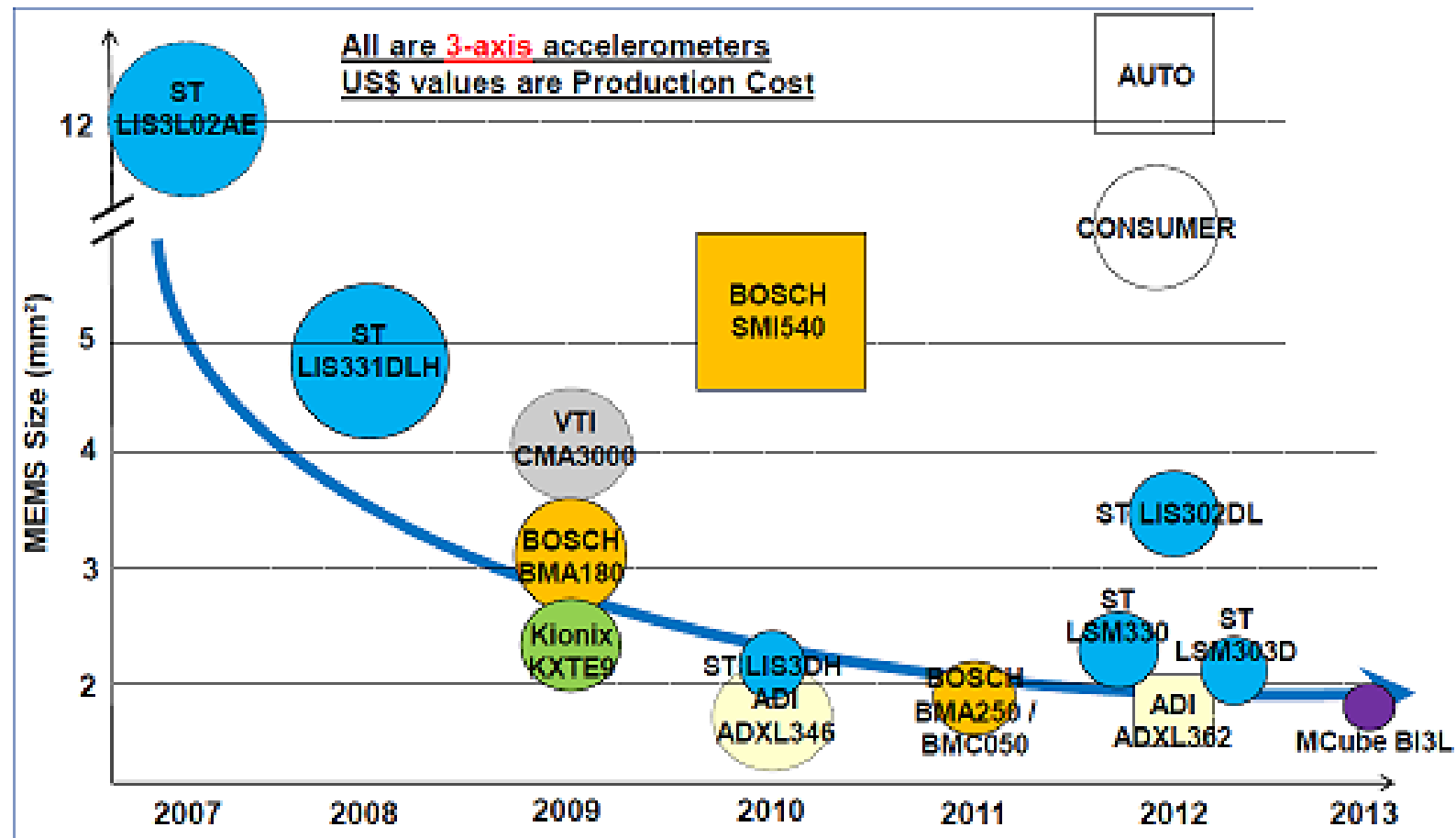


NXP



Analog Devices

# Evolution des accéléromètres





# Small, Low Power, 3-Axis $\pm 3 g$ Accelerometer

## ADXL335

### FEATURES

3-axis sensing

Small, low profile package

4 mm  $\times$  4 mm  $\times$  1.45 mm LFCSP

Low power : 350  $\mu$ A (typical)

