

Atelier

Construction d'un

sismographe longue

période

Alain Jouve
Professeur de physique-chimie
Lycée Rosa Parks
69250 Neuville/§saône

I.Origines du projet

La construction du sismographe longue période de type Lehman a été réalisé dans le cadre d'un atelier scientifique au lycée Lavoisier de Mulhouse entre 2005 et 2006. Trois élèves ont participé à l'élaboration

de ce projet et l'on présenté aux Olympiades Nationales de Physique de janvier 2006, ils obtinrent un premier prix national. M Valérie Ansel chercheuse à l'EOST de Strasbourg a permis grâce à ses conseils la mise au point de cette appareil.

II.Résumé

James D. Lehman, un géophysicien américain de l'université de Harrisonburg, conçu en 1979 un modèle de sismographe très longue période destiné aux étudiants et amateurs éclairés. Avec finalement peu de moyens, on peut construire un sismographe capable de détecter des séismes majeurs très éloignés.

Dans un établissement scolaire il peut constituer, par exemple, le thème fédérateur d'un atelier de la pratique scientifique ou d'une classe à PAC. Une fois construit tout l'établissement peut être informé des séismes détectés par cet appareil.

Depuis 1979 l'avènement de l'informatique à simplifié l'acquisition et l'enregistrement des données. La construction d'un tel dispositif fait appel à des connaissances de SVT, mais aussi de physique et de science de l'ingénieur.

Cet atelier en expliquera les principes de fonctionnement grâce à des manipulations simples que l'on peut réaliser avec des élèves. Les différentes étapes de la fabrication d'un tel dispositif seront ensuite abordées ainsi que les réglages souvent délicats. Finalement sera présentée la mise en œuvre d'un enregistrement avec l'outil informatique.

III. Rappels succincts sur la constitution d'un sismographe

Un sismographe doit comporter :

- un capteur de déplacement du sol très sensible
- un transducteur qui transforme les déplacements en signaux électriques
- un amplificateur qui multiplie par un facteur 100 ou 1000 le signal électrique issu du transducteur
- un enregistreur qui inscrit les valeurs mesurées dans un fichier
- un marquage du temps(horloge) qui doit être piloté par horloge atomique type GPS

Le réglage du sismographe doit être tel que le signal enregistré soit une représentation la plus proche possible du mouvement du sol. Il ne doit pas lui-même ajouter son propre mouvement ou bien présenter une trop grande inertie qui l'empêcherait de suivre en temps réel les vibrations du terrain.

