

# Inclinomètre : Dossier Technique

## Table des matières

1Présentation.....	2
1.Introduction.....	2
2.Principe de l'accéléromètre.....	2
3.ADXL335.....	4
4.Calcul des angles.....	7
5.Matériel.....	8
2. Partie Électronique : Carte de Mise à l'échelle.....	9
1.Objectif.....	9
2.Contraintes.....	9
3.MC33002.....	10
4.Schéma structurel.....	10
5.Nomenclature des Composants.....	12
6.Travail à réaliser.....	12
3. Partie Codage : Arduino.....	13
1.Objectifs.....	13
2.Travail à réaliser.....	13
4.Partie IHM : Labview.....	14
1.Objectifs.....	14
2.Travail à réaliser.....	14

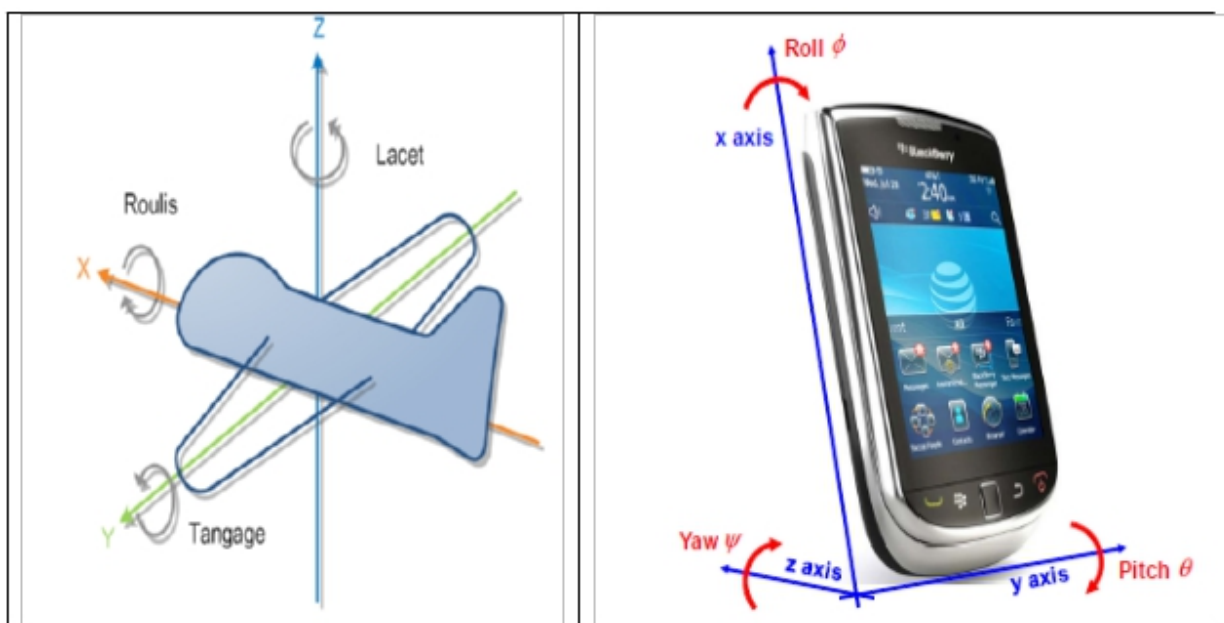
# 1 Présentation

## 1. Introduction

Le projet vise à réaliser un inclinomètre semblable à celui utilisé dans la plupart des smartphones, et qui permettra de connaître le degré d'inclinaison d'un objet solidaire de la carte électronique à développer.

On peut définir l'inclinaison d'un objet selon 3 axes

- le roulis (Roll) , le tangage (Pitch) et le lacet (Yaw) :

