

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA  
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté : Sciences de de l'ingéniorat

Département : Hydraulique

Domaine : Sciences et technologie

Filière : Hydraulique

Spécialité : Ressources Hydrauliques

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème :

Contribution à la conception d'un outil  
d'auscultation des barrages en terre  
sous "ARDUINO-UNO"

Présenté par : DJEDDI Kheireddine

Encadrant : Bouslah Soraya Grade MCB Université BMA

Jury de Soutenance :

HACHEMI RACHEDI LAMIA	MCB	Université Badji Mokhtar Annaba	Présidente
BOUSLAH SORAYA	MCB		Encadrant
DJEDAOUNE AMEL	MCB		Examineur

Année Universitaire : 2020/2021

## **Remerciements**

*Tout d'abord merci à Dieu qui m'a donné du courage et de la volonté pour atteindre mon objectif.*

*Et je remercie mes parents, pour leur soutien constant et leurs encouragements.*

*Je tiens à adresser mes sincères remerciements et grand respect à mon encadreur Madame **BOUSLAH Soraya**. Je lui souhaite une bonne vie pleine de bonheur, tous les mots de remerciement ne suffisent pas pour ce qu'elle m'a donné parce qu'elle était une mère pour moi.*

*Je tiens à remercier vivement Madame **HACHEMI RACHEDI Lamia**, Madame **DJEDOUNE Amel***

*Qu'elles ont accepté de faire partie du jury pour l'examiner.*

*Je tiens à remercier infiniment les responsables de deux barrages Bougous et Mexa.*

*Je remercie tous mes collègues et amis et toute la famille **scoute** du group **El-Manar**, qui m'ont soutenu et encouragé pour ce travail.*

*Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de mon travail.*

*Je remercie également toute l'équipe pédagogique de l'Université Badji Mokhtar-Annaba.*

*Je remercie mes frères et sœurs qui m'ont soutenu tout au long de ma carrière.*

## **DEDICACE**

*A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.*

*A mes chères sœurs pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral, surtout mon adorable sœur **AMEL** qui était toujours présente dans ma vie.*

*A mes chers frères pour leur appui et leur encouragement.*

*Je dédie ce travail à ma meilleure amie **Khawla**, c'est le moins qu'on puisse dire, C'est mon bras droit. Je vous souhaite une santé et un bien-être continus et que nous serons toujours ensemble.*

*À mon neveu **Ahmed Sajid**, le fils gâté de la famille, le ministre du Bonheur. Je lui souhaite une longue vie et une vie heureuse.*

*A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire.*

*À tous mes éminents professeurs qui n'ont pas été disposés à m'aider.*

*A mon ami proche et mon bras droit **Billel**, mon ami d'enfance et frère je vous souhaite une bonne continuité.*

*Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible.*

*A Mes collègues « **Ramzi, Zaki, Mohamed, Rabie, Wafa, Houria, Nahla et Nadia** ».*

*Merci d'être toujours là pour moi.*

## Résumé

L'auscultation des barrages fournit des séries chronologiques de mesures qui doivent être analysées. Pour comprendre le comportement hydraulique de l'ouvrage.

Dans notre projet on va faire une étude et réalisation d'un système de mesure intelligent pour mieux comprendre le principe de fonctionnement de ce système. Nous avons réalisé notre prototype à base de carte Arduino (microcontrôleur) qui constituait le programme de mesure avec le capteur ultrason ; le programme a été développé dans l'environnement de programmation IDE Arduino. On peut connaître les objets par des bips sonneurs et des voyants selon la distance mesurée par le capteur ultrason. Les résultats des tests obtenus sont très satisfaisants.

**Les mots clé :** Auscultation, Barrage, Piézomètre, Arduino, Ultrason.

## الملخص

يوفر تسمع السدود سلسلة زمنية من القياسات التي تحتاج إلى تحليل. لفهم السلوك الهيدروليكي للهيكل. في مشروعنا سوف نقوم بدراسة وتحقيق نظام قياس ذكي. لفهم مبدأ تشغيل هذا النظام قمنا بانجاز نموذج أولي لأجل اختباره، فهذا النظام متكون من لوحة اردوينو التي تعتبر البطاقة الأم و مستشعر أمواج فوق صوتية، وبرمج هذا النظام عن طريق برنامج اردوينو , هناك مصابيح ملونة وصفارة تنبهنا بالقياسات التي يقيسها مستشعر الموجات فوق الصوتية . نتائج الاختبارات التي تم الحصول عليها هي مرضية جدا.