Single-supply operation: 1.8 V to 3.6 V

10,000 g shock survival

Excellent temperature stability

BW adjustment with a single capacitor per axis

RoHS/WEEE lead-free compliant

### APPLICATIONS

Cost sensitive, low power, motion- and tilt-sensing applications

Mobile devices

Gaming systems

Disk drive protection

Image stabilization

Sports and health devices

### GENERAL DESCRIPTION

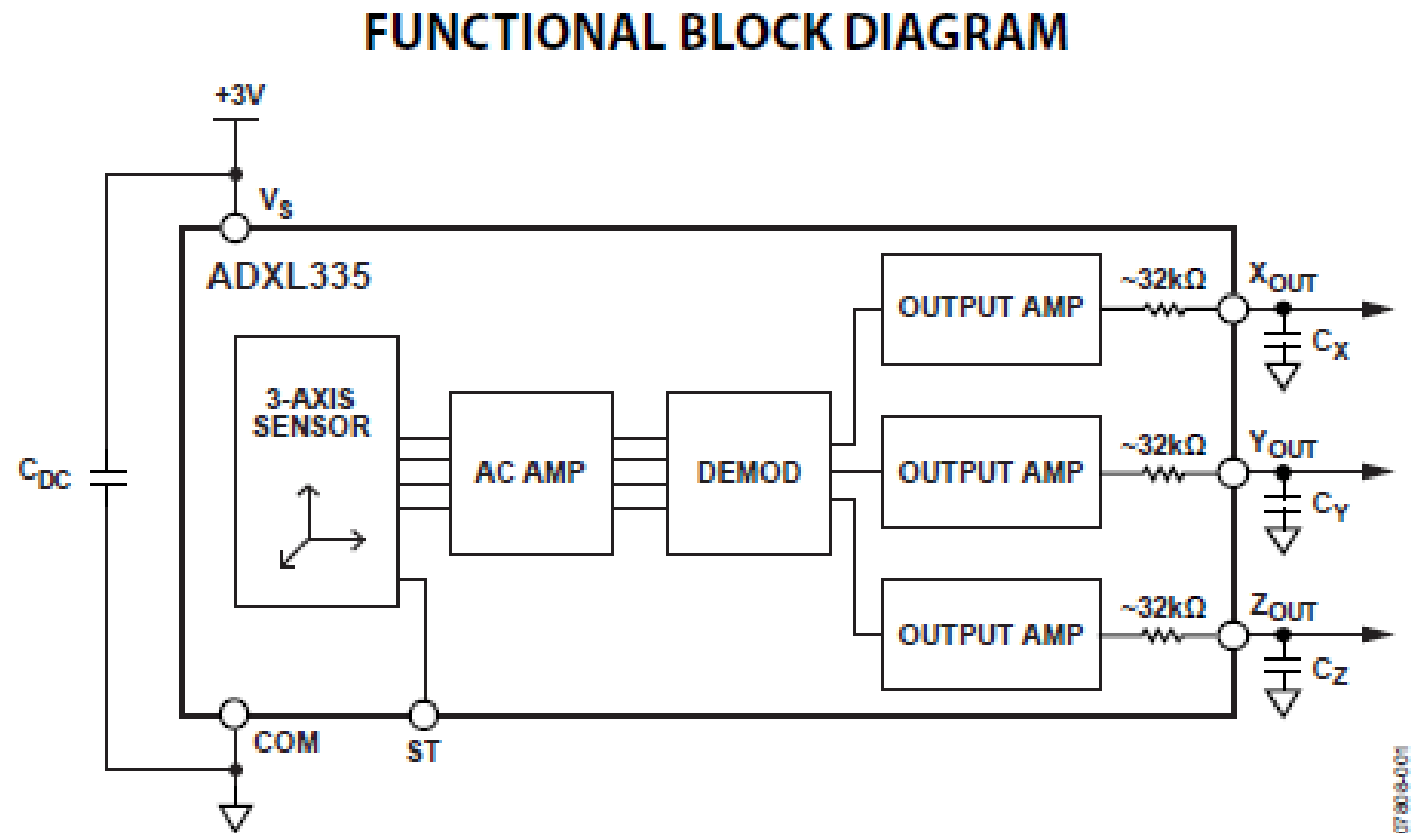
The ADXL335 is a small, thin, low power, complete 3-axis accelerometer with signal conditioned voltage outputs. The product measures acceleration with a minimum full-scale range of  $\pm 3 g$ . It can measure the static acceleration of gravity in tilt-sensing applications, as well as dynamic acceleration resulting from motion, shock, or vibration.