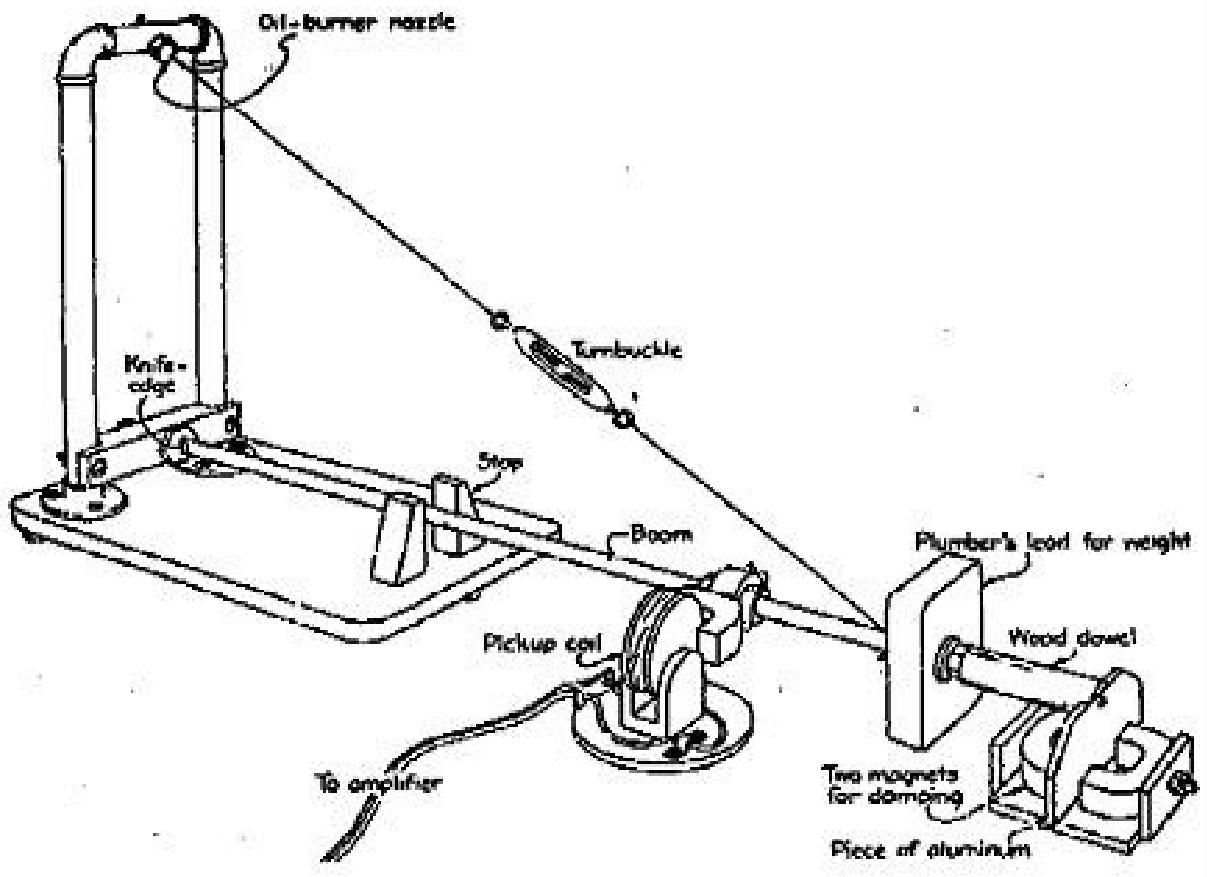
Les sismographes professionnels actuels ont une très grande bande passante et sont capables d'enregistrer des signaux de très basses fréquences jusqu'à des fréquences élevées.

IV.Construction de notre appareil

1 Plan original du sismographe

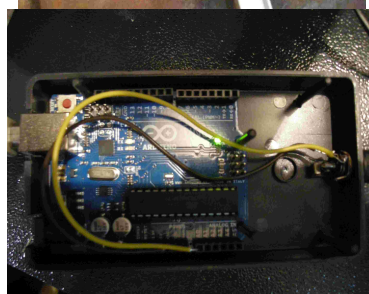
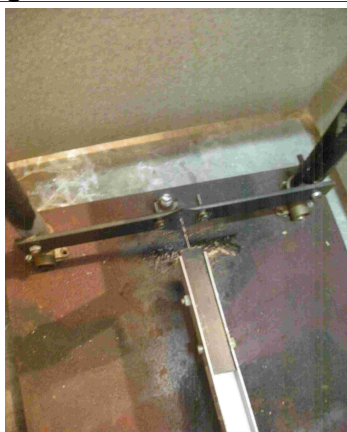
Le modèle du sismographe nous a été fourni par Mme Ansel de l'EOST de Strasbourg

