

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPIRIEURE ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOULOU D MAMMERIE

FACULTE GENIE ELECTRIQUE ET INFORMATIQUE

DEPARTEMENT Electronique



## *Mémoire de fin d'étude*

*En vue de l'obtention du diplôme de master en  
électronique*

*Option : instrumentation*

**Thème**

***Réalisation d'un système de contrôle  
d'environnement pour sismomètre large bande***

**Réalisé par :**

RASSOUL Youva

OUKALI Hocine

**Encadreur :**

Mr. A.ALILI

**Co-Encadreur :**

Mr. R.ZIRMI

*Année universitaire : 2023 / 2024.*

# Remerciements

*Tout d'abord, nous remercions Dieu qui nous a donné la force et le courage d'accomplir ce travail de fin d'études jusqu'au bout, et nous tenons aussi à remercier nos familles respectives qui nous ont poussées à faire des efforts pour le bon déroulement et l'aboutissement de ce travail.*

*Ce travail a été élaboré sous la direction **Mr. A. Alili** et **Mr. R. Zirmi** ; qu'ils trouvent ici l'expression de nos profondes gratitudee et nos sincères remerciements grâce à leur bienveillance et l'attention qu'ils nous ont accordés.*

*Sans oublier de remercier infiniment **Mr. A. Alili** qui nous a accueillis au sein de son unité de travail (**CRAAG**) et qui nous a aidés durant notre projet en mettant à notre disposition le matériel nécessaire pour notre réalisation.*

*Nous rendons hommage à tous nos professeurs qui ont contribué à notre formation durant notre cursus universitaire. Ainsi que les membres de jury en leur accordant l'expression de nos vifs remerciements pour avoir accepté d'honorer notre travail par leur jugement. Nos remerciements s'adressent aussi à tous nos amis et toutes les personnes qui nous ont aidées de près ou de loin et soutenus tout au long de notre parcours.*

## **SOMMAIRE**

Introduction générale .....	1
<b>CHAPITRE I: Généralités sur les séismes et les bruits sismiques.</b>	
I. Introduction.....	9
II. Généralités sur les séismes	
II.1.Caractéristiques d'un séisme .....	10
II.2.Naissance des séismes .....	12
II.3.Les différents types d'ondes.....	13
II.4.Propriétés des ondes sismiques .....	15
III. Capteur sismique	
III.1.Le sismomètre large bande.....	16
IV. Le bruit sismique	
IV.1.Sources du bruit sismique .....	18
IV.2.Comprendre le langage des bruits sismiques.....	21
IV.3.Impacte des facteurs métrologiques et les bruits sismiques sur les sismomètres larges bande .....	21
IV. 3.1.L'impact des facteurs météorologiques .....	22
IV. 3.2.L'impact des bruits sismiques .....	23
IV.4.Atténuation des effets des facteurs métrologiques et les bruits sismiques	
IV.4.1.Atténuation des facteurs métrologiques .....	24
IV. 4.2.Atténuation des bruits sismiques.....	25
V. Conclusion.....	27

## **CHAPITRE II : Conception et réalisation d'un système de contrôle d'environnement pour sismomètre large bande**

I. Introduction.....	28
II. Partie matérielle .....	29
II.1.Capteur de température et d'humidité DHT11.....	29
II.2.Capteur de pression et de température BMP180.....	31
II.3.Carte Arduino Due.....	32
II.4.Microcontrôleur Atmel SAM3X8EARM Cortex-M3 .....	33
II.5. La carte Ethernet Shield .....	34
II.6. Sismomètre tri-composantes large bande (sts2).....	36
III. Conception du circuit.....	38
III.1 Interface du capteur DHT11 .....	39
III.2 Interface du capteur BMP180 .....	39
IV. Logicielles et interfaces graphiques utilisées	
IV.1. IDEArduino .....	41
IV.2.Interface graphique (CoolTerm).....	44
V. Aperçu du système de contrôle d'environnement pour sismomètre large bande	46
V.1.Fonctionnement général .....	47
V.2.Présentation des fonctionnalités finales de notre réalisation .....	47
VI. Organigramme .....	48
VII. Conclusion.....	50

## **CHAPITRE III: Testes et Résultats**

I. Introduction.....	51
II. Evaluation des Performances du Sismomètre STS-2 (De l'Environnement Contrôlé aux Conditions Réelles) .....	51
II.1 Conditions de Test .....	52
II.2 Collecte des Données pour l'Analyse .....	53
II.3 Analyse des Données Environnementales .....	53
III. Conditions Environnementales Optimales pour le Sismomètre STS-2 .....	54
III.1. Les conditions à l'intérieure de la niche.....	54
III.2. Données récupérées par les capteurs .....	54
IV. Visualisation et analyse graphique.....	58
V. Analyse des Données Sismiques.....	59
V.1 Présentation des Enregistrements Sismiques (sismogramme).....	60
V.1.1 Interprétation du Diagramme Sismique .....	60
VI. Analyse comparative des conditions d'enregistrement sismique .....	63
VI.1 Interprétation des figures .....	65
VI.2 Comparaison des deux analyses.....	65
VII. Conclusion .....	66

**Liste des figures et tableaux :**

**Chapitre 1 : Généralités sur les séismes et les bruits sismiques**

<b>Tableau I. 1 : Echelle de magnitude (Richter)</b> .....	10
<b>Tableau I. 2 : Echelle d'intensité (EMS-98)</b> .....	11
<b>Figure I.1 : Caractéristiques d'un séisme</b> .....	12
<b>Figure I.2 : l'origine des tremblements de terre</b> .....	13
<b>Figure I.3: Les ondes sismiques</b> .....	15
<b>Figure I.4: La vitesse des ondes</b> .....	16
<b>Figure I.5 : Sismomètre large bande tri-composantes (STS-2)</b> .....	17

**CHAPITRE II : Conception et réalisation d'un système de control environnement pour sismomètre.**

<b>Figure II.1 : Schéma synoptique</b> .....	29
<b>Figure II.2 : Capteur de température et d'humidité</b> .....	29
<b>Figure II.3 : Câblage de DHT11 avec la carte Arduino Due</b> .....	30
<b>Figure II.4 : Capteur de pression BMP180</b> .....	31
<b>Figure II.5 : Câblage de BMP180 avec la carte Arduino Due</b> .....	32
<b>Figure II.6 : Carte Arduino Due</b> .....	33
<b>Figure II.7 :Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3</b> .....	34
<b>Figure II.8 : La carte Ethernet Sheild</b> .....	35
<b>Figure II.9: Ethernet Sheild montée sur une carte Arduino Due</b> .....	36
<b>Figure II.10 : le circuit électrique</b> .....	38
<b>Figure II.11 : circuit de conditionnement</b> .....	41

<b>Figure II.12</b> : L'interface IDE Arduino.....	42
<b>Figure II.13</b> : Structure générale d'un programme sur l'IDE.....	43
<b>Figure II.14</b> : Résultats affichés sur le moniteur série (PC).....	44
<b>Figure II.15</b> :L'interface graphique .....	45
<b>Figure II.16</b> : Organigramme du programme principal qui gère le système .....	49

### **CHAPITRE III : Testes et Résultats**

<b>Figure III.1</b> : La niche du sismomètre .....	53
<b>Figure III.2</b> : Données collectées en temps réel.....	54
<b>Figure III.3</b> : Données relevées par les capteurs .....	56
<b>Figure III.4</b> : Données visualisé en temps réel .....	59
<b>Figure III.5</b> : Données enregistrées au cours de la période de teste.....	59
<b>Figure III.6</b> : Diagramme montrant le niveau du bruit sismique.....	61
<b>Figure III.7</b> : graphique de la composante vertical d'un diagramme PSD .....	63
<b>Figure III.8</b> : Graphique de la composante horizontale du diagramme PSD .....	64
<b>Figure III.9</b> : Spectre de puissance fréquentielle d'un sismomètre STS-2 pour la période du 3 décembre 2023 au 24 janvier 2024.....	65
<b>Figure III.10</b> : Spectre de puissance fréquentielle d'un sismomètre STS-2 pour la période du 26 novembre 2023 au 3 mai 2024.....	65

***Introduction  
générale***

Le séisme peut être considéré comme la catastrophe naturelle la plus meurtrière connue actuellement sur le globe terrestre dû à ses effets directs (*effondrements de bâtiments, chutes d'objets*) et aussi par ces phénomènes induits comme le mouvement de terrain ou encore le tsunami. Statistiquement parlant, il se révèle comme étant aussi meurtrier que certaines grandes guerres causant annuellement des milliers de morts.

De même que sur le plan économique, il détruit de nombreux bâtiments, usines ou encore les ponts, les routes et les voies ferrées..., provoquant une véritable perturbation dans l'activité économique d'un pays, en sus des milliards de dollars de dégâts.

Dans l'antiquité, ces mouvements terrestres intriguaient nos ancêtres qui croyaient que la terre était en proie à des phénomènes surnaturels. Mais il faut attendre la création de la séismologie, au siècle dernier, pour voir apparaître les théories géologiques et géophysiques qui expliquent ce fait naturel comme étant la résultante de la libération brutale d'énergie par le déplacement et les frictions des différentes plaques terrestres.

Dans le but de percevoir ces moindres mouvements, des capteurs, appelés sismomètres ont été conçus et développés. Le premier capteur connu daterait de l'an 130 avant J-C. Ils sont, donc, conçus et implantés pour mesurer les ondes sismiques, soit les mouvements du sol engendrés par les séismes et pouvant se propager sur de grandes distances.

Ce projet vise à concevoir et développer un système complet de surveillance et d'enregistrement des paramètres environnementaux clés qui peuvent influencer les mesures sismiques recueillies par un sismomètre large bande. L'objectif principal est de fournir un moyen simple et efficace pour collecter et visualiser ces données environnementales en parallèle avec les données sismiques. Cela permettra d'obtenir une meilleure compréhension de l'impact des conditions de température, d'humidité et de pression atmosphérique sur la qualité et la fiabilité des mesures sismiques. Pour atteindre ces objectifs, des capteurs numériques ont été mis en place pour mesurer avec précision ces paramètres environnementaux. Ils concevront ensuite une architecture matérielle robuste et fiable basée sur une carte Arduino Due afin d'acquérir, de traiter et de transmettre les données vers un ordinateur. Un programme sera développé sur l'Arduino pour la collecte des données, tandis qu'une interface graphique sera créée sur l'ordinateur pour permettre la

visualisation en temps réel des variations des facteurs (température humidité et pression) dans la niche du sismomètre.

Une démarche méthodologique a été adoptée pour mener à bien ce projet. En effet, le présent travail comprend trois chapitres:

Le premier chapitre fournit un aperçu détaillé du fonctionnement des sismomètres et des différents types d'ondes et de bruits sismiques qui peuvent être détectés. Cette compréhension du contexte sismologique est essentielle pour concevoir un système de contrôle environnemental approprié.

Le deuxième chapitre se concentre sur la partie matérielle du système, décrivant les capteurs utilisés (DHT11 pour la température et l'humidité, BMP180 pour la pression atmosphérique) ainsi que la carte Arduino Due qui sert de plateforme de traitement et de contrôle. Les caractéristiques techniques de ces composants sont présentées en détail.

Il aborde aussi le développement du système logiciel, notamment la programmation de l'Arduino pour la collecte des données issues des capteurs. Il décrit également l'interface graphique développée pour visualiser ces données en temps réel sur un ordinateur.

Le troisième chapitre présente et analyse les résultats obtenus à partir du système de contrôle d'environnement pour sismomètre large bande qui a été utilisé. L'objectif de cette partie est de fournir une évaluation détaillée des performances du système, de la précision des données collectées, et de la corrélation entre les variables environnementales et les mesures sismiques. Ce chapitre commence par décrire le processus de collecte des données, incluant les conditions expérimentales et les méthodes de préparation des données pour l'analyse. Ensuite, il présente les résultats de la collecte des données environnementales (température, humidité, et pression barométrique) et des données sismiques, en utilisant des outils de visualisation et des techniques statistiques pour une interprétation approfondie.

L'analyse des données environnementales porte sur les variations et les tendances observées, en le comparant aux valeurs de référence pour valider la précision de nos capteurs. Le chapitre examine ensuite les enregistrements sismiques, en identifiant les événements détectés et en analysant leur fréquence et leur amplitude. Une attention

particulière est accordée à la corrélation entre les conditions environnementales et les mesures sismiques, afin de déterminer l'impact potentiel des variations environnementales sur les données sismiques.

# Présentation du CRAAG

---

## 1. Présentation générale du CRAAG

Le Centre de Recherche en Astronomie Astrophysique et Géophysique CRAAG , est un Etablissement Public à Caractère Scientifique et Technologique (EPST), régi par le décret 20-06du Février 2006.

Le CRAAG est issu de la création de l'Observatoire d'Alger en 1890 et puis de l'IMPGA en 1931. En 1980, fut créé le CNAAG.

En 1985, lors de la mise en place du statut des Centres de recherches, le CRAAG fut créé par décret83-521.



Le CRAAG a plusieurs missions :

- Mission de recherche dans les domaines de l'Astrophysique et de laGéophysique.
- Mission de service public dans le domaine de la surveillance sismique du territoire.
- Mission auprès des secteurs Socio-économiques.

## 2. Historique

Le CRAAG résulte de la fusion de deux organismes ayant existé durant l'époque coloniale à savoir l'Observatoire d'Alger crée en 1890 et l'Institut de Physique du globe d'Alger l'IMPGA en 1931.L'activité scientifique au niveau de l'Observatoire a été marquée par une activité scientifique intenses caractérisant parla :

Participation au programme international de la carte du ciel de 1909 à 1925 découvertes de petites planètes dont l'une d'elles porte le nom de Bouzaréah

Détermination du temps, enrichissement du catalogue fondamental, etc.

L'IMPGA fut quant à lui crée en 1931. Il avait pour missions de promouvoir l'étude géophysique de notre pays mais aussi de prendre en charge la surveillance sismique du territoire ; le séisme constituant en Algérie la principale calamité naturelle. Cet Institut entrepris de nombreuses études dans les domaines de la sismologie, du géomagnétisme et de la gravimétrie.

## Présentation du CRAAG

---

En 1980, fut créé le Centre National en Astronomie Astrophysique et Géophysique regroupant les activités de l'Institut de Météorologie et de Physique du globe d'Algérie et de l'Observatoire d'Alger, placé sous tutelle de l'ONRS. Ce regroupements imposa dans le souci de redonner à ces deux axes scientifiques importants la place qui leur revenait et sauvegardait les possibilités de développement des études géophysiques et astronomiques en Algérie.

En 1985, la recherche scientifique bénéficia de l'attention des pouvoirs publics qui décidèrent de la création de Centres de Recherche à la faveur du décret83-521. C'est ainsi que fut créé le CRAAG qui reprit les prérogatives de l'ex CNAAG mais qui bénéficia de l'organisation et du mode de gestion des Centres de Recherche. Ce Centre fut en premier lieu placé sous la tutelle du Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique. Suite au séisme qui frappa la région de Tipaza le 29 Octobre1989,le CRAAG fut placé sous la tutelle du Haut-commissariat à la Recherche. En 1991 le CRAAG changea une nouvelle fois de tutelle et fut placé sous l'autorité du Ministère de l'Intérieur et des Collectivités Locales.

### 3. Objectifs et missions

LE CRAAG a pour missions (décret05-06) : d'entreprendre des recherches et des études en astronomie, astrophysique et géophysique et d'exploiter les divers résultats qui en découlent:

- ✓ D'assurer la surveillance sismique du territoire national de façon permanente et d'établir les liaisons nécessaires avec les autorités compétentes et les structures opérationnelles concernées.
- ✓ D'étendre et de densifier le réseau sismologique à l'ensemble du territoire national et d'en assurer l'exploitation et la maintenance.
- ✓ D'établir les catalogue et carte sismique, de recenser et de regrouper les documents anciens, y compris ceux existant à l'étranger, pour approfondir et enrichir l'histoire de la sismicité algérienne et constituer la banque des données sismiques.
- ✓ De réaliser des études sur les risques géologiques et de participer la mi ozonation des centres urbains.

## Présentation du CRAAG

---

- ✓ D'assurer le suivi permanent des phénomènes géophysique et astronomique naturels.
- ✓ De développer les observations et les réseaux géophysique et astronomique
- ✓ D'exploiter les données des observations astronomiques et géophysiques terrestres, aériennes et satellitaires.
- ✓ D'entreprendre des études de la forme et des mouvements de la terre.
- ✓ D'entreprendre des études en astronomie fondamentales, solaire, satellitaire et des études liées à l'évolution de l'univers.
- ✓ De concevoir et de réaliser des instruments spécifiques aux travaux de recherche en astronomique et géophysique.

## 4. Le Réseau Algérien de Surveillance Sismique

Le réseau de surveillance ADSN (Algerian Digital Seismic Network) chargé de surveiller l'activité sismique du territoire national. L'ADSN dispose d'un ensemble de stations de surveillance numérique reliées par différent mode de transmission (VSAT, ADSL, Wireless) au central de donnée installée au niveau du siège (CRAAG, Bouzareah)

### **Descriptif du réseau ADSN:**

Le réseau national de surveillance sismique comporte en 2024 les capteurs opérationnels suivants :

- En 2024, 20 Large Bande (BB)
- 02 Très Large Bande (VBB), (EDAS)
- 50 Courte Période (SS1)
- 21 accéléromètres (21ES-T et 02BBAS-2 de Geodevice)

Au cours des deux prochaines années, une cinquantaine de nouvelles stations sera installée sachant que leur installation obéit à des critères de sélections de sites très rigoureuses.

### **Missions:**

Le réseau de surveillance a pour mission:

- D'assurer la surveillance sismique du territoire national de façon permanente
- D'établir les liaisons nécessaires avec les autorités compétentes et les structures opérationnelles concernées ;
- D'étendre et de densifier le réseau sismologique à l'ensemble du territoire national et d'en assurer l'exploitation et la maintenance;
- D'établir les catalogues et la carte sismique.

## Présentation du CRAAG

---

### **Les activités de réseau ADSN :**

La centrale de données du réseau de surveillance est équipée d'un système d'acquisition et de traitement chargé de :

- Recevoir en temps réel les données sismiques et l'état de fonctionnement des stations sismologique, en utilisant les différents modes de transmission (Wireless, ADSL, VSAT).
- Déterminer les caractéristiques du séisme de façon automatique et manuelle.
- Suivre en temps réel l'état des stations sismologiques et les données reçus.
- Editer des rapports sur l'activité sismique (bulletin, catalogue, carte).
- Archiver les données reçues et les résultats des traitements dans une base de données.
  
- La maintenance des stations sismologique.
- L'installation des nouvelles stations sismologique.
- Le suivi de l'activité sismique.

***CHAPITRE I :***  
***Généralités sur les***  
***séismes et les bruits***  
***sismiques.***

## **I. Introduction**

Les séismes sont des phénomènes naturels dévastateurs, suscitent depuis longtemps l'intérêt et la préoccupation des scientifiques et des populations du monde entier. Ces événements sismiques, caractérisés par des mouvements violents et souvent imprévisibles du sol, peuvent avoir des conséquences dévastatrices sur les communautés humaines et les infrastructures. Les séismes, également connus sous le nom de tremblements de terre, sont des manifestations de l'activité géologique qui se produit à l'intérieur de la Terre. Ils sont généralement causés par la libération soudaine d'énergie accumulée le long de failles géologiques ou par des mouvements de magma dans le sous-sol. Variant de tremblements de terre mineurs à des événements majeurs dévastateurs, leur impact peut entraîner des dommages aux bâtiments et aux infrastructures, des pertes en vies humaines, des glissements de terrain, des tsunamis et des dégâts environnementaux. Pour mieux comprendre et surveiller ces phénomènes, les capteurs sismiques jouent un rôle crucial. Ces dispositifs sont conçus pour détecter et enregistrer les vibrations du sol générées par les séismes et autres phénomènes géologiques. Ils fournissent des données précieuses sur la magnitude, la localisation et la durée des séismes, permettant ainsi aux scientifiques de mieux comprendre la dynamique des mouvements sismiques et d'améliorer la préparation aux catastrophes naturelles. En résumé, les séismes et les capteurs sismiques sont des éléments intrinsèquement liés, essentiels à la surveillance et à la gestion des risques sismiques à travers le monde.