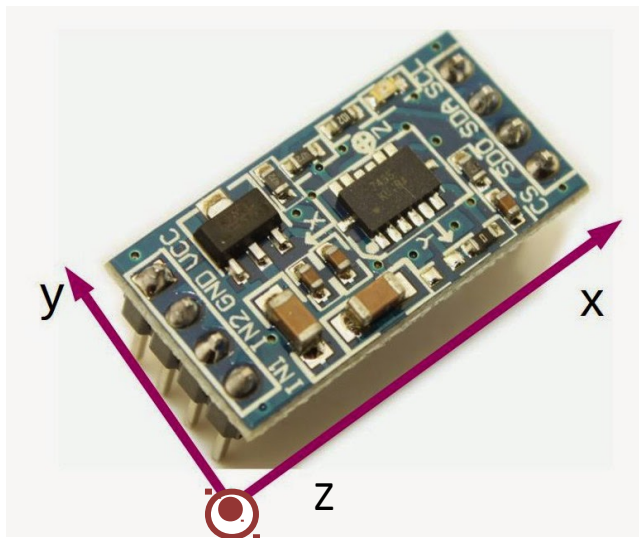


## 2. Principe de l'accéléromètre

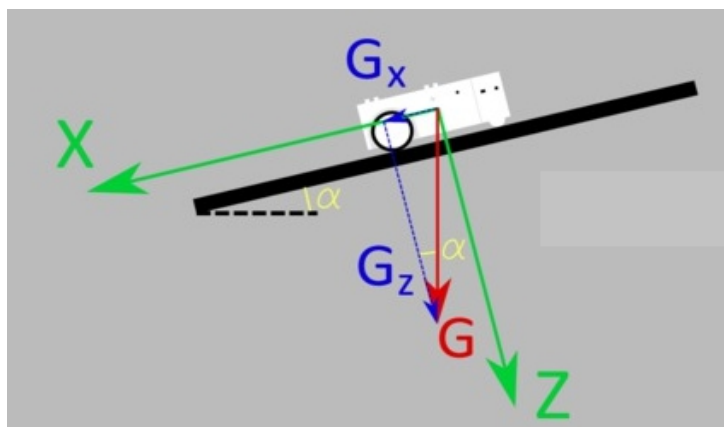
Un accéléromètre sert à mesurer une accélération, mais il est possible de s'en servir pour mesurer l'inclinaison d'un objet immobile. En effet, l'accéléromètre ne fait pas la différence entre l'accélération et la gravité . Lorsqu'il est immobile, l'accéléromètre mesure, en fait, le champ gravitationnel.

Pour être plus précis, l'accéléromètre mesure la composante de la force de gravité selon 3 axes:

- l'axe des x (orienté selon le sens de la longueur)
- l'axe des y (orienté selon le sens de la largeur) et
- l'axe des z (orienté perpendiculairement à la surface).



Rappel : Composantes  $G_x$  et  $G_z$  de la gravité  $G$  ( exemple avec 2 axes )



***Un des principaux objectifs de votre projet est la détermination des angles d'inclinaison (angle  $\alpha$  de la figure ci-dessus pour le tangage).***

Un accéléromètre fournit donc 3 tensions ( $V_x$ ,  $V_y$  et  $V_z$ ) proportionnelles aux composantes X, Y et Z de la gravitation  $g$ .

Une carte électronique lui sera associée pour permettre une mise à l'échelle de ces tensions entre **0 et 5 V**.

### 3. ADXL335

L'accéléromètre utilisé est un ADXL335 dont un extrait de documentation technique figure ci-dessous :



## 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**

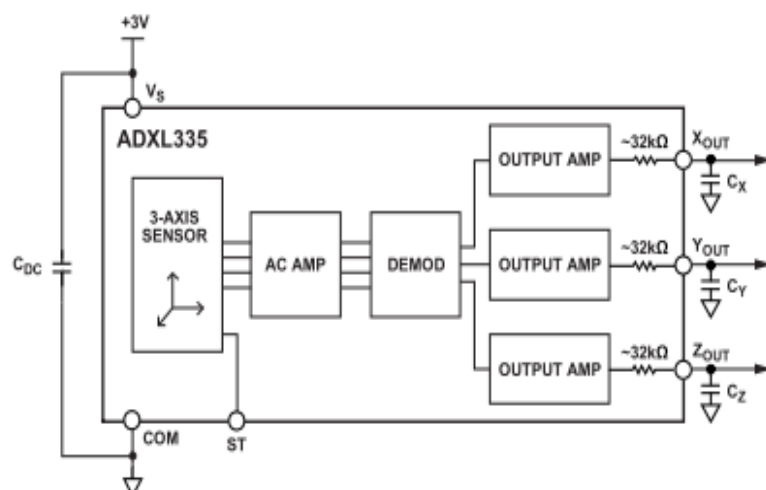
#### GENERAL DESCRIPTION

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).

#### FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



## 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
<b>SENSOR INPUT</b>	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>			$\pm 1$		%
<b>SENSITIVITY (RATIOMETRIC)<sup>2</sup></b>	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>	$V_S = 3\text{ V}$		$\pm 0.01$		%/ $^\circ\text{C}$
<b>ZERO g BIAS LEVEL (RATIOMETRIC)</b>					
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			$\pm 1$		mg/ $^\circ\text{C}$

**La sensibilité est donc de : 300 mV/g**  
 ( attention elle varie avec l'alimentation  $V_S$  ( $V_{supply}$ ))

En considérant les axes suivants :

### AXES OF ACCELERATION SENSITIVITY

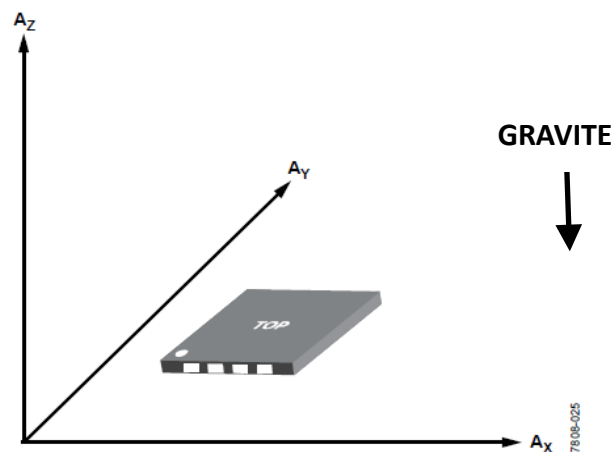
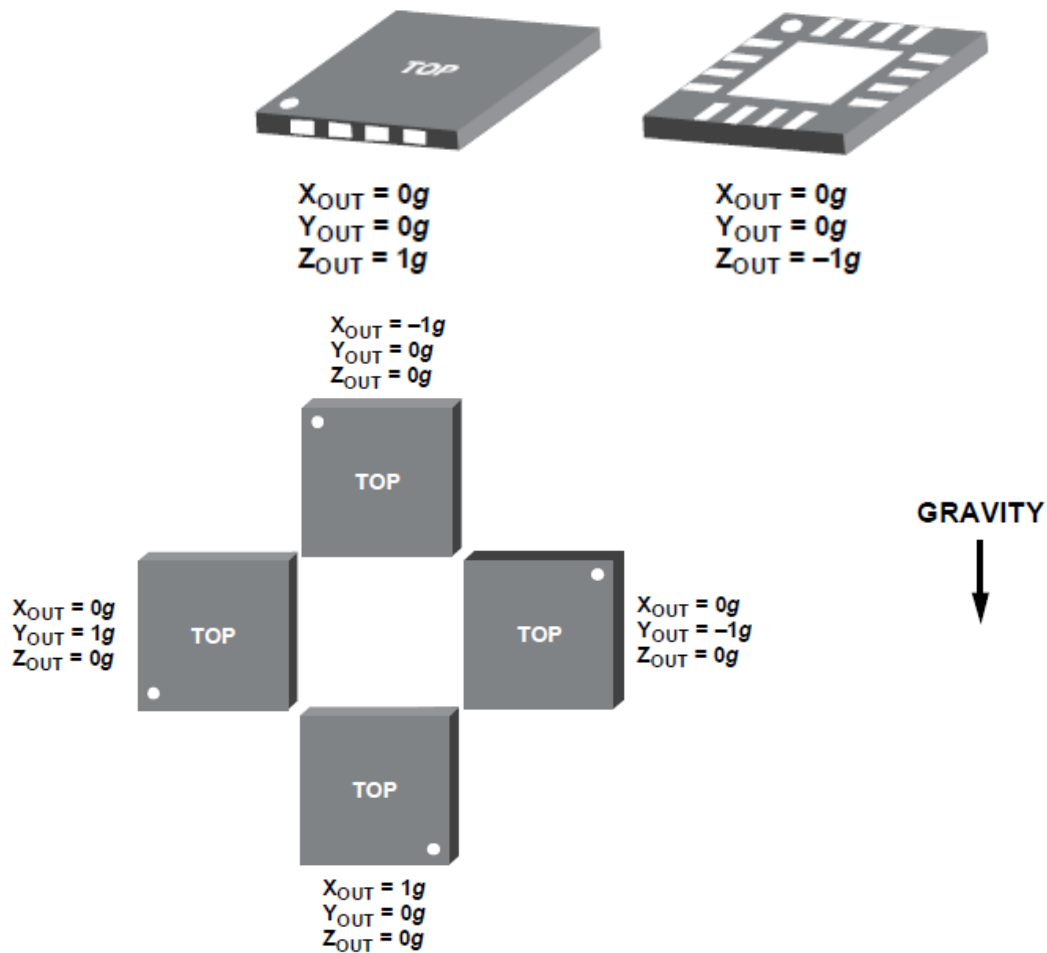
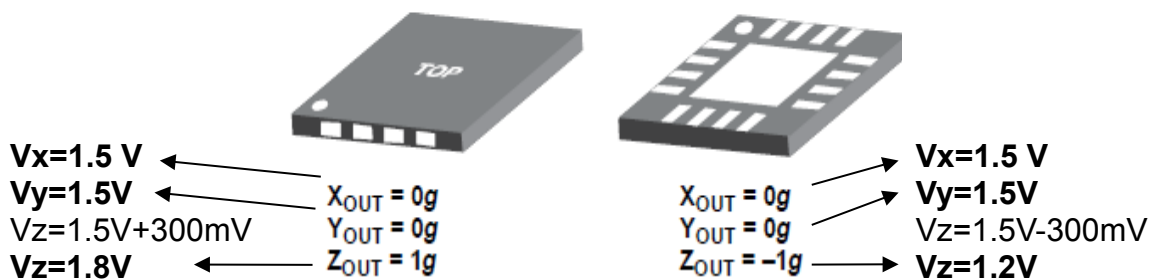