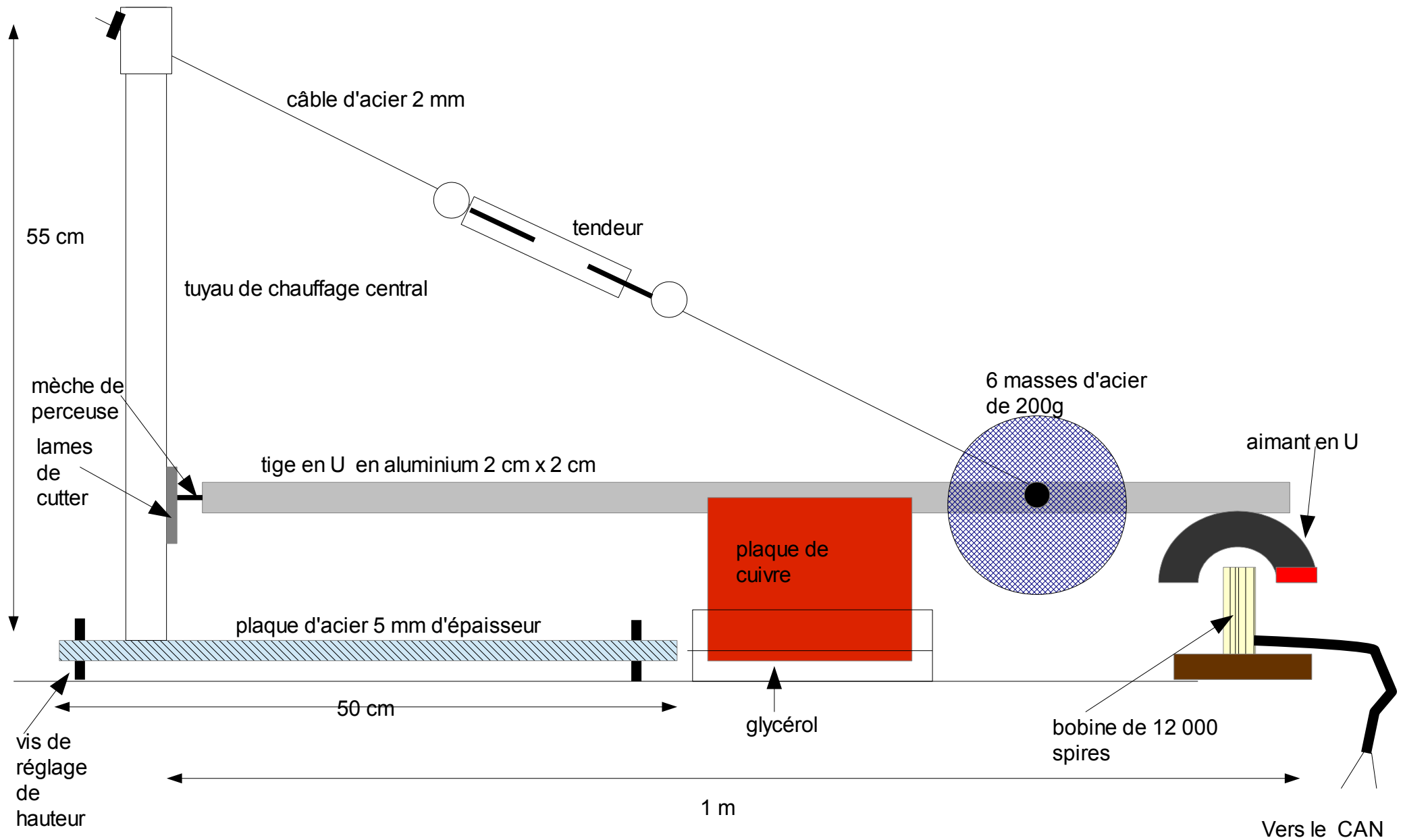
Il s'agit d'un sismographe horizontal mis au point par M Lehman en 1979 et décrit dans la revue Scientific American et destiné aux sismologues amateurs.



2 Description de l'appareil

Quelques photos et le plan de montage





V. Le pendule

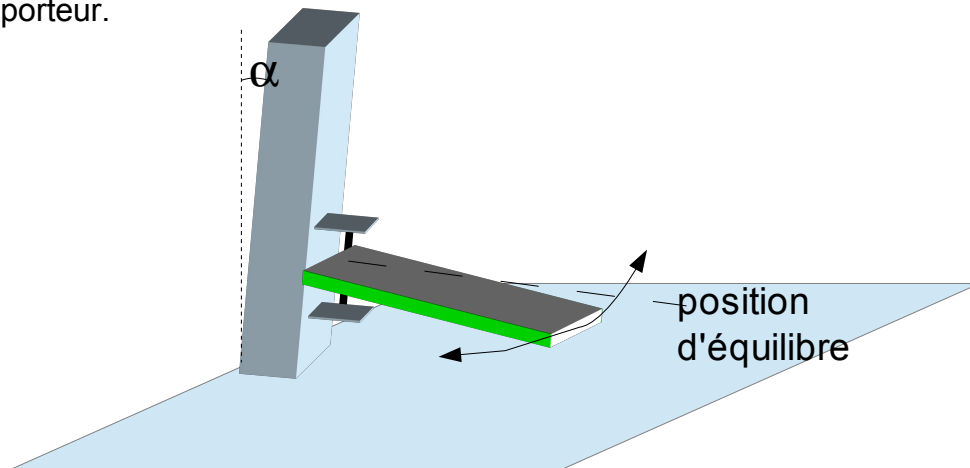
Le capteur de mouvement est un pendule type « porte de jardin »

L'axe de rotation est incliné d'un angle α petit par rapport à la verticale. Écartée de sa position d'équilibre la porte y retourne d'elle-même en oscillant.