**الكلمات المفتاحية :** تسمع , سد , بيزومتري , اردوينو , أمواج فوق صوتية

## Abstract

Auscultation of dams provides time series of measurements that need to be analyzed. To understand the hydraulic behavior of the structure. In our project, we will make a study and realization of an intelligent measurement system to better understand the principle of operation of this system. We made our prototype based on Arduino board (microcontroller) which was the measurement program with the ultrasound sensor; the program was developed in the Arduino IDE programming environment. The objects can be known by beeps and lights depending on the distance measured by the ultrasound sensor. The results of the tests obtained are very satisfactory.

**Keywords:** Auscultation, Dam, Piezometer, Arduino, Ultrasound.

## Sommaire

Remerciements

Dédicace

Résumé

Abstract

الملخص

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

INTRODUCTION GENERALE.....	5
CHAPITRE 1 : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE.....	8
1 L'AUSCULTATION .....	8
1.1 Introduction.....	8
1.2 Conception globale du dispositif d'auscultation.....	9
1.2.1 Caractéristiques des instruments de mesure.....	9
2 Les paramètres mesurés.....	10
2.1 La hauteur d'eau.....	10
2.2 Les précipitations.....	11
2.3 Déplacements.....	11
2.3.1 Les déplacements de surface.....	12
2.3.2 Les déplacements en profondeur.....	12
2.3.3 Les déplacements relatifs :.....	12
2.4 Les débits de fuite.....	12
2.5 Pressions interstitielles et niveau piézométrique.....	13
2.6 Les avantages et les inconvénients des moyens de mesures .....	14
2.6.1 Pendules directs et inverses.....	14

2.6.2	Planimétrie et nivellement.....	15
2.6.3	Extensometrie .....	16
2.6.4	Contrôle de joints et fissures.....	17
2.6.5	Mesure des infiltrations et pressions.....	18
2.6.6	Fibre optique.....	20
3	Conclusion.....	21
CHAPITRE 2 : CONCEPTION DU MODELE HC-SR04.....		22
1	Introduction.....	22
2	Module HC-SR04 couplé avec la carte ARDUINO-UNO.....	22
2.1	Module HC-SR04.....	22
2.2	Carte ARDUINO-UNO.....	24
2.3	Logiciel utilisé.....	26
2.4	Enregistrement des données.....	27
2.4.1	Problématique.....	27
2.4.2	Utilisation d'une carte SD.....	28
2.4.3	Affichage.....	29
2.4.4	Les programmes utilisés.....	31
2.5	Calage et validation.....	31
2.5.1	Testé l'appareil dans le barrage .....	34
2.5.2	Testé l'appareille HC04-SR pour mesuré la côte d'eau dans les barrages.....	35
2.6	Conclusion.....	37
CHAPITRE 3 : ZONE D'ETUDE.....		38
1	Introduction.....	38
1.1	Barrage Bougous.....	38
2	Caractéristiques techniques du barrage Bougous et barrage Mexa.....	39
2.1	Le système d'auscultation du barrage.....	40
2.1.1	Mesure des infiltrations et pressions.....	40

2.1.2	Débit de fuite.....	40
2.1.3	Mesuré la cote d'eau.....	40
2.2	Barrage Mexa.....	40
2.2.1	Le système d'auscultation du barrage.....	41
2.2.2	Mesure des infiltrations.....	41
2.2.3	Mesuré la cote d'eau.....	41
3	Conclusion.....	42
CHAPITRE4 : RESULTATS ET DISCUSSION.....		43
1	Introduction.....	43
1	L'auscultation du barrage Bougous.....	43
1.1	Interprétation des courbes.....	43
2	Auscultation de barrage Mexa.....	46
2.1	Interprétation des courbes.....	48
3	La comparaison entre les mesures de la cote d'eau par la règle de mesure et les mesures par le dispositif HC-SR04.....	48
CONCLUSION GENERALE.....		50
REFERENCES BIBIOGRAPHIQUE.....		51