Figure 23. Axes of Acceleration Sensitivity; Corresponding Output Voltage Increases When Accelerated Along the Sensitive Axis.

En fonction de la position, les sorties X, Y, Z seront:



Ainsi, pour une tension d'alimentation  $V_s$  de 3 V et un zéro à  $V_s/2$ :



Attention, la carte d'interface « mise à l'échelle » est insérée entre l'accéléromètre et l'Arduino, ce qui modifie les paramètres précédents.

#### 4. Calcul des angles

Reprenons l'exemple précédent :

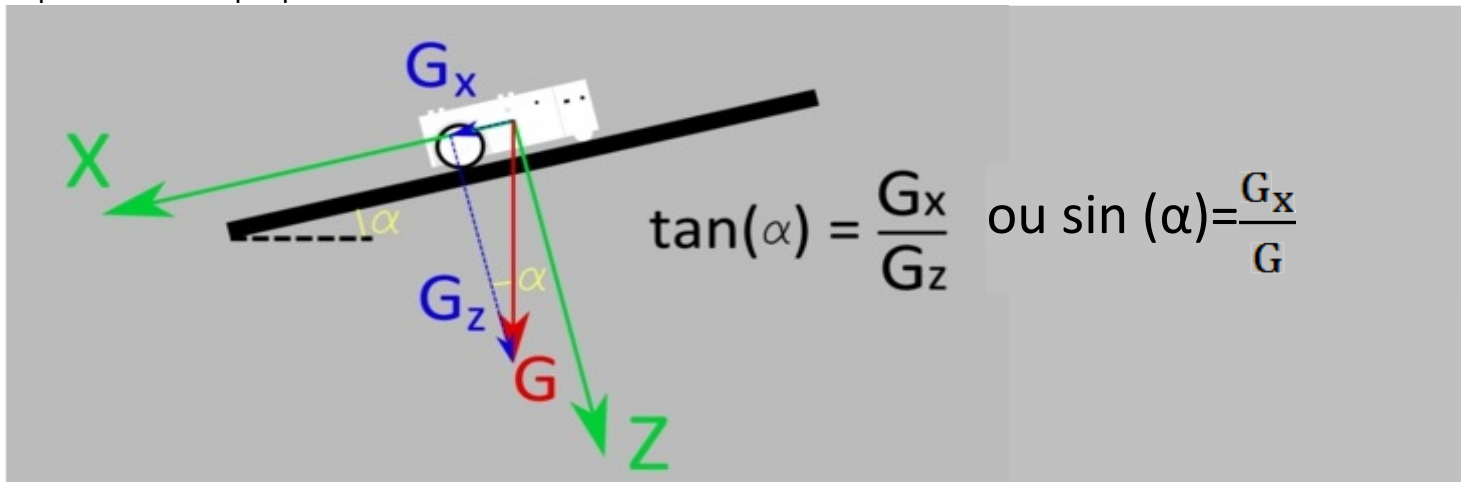


Fig. 1

Il faut extraire la valeur de  $G_x$ ,  $G_y$  et  $G_z$  des tensions  $V_x$ ,  $V_y$  et  $V_z$  de la manière suivante :