La période des oscillations est donnée par $T = \sqrt{\frac{K}{\sin(\alpha)}}$ où K est une constante dépendant du dispositif. T est d'autant plus grande que α est petit.

Activité 1 : Étude de la période du pendule en fonction de l'angle d'inclinaison de l'axe.

Matériel : un pendule type « porte de jardin » muni d'un axe d'inclinaison réglable mesurée à l'aide d'un rapporteur.



Tracer la courbe donnant la période des oscillations en fonction de α .

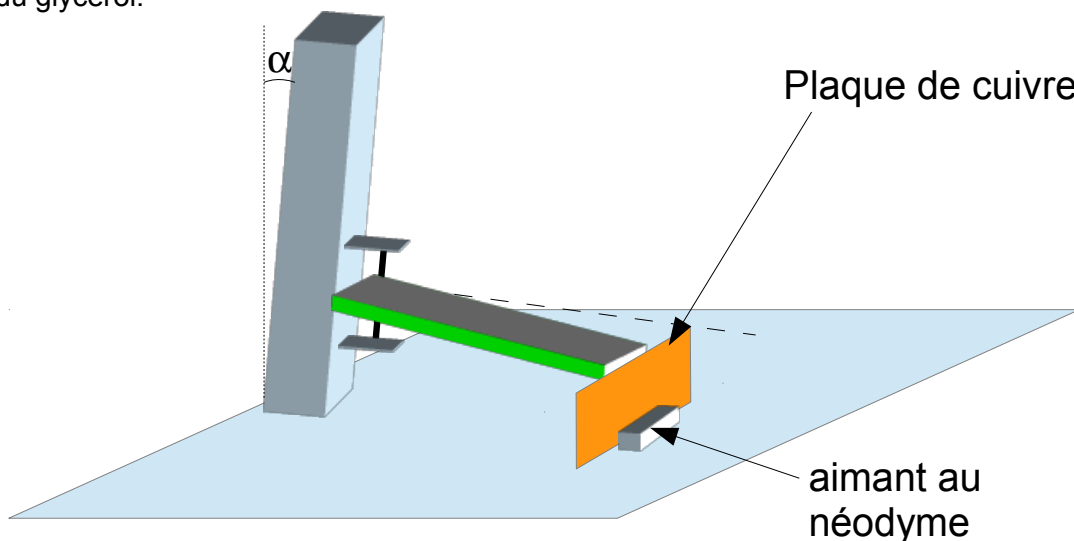
VI. Réglage de l'amortissement du pendule

Pour que les mouvements du sol soient correctement enregistrés, il faut que le pendule soit amorti avec des frottements fluides réglés au régime critique, le régime transitoire est alors amorti le plus rapidement possible.

Activité 2: Réglage de l'amortissement du pendule au régime critique.

Utilisation des courants de Foucault avec un aimant très puissant au néodyme.

Utilisation du glycérol.



VII.Principe de fonctionnement du pendule

Lorsque le sol tremble, le pendule est dans les conditions de vibrations forcées, c'est à dire que les vibrations sont imposées par le mouvement du terrain.

L'idéal serait que le mouvement du sol soit enregistré par le sismographe, de la même façon que le ferait un capteur immobile, détaché du sol.

Pour cela la théorie montre que l'oscillateur doit avoir un facteur de qualité Q de l'ordre de 1 et une fréquence propre très inférieure à la fréquence de vibration du sol.

Le sismomètre est alors un filtre passe haut.