The user selects the bandwidth of the accelerometer using the  $C_X$ ,  $C_Y$ , and  $C_Z$  capacitors at the  $X_{OUT}$ ,  $Y_{OUT}$ , and  $Z_{OUT}$  pins. Bandwidths can be selected to suit the application, with a range of 0.5 Hz to 1600 Hz for the X and Y axes, and a range of 0.5 Hz to 550 Hz for the Z axis.

The ADXL335 is available in a small, low profile, 4 mm  $\times$  4 mm  $\times$  1.45 mm, 16-lead, plastic lead frame chip scale package (LFCSP\_LQ).

# ADX335

- Impédance de sortie de 32kohm



# ADX335

## SPECIFICATIONS

$T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = 3\text{ V}$ ,  $C_X = C_Y = C_Z = 0.1\text{ }\mu\text{F}$ , acceleration = 0 g, unless otherwise noted. All minimum and maximum specifications are guaranteed. Typical specifications are not guaranteed.

Table 1.

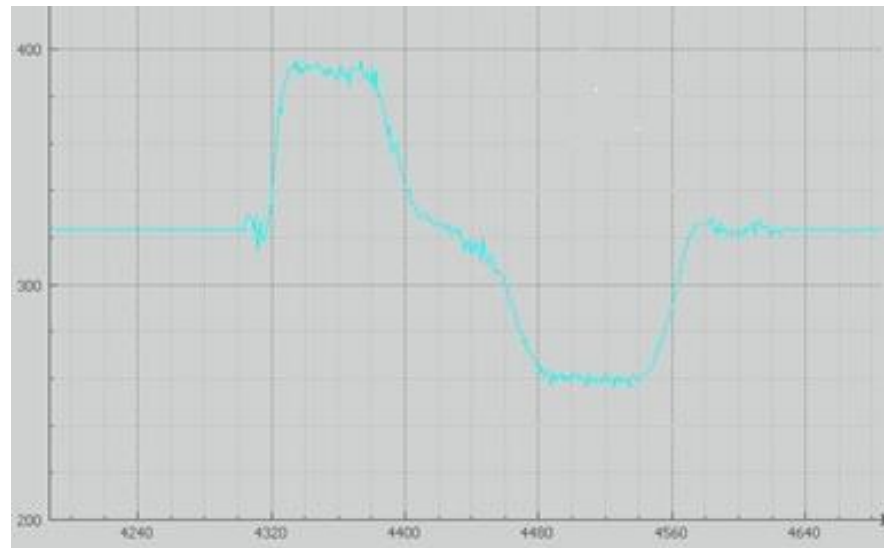
Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
SENSOR INPUT	Each axis				
Measurement Range		$\pm 3$	$\pm 3.6$		g
Nonlinearity	% of full scale		$\pm 0.3$		%
Package Alignment Error			$\pm 1$		Degrees
Interaxis Alignment Error			$\pm 0.1$		Degrees
Cross-Axis Sensitivity <sup>1</sup>			$\pm 1$		%
SENSITIVITY (RATIOMETRIC) <sup>2</sup>	Each axis				
Sensitivity at $X_{OUT}$ , $Y_{OUT}$ , $Z_{OUT}$	$V_S = 3\text{ V}$	270	300	330	mV/g
Sensitivity Change Due to Temperature <sup>3</sup>	$V_S = 3\text{ V}$		$\pm 0.01$		%/ $^\circ\text{C}$
ZERO g BIAS LEVEL (RATIOMETRIC)					
0 g Voltage at $X_{OUT}$ , $Y_{OUT}$	$V_S = 3\text{ V}$	1.35	1.5	1.65	V
0 g Voltage at $Z_{OUT}$	$V_S = 3\text{ V}$	1.2	1.5	1.8	V
0 g Offset vs. Temperature			$\pm 1$		ma/ $^\circ\text{C}$