Afin de mieux comprendre les séismes, il est essentiel d'examiner en détail leurs caractéristiques et les processus qui les sous-tendent.

## **II. Généralités sur les séismes**

Nous allons maintenant nous pencher sur les caractéristiques spécifiques des séismes. Cette section détaillera les différentes facettes des séismes, en nous aidant à mieux comprendre leur nature et leurs manifestations.

## II. 1. Caractéristiques d'un séisme

**Épicentre** : L'épicentre d'un séisme est le point situé à la surface de la Terre, directement au-dessus du foyer (ou hypocentre), où le séisme se produit en profondeur.

Il s'agit du point où les ondes sismiques sont initialement libérées et où les dommages peuvent être les plus importants.

**Foyer (ou hypocentre)** : Le foyer d'un séisme est le point précis à l'intérieur de la croûte terrestre où l'énergie sismique est libérée. La profondeur du foyer peut varier, allant de quelques kilomètres à des centaines de kilomètres sous la surface de la Terre.

**Magnitude** : C'est un nombre qui caractérise l'énergie libérée au foyer et permet de comparer les séismes entre eux. Cette notion a été définie par Richter d'où le nom d'échelle de Richter. La magnitude d'une petite secousse sismique est de 4, celle d'un séisme grave entre 5 et 7, celle d'un séisme potentiellement catastrophique entre 7 et 9 (Tableau 1). La valeur maximale enregistrée par les sismomètres est de 9,5. Cette échelle n'est pas linéaire : un séisme de magnitude 7 sera dix fois plus fort qu'un événement de magnitude 6, cent fois plus fort qu'un de magnitude 5. [1]

Magnitude	Ordre de grandeur d'un nombre des séismes par an dans le monde
> 0	100 millions
1	10 millions
2	1 million
3	100 000
4	10 000
5	1 000
6	100
7	10
8	1
9	1 tous les 10 ans

**Tableau I. 1** : Echelle de magnitude (Richter)

**Intensité:** qui caractérise les effets et dégâts produits. L'intensité macroscopique EMS 98, est estimée par observation des désordres sur les bâtiments et les infrastructures, ainsi que par la perception du séisme par la population (Tableau 2). Elle comporte 12 niveaux et varie selon la distance à l'épicentre et les effets de site (*amortissement ou amplification des ondes sismiques*). Notons que l'épicentre du séisme est le point de la surface terrestre situé à la verticale du foyer.[1]

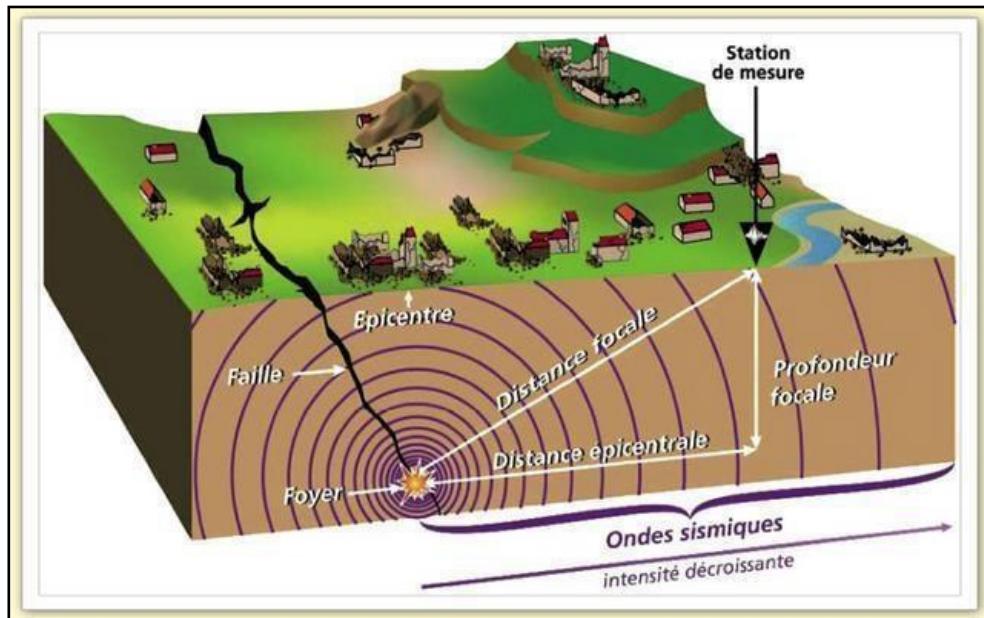
<b>I</b>	<b>Secousse non perceptible</b>
<b>II</b>	Secousse à peine perceptible
<b>III</b>	Secousse faible ressentie de façon partielle
<b>IV</b>	Secousse largement ressentie
<b>V</b>	Réveil des dormeurs
<b>VI</b>	Frayeurs
<b>VII</b>	Damages aux constructions
<b>VIII</b>	Destruction de bâtiments
<b>IX</b>	Domages generalises aux constructions
<b>X</b>	Destruction générale des bâtiments
<b>XI</b>	Catastrophe
<b>XII</b>	Changement de paysage

**Tableau I. 2 : Echelle d'intensité (EMS-98)**

**Fréquence :** Les séismes se produisent à diverses fréquences, des événements mineurs qui se produisent quotidiennement à des événements majeurs qui se produisent moins fréquemment. La fréquence des séismes peut varier en fonction de la région géographique et des conditions géologiques locales.

**Durée :** La durée d'un séisme peut varier considérablement en fonction de sa magnitude et de sa profondeur. Les séismes plus puissants ont tendance à durer plus longtemps que les séismes de faible intensité.

**Les ondes sismiques** : Les séismes génèrent différents types d'ondes sismiques, y compris les ondes de compression (ondes P), les ondes de cisaillement (ondes S) et les ondes de surface. Ces ondes se propagent à travers la Terre et peuvent être enregistrées par les capteurs sismiques pour aider à caractériser le séisme.



**Figure 1** : Caractéristiques d'un séisme [1]

## II. 2. Naissance des séismes

Il y a deux raisons pour que la Terre tremble :

- ☒ Soit c'est une rupture entre deux plaques tectoniques.
- ☒ Soit ce sont des montées de magma.

Un séisme, ou tremblement de terre, résulte de la vibration du sol causée par le déplacement instantané qui se produit lorsque les efforts créés par les mouvements des plaques [*divergents (extension)*, *convergents (compression)* ou *en coulissage (cisaillement)*] deviennent supérieurs aux efforts résistants admissibles par les matériaux constituant les plaques. Le lieu où cette libération brusque d'énergie provoque la rupture des roches en profondeurs, se nomme le foyer. La rupture des roches en surface s'appelle une faille.

Le séisme est superficiel ou profond selon que le foyer est à faible (*quelques kms*) ou à grande profondeur (*plusieurs dizaines ou centaines de kms*). La violence du séisme dépend de la quantité d'énergie stockée au niveau de faille avant le séisme et de la position de la faille par rapport à la surface.

Plus précisément selon le type de déplacement au niveau des failles on distingue :

- Les déplacements verticaux appelés rejets se produisant sur des failles normales dans les zones d'extension et sur des failles inverses dans les zones de compression.
- Les déplacements horizontaux appelés décrochements dans le cas des failles de coulissage ou des failles transformantes.[2]

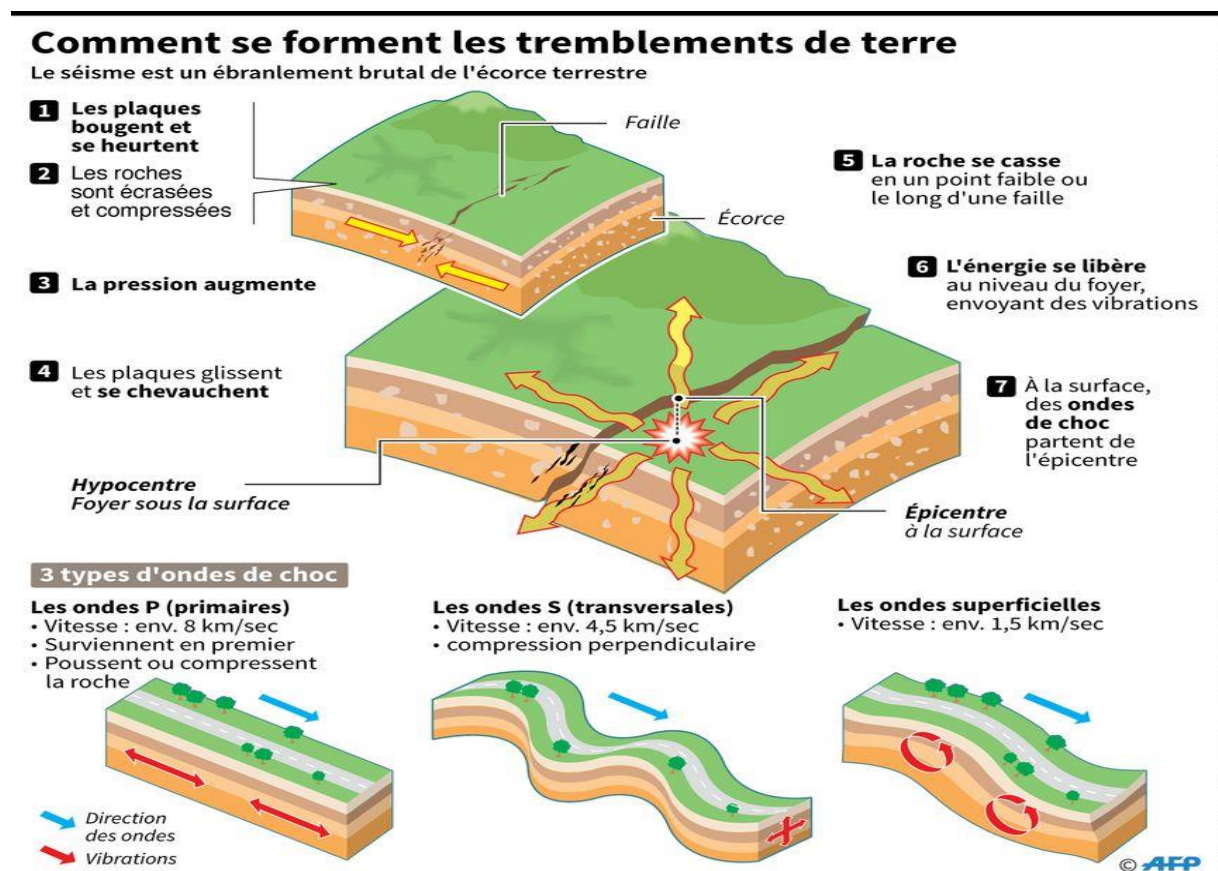


Figure 2 : l'origine des tremblements de terre [2]

### II. 3. Les différents types d'ondes

Les séismes génèrent plusieurs types d'ondes sismiques qui se propagent à travers la Terre à des vitesses différentes et avec des caractéristiques distinctes. Voici les principaux types d'ondes sismiques :

- **Ondes de compression (ondes P)** : Aussi appelées ondes primaires, les ondes P sont les premières à être enregistrées par les capteurs sismiques lors d'un séisme. Elles se

propagent sous forme de compression et de décompression dans la direction de propagation, de sorte que les particules du sol oscillent dans la même direction que la propagation de l'onde. Les ondes P sont capables de se propager à travers les milieux solides, liquides et gazeux.

- **Ondes de cisaillement (ondes S)** : Les ondes S, ou ondes secondaires, se propagent perpendiculairement à la direction de propagation. Elles provoquent un mouvement de cisaillement dans le sol, où les particules oscillent latéralement par rapport à la direction de propagation de l'onde. Contrairement aux ondes P, les ondes S ne peuvent pas se propager à travers les liquides ou les gaz, et elles sont donc détectées uniquement dans les milieux solides.
- **Ondes de surface** : Les ondes de surface se déplacent le long de la surface de la Terre et sont générées par l'interaction des ondes P et S avec la surface. Elles sont généralement les plus lentes des trois types d'ondes sismiques et peuvent causer les dommages les plus importants aux structures en raison de leur capacité à induire des mouvements horizontaux et verticaux du sol.
- **Ondes de Rayleigh** : Les ondes de Rayleigh sont un type spécifique d'ondes de surface qui se propagent comme des vagues en forme de rouleau le long de la surface de la Terre. Elles résultent d'une combinaison complexe de mouvements verticaux, horizontaux et elliptiques, ce qui les rend particulièrement destructrices.
- **Ondes de Love** : Les ondes de Love sont un autre type d'ondes de surface qui provoquent des mouvements horizontaux perpendiculaires à la direction de propagation. Contrairement aux ondes de Rayleigh, elles n'induisent pas de mouvements verticaux significatifs et sont donc moins destructrices. [3]

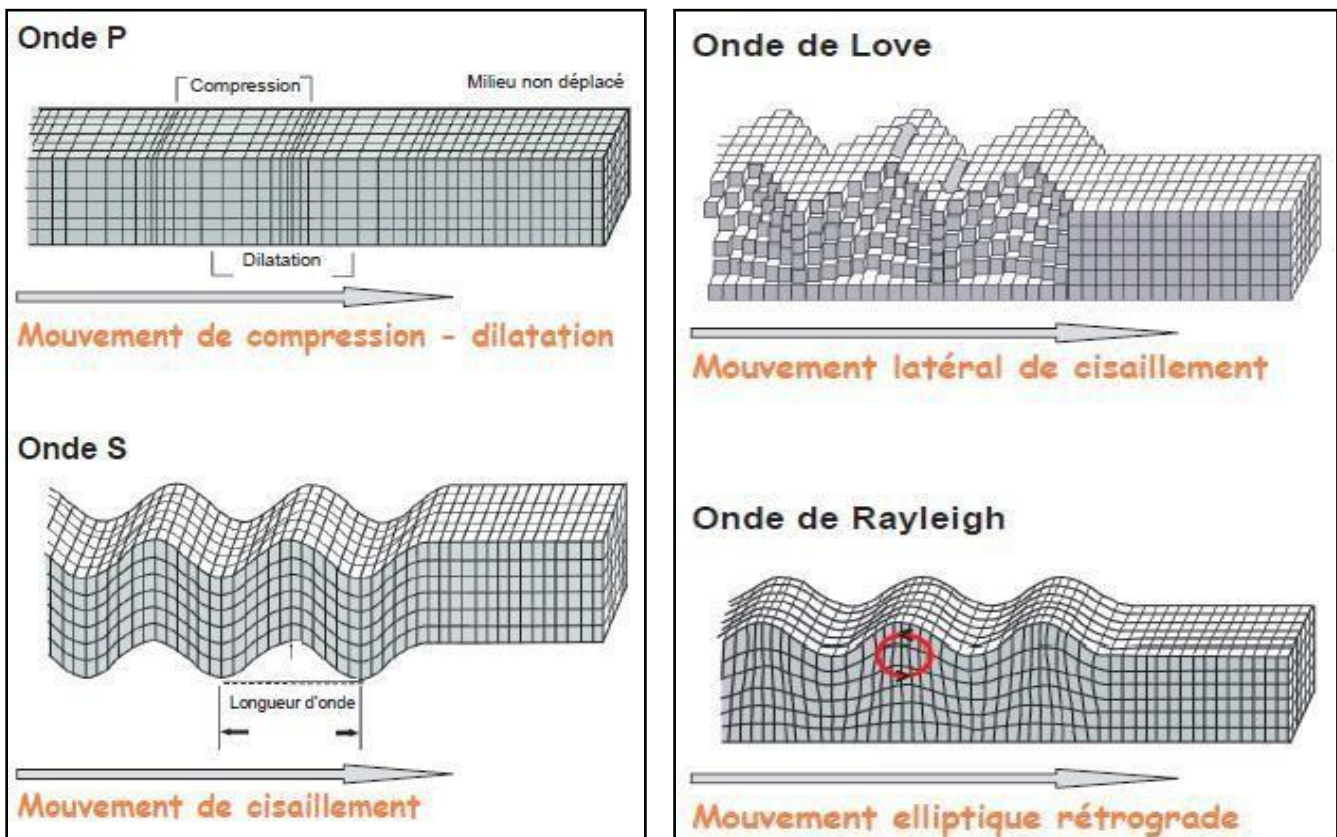


Figure : Les ondes sismiques [3]

## II. 4. Propriétés des ondes sismiques

Imaginons des ondes invisibles traversant la Terre à des vitesses incroyables, parfois jusqu'à plusieurs kilomètres par seconde ! Ces messagers, ce sont les ondes sismiques. Leur vitesse dépend du type de roche qu'elles traversent, de la pression et de la chaleur qu'elles rencontrent, nous renseignant ainsi sur les différentes couches de notre planète. Elles sont des ondes élastiques. Elles se propagent dans toutes les directions sans déformer durablement le terrain. Elles peuvent se réfléchir à la face de la Terre ou à la limite manteau-noyau.[4].

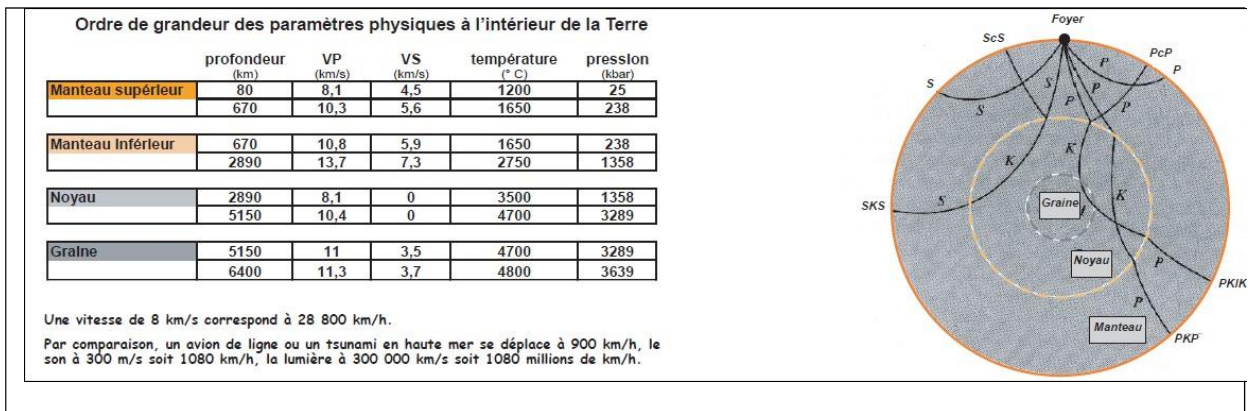


Figure 4: La vitesse des ondes [4]

L'enregistrement des ondes sismiques, partout à la face de la Terre, nous donne très rapidement des informations précises sur les caractéristiques des séismes et nous renseigne sur les milieux qu'elles ont traversés. On peut ainsi bâtir des modèles de plus en plus précis de la structure interne de la Terre. En comprenant les différents types d'ondes sismiques et leurs caractéristiques, les scientifiques peuvent mieux interpréter les données sismiques enregistrées par les capteurs et obtenir des informations précieuses sur la structure interne de la Terre et les mécanismes des séismes. [4]

### III. Capteur sismique

Le sismomètre large bande est un type de capteur sismique qui joue un rôle crucial dans la détection et l'analyse des tremblements de terre. Il permet d'enregistrer un large éventail de fréquences sismiques, ce qui fournit des informations précieuses sur la magnitude, la localisation et la source du séisme. [5]

#### III. 1. Le sismomètre large bande

Un sismomètre est un appareil capable de détecter de très petits mouvements du sol qui seront par la suite enregistrés sous forme d'un signal par un sismographe en suivant une base de temps très précise.