Tension	$V_x = 1.65 \text{ V}$	$V_y = 1.72 \text{ V}$	$V_z = 1.3 \text{ V}$
DeltaG = Tension - zéro Si $V_s = 3\text{V}$ , le zéro est à $1.5\text{V}$	$\Delta G_x = 0.15 \text{ V}$	$\Delta G_y = 0.22 \text{ V}$	$\Delta G_z = -0.2 \text{ V}$
$G = \Delta G / \text{Sensibilité}$ Si Sensibilité = $300\text{mV}$	$G_x = 0.5g$	$G_y = 0.73g$	$G_z = -0.66g$

On en déduit les angles de la manière suivante (voir figure 1) :

soit  $\left( \tan(\varnothing) = \frac{G_x}{G_z} \right)$   $(\varnothing = \arctan(\frac{G_x}{G_z}))$  **→ C'est l'angle de roulis (roll)**

De la même façon :

soit  $\left( \tan(\varnothing) = \frac{G_y}{G_z} \right)$   $(\varnothing = \arctan(\frac{G_y}{G_z}))$  **→ C'est l'angle de tangage (pitch)**

La norme du vecteur de gravitation  $\vec{g}$  sur 3 axes, en fonction des ses composantes sur  $x$ ,  $y$  et  $z$  s'écrit :

$$\sqrt{(G_x^2 + G_y^2 + G_z^2)}$$

On en déduit donc l'expression des 3 angles d'inclinaison qui nous intéressent :

- **Roulis** :  $\left( \vartheta = \arcsin\left(\frac{G_X}{\sqrt{(G_X^2 + G_Y^2 + G_Z^2)}}\right) \right)$
- **Tangage** :  $\left( \vartheta = \arcsin\left(\frac{G_Y}{\sqrt{(G_X^2 + G_Y^2 + G_Z^2)}}\right) \right)$
- **Verticalité** :  $\left( \vartheta = \arccos\left(\frac{G_Z}{\sqrt{(G_X^2 + G_Y^2 + G_Z^2)}}\right) \right)$

## 5. Matériel

Les différents sous-ensembles constitutifs du projet final seront :

- La carte de développement arduino UNO
- Un circuit ADL335
- La carte électronique de mise à l'échelle des signaux de l'accéléromètre
- Un afficheur LCD pour arduino LCD1602



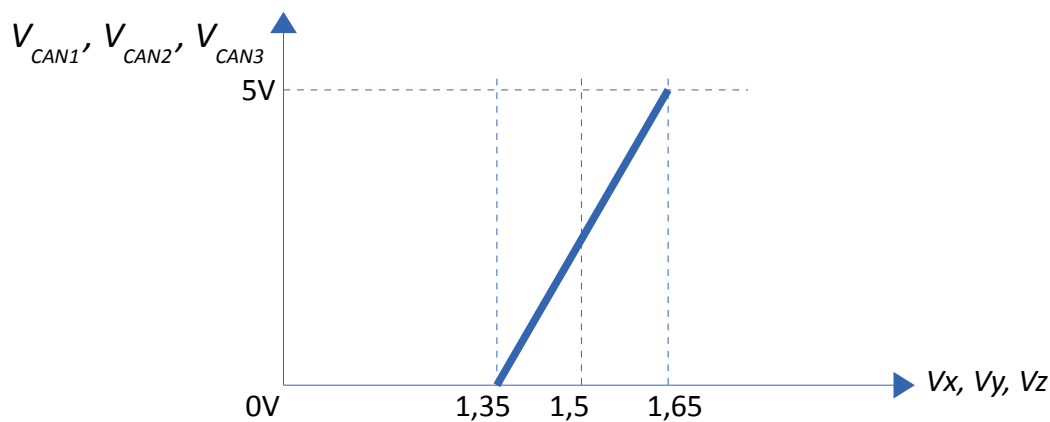
## 2. Partie Électronique : Carte de Mise à l'échelle

### 1. Objectif

Le but de cette partie est de permettre la meilleure acquisition possible des tensions délivrées par l'accéléromètre par le convertisseur A/N du microcontrôleur.