Besoin d'une calibration



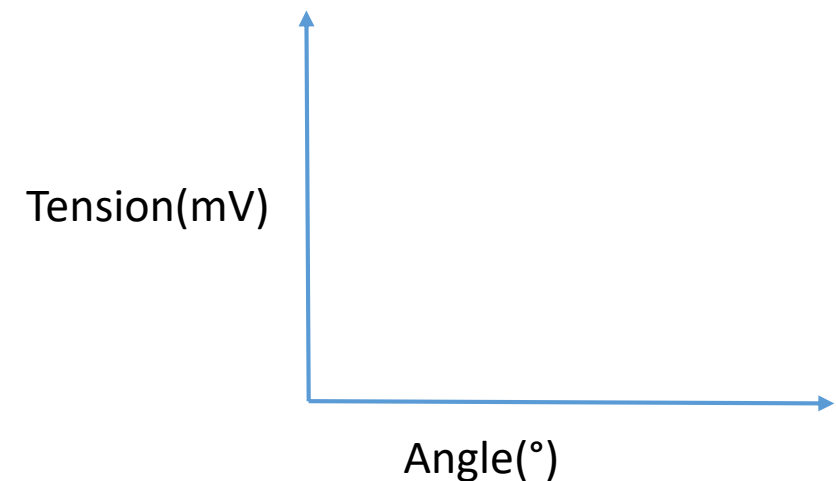
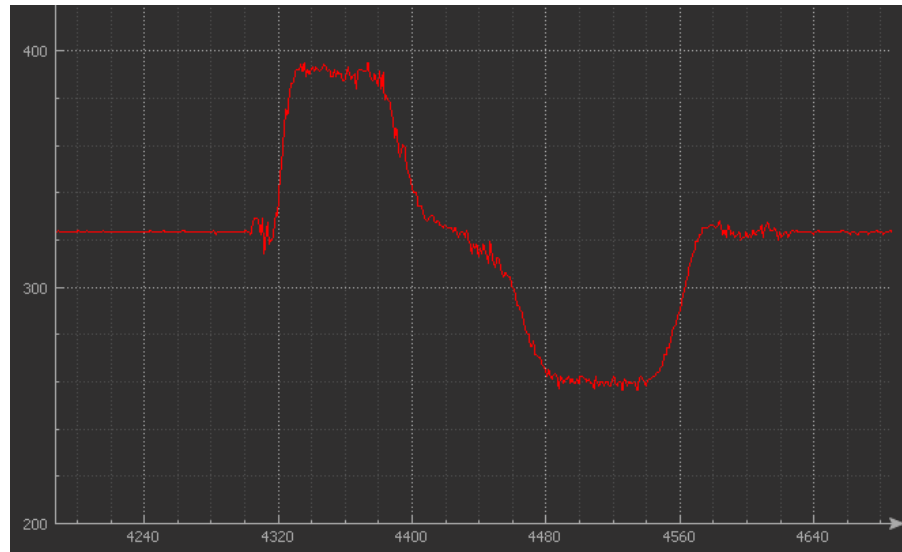
# Simple axe

- Connectez l'axe X de votre accéléromètre sur votre Arduino
- Bouger votre capteur, quel type de réaction observez-vous ?
- Arrivez-vous à voir une accélération positive ? négative
- Ajouter maintenant une capacité en parallèle avec la sortie, quel est l'effet attendu et observé ? Calculer la fréquence de coupure