Il fonctionne sur le même principe qu'un oscillateur à masse d'inertie amorti. Plus précisément un sismomètre est constitué d'une masse et un bâti lié au sol. Un mouvement

du sol va entraîner un mouvement du bâti, puis un mouvement relatif entre la masse et le bâti qui constitue également le système d'enregistrement.

C'est donc ce mouvement relatif qui est enregistré généralement après avoir été amplifié. Un sismomètre est capable d'enregistrer les mouvements verticaux et horizontaux du sol. Pour cela, une masse pesante est suspendue librement via un ressort au bâti de l'appareil. Elle est munie d'un stylet qui repose sur le cylindre enregistreur.

A l'arrivée des ondes, tout bouge (le sol, le bâti et le rouleau). L'enregistrement du mouvement de la masse en fonction du temps est appelé sismogramme.

Cependant, leur efficacité peut parfois être compromise par un élément perturbateur : le bruit sismique. Ce dernier se compose de vibrations non désirées qui peuvent interférer avec les signaux recherchés, rendant l'interprétation des données plus complexe. Malgré cela, les progrès dans la conception des sismomètres et des techniques de filtrage permettent aux scientifiques de mieux comprendre et d'atténuer ces interférences, contribuant ainsi à une surveillance plus précise des mouvements telluriques."

En général le sismomètre est composé d'un capteur, d'un amplificateur, d'un transducteur et d'un enregistreur. [5]



**Figure 5 : Sismomètre large bande tri-composantes (STS-2) [5]**

## IV. Le bruit sismique

Malgré leur importance dans l'activité géologique, les séismes ne se produisent pas dans un silence absolu. Le sol terrestre est constamment animé par un bruit de fond sismique provenant de diverses sources naturelles et humaines. Ce bruit sismique, une série de vibrations permanentes, est enregistré par les sismomètres sous forme de sismogrammes, mais il est souvent difficile à interpréter et considéré comme indésirable. Les origines du bruit sismique sont multiples, comprenant à la fois des facteurs naturels tels que les vents, les vagues océaniques, et des activités humaines comme la circulation routière et l'utilisation de machinerie lourde.

Le bruit sismique est principalement constitué d'ondes de surface. Les ondes de basse fréquence (inférieure à un hertz) sont généralement qualifiées de microséismes, et celles de haute fréquence ( $> 1$  Hz). Dans cette section, nous explorerons les sources et l'impact du bruit sismique sur les performances des sismomètres, en examinant comment il peut interférer avec la détection précise des signaux sismiques. Comprendre ces effets est essentiel pour développer des systèmes de surveillance sismique fiables et précis, capables de distinguer les véritables événements sismiques du bruit de fond environnemental. Cela nous permettra de mieux appréhender les défis rencontrés dans la surveillance sismique et d'optimiser nos méthodes d'analyse pour une détection plus précise et fiable des séismes.

[6]

### IV. 1. Sources du bruit sismique

Les sismomètres enregistrent les vibrations du sol, mais toutes ces secousses ne sont pas dues aux tremblements de Terre. En dehors des séismes, de nombreuses choses peuvent faire trembler le sol. Par exemple. [7]

#### ➤ **Activité humaine :**

Nous avons tous ressenti les tremblements du quai quand un train circule en gare. Les ondes de surface générées par l'activité humaine s'ajoutent aux vibrations des

séismes. Elles font partie de l'ensemble des vibrations (naturelles et d'origine humaine) permanentes du sol, appelé le bruit sismique. Ce bruit perturbe l'analyse du signal sismique et peut gêner l'identification de certains événements. [7]

L'activité humaine est une source majeure de bruit sismique. Les travaux industriels sont également une source importante de vibrations du sol, principalement à haute fréquence (> 1 Hz) telles que la construction, le forage et l'exploitation minière impliquent souvent l'utilisation de machinerie lourde, ce qui génère des vibrations significatives qui se propagent à travers le sol. De même, La circulation routière est une source majeure de bruit sismique, principalement à haute fréquence (> 1 Hz) en particulier sur les routes fréquentées par des véhicules lourds, peut également produire des ondes sismiques détectables. Même les activités plus légères, comme la marche humaine sur des surfaces rigides, peuvent contribuer à ce bruit.

En conséquence, ces activités anthropiques peuvent poser un défi dans la collecte et l'analyse des données sismiques, nécessitant des techniques de filtrage et de correction pour isoler les signaux sismiques pertinents des perturbations indésirables.[7]

➤ **Activité atmosphérique:**

Les phénomènes météorologiques tels que les tempêtes, les vents forts ou les vagues océaniques peuvent produire des vibrations qui se transmettent au sol et sont enregistrées comme du bruit sismique.

En outre, les phénomènes météorologiques ne se limitent pas seulement aux tempêtes et aux vents forts. Les variations de température, d'humidité et de pression atmosphérique peuvent également jouer un rôle crucial dans la génération du bruit sismique. Ces paramètres météorologiques peuvent influencer directement les propriétés physiques du sol et des structures environnantes, modifiant ainsi la manière dont les ondes sismiques se propagent et sont détectées par les sismomètres.[10]

➤ **Les Vibrations de l'Océan :**

Les vagues océaniques sont une source majeure du bruit sismique, en particulier pour les fréquences basses (inférieures à 1 Hz), Quand on considère des périodes longues, il est largement accepté que les pics principaux pics entre 0,1 et 0,3 Hz est

associé à l'interaction de vagues de fréquences presque égales mais de directions opposées sont associés aux ondes de gravités océaniques (la houle). À des périodes plus longues que 30 s, les ondes infra gravitaires jouent probablement un rôle dans l'excitation du bruit sismique. L'interaction entre les ondes de gravité et la Terre solide dans la bande macrosismique est gouvernée par un mécanisme non linéaire complexe Il en résulte que l'excitation du bruit dépend de différents facteurs comme l'amplitude des ondes océaniques, mais surtout l'intensité de leurs interférences et la profondeur d'eau.[8]

❖ Cas des côtes exposées aux vagues :

Sur les côtes exposées aux vagues océaniques, les mouvements constants de l'eau contre les rivages génèrent des vibrations qui sont enregistrées par les sismomètres terrestres.

- Ces vibrations, bien que généralement faibles, peuvent être détectées et enregistrées par les instruments sismiques, contribuant ainsi au bruit sismique ambiant.

❖ Cas des zones avec des courants marins puissants :

- Dans les régions où les courants marins sont forts, tels que les courants de marée, les vibrations résultant du frottement de l'eau contre le fond marin ajoutent au bruit sismique océanique.
- Bien que ces vibrations soient souvent de basse fréquence et moins perceptibles, elles sont enregistrées par les sismomètres et peuvent influencer les données sismiques collectées.

❖ Cas des tempêtes marines :

- Lors de tempêtes marines, les vagues déchaînées et les vents violents produisent des vibrations et des mouvements d'eau intenses.
- Ces conditions météorologiques extrêmes amplifient considérablement le bruit sismique océanique, créant des enregistrements sismiques plus prononcés et identifiables.

- Les scientifiques utilisent ces périodes de tempêtes pour étudier les variations du bruit sismique océanique et mieux comprendre son impact sur la surveillance sismique globale.

## **IV. 2. Comprendre le langage des bruits sismiques**

Notre planète grouille d'une activité cachée, révélée par le langage murmurant des bruits sismiques. Ces vibrations, classées par leur fréquence et leur durée, renseignent les scientifiques sur les mouvements de l'intérieur de la Terre, l'activité humaine et les potentiels dangers naturels. C'est un outil précieux pour comprendre notre planète dynamique et anticiper les risques. [9]

Le bruit se caractérise par sa durée, son intensité et sa fréquence :

- **Basse fréquence** : Le bruit sismique à basse fréquence, avec une fréquence inférieure à environ 1 Hz, est souvent associé à des sources telles que les mouvements de fluides dans le sous-sol, comme les courants océaniques et les variations de pression atmosphérique. De plus, les activités humaines telles que la circulation routière et le trafic maritime peuvent également contribuer à ce type de bruit. [9]
- **Haute fréquence** : Le bruit sismique à haute fréquence, avec une fréquence supérieure à environ 1 Hz, provient généralement de sources proches de la surface de la Terre, telles que la circulation des véhicules, la construction et le vent. Par exemple le passage d'une rame de métro produit un bruit sismique intense (vibrations parfois détectables par les riverains), de courte durée et d'une fréquence supérieure à 10 Hz (qu'on considère "élevée" en sismologie). [9]

## **IV.3. Impact des facteurs météorologiques et les bruits sismiques sur les sismomètres large bande**

L'impact du bruit sismique sur les sismomètres à large bande est significatif et peut compromettre leur capacité à détecter avec précision les signaux sismiques. Les sismomètres à large bande sont conçus pour enregistrer une large gamme de fréquences sismiques, ce qui les rend sensibles aux divers types de bruit sismique, tant naturels qu'anthropiques.

Le bruit sismique ambiant, en particulier celui généré par l'activité humaine et les phénomènes atmosphériques, peut se superposer aux signaux sismiques d'intérêt, rendant plus difficile la détection et l'analyse des événements sismiques de faible amplitude. [10]

### **IV. 3. 1. L'impact des facteurs météorologiques**

Chacun de ces facteurs peut avoir des effets directs et indirects sur les capteurs et l'électronique du sismomètre, entraînant une dégradation de la qualité des données sismiques enregistrées :

#### **Effets direct :**

- **Température:** Maintenir une température stable est crucial pour le bon fonctionnement des sismomètres. Les fluctuations de température peuvent altérer la mécanique de ces appareils, notamment en influençant la force exercée par le ressort sur la masse mobile. Deux autres facteurs méritent également une attention particulière [10]

- **Dérive du capteur:** Changements de la sensibilité du capteur avec la température, affectant la mesure du signal sismique.

- **Bruit thermique:** Agitation aléatoire des atomes à des températures non nulles, générant du bruit dans la gamme de fréquences sismiques.

#### ➤ **Humidité:**

- **Variations d'humidité :** Toute variation d'humidité peut affecter la mécanique des sismomètres, en particulier la force générée par le ressort sur la masse mobile. Cela peut entraîner des erreurs dans l'enregistrement des ondes sismiques. L'impact de l'humidité sur les sismomètres peut être observé à travers deux mécanismes principaux : [10]
- **Absorption et diffusion des ondes sismiques:** Atténuation des ondes sismiques, réduisant leur amplitude et compliquant la détection.
- **Corrosion des composants:** Dégradation des composants électroniques et des structures de support à long terme.

#### ➤ **Pression:**

- **Vitesse des ondes sismiques** : La pression augmente avec la profondeur, ce qui affecte la vitesse des ondes sismiques. La vitesse des ondes P et S dépend de la pression et de la température, ce qui influence la précision des mesures [11]
- **Amplification des signaux** : La pression peut également influencer l'amplification des signaux sismiques. Les sismomètres doivent être conçus pour résister aux variations de pression et aux mouvements du sol pour fournir des enregistrements précis [11]

### IV. 3. 2. L'impact des bruits sismiques

Ces bruits peuvent avoir des effets significatifs sur l'environnement et les populations, d'où l'importance de comprendre leurs implications.

#### ➤ Sources naturelles :

- **Vagues océaniques** : Le mouvement rythmique des vagues océaniques génère de l'énergie sismique qui se propage à travers la croûte terrestre, provoquant des microséismes de l'ordre de 0,02 à 0,5 Hz. Ces microséismes peuvent être particulièrement gênants pour les sismomètres à large bande situés près des littoraux.
- **Vent** : Les vents forts peuvent induire des vibrations du sol détectables par les sismomètres à large bande. Ces vibrations se situent généralement entre 0,01 et 0,1 Hz et sont plus prononcées dans les zones à relief exposé ou à végétation clairsemée.
- **Fluctuations de la pression atmosphérique** : Les variations de la pression atmosphérique peuvent entraîner de légères déformations du sol, générant des signaux sismiques de l'ordre de 0,001 à 0,01 Hz. Ces signaux peuvent être particulièrement notables dans les régions montagneuses ou pendant les périodes de changements atmosphériques rapides.

#### ➤ Sources culturelles :

- **Activité humaine** : Les activités humaines telles que la circulation, la construction et les opérations industrielles peuvent générer du bruit sismique couvrant une large gamme de fréquences, de quelques Hz à plusieurs

centaines de Hz. Ces bruits peuvent masquer de manière significative les signaux sismiques plus faibles.

- **Transport** : Les trains, les avions et autres véhicules peuvent générer du bruit sismique détectable par les sismomètres à large bande, en particulier à des fréquences plus basses (inférieures à 1 Hz).

➤ **Sources instrumentales :**

- **Équipement électronique** : Les équipements électriques, tels que les générateurs, les lignes électriques et les ordinateurs, peuvent générer du bruit électromagnétique qui peut se coupler aux capteurs sismiques des sismomètres à large bande. Ce bruit peut être particulièrement problématique dans les environnements urbains.
- **Bruit de capteur** : Même les capteurs eux-mêmes peuvent générer du bruit interne en raison des fluctuations thermiques, des circuits électroniques et des vibrations mécaniques. Ce bruit de capteur inhérent peut limiter la sensibilité des sismomètres à large bande.

#### **IV. 4. Atténuation des effets des facteurs météorologiques et les bruits sismiques**

Face aux impacts potentiellement nuisibles des bruits sismiques et des facteurs météorologiques, il est essentiel de mettre en place des mesures d'atténuation efficaces. Cette section se concentrera sur les stratégies permettant de réduire les effets négatifs de ces perturbations sur l'environnement et les populations.

##### **IV. 4.1. Atténuation des Facteurs météorologiques**

- **Choix du site**: Installation des sismomètres dans des endroits souterrains ou abris isolés, minimisant l'impact des variations de pression et de température.
- **Systèmes de compensation de pression**: Neutralisation des effets directs de la pression atmosphérique sur les capteurs.
- **Contrôle de la température**: Maintien d'une température stable autour des capteurs grâce à la climatisation ou à des enceintes thermo-régulées.

- **Matériaux à faible dilatation thermique:** Utilisation de matériaux à faible coefficient de dilatation thermique pour les structures de support, réduisant l'impact des variations de température sur l'alignement des capteurs.
- **Encapsulation hermétique:** Protection des capteurs et de l'électronique contre l'humidité excessive et la corrosion.
- **Techniques de traitement du signal:** Filtrage et traitement des données enregistrées pour éliminer le bruit micro-barométrique, le bruit thermique et d'autres signaux liés à la pression et à la température.

#### **IV. 4. 2. Atténuation des bruits sismiques**

L'atténuation du bruit sismique est essentielle pour améliorer les performances des sismomètres à large bande et permettre la détection de signaux sismiques plus faibles. Plusieurs stratégies peuvent être employées pour atténuer le bruit et améliorer la qualité des données :

➤ **Choix du site :**

- **Emplacements éloignés :** Déployer des sismomètres dans des zones éloignées des activités humaines, telles que les centres urbains ou les zones industrielles, réduit considérablement l'impact des sources de bruit d'origine culturelle.
- **Stabilité géologique :** Sélectionner des sites avec des formations géologiques stables et un relief topographique minimal permet de minimiser les vibrations du sol induites par le vent, les variations de pression atmosphérique et d'autres phénomènes naturels.
- **Installations souterraines :** L'installation de sismomètres dans des voûtes souterraines ou des forages permet de les isoler du bruit de surface et de réduire l'influence des facteurs environnementaux.

➤ **Capteurs et instrumentation :**

- **Capteurs de haute qualité :** L'utilisation de capteurs sismiques de haute qualité avec de faibles niveaux de bruit inhérent améliore la sensibilité globale du système et renforce la capacité à détecter de faibles signaux sismiques.

- **Isolation et blindage** : Encapsuler les capteurs et l'électronique dans des supports anti-vibrations et des blindages électromagnétiques minimise le couplage du bruit provenant de sources externes.

- **Contrôle de la température** : Maintenir une température stable autour des capteurs réduit les fluctuations de bruit thermique et améliore les performances des capteurs.

➤ **Techniques de traitement des données :**

- **Filtrage** : L'application de filtres numériques aux données sismiques acquises permet d'éliminer efficacement des bandes de fréquences spécifiques de bruit, telles que les microséismes ou le bruit culturel provenant de la circulation ou des machines.

- **Empilement** : La combinaison de plusieurs traces de données enregistrées à des moments différents ou à partir de différents emplacements de capteurs peut améliorer le rapport signal/bruit en éliminant les composants de bruit aléatoire.

- **Corrélation et formation de faisceau** : L'utilisation de techniques de traitement du signal avancées telles que la corrélation et la formation de faisceau permet de supprimer davantage le bruit et de se concentrer sur des signaux sismiques spécifiques d'intérêt.

➤ **Modélisation et prévision du bruit :**

- **Caractérisation du bruit** : L'analyse des caractéristiques du bruit sismique sur un site particulier peut aider à identifier des sources de bruit spécifiques et à développer des stratégies d'atténuation ciblées.

- **Modèles de prévision du bruit** : Le développement de modèles de prévision du bruit basés sur des données environnementales, telles que la vitesse du vent ou la circulation, permet d'anticiper les niveaux de bruit et d'optimiser le moment d'acquisition des données.

- **Acquisition adaptative des données** : La mise en œuvre de stratégies d'acquisition adaptative des données permet d'ajuster les paramètres d'enregistrement en fonction de la surveillance du bruit en temps réel, garantissant une qualité de données optimale dans des conditions de bruit variables.

En mettant en œuvre ces techniques d'atténuation du bruit, les sismologues peuvent améliorer de manière significative la qualité des données sismiques collectées par les sismomètres à large bande, permettant une détection et une caractérisation plus précises des tremblements de terre, des éruptions volcaniques et d'autres événements sismiques.

## **V. Conclusion**

Les sismomètres à large bande, outils précieux pour la surveillance sismique, se confrontent néanmoins au défi permanent du bruit sismique. Ce bruit ambiant, provenant de sources naturelles et anthropiques, masque et perturbe les signaux sismiques d'intérêt, limitant la capacité des sismomètres à détecter les événements de faible magnitude.

Heureusement, des techniques sophistiquées d'atténuation du bruit ont été développées pour contrer ce défi. En combinant des choix judicieux de site d'installation, des capteurs et instruments de haute qualité, des techniques de traitement de données avancées et des modèles de prévision du bruit, les sismologues parviennent à atténuer considérablement le bruit sismique et à améliorer la qualité des données enregistrées.

Ces efforts continus permettent aux sismomètres à large bande de jouer un rôle crucial dans la compréhension des phénomènes géologiques profonds, la surveillance des risques sismiques et l'évaluation des dangers naturels. Grâce à une lutte incessante contre le bruit sismique, ces sentinelles silencieuses nous livrent des informations précieuses sur les secrets cachés de notre planète dynamique.

En conclusion, la lutte contre le bruit sismique est une composante essentielle pour garantir la performance optimale des sismomètres à large bande. En s'attaquant à ce défi, les scientifiques renforcent notre capacité à décrypter les murmures de la Terre, nous éclairant sur les processus géologiques qui façonnent notre planète et les risques sismiques qui nous entourent.