Activités 3: Rôle du facteur de qualité

Aller sur le site :

http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/Meca/Oscillateurs/sismo.html

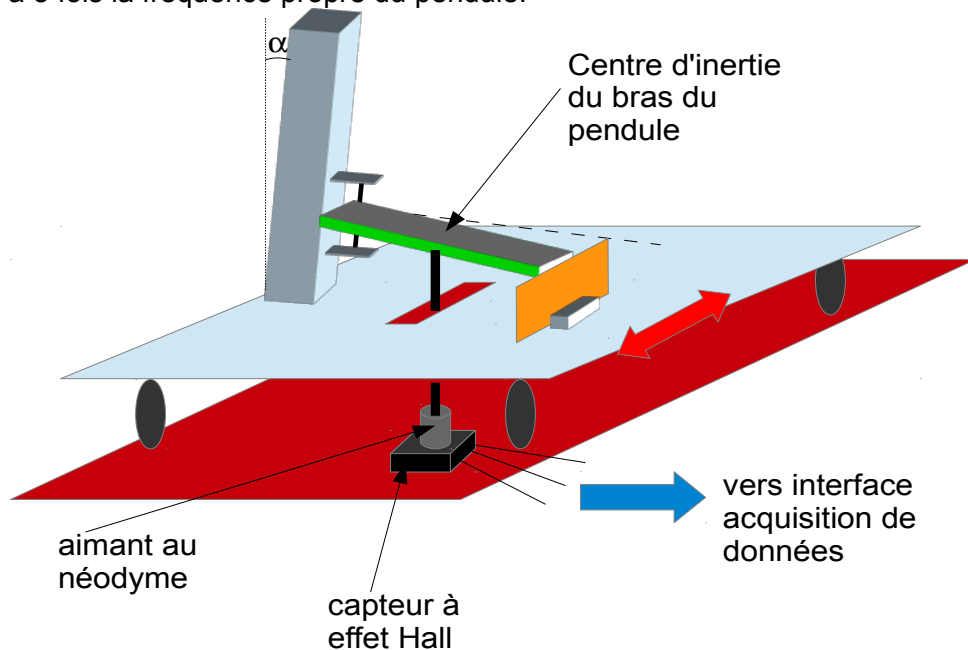
Choisir différente valeur du facteur de qualité Q .

Vérifier que la masse reste presque immobile lorsque la fréquence de vibration du sol est au moins égale à 5 fois celle de la période propre du pendule.

Avec l'excitation manuelle examiner la réponse du sismomètre pour divers types d'excitations.

Activité 4 Vérification de l'absence de mouvement relatif du centre d'inertie par rapport au référentiel fixe

Sur une table vibrante représentant le sol , vérifier que le centre d'inertie du pendule est immobile par rapport à la paillasse représentant le référentiel fixe par rapport auquel le sol vibre, pour une fréquence de au moins égale à 5 fois la fréquence propre du pendule.



L'aimant au néodyme est solidaire du bras du pendule et est à la verticale du centre d'inertie.

La capteur à effet Hall fixé sur le référentiel fixe subit un champ magnétique variable dû à l'aimant.

Le signal délivré par le capteur à effet Hall est appliquée sur une interface d'acquisition de données et les signaux sont visualisés sur l'écran d'un ordinateur.

VIII.L'acquisition de donnée

1 L'induction électromagnétique

Une bobine ayant un très nombre de spires(10 000) est nécessaire afin que la tension induite par le mouvement de l'aimant soit mesurable.

On mesure une tension qui est reliée à la vitesse du pendule.

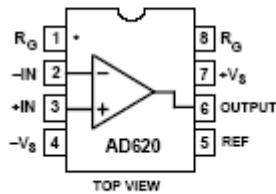
Activité 5 : rappels des lois fondamentales de l'induction électromagnétique

2 L'amplificateur d'instrumentation

Malgré le grand nombre de spires de la bobine et du champ magnétique important délivré par l'aimant il est nécessaire d'amplifier la tension induite car la vitesse du pendule est très petite et donc la tension est très petite. On utilise un amplificateur d'instrumentation AD620.