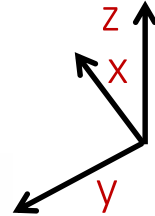
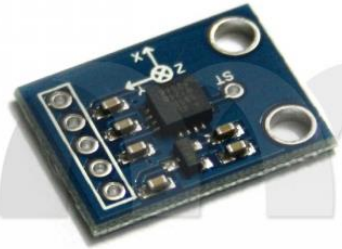
# Simple axe

- Connectez l'axe X de votre accéléromètre sur votre Arduino
- Mesurer la tension en fonction de l'inclinaison de l'accéléromètre sur 360°
- Tracer la tension en fonction de l'angle
- Trouvez le zero-G point !
- Quelle est la sensibilité en V/g ?





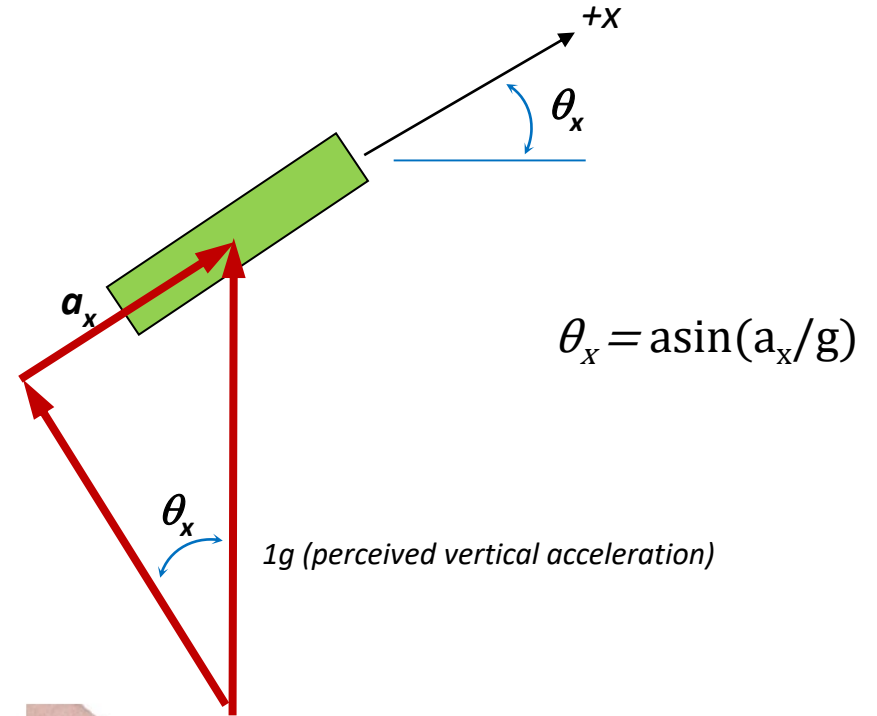
# Mesure d'un angle



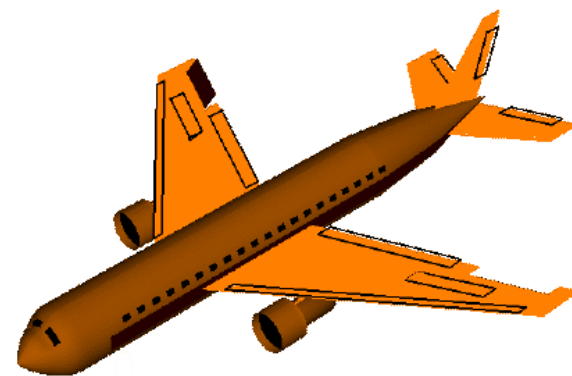
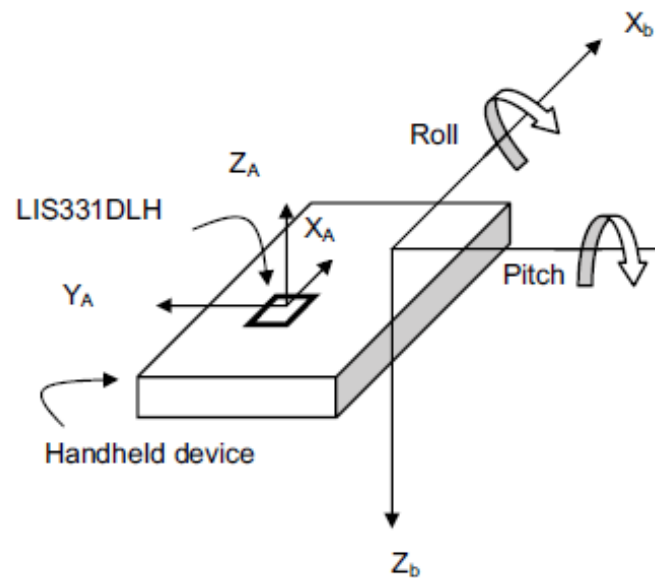
- L'arduino doit sortir 1.5 V quand l'axe X est plat
- A 45°, quelle est l'accélération attendue sur l'axe ?
- $A_x = \sin(45) * g = 0.707g$