# ***CHAPITRE II :***

***Conception et réalisation  
d'un système de contrôle  
d'environnement pour  
sismomètre large bande***

## **I. Introduction**

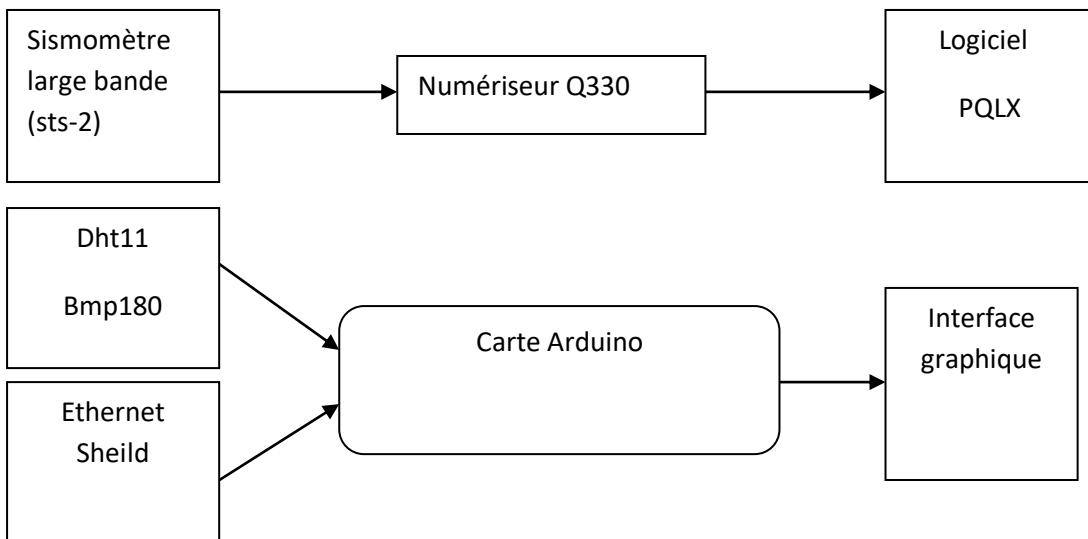
Nous allons présenter dans le présent chapitre les éléments essentiels et le matériel nécessaires pour concevoir et réaliser un système de contrôle d'environnement pour sismomètre large bande, après avoir abordé l'essentiel de tout ce qui entoure la naissance des séismes et les différents types d'ondes et les bruits sismiques qui se manifestent lors d'un tremblement de terre.

Dans un premier temps, nous aborderons la description du matériel et de développement du code. Ensuite, nous exprimons notre point de vue global sur le logiciel utilisé et le fonctionnement. Nous terminerons ce chapitre par une présentation des fonctionnalités de notre réalisation.

Ce système permet de collecter des mesures à partir de capteurs et de les enregistrer dans un fichier texte sur pc. Le format texte est choisi pour faciliter l'accès aux données avec l'application coolTerm de plus, ce système permet également de visualiser les données en temps réel sur un PC. Cette section va détailler les éléments du système, son fonctionnement et l'ajout de la fonctionnalité de visualisation sur PC. Accessible aisément avec un logiciel de type tableur (Excel).

Les différents blocs de la chaîne d'acquisition des données sont les suivants :

- Bloc des capteurs
- Bloc de traitement.
- Bloc d'affichage



**Figure II.1** : Schéma synoptique

## II. Partie matérielle

Dans ce travail nous avons utilisé deux capteurs. Le capteur de température et d'humidité DHT11 est un dispositif numérique qui mesure à la fois la température ambiante et l'humidité relative de son environnement. Ce composant est essentiel dans divers projets électroniques. En complément, le capteur de pression atmosphérique BMP180, également numérique, évalue la pression atmosphérique absolue et la température.

### II.1. Capteur de température et d'humidité DHT11



**Figure II.2** : Capteur de température et d'humidité [6]

La technologie utilisée pour fabriquer le capteur DHT11 offre une sortie numérique qui est proportionnelle à la température et à l'humidité mesurée. Cette technologie assure une grande fiabilité, une stabilité à long terme exceptionnelle et une réponse très rapide.

Un connecteur à 3 broches est utilisé pour réaliser l'interface physique du capteur : +5V, GND et DATA. Les deux premières broches, l'alimentation et la terre, servent à alimenter le capteur, tandis que la troisième broche représente le signal numérique de sortie du capteur.

[15]

➤ **Caractéristiques :**

- Alimentation : 5V.
- Consommation : 0.5 mA en minimal/ 2.5 mA en maximum.
- Etendue de mesure de température : 0°C à 50°C ± 2°C.
- Etendue de mesure humidité : 20-90% RH ±5%.
- Description des entrées / sorties :
- Broche 1: 5V.
- Broche 2: sortie numérique.
- Broche 3: non-utilisée
- Broche 4: GND

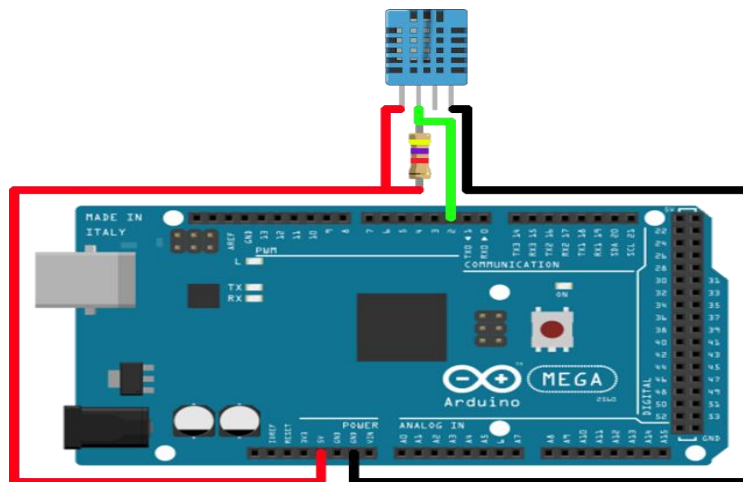
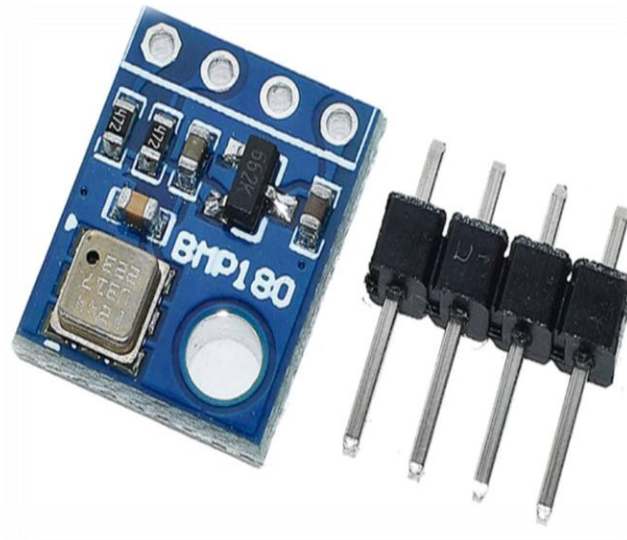


Figure II.3 : Câblage de DHT11 avec Arduino Due [7]

## II.2. Capteur de pression barométrique et de température BMP 180



**Figure II.4 : capteur de pression BMP180 [8]**

Le BMP180 est un capteur créé par Bosch capable de mesurer à la fois la température et la pression barométrique. [16]

➤ **Caractéristiques du BMP180 :**

- Plage de pression : 300 à 1100 hPa (équivalente à une altitude de 9 000 à -500 mètres au-dessus du niveau de la mer)
- Résolution de la pression : jusqu'à 0,03 hPa (correspond à une différence d'altitude d'environ 0,25 mètre)
- Précision de la pression :  $\pm 0,12$  hPa
- Plage de température :  $-40^{\circ}\text{C}$  à  $+85^{\circ}\text{C}$
- Précision de la température :  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$

➤ **Interface de communication :**

- I2C (protocole de communication série bidirectionnelle)

➤ **Alimentation :**

- Tension d'alimentation : 1,8 V à 3,3 V
- Consommation de courant : 5  $\mu$ A (en mode normal).

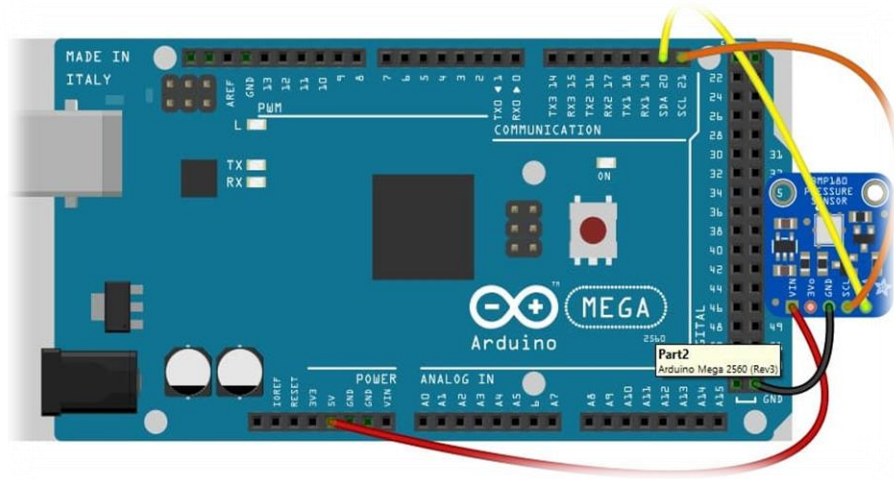


Figure II.5 : Câblage de bmp180 avec Arduino Due [9]

### II.3. Carte arduino DUE

La carte Arduino DUE est basée sur un Atmel ARM Cortex SAM3X8E cadencé à 84 MHz sous 32 bits. Elle dispose de 54 E/S dont 12 PWM, 12 analogiques et 4 UARTs. Cette carte est idéale pour des applications exigeant des caractéristiques plus complètes que la Uno

#### Caractéristiques Arduino DUE :

Les principales caractéristiques de la carte Due sont :

- Horloge à 84 MHz
- ROM de 512 kB. Il s'agit de la mémoire morte, l'endroit où sont stockés les programmes exécutables une fois compilés sur l'ordinateur.
- RAM de 96 kB. C'est la mémoire vive, là où sont stockées de manière temporaire les variables lors de l'exécution du programme.

CAN de résolution 12 bits : codage des signaux analogiques entre 0 et 4095.

- 2 sorties CNA (DAC en anglais) de 12 bits. C'est une spécificité de la carte Due.

- 54 entrées/sorties numériques (digitales).
- 12 entrées analogiques. • 12 sorties PWM

Précisons quelques points :

- Une entrée numérique peut recevoir un signal logique : soit 0 soit 3,3 V.
- Une sortie numérique envoie un signal logique : soit 0 soit 3,3 V.
- Une entrée analogique peut recevoir une tension analogique comprise entre 0 et 3,3 V. Elle est associée à un CAN. [17]

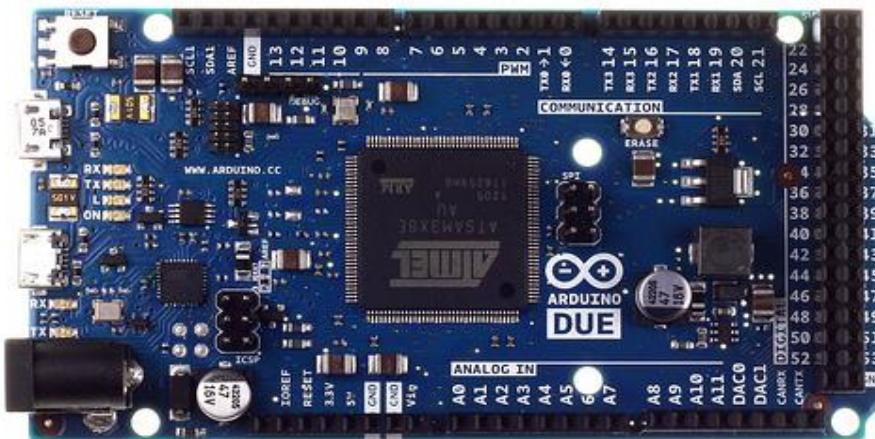


Figure II.6 :La carte Arduini Due [10]

#### II.4. Microcontrôleur Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3

basé sur l'architecture ARM Cortex-M3, se distingue par sa puissance de traitement remarquable et sa faible consommation d'énergie, faisant de lui un choix idéal pour une large gamme d'applications embarquées. [18]

**Caractéristiques :**

- Microcontrôleur ARM Cortex-M3
- Fréquence d'horloge : 84 MHz
- Mémoire flash : 512 Ko
- Mémoire SRAM : 100 Ko
- Consommation d'énergie faible

- 54 broches d'E/S numériques
- 12 entrées analogiques 10 bits
- 2 sorties analogiques
- 3 ports série
- Bus I2C et SPI
- Intensité par E/S : 3 ou 15 mA (selon la broche)
- Intensité totale pour les sorties : 130 mA
- Gestion des interruptions
- Alimentation : 3,3 V
- Température de fonctionnement : -40°C à +85°C
- Boîtier TQFP100
- Largement utilisé dans les applications embarquées.



**FigureII.7 :Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3 [11]**

## **II.5. La carte Ethernet Shield**

La carte Ethernet Shield est une extension précieuse pour les cartes Arduino, permettant la connexion à un réseau Ethernet et ouvrant ainsi un large éventail de possibilités pour le contrôle des appareils via Internet ou un réseau local. Dotée d'un contrôleur Ethernet intégré, elle supporte les protocoles de communication réseau standard tels que TCP/IP, assurant une compatibilité avec diverses versions de cartes Arduino telles que l'ArduinoUno, Mega, et autres modèles compatibles.

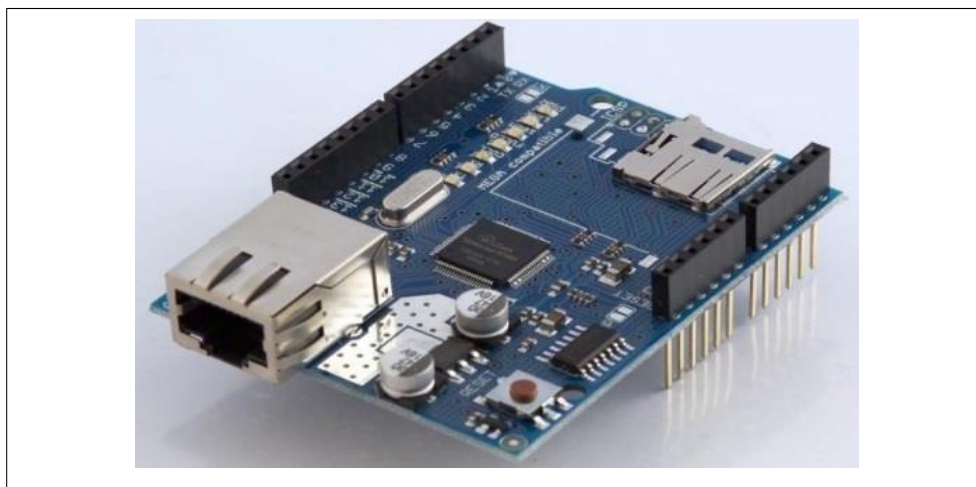
Sur le plan technique, la carte Ethernet Shield est équipée d'une prise RJ45 pour la connexion au réseau Ethernet, ainsi que d'une carte microSD intégrée permettant le

stockage local des données sur la carte SD. Elle utilise une bibliothèque Ethernet dans l'IDE Arduino, simplifiant ainsi la programmation pour la communication sur le réseau. Cela lui permet d'établir des connexions TCP ou UDP avec d'autres appareils sur le réseau, ainsi que d'utiliser le protocole HTTP pour créer des serveurs web embarqués.

Grâce à la carte Ethernet Shield, les projets Arduino peuvent bénéficier de fonctionnalités de communication réseau étendues, telles que le contrôle à distance, la surveillance à distance, la collecte de données sur le cloud, et bien d'autres applications encore. Elle est largement utilisée dans les domaines de l'automatisation domestique, de l'Internet des objets (IoT), des systèmes de surveillance et de contrôle à distance, ainsi que dans d'autres applications nécessitant une connectivité réseau fiable et robuste.

**Caractéristiques :**

- Interface empilable pour connecter une carte Arduino à un réseau Ethernet ou Internet.
- Il dispose d'un connecteur RJ45 standard pour la connexion du câble réseau.
- Basé sur le chipset Ethernet Wiznet W5500.
- Connectivité Ethernet: 10/100 Mbps.
- Connexion à Arduino via SPI (Serial Peripheral Interface).



**Figure II.8 : La carte Ethernet Shield [12]**



Figure II.9: Ethernet Shield montée sur une carte Arduino Due

## II.6. Sismomètre tri composantes large bande (STS-2)

Le STS-2 utilise un capteur sismique de type force-bobine (force-feedback sismomètre). Ce capteur est basé sur un système de masse suspendue (pendule) qui réagit aux mouvements du sol. Le capteur utilise des bobines et des aimants pour mesurer les mouvements de la masse suspendue, convertissant ainsi les mouvements en signaux électriques qui sont ensuite enregistrés et analysés.

Les caractéristiques techniques du sismomètre STS-2 sont essentielles pour comprendre son fonctionnement et sa capacité à détecter les mouvements sismiques avec une grande précision. Voici une description détaillée de certaines de ces caractéristiques :

### ➤ Sensibilité :

Le sismomètre STS-2 est extrêmement sensible, capable de détecter des mouvements du sol aussi petits que quelques nanomètres ( $10^{-9}$  mètres). Sa sensibilité élevée permet de détecter une large gamme d'événements sismiques, des petits tremblements de terre locaux aux grands séismes mondiaux.

➤ **Bande Passante :**

Le STS-2 a une bande passante très large, allant de fréquences très basses (périodes de plusieurs secondes) à des fréquences relativement élevées (périodes de quelques dizaines de secondes). Typiquement, sa bande passante est de l'ordre de 0.008 Hz à 50 Hz, ce qui lui permet de détecter une grande variété de signaux sismiques.

➤ **Gamme Dynamique :**

Le sismomètre STS-2 a une gamme dynamique étendue, ce qui signifie qu'il peut mesurer des mouvements sismiques de différentes amplitudes sans saturation. Sa gamme dynamique peut généralement atteindre jusqu'à  $\pm 2$  g (où g est l'accélération gravitationnelle standard de  $9,8 \text{ m/s}^2$ ), ce qui permet de capturer à la fois de petits et de grands événements sismiques.

➤ **Stabilité et Réponse Instrumentale :**

Le STS-2 est conçu pour être extrêmement stable et possède une réponse instrumentale très linéaire sur toute sa gamme de fonctionnement. Sa stabilité est cruciale pour détecter avec précision les mouvements du sol sur de longues périodes sans dérive significative.

➤ **Filtres et Réjection du Bruit :**

Le sismomètre STS-2 est équipé de filtres intégrés pour éliminer les fréquences indésirables et réduire le bruit de fond. Cela permet d'améliorer la qualité des enregistrements sismiques en filtrant les interférences et les perturbations externes.

➤ **Sorties et Connectivité :**

Le sismomètre STS-2 produit des signaux de sortie analogiques (généralement sous forme de tension) qui sont ensuite numérisés pour être enregistrés et traités par des systèmes informatiques. Il peut être connecté à des enregistreurs de données sismiques pour l'acquisition et l'analyse des données.