CONNECTION DIAGRAM

8-Pin Plastic Mini-DIP (N), Cerdip (Q) and SOIC (R) Packages

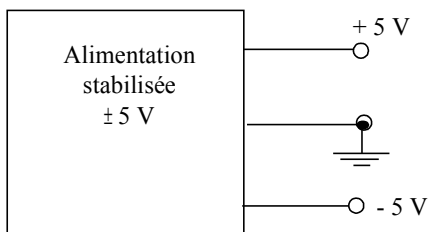
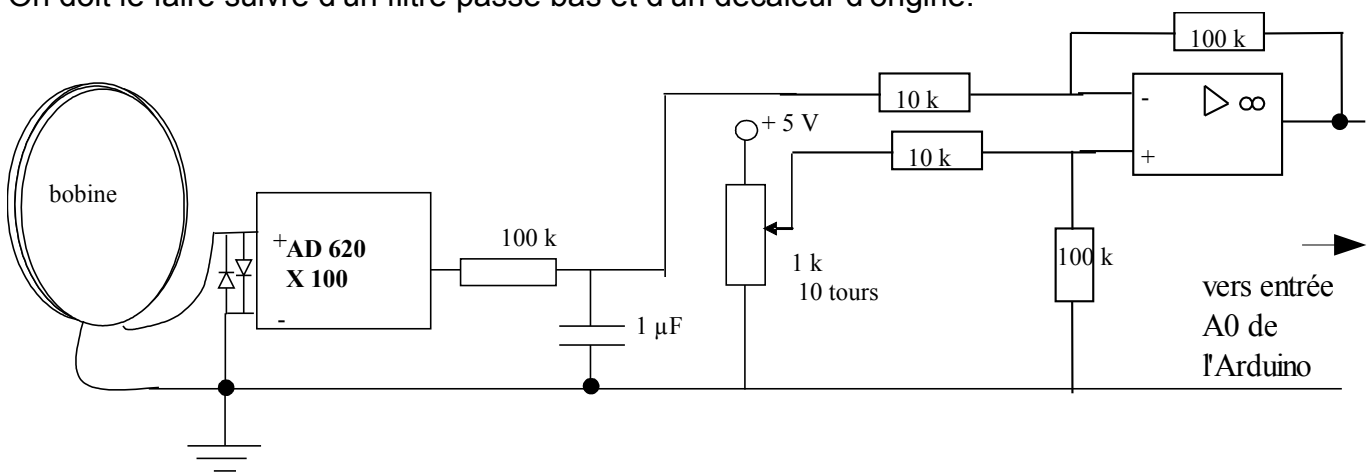


$$G = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{R_G} + 1$$

so that

$$R_G = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{G - 1}$$

L'amplificateur doit délivrer le moins possible de bruit et présenter un offset très petit. On doit le faire suivre d'un filtre passe bas et d'un décaleur d'origine.



L'entrée A0 de l'arduino ne peut mesurer que des tensions comprises entre 0 et 5 V.. Notre circuit est alimenté avec une alimentation symétrique – 5 V + 5 V. Le potentiomètre 10 tours permet d'ajuster la tension moyenne de sortie à 2 V

3 le convertisseur analogique-numérique

Avec une interface arduino.

L'arduino « uno » peut convenir, les autres aussi (penser à commander le câble USB adapté à l'interface et le boîtier de protection).

Mise en œuvre de l'interface Arduino sous windows.

Télécharger le logiciel arduino .zip sur le site officiel arduino.

Extraire tous les fichiers vers un répertoire nommé « Arduino » sur la racine du disque C .

Connecter l'interface sur l'ordinateur.

Windows ne trouve pas le pilote sur internet.

Clic droit sur « ordinateur » du menu « démarrer » puis choisir « propriété » puis

« périphériques », puis « périphérique USB » « périphérique inconnu » cliquez dessus puis choisir « mettre à jour le pilote » puis choisir le répertoire « drivers » du répertoire « arduino ».

L'installation doit alors s'achever correctement.

Le port de l'interface arduino doit alors être actif, noter son nom « COM X » avec X = 3 souvent.

Fermer le gestionnaire de périphérique.

Lancer le logiciel arduino.exe.

Dans le menu « outils »

« type de carte » choisir la carte connectée

puis dans « port série » choisir le port « COM X »

Pour vérifier le bon fonctionnement de la carte ouvrir le fichier « blink.ino » situé dans l'arduino/examples/01.basics/blink/

Télécharger ce fichier dans l'interface en cliquant sur la flèche.