## Liste des figures

Figure 1: Sonde limnimétrie.....	10
Figure 2 : Une échelle limnométrique.....	10
Figure 3: Pluviomètre.....	10
Figure 4 : Pendules directs et inverses .....	13
Figure 5: Principe du Fissuromètres Vinchon.....	16
Figure 6 : Schéma d'un module HC-SR04 couplé avec la carte ARDUINO-UNO et LCD....	21
Figure 7: Module HC-SR04 .....	22
Figure 8 : Signal donné par le HC-SR04.....	22
Figure 9 : Graphique de linéarité du capteur sur la plage 1-250cm .....	23
Figure 10 : Module ARDUINO-Uno .....	24
Figure 11: Les composants de la carte ARDUINO-Uno.....	25
Figure 12: Logiciel de programmation ARDUINO .....	26
Figure 13: Shields carte microSD. ....	28
Figure 14 : Connectez shields cart SD avec la carte ARDUINO.....	28
Figure 15 : LCD 16*2 .....	29
Figure 16 : l'application Blynk .....	31
Figure 17 :Appareil de mesure du niveau d'eau dans les piézomètres à distance .....	31
Figure 18:Appareil de mesure du niveau d'eau dans les piézomètres à distance et lecteur carte SD.....	32
Figure 19 :Dossier d'enregistrement .....	32
Figure 20 :Les mesures enregistrées dans la carte mémoire .....	33
Figure 21 : SR04M-02.....	34
Figure 22 : HC-SR04 et LCD16*2.....	34
Figure 23 :La forme final du dispositif .....	35
Figure 24 :Mise en place de l'appareil dans le barrage Mexa .....	36
Figure 25 : Localisation de barrage Bougous.....	37
Figure 26 :Situation géographique de Barrage Bougous.....	38
Figure 27: Situation géographique de barrage Mexa .....	40
Figure 28 : plan de piézomètre .....	41
Figure 29 : Les drains.....	44

## Liste des tableaux

Tableau 1: Paramètres significatifs pour le suivi du comportement des barrages et de ses fondations .....	10
Tableau 2 : Paramètres pouvant faire l'objet d'une mesure continu .....	13
Tableau 3 :Caractéristiques techniques du barrage Bougous et Mexa.....	40
Tableau 4 : Mesures de la cote d'eau par la règle de mesure et par le dispositif HC-SR04.....	48

## **Liste des abréviations**

**Rx** : Récepteur

**Tx** : Transmetteur

**LED** : de l'anglais (Light Emitting Diode)

**LCD** : de l'anglais (Liquid Crystal Display)

**USB** : de l'anglais (Universal Serial Bus)

**SD** : étant le sigle de l'expression anglaise (Secure Digital) est un carte mémoire

**PWM** : Modulation de largeur d'impulsion(MLI), en anglais Pulse Width modulation

**SPI** : Serial Peripheral Interface

**NPHE** : Niveau des Plus Hautes Eaux

**m** : mètre

**km** : kilomètre

# *Introduction Générale*

## INTRODUCTION GENERALE

Un barrage est un obstacle artificiel au moyen duquel il est créé une retenue d'eau, généralement, en coupant un cours d'eau (Penman, 1986). Les barrages d'eau sont considérés comme des réservoirs stratégiques d'eau, hautement protégés et sécurisés aux alentours des grands centres urbains, destinés pour les besoins industriels et des populations (Sarnacki et al., 2009).