Pour cela, il faut que les plages des tensions en entrée du convertisseur soient le plus proche possible de la gamme **[0V ; Vref+] → [0V ; 5V]**

La fonction de transfert idéale de cette carte électronique pourrait donc être résumée par la droite suivante :

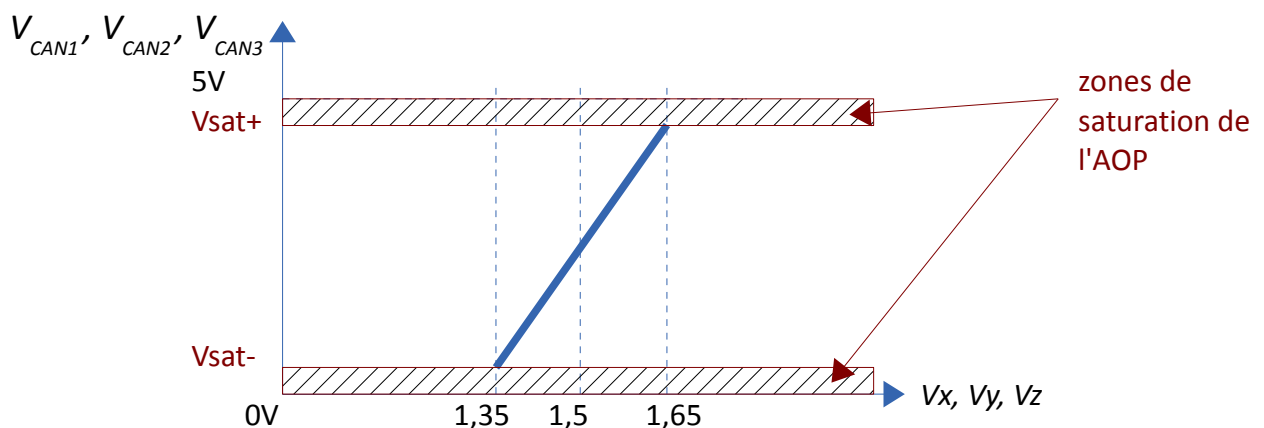


### 2. Contraintes

L'alimentation de cette carte se fera en monotension (0-5V), afin d'être compatible avec une application "embarqué" (alimentée par une batterie).

Il faudra donc choisir des A.O compatibles avec ce type d'alimentation, et offrant notamment une plage de tensions de sorties "rail to rail", c'est à dire dont la saturation n'apparaît que lorsque la tension de sortie est atteinte.

En pratique, les limites du circuit choisi feront que l'on ne pourra que s'approcher de la fonction de transfert idéale précédente :

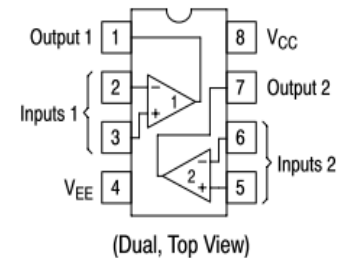


### 3. MC33002

Le modèle d'AOP retenu pour réaliser les différents étages du système est le MC33002 dont un extrait de documentation technique est présenté ci-dessous ;

## Low Voltage, Rail-to-Rail Operational Amplifiers

The MC33201/2/4 family of operational amplifiers provide rail-to-rail operation on both the input and output. The inputs can be driven as high as 200 mV beyond the supply rails without phase reversal on the outputs, and the output can swing within 50 mV of each rail. This rail-to-rail operation enables the user to make full use of the supply voltage range available. It is designed to work at very low supply voltages ( $\pm 0.9$  V) yet can operate with a supply of up to +12 V and ground. Output current boosting techniques provide a high output current capability while keeping the drain current of the amplifier to a minimum. Also, the combination of low noise and distortion with a high slew rate and drive capability make this an ideal amplifier for audio applications.



#### DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ )

Characteristic	$V_{CC} = 2.0$ V	$V_{CC} = 3.3$ V	$V_{CC} = 5.0$ V	Unit
Input Offset Voltage $V_{IO} \text{ (max)}$				mV
MC33201	$\pm 8.0$	$\pm 8.0$	$\pm 6.0$	
MC33202	$\pm 10$	$\pm 10$	$\pm 8.0$	
MC33204	$\pm 12$	$\pm 12$	$\pm 10$	
Output Voltage Swing				$V_{min}$ $V_{max}$
$V_{OH} (R_L = 10 \text{ k}\Omega)$	1.9	3.15	4.85	
$V_{OL} (R_L = 10 \text{ k}\Omega)$	0.10	0.15	0.15	
Power Supply Current per Amplifier ( $I_D$ )	1.125	1.125	1.125	mA

Specifications at  $V_{CC} = 3.3$  V are guaranteed by the 2.0 V and 5.0 V tests.  $V_{EE} = \text{Gnd}$ .