• **A vous de jouer, réaliser un niveau digital**

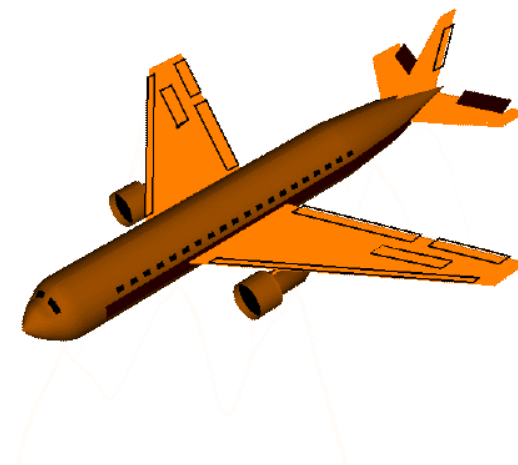
• **Proposez aussi un système de calibration du capteur**



# Pitch - Roll

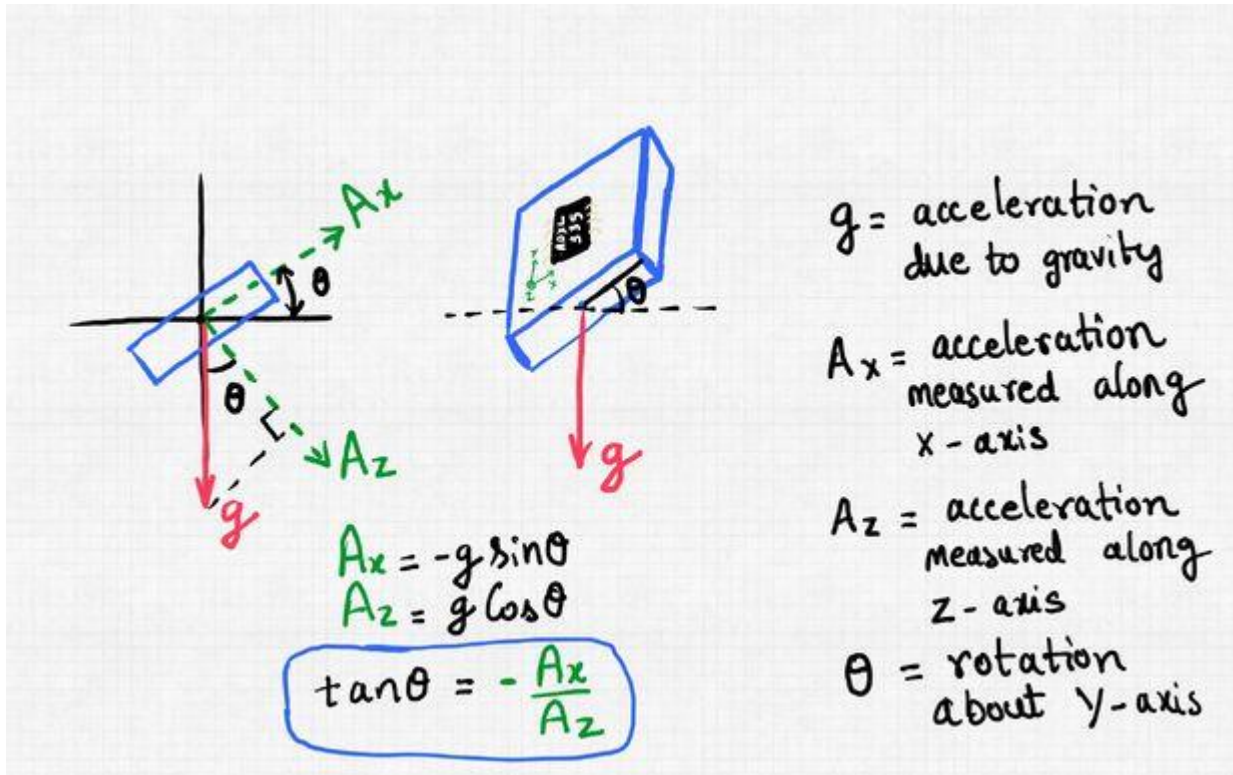


Pitch



Roll

# Angle à partir des infos de 2 axse



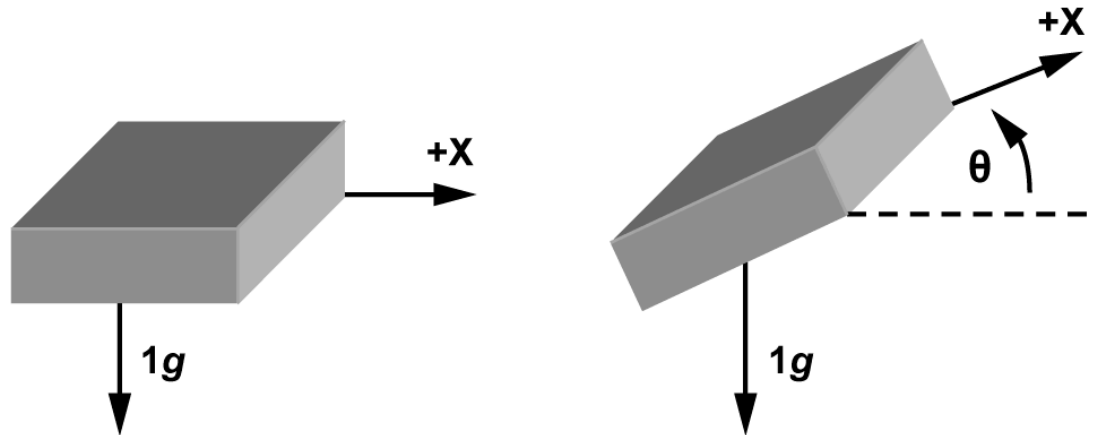
Stationary position	Accelerometer (signed integer)		
	$A_x$	$A_y$	$A_z$
$Z_b$ down	0	0	+1 g
$Z_b$ up	0	0	-1 g
$Y_b$ down	0	+1 g	0
$Y_b$ up	0	-1 g	0
$X_b$ down	+1 g	0	0
$X_b$ up	-1 g	0	0

# La fonction atan2(x,y)

$$\text{atan2}(y, x) = \begin{cases} \varphi \cdot \text{sgn}(y) & x > 0 \\ \frac{\pi}{2} \cdot \text{sgn}(y) & x = 0 \\ (\pi - \varphi) \cdot \text{sgn}(y) & x < 0 \end{cases}$$

Ou  $\varphi$  est l'angle compris entre 0 et  $\pi/2$  avec :  $\tan(\varphi) = \left| \frac{y}{x} \right|$

**On peut calculer la position  
en 3D avec 3 axes.  
A vous de jouer !**



# Analyse d'activité dynamique

- Nous avons regardé les propriétés statiques des MEMS
- Regardons maintenant les propriétés dynamiques.
- Peux-on compter par exemple nos pas en marchant ?
- Ou faire un détecteur de vibration ?