Une diode del orange de l'interface doit clignoter 1s allumée, 1s éteinte.

Le logiciel arduino n'est pas capable de dialoguer avec l'interface, ni de créer des fichiers .exe il faut utiliser le logiciel « Processing »

Télécharger le logiciel Processing .zip.

Extraire les fichiers vers un répertoire « processing » placé à la racine du disque C .

Lancer le logiciel « processing.exe »

Dans le menu « fichier » puis « préférences » choisir « brows e » pour définir et créer le répertoire Sketchbook dans le répertoire « arduino ».

Télécharger la bibliothèque « [processing-arduino.zip](#) »

L'extraire dans le répertoire « Sketchbook » précédemment défini.

4 L'enregistrement informatique des données

Choix du système d'exploitation

Il faut que l'ordinateur ne se mette pas en veille.

Sous windows , cela n 'est pas possible même en réglant correctement les paramètres de l'alimentation dans le panneau de configuration.

Sous linux Ubuntu, il n'y a pas de problème. L'ordinateur reste réveillé des mois.

Logiciel d'acquisition de donnée

Saisir ou ouvrir dans processing le fichier « enregistrement.pde » Lancer l'exécution du programme. Un graphe doit s'afficher où les valeurs lues sur l'entrée analogique 0 de l'arduino sont placées en fonction du temps.

On arrête l'acquisition en tapant sur la touche « esc ».

Il est recommandé d'utiliser un fichier exécutable compilé.

Sous processing, dans le menu « fichier » choisir « export Application », puis choisir la système d'exploitation windows ou linux . Processing crée alors le fichier exécutable et les bibliothèques .dll ou .so dans l'un ou l'autre des deux systèmes dans les répertoires « application windows 32 » ou « application windows 64 » ou « application linux32 » ou « application linux 64 »

Un double-clic sur le fichier exécutable lance l'acquisition des données.

Il y a acquisition de 4 valeurs par seconde.

Le logiciel crée un fichier par heure nommé jour-mois- année-heure-n°.txt, où n° est égal à 0 sauf si on a interrompu l'exécution du logiciel auquel cas un nouveau fichier est créé avec le numéro suivant .Ces fichiers sont de type .txt et sont lisibles par les tableurs excel ou calc.

Les données sont écrites par ligne . La structure d'une ligne est la suivante
n°ligne ; heure .min.seconde,n ; valeur (le n donne la fraction de seconde de la date de l'enregistrement)

IX.Dépouillement des enregistrements

Deux méthodes :

- 1 - examiner chaque jour sous Clac ou Excel les 12 fichiers en traçant le graphe donnant la tension mesurée en fonction du temps puis vérifier que les signaux enregistrés correspondent à ceux données par les stations proches telle que la station SSB située sous le Mont Pilas, cela demande beaucoup de temps.

- 2 - aller sur les sites :

<http://renass.u-strasbg.fr/>

<http://sismalp.obs.ujf-grenoble.fr/>

<http://www.ipgp.fr/pages/0304.php> puis

<http://geoscope.ipgp.fr/index.php/en/data/continuous-data/acces-aux-donnees-temps-reel>

<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/map/>

Vérifier si un séisme de magnitude de 6 et plus a eu lieu quelque part sur le globe et vérifier que le séisme a été enregistré à l'heure correspondant à l'arrivée des ondes provenant de cet événement.

Comparer avec les signaux enregistrés par la station sismique la plus proche.