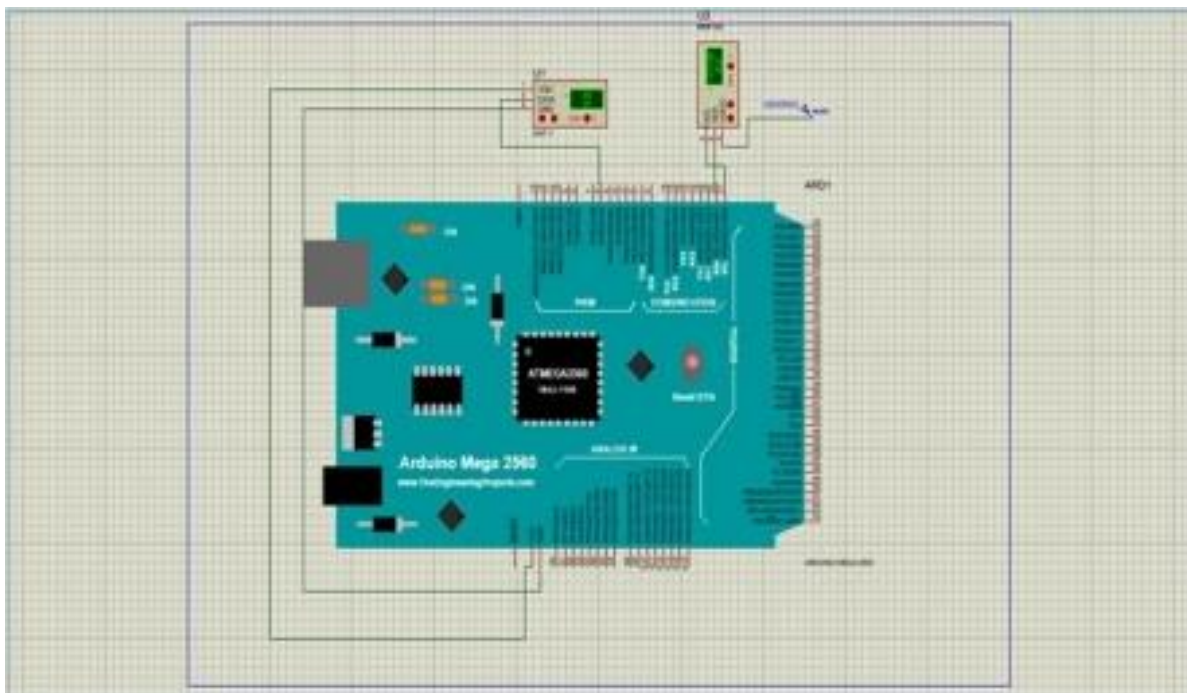
### III. Conception du circuit

Nous avons exploré les composants matériels essentiels qui constitueront les fondements de notre système de contrôle d'environnement pour sismomètre large bande, Passons de la phase de sélection des composants à la conception du circuit.

Dans cette partie, nous allons concevoir un système d'acquisition de mesures. Celui-ci stockera les mesures sur PC dans un format textuel facilement utilisable avec un logiciel de type tableur (Excel).

Pour enrichir notre système de mesure environnementale, nous allons ajouter la fonctionnalité d'affichage de la date et de l'heure. Cela permettra d'associer chaque mesure enregistrée à un horodatage précis, améliorant ainsi la gestion et l'analyse des données.

Pour la synchronisation, nous avons utilisé la bibliothèque TimeLib qui prend en compte l'horloge interne du PC grâce à la communication EthernetShield avec un réseau internet.



**Figure II.10** : le circuit électrique

La carte Arduino DUE sert de microcontrôleur principal du système, responsable de la collecte des données des capteurs, du traitement des informations. Branché via un port USB (PC).

### **III.1. Interface du capteur DHT11**

➤ **Broches du capteur :**

Broche 1: 5V.

Broche 2: sortie numérique (broche 6).

Broche 3: GND.

➤ **Communication :**

Le DHT11 utilise un protocole propriétaire pour envoyer des données de température et d'humidité.

Pour lire les données du DHT11 :

- Initialiser la broche DATA en tant qu'entrée.
- Envoyez une impulsion de démarrage en tirant la broche DATA bas pendant au moins 18 ms, puis laisser la ligne remonter à l'état haut.
- Le capteur répondra avec une séquence de données, qui peut être lue bit par bit.

➤ **Bibliothèques Arduino :**

Pour utiliser le DHT11 avec Arduino, vous pouvez utiliser la bibliothèque DHT.h pour simplifier la lecture des données.

### **III.2. Interface du capteur BMP180**

Le capteur BMP180 est un capteur de pression atmosphérique et de température. Voici comment vous pouvez l'interfacer avec un microcontrôleur :

➤ **Broches du capteur BMP180 :**

Broche 1 : 3,3 V

Broche 2 : GND

Broche 3 (SDA) : 20 (ligne de données série) du microcontrôleur pour l'I2C.

Broche 4 (SCL) : 21(ligne d'horloge série) du microcontrôleur pour l'I2C.

➤ **Communication :**

Le BMP180 utilise le protocole de communication **I2C** pour transmettre les données de pression et de température.

Pour lire les données du BMP180 :

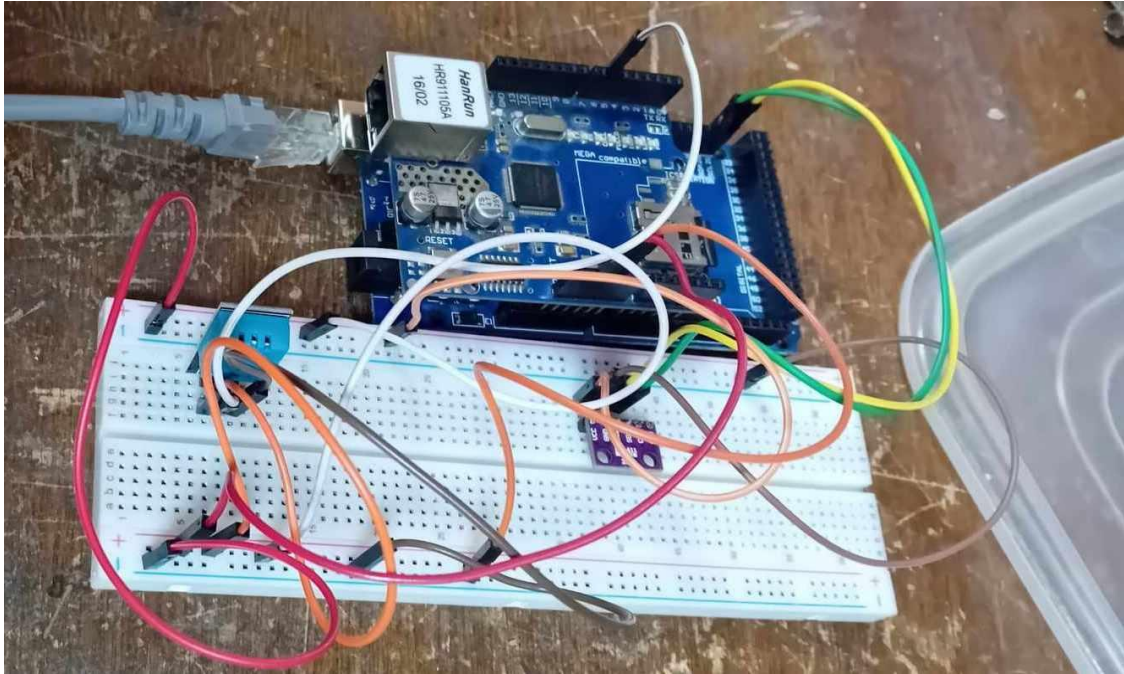
- Connecter le capteur au bus I2C de notre microcontrôleur.
- Utiliser une bibliothèque I2C comme Wire.h sur Arduino pour communiquer avec le capteur.
- Envoyer des commandes I2C pour demander les lectures de pression et de température au BMP180.

➤ **Bibliothèques Arduino :**

Pour utiliser le BMP180 avec Arduino, on a utilisé des bibliothèques comme Adafruit\_BMP085\_Unified ou Adafruit\_BMP180 pour faciliter l'interaction avec le capteur via I2C.

En plus des composants principaux décrits précédemment, notre système de contrôle d'environnement pour sismomètre large bande peut bénéficier de l'ajout d'extensions supplémentaires pour améliorer ses fonctionnalités et sa connectivité. Parmi ces extensions, la carte Ethernet Shield se distingue comme une option précieuse pour élargir les capacités de communication et de gestion de données du système. Cette extension est placée directement sur la carte Arduino DUE, offrant ainsi une intégration transparente et une facilité d'utilisation. Grâce à la carte Ethernet Shield, notre système peut se connecter à un réseau Ethernet, permettant une communication à distance et la possibilité de transférer des données vers des serveurs ou des plates-formes en ligne. Dotée d'un contrôleur

Ethernet intégré, cette carte étend les possibilités de notre système en lui permettant de communiquer avec d'autres appareils sur le réseau, de créer des serveurs web embarqués et de configurer une horloge en temps réel.



**Figure II.11** : montage du circuit

#### **IV. Logicielles et interface graphique utilisées**

Pour accompagner notre matériel on utilise les logiciels suivant :

##### **IV.1. IDE Arduino**

L'interface IDE Arduino est plutôt simple, elle offre une interface minimale et épurée pour développer un programme sur les cartes Arduino. Elle est dotée d'un éditeur de code avec coloration syntaxique et d'une barre d'outils rapide. Ce sont les deux éléments les plus importants de l'interface, c'est ceux que l'on utilise le plus souvent. On retrouve aussi une barre de menus, plus classique qui est utilisée pour accéder aux fonctions avancées de l'IDE. Enfin, une console pour afficher les résultats de la compilation du code source, des opérations sur la carte, etc.

Le langage Arduino est inspiré de plusieurs langages. On retrouve notamment des similarités avec le **C**, le **C++**, le **Java** et le **Processing**. Le langage impose une structure particulière typique de l'informatique embarquée.

La fonction « **Setup** » contiendra toutes les opérations nécessaires à la configuration de la carte (directions des entrées sorties, débits de communications série, etc.).

La fonction « **Loop** », elle est exécutée en boucle après l'exécution de la fonction setup. Elle continuera de boucler tant que la carte n'est pas mise hors tension, redémarrée par le bouton reset. Cette boucle est absolument nécessaire sur les microcontrôleurs, étant donné qu'ils n'ont pas du système d'exploitation. En effet, si cette boucle est omise, à la fin du code produit. [19]

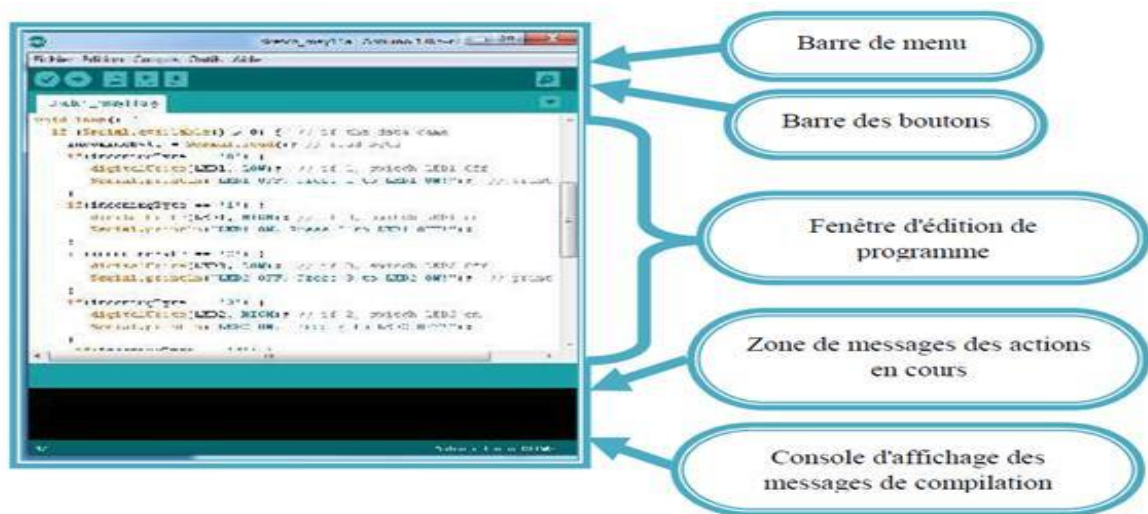


Figure II.12 : L'interface IDE Arduino.

➤ **Structure générale d'un programme sur l'IDE :**

Un programme utilisateur Arduino est une suite d'instructions élémentaires sous forme textuelle, ligne par ligne. La carte lit puis exécute les instructions les unes après les autres, dans un ordre défini par les lignes du code. [15]

La structure d'écriture d'un programme sous Arduino est représentée par la figure suivante :

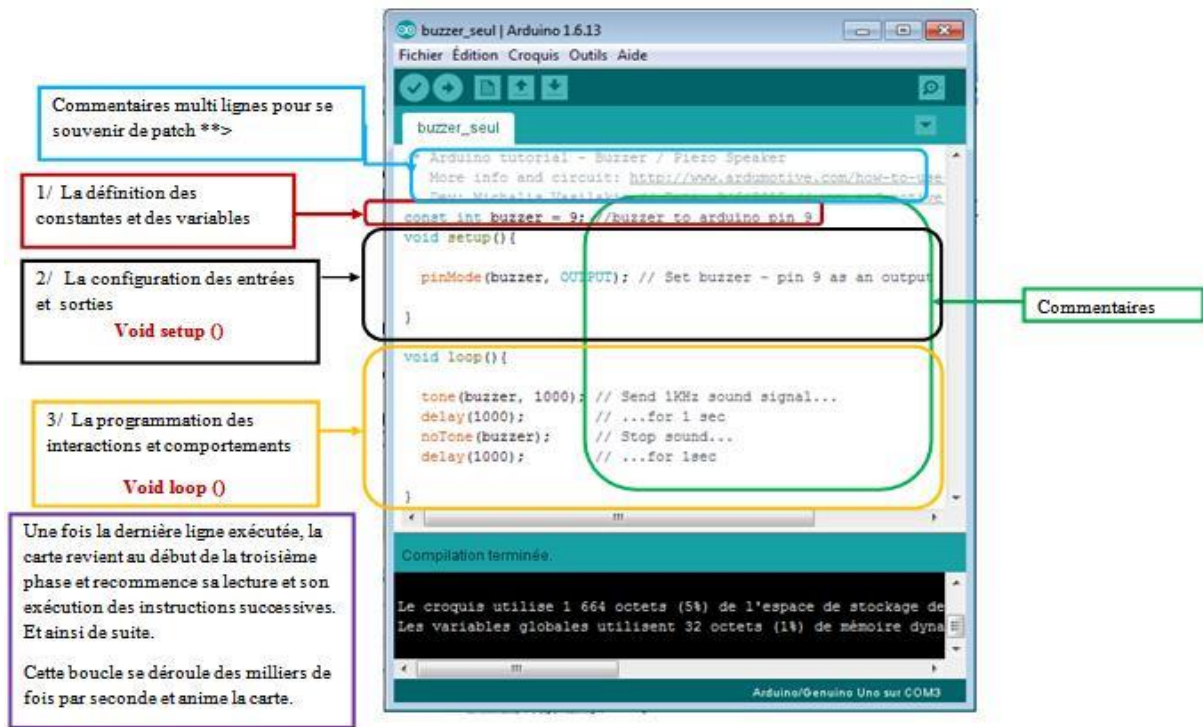
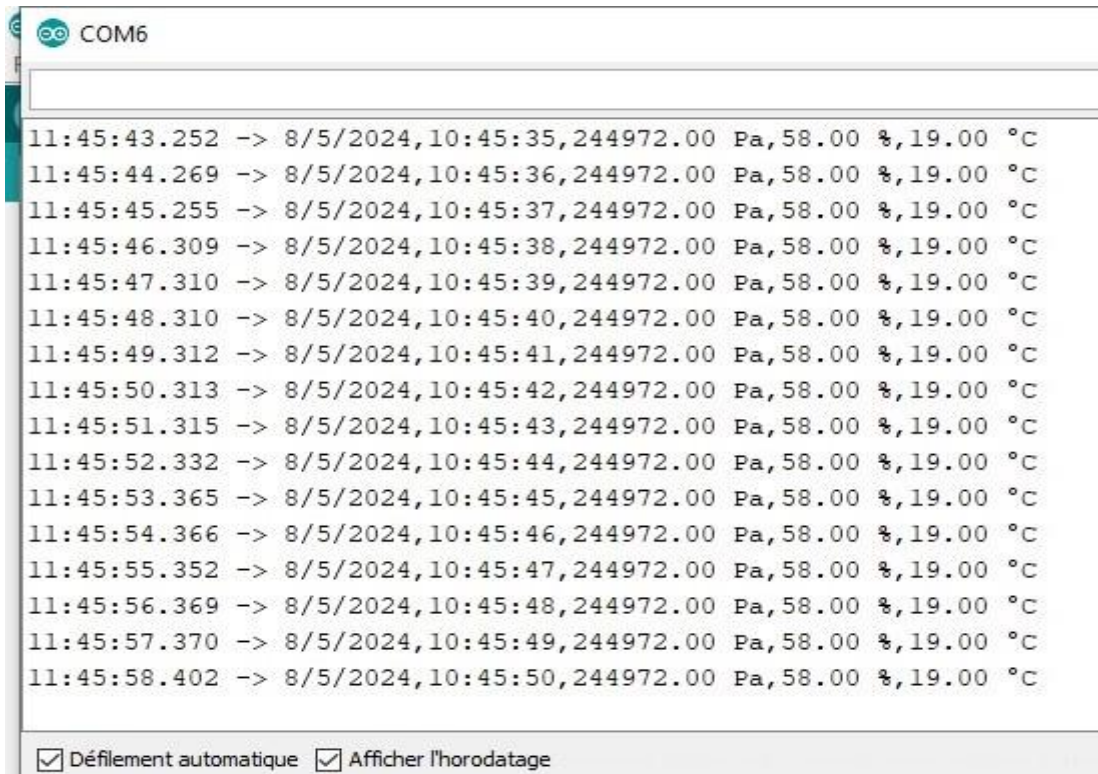


Figure II.13 : Structure générale d'un programme sur l'IDE

### ➤ Le moniteur série

L'IDE Arduino intègre un outil crucial pour l'interaction avec les carteArduino : le moniteur série.

Il s'agit d'une interface qui permet d'établir une communication bidirectionnelle entre votre ordinateur et la carte, en utilisant des données textuelles. Cet outil joue un rôle essentiel dans le débogage et le test de vos programmes Arduino.



**Figure II.14 :** Résultats affichés sur le moniteur série (PC)

## IV.2. Interface graphique (CoolTerm)

CoolTerm est une application de terminal série simple et gratuite (sans émulation de terminal) conçue pour les débutants et les professionnels qui ont besoin d'échanger des données avec du matériel connecté à des ports série tels que des servocontrôleurs, des kits robotiques, des récepteurs GPS, des microcontrôleurs, etc.

Le design de l'interface graphique de CoolTerm se distingue par sa simplicité et son ergonomie, mettant l'accent sur la fonctionnalité plutôt que sur l'esthétique. Grâce à cette méthode minimaliste, elle est accessible à tous les utilisateurs, tout en fournissant les outils indispensables pour la communication en série.