### 4. Schéma structurel

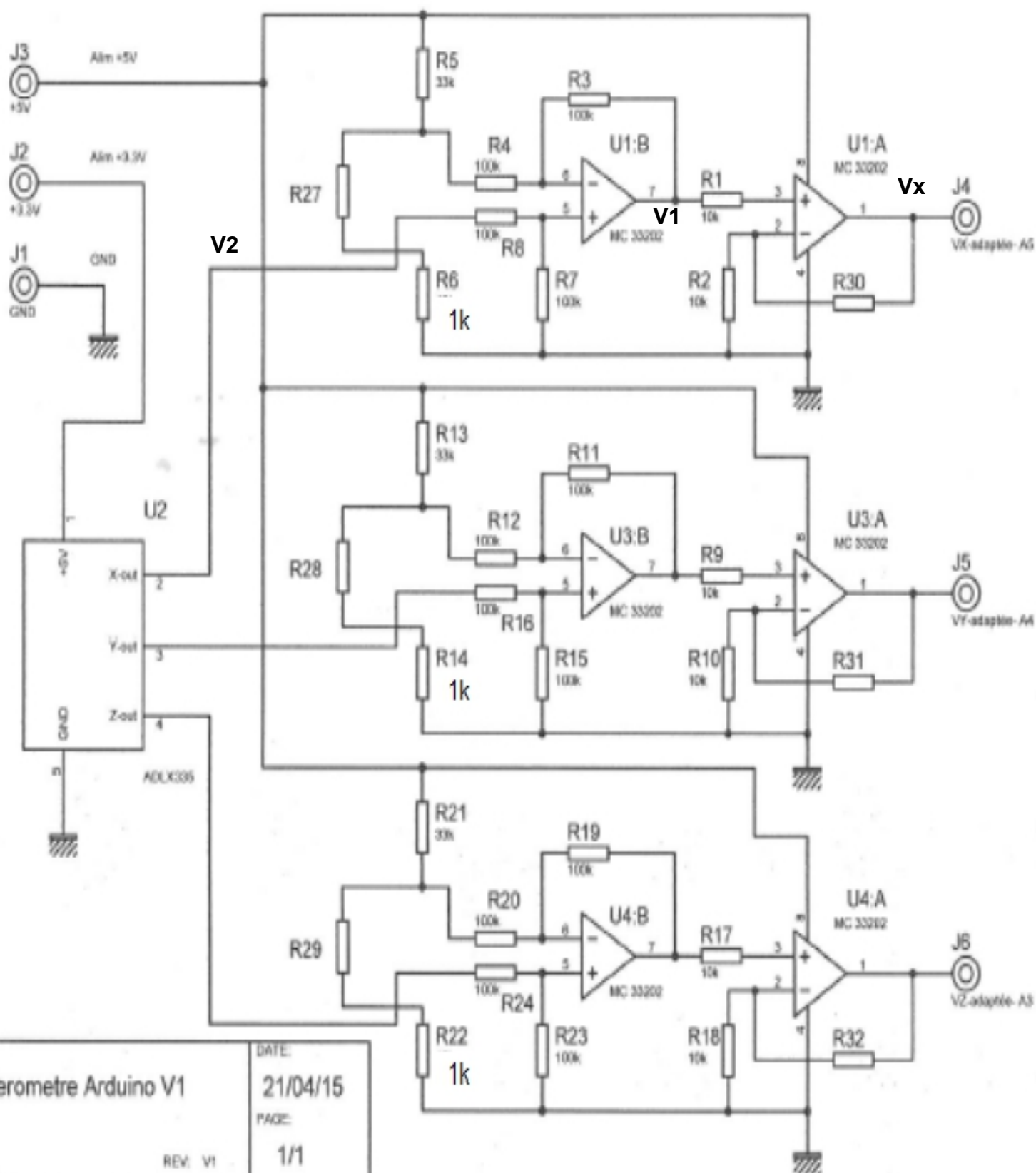
Pour chacune des voies à convertir ( $V_x$ ,  $V_y$  et  $V_z$ ), la fonction de transfert à réaliser est de type :

$$V_{CAN1,2,3} = G \times V_{x,y,z} + b$$

Pour chacune des voies, il faut donc réaliser :