X. Annexe programme « enregistrement.pde »

```
mport processing.serial.*;
import cc.arduino.*;
Arduino arduino;

int tensionbin ;
long n= 0;
int s,sini = 0;
int m=0;
int h=0;
int minigraphe;
int sinigraphe,millisecondeini,milliseconde;
int jourini=day();

String temps="";
float echelletemps,echellex;
int x, xini, y,yini,largeur,hauteur;
float valeur;
boolean debut;

color blanc = color(255);
PrintWriter fichier;
String nomfichier;

void setup() {

size(screen.width, screen.height-50);
largeur=width;
hauteur=height;
echelletemps=largeur/3600;
arduino = new Arduino(this, Arduino.list()[0], 57600);
arduino.pinMode(0, arduino.INPUT);
arduino.pinMode(13, arduino.OUTPUT);
x=0;
y=0;
xini=0;
yini=0;
debut = true;
background(0);
stroke(0xFFFFCC00);//jaune
line(0,hauteur-20,largeur,hauteur-20);//axe des abscisses
```

```

echellex=(largeur-10)/600;//10 min pour largeur de l'écran-10 pixels

for (int p=1;p<10;p++){
line(p*round((largeur-10)/10),hauteur-10,p*round((largeur-
10)/10),hauteur-30);
text(p,p*round((largeur-10)/10)-5,hauteur-5);
}
text("min",largeur-40,hauteur-10);
line(10,0,10,hauteur);//axe des ordonnées
for (int p=1;p<5;p++){
line(5,p*round((hauteur-20)/5),15,p*round((hauteur-20)/5));
text(5-p,0,p*round((hauteur-20)/5));
}
text("V",12,20);

stroke(255);//blanc
creefichier();
//noLoop();
}

void draw() {
//fp = fopen("sismo.txt","w");
//loop();
int jour=day();
if (jour!=jourini){

fichier.close();
creefichier();
jourini=jour;}
m=minute();
h=hour();
s=second();

if (s==sini) {milliseconde = millis()- millisecondeini;n++;}
if (s!=sini) {n=0;

millisecondeini = millis();
milliseconde=millis()-millisecondeini;}

temps = h + ":" + m + ":" + s + "," + round(milliseconde/100) ;

tensionbin = arduino.analogRead(0);// lecture de de la valeurs sur AO
y=hauteur-20-(tensionbin*(hauteur-20)/1024);// Position du point sur
l'écran

if (debut==true) // premier point initialisé
{xini = 11;
x=10;
yini = y;
minigraphe=m;
sinigraphe=s;
debut=false;}

if (x<largeur) {

if (x==0){
if (m<minigraphe){m= m +60;}
}
x=10+round((((m-minigraphe)*60)+(s+(milliseconde/1000)-
sinigraphe))*(largeur-10)/600);
}
if (x>=largeur){x=10; xini = 11; minigraphe=m; sinigraphe=s;
fill(0); // Préparation d'un rectangle noir avec bord noir pour effacer la
zone du graphe où l'on trace le segment.
stroke(0);
rect(11,0,largeur,hauteur-21);

}

}

/*if (x==10){//Pour x = 10(donc en pix = 10), il ne faut que pas l'axe soit
effacé.
rect(11,0,12,hauteur-21);
}else
{if(x>xini){

//rect(xini,0,x,hauteur-21);
}
}*/
fill(255);

```

```

stroke(255);// tracé en blanc
//int j=yini;
int i=xini+10;

while(i<=(x+10)){
while(j<=y){

set(i,j, blanc);
j++;
}
i++;
}*/

line(xini,yini,x,y);//joint les points mesurés

fill(0);//mise à jour des valeurs affichées
stroke(0);
rect(100,35,100,150);
fill(255);
stroke(255);
valeur = tensionbin ;
valeur=valeur*5/1024;
text(valeur+ " V",100,75);
text(temps,100,50);
text(minigraphe,100, 100);
text(x,100,125);

xini=x;
yini=y;

fichier.print(temps);fichier.print(";");fichier.println(valeur);
fichier.flush();
//arduino.digitalWrite(13, arduino.HIGH); // turn the LED on (HIGH is
the voltage level)
delay(100); // wait for 0,1 second
//arduino.digitalWrite(13, arduino.LOW); // turn the LED off by making
the voltage LOW
delay(100);
sini=s;
}

void creefichier(){
int num;
num =0;
boolean test;
test = true;
nomfichier = day()+"_" +month()+"_" +year()+"_" +num+".txt";

File fichier_tampon = new File(nomfichier);
while (test==true){
text("OK",100,250);
if (fichier_tampon.exists()) {
text("OK2",100,300);
num++;
nomfichier = day()+"_" +month()+"_" +year()+"_" +num+".txt";
fichier_tampon = new File(nomfichier);

}else {
text("OK3",100,350);
test=false;
fichier=createWriter(nomfichier);}
}

}

void keyPressed() {
if (key=='s'){
fichier.close();
creefichier();

}
}

```