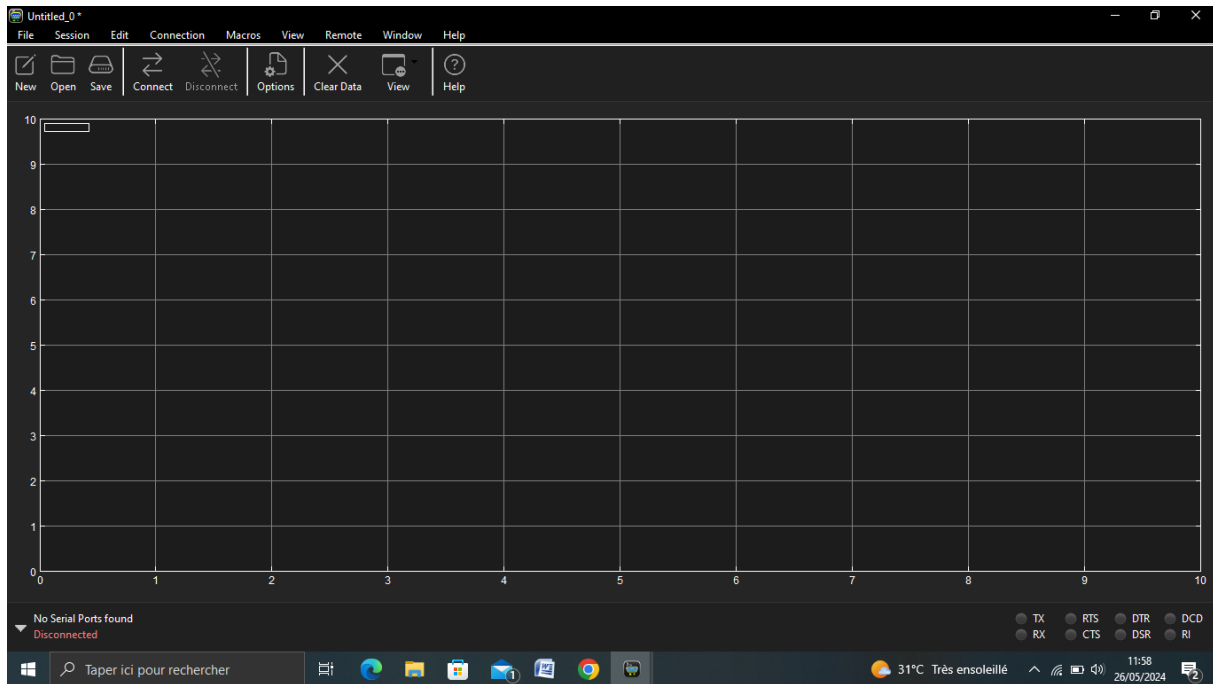


Figure II.15:L'interface graphique

➤ **La fenêtre principale de CoolTerm :**

Elle se compose des éléments suivants:

➤ **Barre de menus :**

- **Fichier:** Ouvre, ferme et enregistre les sessions de communication série.
- **Paramètres:** Configure les paramètres de communication série tels que le port série, le débit en bauds et les bits de parité.
- **Affichage:** Permet de personnaliser l'affichage de la zone de texte du terminal.
- **Aide:** Accède à l'aide en ligne et aux informations sur la version.

➤ **Barre d'outils :**

- **Ouvrir le port:** Ouvre le port série sélectionné.
- **Fermer le port:** Ferme le port série actuellement ouvert.
- **Envoyer:** Envoie les données saisies dans la zone de texte du terminal vers le périphérique série.

- Réception: Active la réception des données du périphérique série.
  - Effacer: Efface le contenu de la zone de texte du terminal.
  - Enregistrer: Enregistre les données reçues dans un fichier.
  - Ouvrir le fichier: Ouvre un fichier contenant des données à envoyer au périphérique série.
- **Zone d'affichage du terminal :**
- Affiche les données reçues du périphérique série en temps réel.
  - Permet de saisir des données à envoyer au périphérique série.
- **Barre d'état :**
- Affiche le port série actuellement ouvert.
  - Affiche l'état de la connexion (ouvert ou fermé).
  - Affiche le débit en bauds actuel.
- **Options de personnalisation :**

Vous pouvez personnaliser l'interface graphique de CoolTerm en accédant au menu Affichage de la barre de menus. Les options de personnalisation incluent:

- Police et taille de la police: Permet de modifier la police et la taille de la police de la zone d'affichage du terminal.
- Horodatage: Permet d'afficher ou non l'heure et la date dans les horodatages des données reçues.

## **V. Aperçu du système de contrôle d'environnement pour sismomètre large bande**

Le système de contrôle d'environnement pour sismomètre large bande est conçu pour collecter et enregistrer des données environnementales telles que la température,

l'humidité et la pression atmosphérique à proximité d'un sismomètre. Ces données peuvent être utiles pour comprendre les conditions environnementales locales et leur impact potentiel sur les performances du sismomètre.

### **V .1. Fonctionnement général**

Le système fonctionne en suivant les étapes suivantes :

- **Initialisation des capteurs:** Au démarrage du système, les capteurs DHT11 et BMP180 sont initialisés et configurés pour la communication avec la carte Arduino DUE.
- **Lecture des données des capteurs:** À intervalles réguliers (par exemple, toutes les minutes), le système lit les données de température, d'humidité et de pression atmosphérique des capteurs DHT11 et BMP180.
- **Traitement des données:** Les données lues sont ensuite traitées pour calculer des valeurs moyennes ou d'autres paramètres pertinents.
- **Enregistrement des données:** Les données traitées sont transmises à Ethernet vers un serveur ou une autre plate-forme de stockage.
- **Affichage des données:** Les données sont transmises à un ordinateur pour une analyse plus approfondie

### **V.2. Présentation des fonctionnalités finales de notre réalisation**

Une fois le système construit, nous entreprenons une série de tests rigoureux pour garantir son bon fonctionnement, sa fiabilité et sa robustesse, en particulier dans le contexte de son interaction avec le sismomètre large bande. Nous commençons par des tests de fonctionnement des capteurs, où nous vérifions la précision et la cohérence des données fournies par le capteur de température et d'humidité DHT11 ainsi que par le capteur de pression barométrique et de température BMP180. Ces tests impliquent l'exposition des capteurs à une gamme de conditions environnementales pour vérifier leur capacité à détecter avec précision les variations de température, d'humidité et de pression. Ensuite, nous effectuons des tests de

communication entre les composants, en nous assurant que la carte Arduino due peut recevoir correctement les données des capteurs via leurs interfaces respectives et les traiter de manière appropriée. En ce qui concerne le sismomètre large bande, nous vérifions son intégration avec le système en nous assurant que les signaux sismiques sont capturés efficacement et traités avec précision par le système de contrôle d'environnement. Nous testons également la robustesse du système en le soumettant à des conditions extrêmes, telles que des variations de température et des vibrations, pour évaluer sa résistance et sa capacité à fonctionner de manière fiable dans des environnements réels. Ces tests nous permettent de valider le système dans son ensemble et de garantir qu'il est prêt à être déployé pour surveiller et enregistrer les données sismiques avec une haute précision et fiabilité.

## **VI. Organigramme**

Tout programme se développe grâce à un organigramme dans lequel nous écrivons les instructions du programme.

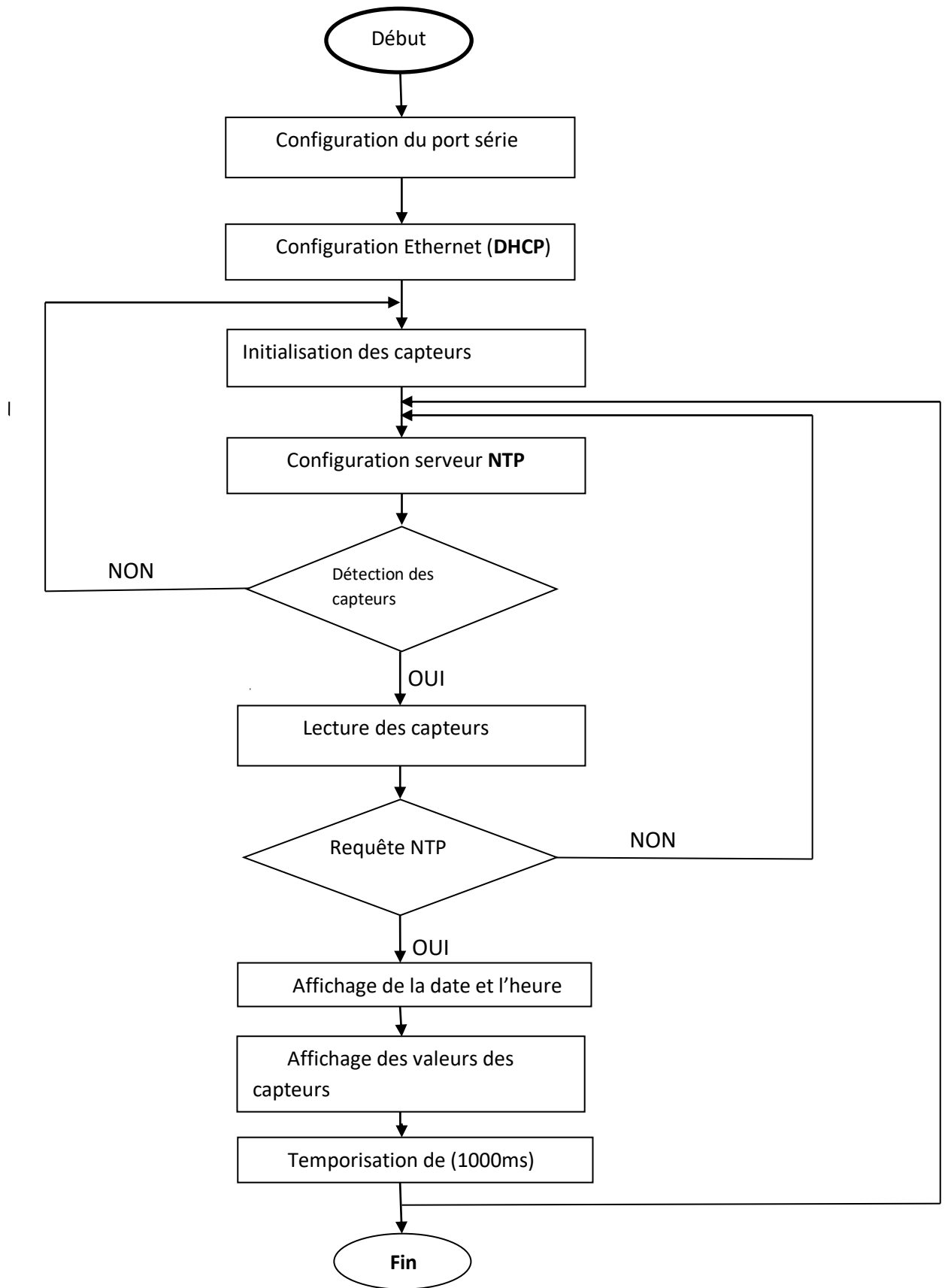


Figure II.16: Organigramme du programme principal qui gère le système

## **VI. Conclusion**

Pour conclure ce chapitre, nous avons détaillé les éléments essentiels et les matériels nécessaires pour concevoir un système de contrôle d'environnement destiné à un sismomètre large bande. Nous avons commencé par décrire le matériel, notamment les capteurs de température, d'humidité et de pression, et la manière dont ces capteurs interagissent avec une carte Arduino DUE et un module Ethernet Shield pour assurer la collecte et le traitement des données.

Ensuite, nous avons exposé le fonctionnement du système, incluant l'initialisation des capteurs, la lecture et le traitement des données, l'enregistrement des mesures et l'affichage des informations collectées. Les fonctionnalités du système, telles que la visualisation en temps réel sur un PC à l'aide du logiciel CoolTerm, ont également été soulignées.

Des tests rigoureux ont été effectués pour garantir la précision, la fiabilité et la robustesse du système, en particulier dans le cadre de son intégration avec un sismomètre large bande. Ces tests ont confirmé la capacité du système à capturer et traiter avec précision les signaux sismiques et les variations environnementales.

En résumé, ce chapitre a posé les bases d'un système de contrôle d'environnement efficace, capable de surveiller et d'enregistrer des données sismiques et environnementales avec une grande précision, tout en offrant des possibilités d'extension et de flexibilité pour des améliorations futures.

***CHAPITRE III :***  
***Testes et Résultats***

## I. Introduction

Ce chapitre présente et analyse les résultats obtenus à partir du système de contrôle d'environnement pour sismomètre large bande que nous avons utilisés. L'objectif de cette partie est de fournir une évaluation détaillée des performances du système, de la précision des données collectées, et de la corrélation entre les variables environnementales et les mesures sismiques.

Nous commencerons par décrire le processus de collecte des données, incluant les conditions expérimentales et les méthodes de préparation des données pour l'analyse. Ensuite, nous présenterons les résultats de la collecte des données environnementales (température, humidité, et pression barométrique) et des données sismiques, en utilisant des outils de visualisation et des techniques statistiques pour une interprétation approfondie.

L'analyse des données environnementales portera sur les variations et les tendances observées, en le comparant aux valeurs de référence pour valider la précision de nos capteurs. Nous examinerons ensuite les enregistrements sismiques, en identifiant les événements détectés et en analysant leur fréquence et leur amplitude. Une attention particulière sera accordée à la corrélation entre les conditions environnementales et les mesures sismiques, afin de déterminer l'impact potentiel des variations environnementales sur les données sismiques.

Pour faciliter la compréhension des résultats, nous utiliserons diverses visualisations graphiques. Enfin, nous discuterons les implications de nos résultats, les limitations rencontrées lors de l'étude, et les perspectives pour des améliorations futures de notre système. Cette analyse rigoureuse nous permettra de tirer des conclusions claires sur l'efficacité et la fiabilité de notre système de contrôle d'environnement pour sismomètre large bande.

## II. Évaluation des Performances du Sismomètre STS-2 (De l'Environnement Contrôlé aux Conditions Réelles)

Le sismomètre STS-2, un instrument crucial pour la surveillance sismique, joue un rôle essentiel dans la compréhension et la prévision des tremblements de terre. Pour garantir la

précision et la fiabilité des mesures sismiques dans des environnements variés, une évaluation rigoureuse du système est indispensable.

Dans cette section, nous allons explorer les différentes étapes clés de cette évaluation approfondie :

## II.1 Conditions de Test

Le succès d'un système réside dans sa capacité à fonctionner de manière fiable et efficace dans une variété de conditions. Pour garantir cette robustesse, des tests rigoureux sont indispensables. Dans cette section, nous allons explorer les conditions de test mises en œuvre pour évaluer le comportement du système dans différents environnements.

- **Lieu de Test:** Les tests ont été effectués dans un environnement contrôlé, spécifiquement aménagé pour minimiser les interférences extérieures et garantir la stabilité des conditions de mesure.



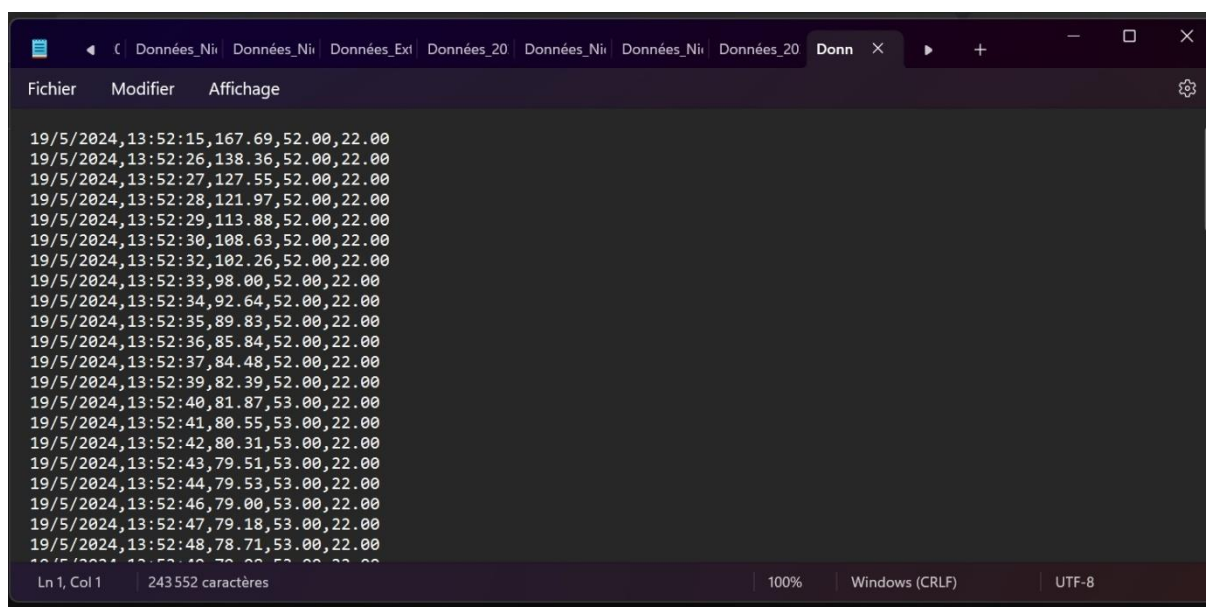
**Figure III.1 :** La niche du sismomètre.

- **Durée des Tests:** Les données ont été collectées sur une période de plusieurs heures (24h) pour garantir une quantité suffisante de données et pour observer les variations des facteurs environnementaux.
- **Conditions Environnementales:** Le lieu de test doit être équipé de dispositifs pour maintenir des conditions environnementales stables (climatiseurs, déshumidificateur,

Régulateur de Pression et Isolateur de Vibration) afin de contrôler les variations naturelles pour tester la réponse du système à différents scénarios environnementaux.

## II.2 collecte des Données pour l'Analyse

L'analyse de données est un processus essentiel pour extraire des informations précieuses et comprendre des phénomènes complexes. Dans le contexte de l'analyse environnementale, la préparation des données joue un rôle crucial en garantissant que les informations brutes soient organisées et accessibles de manière efficace. C'est là qu'intervient un logiciel d'analyse performant comme CoolTerm.



```
19/5/2024,13:52:15,167.69,52.00,22.00
19/5/2024,13:52:26,138.36,52.00,22.00
19/5/2024,13:52:27,127.55,52.00,22.00
19/5/2024,13:52:28,121.97,52.00,22.00
19/5/2024,13:52:29,113.88,52.00,22.00
19/5/2024,13:52:30,108.63,52.00,22.00
19/5/2024,13:52:32,102.26,52.00,22.00
19/5/2024,13:52:33,98.00,52.00,22.00
19/5/2024,13:52:34,92.64,52.00,22.00
19/5/2024,13:52:35,89.83,52.00,22.00
19/5/2024,13:52:36,85.84,52.00,22.00
19/5/2024,13:52:37,84.48,52.00,22.00
19/5/2024,13:52:39,82.39,52.00,22.00
19/5/2024,13:52:40,81.87,53.00,22.00
19/5/2024,13:52:41,80.55,53.00,22.00
19/5/2024,13:52:42,80.31,53.00,22.00
19/5/2024,13:52:43,79.51,53.00,22.00
19/5/2024,13:52:44,79.53,53.00,22.00
19/5/2024,13:52:46,79.00,53.00,22.00
19/5/2024,13:52:47,79.18,53.00,22.00
19/5/2024,13:52:48,78.71,53.00,22.00
19/5/2024,13:52:48,78.00,53.00,22.00
```

Figure III.2 :Données collectées en temps réel

## II.3 Analyse des Données Environnementales

L'analyse des données environnementales joue un rôle essentiel dans l'identification et la compréhension de ces conditions optimales, garantissant ainsi la précision et la fiabilité des mesures sismiques.

### **III. Conditions Environnementales Optimales pour le Sismomètre STS-2**

Le sismomètre large bande STS-2 est un instrument sensible utilisé pour mesurer les mouvements du sol causés par les séismes et d'autres phénomènes. Pour assurer des performances optimales, il est essentiel de maintenir des conditions environnementales stables, y compris la température, la pression et l'humidité.

La plage de température idéale pour un sismomètre STS-2 se situe généralement entre -10°C et 40°C. Des variations de cette plage peuvent entraîner des déviations dans les mesures où endommager l'instrument. Concernant la pression atmosphérique, les sismomètres STS-2 sont conçus pour fonctionner dans des conditions standards, autour de 1013 hPa (hectopascals). Bien qu'ils puissent opérer dans une plage de pressions plus large, des ajustements peuvent être nécessaires pour corriger les mesures en cas de variations significatives.

Pour l'humidité, les sismomètres STS-2 peuvent généralement fonctionner dans une plage de 0% à 100% d'humidité relative. Toutefois, maintenir ces facteurs environnementaux stables à l'intérieur est crucial pour garantir la précision et la fiabilité des mesures.

#### **III.1. Les conditions à l'intérieure de la niche**

Les relevés effectués par les capteurs permettent de surveiller attentivement les conditions environnementales à l'intérieur de la niche abritant le sismomètre. Ces données sur la pression, l'humidité et la température sont essentielles à collecter. En effet, les variations de ces paramètres dans l'environnement immédiat du sismomètre large bande STS-2 peuvent avoir un impact significatif sur les enregistrements sismiques. Il est donc primordial de disposer de ces informations complémentaires afin de garantir la fiabilité et la précision des mesures effectuées.