- Un décalage ("offset")
- Une amplification

Le schéma structurel suivant permet de réaliser ces deux opérations sur chacune des voies :



## 5. Nomenclature des Composants

```

BILL OF MATERIALS (Default)
=====
Design:  Accelerometre Arduino V1
Doc. no.: 1
Revision: V1
Author:  Titi83
Created:  24/03/15
Modified: 21/04/15

Partslist generated OK.

QTY  PART-REFS                                VALUE
---  -
Resistors
-----
9    R1,R2,R9,R10 ,R17,R18                    10k
      R22,R6,R14                               1k
12   R3,R4,R7,R8,R11,R12,R15,R16,            100k
      R19,R20,R23,R24
3    R5,R13,R21                               33k
6    R27,R28,R29,R30,R31,R32

Integrated Circuits
-----
3    U1,U3,U4                                MC 33202
1    U2                                       ADLX335

Miscellaneous
-----
1    J1                                       GND
1    J2                                       +3.3V
1    J3                                       +5V
1    J4                                       VX-adaptée- A5
1    J5                                       VY-adaptée- A4
1    J6                                       VZ-adaptée- A3

```

## 6. Travail à réaliser

- **Tâche 0 : Fabrication de la carte**  
 → Réaliser la carte en technologie CMS (perçage des trous, placement des composants CMS, passage au four...)
- **Tâche 1 : Calculs des fonctions de transfert**  
 → Déterminer la F.T globale de chacune des voies en fonction des éléments du schéma
- **Tâche 2 : dimensionnement des composants**  
 → Déterminer dans la série E12 la résistance  $R27(R28, R29)$  qui permet d'obtenir  $V1 \approx 0$  à  $V2_{min}$   
 → Déterminer dans la série E12 la résistance  $R30 (R31, R32)$  qui permet d'obtenir.  $Vx=5V$  à  $V2_{max} (X_{OUTmax})$

### 3. Partie Codage : Arduino

#### 1. Objectifs

L'objectif de cette partie est la réalisation d'un programme qui permettra le calcul des angles de roulis, tangage et lacet à partir des tensions issues de l'accéléromètre (et mises à l'échelle) ; et de transmettre ces valeurs sur une liaison série afin de permettre leur exploitation par une interface graphique. Un affichage "local" sera en outre réalisé sur un écran LCD.

#### 2. Travail à réaliser

La décomposition du travail à effectuer répond au découpage suivant :

- **Tâche 0** : Création d'un programme "squelette"

→ Création d'un programme incluant les bibliothèques et définitions nécessaires au projet, ainsi qu'une boucle infinie rythmée à 5Hz (ne pas utiliser delay mais millis)

- **Tâche 1** : Acquisition des voies analogiques

→ Définir les voies à convertir, coder l'acquisition de façon à ce que les données soient rafraîchies à la fréquence de 5Hz et affichées dans le moniteur série .

- **Tâche 2** : Utilisation d'un émulateur de terminal (type hyperterminal)

→ Lire ces valeurs non plus dans le moniteur série dans un émulateur de terminal (type hyperterminal)

- **Tâche 3** : Calcul des angles de tangage, de roulis et de lacet

→ implanter les calculs décrits dans la présentation du document.

- **Tâche 4** : Affichage sur l'écran LCD

→ Étude du module LC1602 board et recherche des fonction logicielles associées, codage de l'affichage (pensez à ne réécrire que le nécessaire à chaque boucle)

## 4.Partie IHM : Labview

### 1. Objectifs

Réaliser une interface graphique pour PC permettant l'affichage des différents angles sous forme de vu-mètres et de cadrans numériques, à partir des données récoltées sur la liaison série.

### 2. Travail à réaliser

- **Tâche 0** : Prise en main de Labview  
→ *exécution d'un tutoriel.*
- **Tâche 1** : Paramétrage de la L.S  
→ *Validation avec hyperterminal : affichage de valeurs numériques saisies sous H.T*
- **Tâche 2** : Affichage des données Gx, Gy et Gz brutes  
→ *Affichage des valeurs sous forme de cadran numérique*
- **Tâche 3** : Calcul des angles de tangage, de roulis et de lacet et affichage en "vu-mètre"