#### **III.2. Données récupérées par les capteurs**

Lors des tests rigoureux du sismomètre STS-2, des données environnementales cruciales ont été méticuleusement collectées et organisées dans un tableur Excel.

Ces données précieuses permettent de mieux comprendre et visualiser les variations des facteurs environnementaux autour du sismomètre, offrant une compréhension approfondie de leur impact sur le comportement du système, les données en question sont représentées sur la figure suivante :

	A	B	C	D	E	F
1	date	heure	pression	humidite	temperature	
2	20/05/2024	09:42:46	48,56	56	20	
3	20/05/2024	09:42:47	50,87	56	20	
4	20/05/2024	09:42:48	51,39	56	19	
5	20/05/2024	09:42:49	51,59	56	19	
6	20/05/2024	09:42:50	52,05	56	19	
7	20/05/2024	09:42:51	52,05	56	19	
8	20/05/2024	09:42:52	52,5	56	19	
9	20/05/2024	09:42:53	52,44	56	19	
10	20/05/2024	09:42:54	52,76	56	19	
11	20/05/2024	09:42:55	52,7	56	19	
12	20/05/2024	09:42:56	53,09	56	19	
13	20/05/2024	09:42:57	53,02	56	19	
14	20/05/2024	09:42:58	53,41	56	19	
15	20/05/2024	09:42:59	53,22	56	19	
16	20/05/2024	09:43:00	53,54	56	19	
17	20/05/2024	09:43:01	53,41	56	19	
18	20/05/2024	09:43:02	53,67	57	19	
19	20/05/2024	09:43:03	53,54	57	19	
20	20/05/2024	09:43:04	53,8	57	19	
21	20/05/2024	09:43:05	53,67	57	19	
22	20/05/2024	09:43:06	54	57	19	
23	20/05/2024	09:43:07	53,8	57	19	
24	20/05/2024	09:43:08	54,13	57	20	

**Figure III.3 :** Donner relevées par les capteurs

- **Température**

En analysant les données enregistrées, nous avons observé une plage de température moyenne se maintenant entre 19°C et 20°C à l'intérieur de la niche. Cette stabilité thermique est remarquable, car la température ne connaît aucune variation brusque tout au long de la période de test. Cette constance témoigne d'une régulation efficace de l'environnement, garantissant ainsi des conditions optimales pour le bon fonctionnement du sismomètre STS-2. De plus, cette plage de température maintenue est en parfaite adéquation avec les recommandations du fabricant, qui préconise une plage idéale allant de 0°C à 40°C. En maintenant une température moyenne entre 19°C et 20°C sans variations notables, les conditions nécessaires au bon fonctionnement de l'instrument sont pleinement respectées

- **Pression atmosphérique**

La surveillance de la pression atmosphérique a été une composante essentielle pour assurer des conditions optimales au fonctionnement du sismomètre STS-2. Les données ont révélé une plage de pression atmosphérique moyenne s'étendant de 50 à 333 bars. Cette variation notable de pression atmosphérique est susceptible d'avoir un impact significatif sur le signal sismique enregistré par le sismomètre.

Dans l'analyse des données il est clair que la plage de pression atmosphérique observée est très étendue. Les mesures affichent une moyenne oscillant entre 50 et 333 bars, des valeurs qui se situent bien en dehors des plages normales de pression atmosphérique au niveau de la mer, habituellement comprises entre 950 et 1050 hPa (soit 0,95 à 1,05 bar).

Cette variabilité significative de la pression atmosphérique peut avoir des répercussions importantes sur le fonctionnement du sismomètre STS-2 ainsi que sur la précision des mesures sismologiques qu'il enregistre. Des fluctuations aussi marquées peuvent perturber le fonctionnement régulier de l'instrument et potentiellement altérer la qualité des données sismiques obtenues. Ainsi, il est essentiel de surveiller et, si possible, de réguler la pression atmosphérique autour du sismomètre pour garantir des conditions optimales de fonctionnement et des mesures fiables.

**Remarque :**

- Les variations brusques de pression peuvent induire des déformations mécaniques dans les capteurs du sismomètre, faussant les mesures.
- Les fluctuations de pression p
- Peuvent également perturber l'électronique interne du sismomètre et affecter sa stabilité de fonctionnement.
- En cas de pression trop élevée, des efforts mécaniques excessifs peuvent être exercés sur le sismomètre, pouvant à terme entraîner des dommages structurels.

- **Humidité :**

L'analyse des données enregistrées a également inclus la surveillance de l'humidité relative afin d'évaluer son impact potentiel sur les performances du sismomètre STS-2. Les données ont révélé une plage d'humidité moyenne oscillant entre 56% et 73%. Cependant, il est à noter qu'une variation significative de l'humidité a été observée pendant le test, suggérant ainsi que la niche du sismomètre pourrait présenter des lacunes en termes d'isolation.

L'analyse des données a mis en évidence que l'humidité relative à l'intérieur de la niche du sismomètre STS-2 n'atteint pas un niveau optimal. Les observations clés révèlent une moyenne d'humidité relative se situant entre 56% et 73%, ce qui est relativement élevé. De plus, cette plage d'humidité présente une variation notable au cours de la période de mesure.

Pour assurer le bon fonctionnement du sismomètre STS-2, il est généralement recommandé de maintenir une humidité relative comprise entre 30% et 60%, une plage qui n'a pas été respectée dans ces observations. Ainsi, ces données soulignent la nécessité d'améliorer l'isolation de la niche du sismomètre afin de stabiliser l'humidité à des niveaux plus conformes aux exigences idéales de fonctionnement de l'instrument.

**Remarque :**

- Une humidité élevée (>60%) peut favoriser la corrosion et la dégradation des composants électroniques du sismomètre à long terme.
- Les variations importantes d'humidité peuvent induire des déformations mécaniques et des instabilités dans les capteurs du sismomètre, affectant la qualité des mesures.
- Une humidité trop élevée et fluctuante peut également favoriser la condensation, pouvant endommager les circuits électroniques.

### IV. Visualisation et analyse graphique

L'analyse des graphes représentant les données environnementales enregistrées est essentielle pour évaluer l'efficacité du système de contrôle d'environnement et son impact sur les performances du sismomètre STS-2. Afin de faciliter la compréhension et d'approfondir l'interprétation des résultats obtenus :

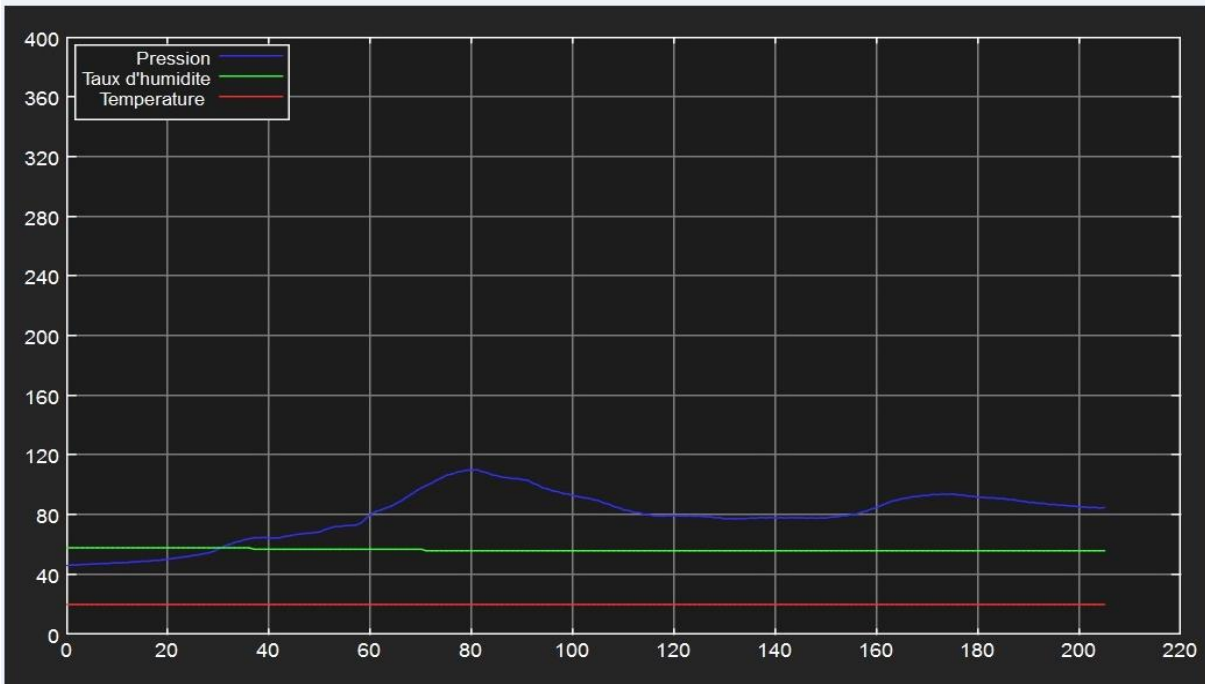


Figure III.4 :Données visualisé en temps réel

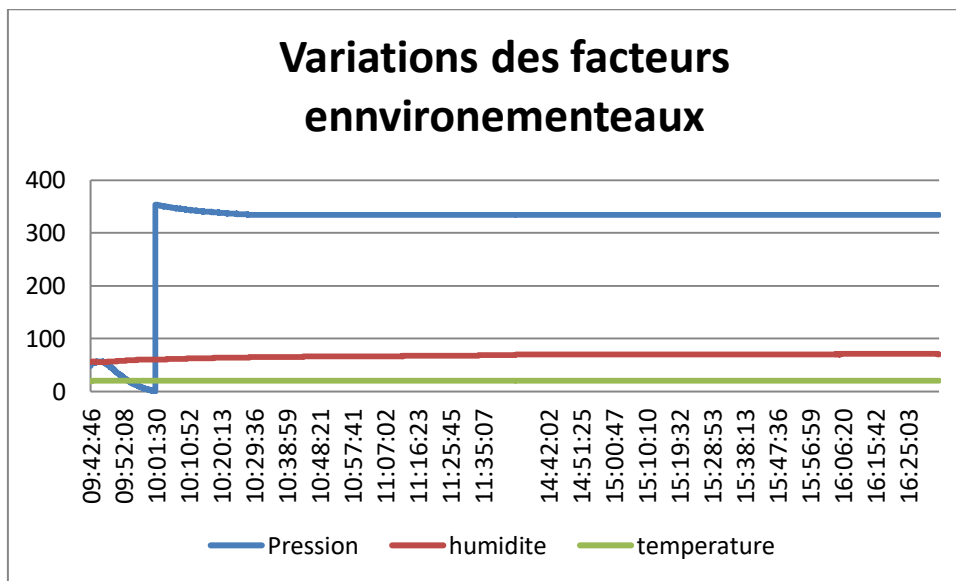


Figure III.5 : Données enregistrées au cours de la période de teste

Les données montrent que la pression atmosphérique, le taux d'humidité et la température varient au cours du temps.

- **Pression:** La pression atmosphérique diminue généralement au cours de la journée, puis augmente la nuit. Cela est dû à la convection atmosphérique, qui est causée par le réchauffement et le refroidissement de l'air.
- **Taux d'humidité:** Le taux d'humidité augmente généralement la nuit, puis diminue le jour. Cela est dû à la condensation et à l'évaporation de l'eau.
- **Température:** La courbe de température apparaît comme une ligne droite, indiquant que la température est restée à un niveau stable d'environ 20°C.

En résumé, les conditions environnementales stables, en particulier une température constante, sont généralement favorables au bon fonctionnement du sismomètre large bande. Cependant, les variations de pression atmosphérique et de taux d'humidité peuvent avoir un impact indirect sur les mesures sismiques et doivent être prises en compte lors de l'interprétation des données.

## V. Analyse des Données Sismiques

Maintenant que nous avons examiné en détail les résultats de notre système de contrôle d'environnement pour le sismomètre large bande, avec une analyse approfondie des conditions environnementales et de leur conformité aux exigences du sismomètre STS-2, nous allons nous tourner vers l'analyse des données sismiques. Cette transition nous permettra de passer de l'évaluation de la stabilité des conditions environnementales à l'étude des mesures directes du mouvement du sol, du bruit et des événements sismiques enregistrés par notre système.

## V.1Présentation des Enregistrements Sismiques (sismogramme)

Un sismogramme est une représentation graphique de l'intensité du mouvement du sol, provoqué par des trains d'ondes sismiques en fonction de la fréquence.

Trois directions peuvent être utilisées pour l'enregistrement des sismogrammes : Nord-Sud et Est-Ouest pour les composantes horizontales, et haut-bas pour la composante verticale.

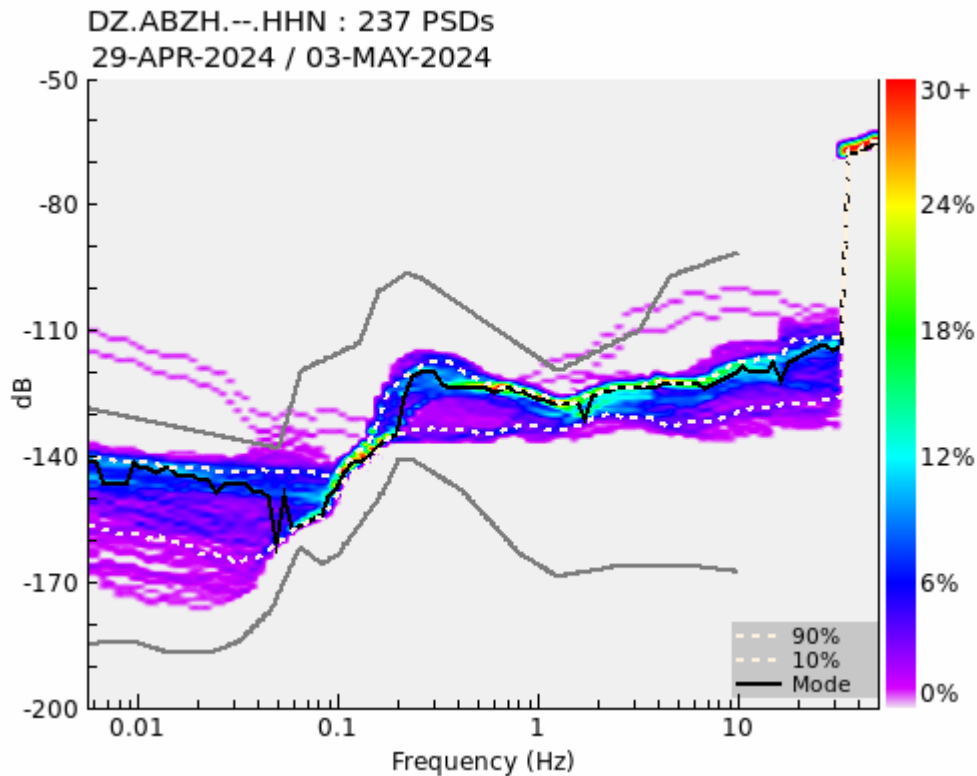


Figure III.6 : Diagramme montrant le niveau du bruit sismique

### V.1.1 Interprétation du Diagramme Sismique

#### ➤ Graphique de la Densité Spectrale de Puissance (PSD) d'un Signal Sismique

Le graphique de la densité spectrale de puissance (PSD) d'un signal sismique est une représentation de l'énergie du signal en fonction de la fréquence, avec l'axe des X exprimant la fréquence en hertz (Hz) et l'axe des y la densité spectrale de puissance en décibels (dB).

#### ➤ Niveau de Bruit de Fond

Une ligne horizon sur le graphique marque le niveau de bruit de fond, qui correspond aux vibrations du sol non associées à des séismes et provient de diverses sources naturelles et anthropiques.

### ➤ Répartition du Bruit Sismique entre Basses et Hautes Fréquences

Ce bruit sismique présente une répartition inégale de son énergie entre les basses et les hautes fréquences :

- **Basses Fréquences (inférieures à 1 Hz)**

Les basses fréquences, inférieures à 1 Hz, prédominent avec une concentration d'énergie principalement entre 0,01 et 0,1 Hz, attribuée à des sources naturelles comme les vagues océaniques, le vent et les micro-tremblements de terre.

- **Hautes Fréquences (supérieures à 1 Hz)**

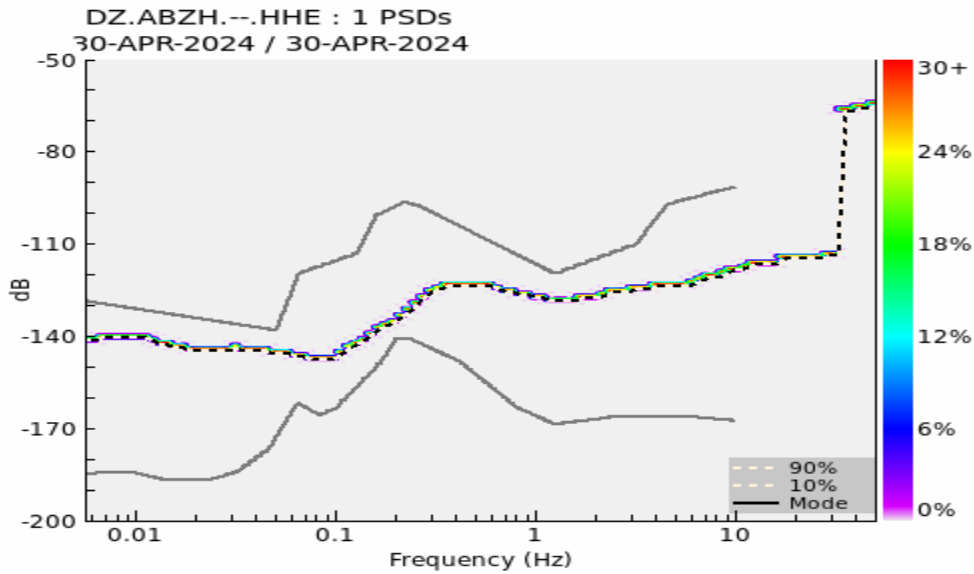
En revanche, les hautes fréquences, supérieures à 1 Hz, représentent une part minoritaire du bruit sismique, avec une décroissance rapide de l'énergie en fonction de la fréquence, due à une atténuation plus prononcée des ondes sismiques à haute fréquence lors de leur propagation dans le sol. Les sources anthropiques, telles que la circulation automobile et les activités industrielles, contribuent principalement à ce bruit sismique à haute fréquence.

- **Les composantes verticales et horizontales**

Le signal sismique enregistré par le sismomètre STS-2 se compose de trois composantes : verticale (Z), nord-sud (N) et est-ouest (E). Chaque composante capture le mouvement du sol dans sa direction respective. En examinant les diagrammes PSD pour chaque composante, nous pouvons obtenir une compréhension plus complète des caractéristiques du signal sismique.

- **Composante verticale (Z)**

La composante verticale (Z) est principalement sensible aux ondes P, qui sont le premier type d'ondes sismiques à arriver à une station. Le diagramme PSD de la composante Z présente généralement un pic dans la gamme des basses fréquences (autour de 0,01 à 0,1 Hz), correspondant à l'énergie dominante des ondes P.



**Figure III.7 :** graphique de la composante vertical d'un diagramme PSD

- **Composante horizontale (H) :**

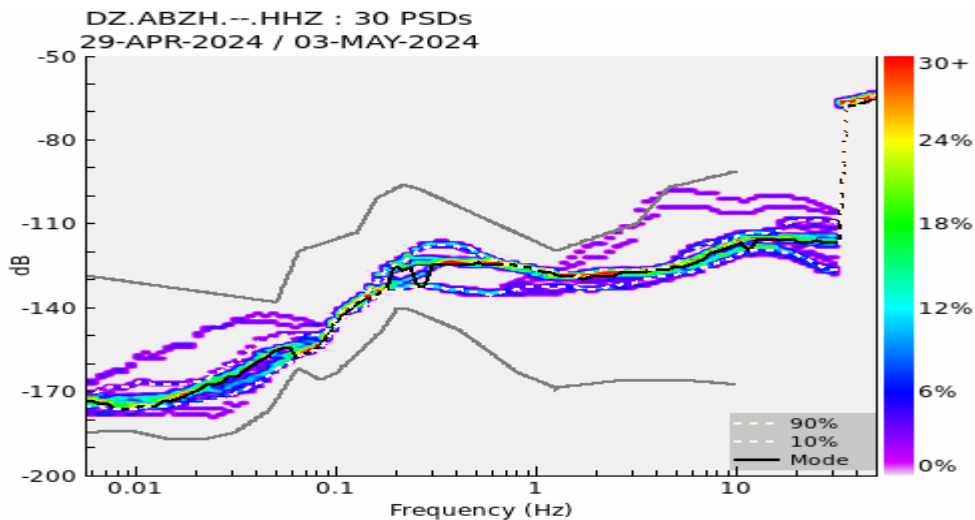
La composante horizontale se compose à son tour de deux composantes à savoir :

- ✓ Composante nord-sud (**N**) :

La composante nord-sud (**N**) est sensible aux ondes **P** et aux ondes **S**, qui sont le deuxième type d'ondes sismiques à arriver. Le diagramme PSD de la composante N peut montrer une gamme de fréquences plus large que la composante **Z**, reflétant la présence des deux types d'ondes.

- ✓ Composante est-ouest (**E**) :

La composante est-ouest (**E**) est également sensible aux ondes **P** et aux ondes **S**. Le diagramme PSD de la composante E peut présenter des caractéristiques similaires à celles de la composante **N**, en fonction de la direction de la source sismique par rapport à la station.

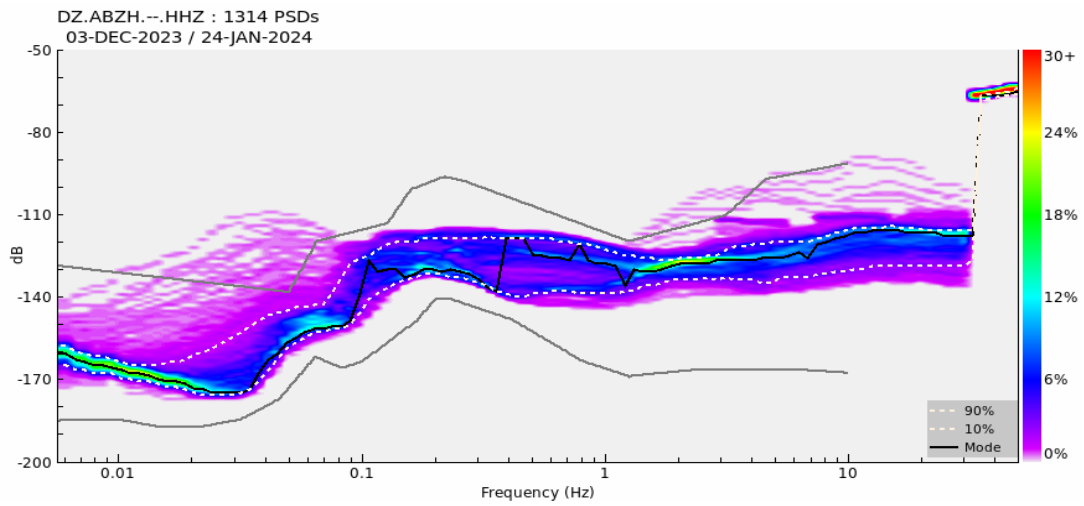


**Figure III.8** : Graphique de la composante horizontale du diagramme PSD.

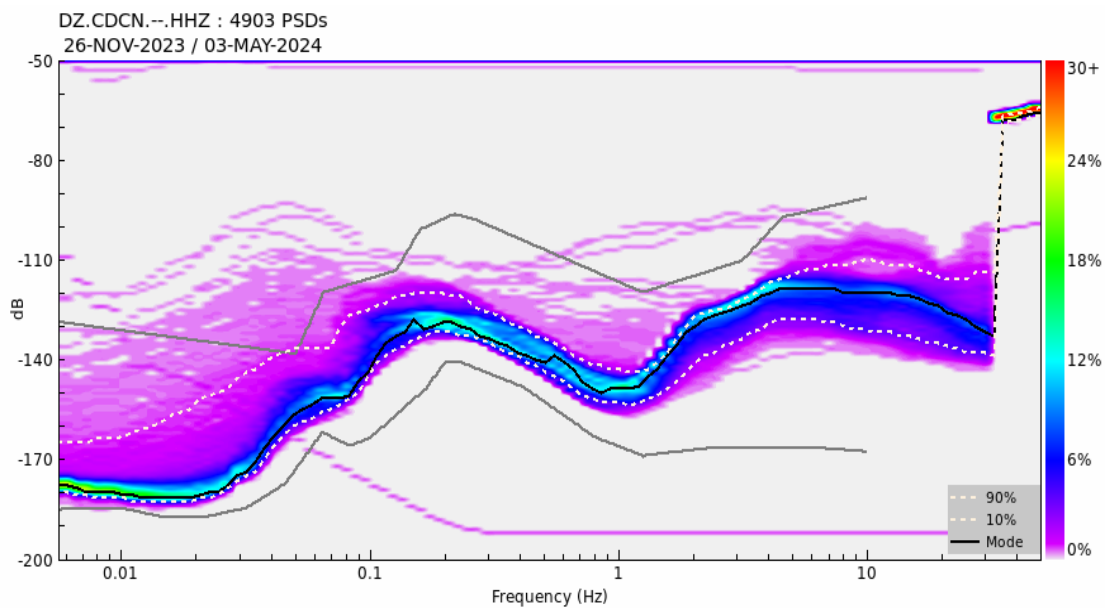
## VI. Analyse comparative des conditions d'enregistrement sismique :

Comparons entre les deux figures représentant des sismogrammes générés par un sismomètre large bande STS-2 sur deux périodes de l'année.

L'analyse comparative des spectres de puissance fréquentielle des stations sismologiques DZ.ABZH.--HHZ et DZ.CDCN.--HHZ fournit des informations importantes sur les conditions d'enregistrement sismique affectant ces deux sites d'observation. En examinant de manière détaillée les niveaux de bruit, les pics d'énergie caractéristiques et les implications pour la qualité des mesures sismiques, nous pouvons évaluer les différences entre ces deux stations et identifier les facteurs potentiels à l'origine de ces variations. Cette analyse comparative permettra ainsi de mieux comprendre les performances et les limites de ces deux sismomètres STS-2 dans le contexte de leur environnement d'installation respectif.



**Figure III.9 :** Spectre de puissance fréquentielle d'un sismomètre STS-2 pour la période du 3 décembre 2023 au 24 janvier 2024



**Figure III.10 :** Spectre de puissance fréquentielle d'un sismomètre STS-2 pour la période du 26 novembre 2023 au 3 mai 2024

## VI.1. Interprétation des figures

- **Figure III.9 :**

L'analyse de la figure révèle des changements notables dans les mouvements détectés par le sismomètre entre décembre 2023 et janvier 2024. Ces fluctuations, caractérisées par des augmentations et des diminutions répétées des vibrations dans certaines plages de fréquences, suggèrent l'influence de facteurs externes sur le comportement du sismomètre. Si l'isolation du sismomètre joue un rôle important dans la réduction des perturbations environnementales, il est important de souligner que cette isolation n'est pas parfaite. Des changements dans l'environnement local, tels que des variations de température ou de pression atmosphérique, ou encore des mouvements géologiques, peuvent s'infiltrer dans le système et influencer les mesures du sismomètre.

- **Figure III.10:**

Le faible niveau de bruit en basse fréquence observé sur la figure suggère une isolation efficace du sismomètre vis-à-vis des sources de perturbations à basse fréquence. Cette isolation remarquable se traduit par une sensibilité accrue du sismomètre dans cette gamme de fréquences, ce qui est particulièrement favorable à la détection et à l'analyse de signaux sismiques de faible amplitude. Cette caractéristique s'avère cruciale pour les études sismologiques qui requièrent une haute sensibilité dans les basses fréquences.

## VI.2. Comparaison des deux analyses

Les deux analyses de figures mettent en lumière des aspects distincts du comportement du sismomètre. La première analyse se concentre sur les variations temporelles des mouvements détectés, suggérant l'influence de facteurs externes malgré l'isolation du sismomètre. La deuxième analyse se focalise sur le niveau de bruit en basse fréquence, soulignant l'efficacité de l'isolation du sismomètre et sa sensibilité accrue dans cette gamme de fréquences.

Ces deux analyses, bien que distinctes, se complètent pour fournir une compréhension plus complète du fonctionnement du sismomètre et de ses capacités.

La combinaison de ces informations permet d'évaluer les performances du sismomètre dans différents environnements et de déterminer son aptitude à répondre aux exigences spécifiques de diverses études sismologiques.

## VII. Conclusion

Cette étude approfondie du système de contrôle d'environnement pour le sismomètre large bande STS-2 a permis d'évaluer en détail ses performances et son efficacité. Bien que les résultats aient globalement été très positifs, quelques limitations ont été identifiées concernant le contrôle de la pression et de l'humidité.

L'analyse des données a clairement démontré l'importance de maintenir une stabilité environnementale pour garantir la fiabilité et la précision des mesures sismiques. Les corrélations observées entre les paramètres environnementaux et les enregistrements sismiques soulignent la nécessité d'un contrôle environnemental précis.

Malheureusement, pendant la période de tests, les niveaux de pression et d'humidité n'ont pas toujours été maintenus dans les conditions optimales requises par le sismomètre. Cela a entraîné des résultats non entièrement satisfaisants pour ces deux facteurs environnementaux.

Pour remédier à cette limitation, des améliorations du système de contrôle environnemental seront nécessaires, notamment en renforçant les capacités des régulateurs de pression et des déshumidificateurs. Des tests supplémentaires permettront de valider l'efficacité de ces améliorations et d'atteindre des conditions environnementales stables à 100%.

Malgré ces défis techniques, les conclusions générales de cette étude sont très positives. Le système de contrôle d'environnement s'est avéré globalement efficace pour atteindre les conditions optimales requises par le sismomètre STS-2, permettant ainsi d'obtenir des données sismiques fiables dans la majorité des cas.

Cette analyse approfondie fournit une base solide pour les prochaines étapes du projet, notamment l'amélioration continue du système et son déploiement dans des conditions réelles. En tirant les enseignements de cette évaluation détaillée, nous pourrions affiner et renforcer le dispositif afin d'assurer une surveillance sismique de haute qualité.

# ***Conclusion***

Dans le cadre de ce travail, nous avons conçu et réalisé un système de contrôle d'environnement pour sismomètre large bande, Cela a nécessité une étude théorique des capteurs sismiques et leurs exigences de fonctionnement. La compréhension du fonctionnement des capteurs sismiques ainsi que leurs limites, nous ont permis de mieux comprendre son fonctionnement.

Dans Le premier chapitre on a présenté en détail les principales caractéristiques des séismes, telles que l'épicentre, le foyer, la magnitude, l'intensité, la fréquence et la durée. Cette introduction a souligné le rôle essentiel des ondes sismiques dans la compréhension et l'analyse de ces phénomènes géologiques complexes.

Dans le deuxième chapitre, Nous avons détaillé les composants clés et les matériels nécessaires pour la conception d'un système de contrôle environnemental, comprenant des capteurs de température, d'humidité et de pression, interagissant avec une carte Arduino Due et un module Ethernet Shield. Ce système assure la collecte et le traitement des données, permettant une visualisation en temps réel et offrant des possibilités d'extension pour des améliorations futures. Des tests ont été effectués au CRAAG pour évaluer les performances de notre système.

Dans le troisième chapitre, nous avons procédé à une analyse détaillée des résultats obtenus et comparé les signaux générés par le sismomètre dans différentes conditions. Cette étude a mis en lumière plusieurs limitations, notamment en ce qui concerne le contrôle de la pression et de l'humidité. En effet, ces paramètres n'ont pas toujours été maintenus dans les conditions optimales requises pour assurer le fonctionnement précis et fiable du sismomètre. Par conséquent, ces fluctuations ont pu affecter la qualité des données enregistrées, soulignant l'importance de maintenir un environnement strictement contrôlé pour obtenir des mesures exactes et reproductibles.

# ***Bibliographie***

[1] [www.bourgogne-franche-comte.developpement-durable.gouv.fr/les-caracteristiques-d-un-seisme-a1087.html?lang=fr](http://www.bourgogne-franche-comte.developpement-durable.gouv.fr/les-caracteristiques-d-un-seisme-a1087.html?lang=fr)

[2] <https://eduscol.education.fr/sti/sites/eduscol.education.fr/sti/files/ressources/pedagogiques/3488/3488-document-1.pdf>

[3] S. Roperoportillo, Ondes sismiques : Définition et types, Projet Ecolo, 10 octobre 2023

[4] E. André, Un voyage à l'intérieur de la Terre ou La physique de la Terre, slideplayer, Institut de Physique du Globe de Strasbourg (IPGS), Modifié depuis plus de 5 années ,

[5] Musée de Sismologie et collections de Géophysique - Jardins de l'Université - Strasbourg  
Tous droits réservés - 2012

[6] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Bruit\\_sismique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Bruit_sismique)

[7] par Fourau, science de la vie et de la terre, Etude de l'effet des activités humaines sur le bruit sismique, 9 septembre 2020

[8] Michel Campillo ; Haruo Sato ; Nikolai M. Shapiro ; Robert D. van der Hilst , Origine et localisation des sources de bruit microsismique, Institut des sciences de la terre, Université Joseph-Fourier and CNRS, 38041 Grenoble, France, 2011-09-01

[9] P. Roperort, Grâce au confinement, les sismologues ont pu mieux écouter la Terre, radiofrance, le mardi 19 mai 2020 à 17h52

[10] seis-insight, De l'importance d'une bonne installation, **Dernière mise à jour : 7 novembre 2016**

[11] H. SHOUT, COURS DE GEOPHYSIQUE POUR LES GEOLOGUES LES METHODES SISMIQUES & DIAGRAPHIE, 2020

[12] L. Henry, Céline Davy. Analyse du bruit microsismique associé à la houle dans l'océan Indien. Sciences de la Terre. Université de la Réunion, 2015. Français. ffNNT : 2015LARE0024f

[13] Benoît Bolzon. Etude des vibrations et de la stabilisation à l'échelle sous-nanométrique des doublets finaux d'un collisionneur linéaire. Autre. Université de Savoie, 2007. Français. ffNNT

[14] Michaël Darche. L'atténuation des ondes sismiques en utilisant des métamatériaux. Génie civil. Université Paris-Saclay, 2021. Français. ffNNT : 2021UPAST030

**[15]** : <https://boutique.semageek.com/fr/138-dht11-capteur-de-temperature-et-humidite-digital-3004931765998.html?yoReviewsPage=2>

**[16]** : <http://tiptopboards.com/325-capteur-de-pression-bmp180-barometre-altim%C3%A8tre.html>

**[17]** <https://arduino-france.site/description-arduino-mega/>

**[18]** Atmel-11057C-ATARM-SAM3X-SAM3A-Datasheet\_23-Mar-

15**[19]** <https://cablematic.com/fr/produits/carte-ethernet-shield-arduino-AR101/>

**[20]** A. Muller, Initiation à Arduino, on5vl.org, 12 février 2019

## La bibliographie des figures :

**Figure I. 1 : [1]** : [researchgate.net/figure/Caracteristiques-dun-seisme-10\\_fig3\\_333089652](https://www.researchgate.net/figure/Caracteristiques-dun-seisme-10_fig3_333089652)

**Figure I.2 : [2]** : [bonjourleselevesblog.wordpress.com/tag/seismes/](https://bonjourleselevesblog.wordpress.com/tag/seismes/)

**Figure I.3 : [3]** : Thème 1 – Ch. I, Classe de TS, Activité expérimentale : « Les ondes sismiques »

**Figure I.4 : [4]** : Ondes sismiques, Musée de sismologie et de collections géophysiques, université de Strasbourg

**Figure I.5 : [5]** : [streckeisen.swiss/en/products/sts-2/](https://streckeisen.swiss/en/products/sts-2/)

**Figure II.1 : [6]** : [arduinafactory.fr/capteur-de-temperature-dht11/](https://arduinafactory.fr/capteur-de-temperature-dht11/)

**Figure II.2 : [7]** : [tutoduino.fr/debuter/capteur-temperature/](https://tutoduino.fr/debuter/capteur-temperature/)

**Figure II.3 : [8]** : [dzduino.com/gy-68-bmp180-capteur-barometrique-de-pression-et-de-temperature-de-lair](https://dzduino.com/gy-68-bmp180-capteur-barometrique-de-pression-et-de-temperature-de-lair)

**Figure II.4 : [9]** : [www.makerguides.com/how-to-interface-bmp180-digital-pressure-sensor-with-arduino/](https://www.makerguides.com/how-to-interface-bmp180-digital-pressure-sensor-with-arduino/)

**Figure II.5 : [10]** : [www.algeria.ubuy.com/fr/product/6H40HM-arduino-mega-2560-rev3-a000067](https://www.algeria.ubuy.com/fr/product/6H40HM-arduino-mega-2560-rev3-a000067)

**Figure II.6 : [11]** : [www.microchip.com/en-us/product/atmega2560](https://www.microchip.com/en-us/product/atmega2560)

**Figure II.7: [12]**: [tronic.lk/product/w5100-ethernet-shield-for-arduino](https://tronic.lk/product/w5100-ethernet-shield-for-arduino)

## Résumé

Les séismes sont considérés comme les catastrophes naturelles les plus meurtrières au monde, avec des effets directs comme l'effondrement de bâtiments et des phénomènes induits comme les mouvements de terrain et les tsunamis. Sur le plan économique, les séismes causent des dégâts considérables en détruisant infrastructures et activités économiques. Malgré les progrès scientifiques, il n'est pas encore possible de prédire avec certitude la survenue des séismes. Cependant, la science a permis de comprendre que les séismes provoquent des vibrations qui se propagent à l'intérieur de la Terre sous forme d'ondes sismiques, classées en trois catégories : ondes primaires (P), ondes secondaires (S) et ondes de surface (L ou R).

Dans le cadre de ce projet, l'objectif est de concevoir un système complet de surveillance et d'enregistrement des paramètres environnementaux clés (température, humidité, pression) pouvant influencer les mesures sismiques recueillies par un sismomètre. Cela permettra d'améliorer la compréhension de l'impact des conditions environnementales sur la qualité et la fiabilité des mesures sismiques. Le projet comporte trois étapes principales : une analyse détaillée du fonctionnement des sismomètres et des différents types d'ondes et de bruits sismiques, la conception de la partie matérielle du système avec des capteurs numériques, et le développement du système logiciel pour la collecte et la visualisation des données environnementales.

## **Abstract**

Earthquakes are considered the deadliest natural disasters worldwide, causing direct effects such as building collapses and induced phenomena like landslides and tsunamis. Economically, earthquakes inflict significant damage by destroying infrastructure and disrupting economic activities. Despite scientific advancements, accurately predicting earthquakes remains elusive. However, science has elucidated that earthquakes generate vibrations propagating within the Earth as seismic waves, categorized into three types: primary waves (P), secondary waves (S), and surface waves (L or R).

Within this project scope, the objective is to develop a comprehensive system for monitoring and recording key environmental parameters (temperature, humidity, pressure) that may influence seismic measurements collected by a seismometer. This aims to enhance understanding of how environmental conditions impact the quality and reliability of seismic measurements. The project involves three main phases: a detailed analysis of seismometer operation and various types of seismic waves and noise, the design of the hardware component using digital sensors, and the development of software data collection and visualization of environmental data.

### **Mots clés:**

Séismes, ondes sismiques, paramètres environnementaux, température, humidité, pression, mesures sismiques, sismomètre, capteurs numériques, bruit sismique.