Dans le domaine des barrages comme dans bien d'autres cas, le risque zéro n'existe pas, d'où la nécessité d'un suivi méthodique du comportement des ouvrages. La surveillance des barrages est basée sur l'inspection visuelle et l'auscultation. Ces deux méthodes sont complémentaires. L'auscultation est indispensable pour le suivi du barrage, de sa conception à sa mise hors service. C'est une composante de son comportement structurel et du contrôle de la sécurité. Elle est également précieuse pour faire progresser la connaissance sur le comportement et le vieillissement du barrage, et permettre d'améliorer les études et expertises dans leurs différents aspects techniques et économiques (Poupart et al., 2000). **L'auscultation est indispensable pour le suivi du barrage, de sa conception à sa mise hors service. L'objectif principal de la surveillance et de l'auscultation est de surveiller le comportement du barrage au fil du temps, afin de maintenir son fonctionnement et d'assurer l'intégrité de la structure. La surveillance et l'auscultation permettent de déterminer la cohérence des travaux de maintenance, mais peuvent dépasser ce cadre en permettant d'une part de prendre d'éventuelles mesures de sécurité et d'autre part de comparer le résultat des calculs avec cette auscultation. Cette comparaison permet d'améliorer les connaissances théoriques.** Les types de mesures et d'appareils les plus répandus pour l'auscultation des barrages en remblai sont (cote du plan d'eau, déplacements, les précipitations, débit de fuite, les pressions interstitielles,...etc.). Ces mesures portent sur les sollicitations et sur la réponse de l'ouvrage. Les deux sollicitations principales sont la cote du plan d'eau et les précipitations. Le contrôle de la sécurité d'un barrage exige que les données mesurées soient interprétées dans le temps le plus court possible après les lectures. En ce qui concerne les méthodes d'interprétation et d'analyse de telles données, il y a des pratiques et des points de vue variables (Bonelli et al., 2003).

L'auscultation des barrages en terre : une nécessité dans cette étude, les barrages en terre de Bougous et Mexa situé à la Wilaya d'El Tarf, seront le cas à étudier. Où nous nous intéresserons à l'interprétation des bases de données de l'auscultation de ces deux barrages ainsi que la conception, l'installation et la validation d'un outil de mesure de niveau d'eau.

Ce mémoire a pour objet l'étude et le développement d'un outil de surveillance et suivi des barrages. Le principe en est simple : il consiste à « mesurer à distance par ultrason » le niveau d'eau et avertir les responsables en temps réel sur les variations produites. Plusieurs méthodes basées sur ce principe ont été appliquées avec succès dans différents domaines des sciences et du génie. Actuellement les méthodes classiques d'inspection (relevés topographiques. inspection visuelle) et de surveillance (pendules. extensomètres. mesure des débits de fuite) des barrages présentent les restrictions suivantes : elles se font de façon ponctuelle dans le temps ou dans l'espace. Une méthode palliant à ces limitations, c'est-à-dire une méthode effective en tout temps et couvrant l'ensemble de la structure, permettrait de faciliter la gestion des opérations ainsi que l'entretien de telles structures. Les travaux effectués dans le cadre de cette étude présentent des éléments originaux. D'abord on détermine pour la première fois le niveau d'eau à des pas de temps réglable selon l'objectif fixé in situ sur un barrage **sous ARDUINO-UNO**. Ainsi que les lampes LED colorées en fonction de la variation des niveaux de la retenue, une fois le niveau atteint un niveau max une alerte sonore déclenche informant que l'évacuateur de crue va déverser.

Pour bien mener cette étude, nous avons fractionné notre travail en quatre chapitres :

Par le premier chapitre du manuscrit, une synthèse bibliographique concernant les paramètres d'auscultation utilisés dans les barrages et exprimer les avantages et les inconvénients de chaque paramètre en particulier.

Dans le 2<sup>ème</sup> chapitre, Nous avons expliqué en détail les composantes de cet outil, comment le programmer, et les étapes déroulement de notre projet afin de compléter le dispositif et le placer dans le barrage.

**Dans le 3<sup>ème</sup>** chapitre, nous montrons le contexte général de la zone d'étude avec les caractéristiques géographique et hydrologique des barrages Bougous et Mexa.

Enfin, dans le dernier chapitre des séries de données piézométriques, débit de fuite, tassement qui sont collectées au niveau des deux barrages ont été utilisées pour l'exploitation et le diagnostic. Nous avons également comparé les mesures de l'appareil avec celles prises par les

superviseurs du barrage. La comparaison des mesures aux prévisions permet l'amélioration des projets futurs et l'interprétation périodique des résultats de mesure.

Le manuscrit s'achève par une conclusion reprenant les principaux résultats et interprétations et dégage les perspectives futures qui permettront de compléter ce travail et d'établir certaines corrélations utiles pour cerner la problématique des mesures et des solutions d'amélioration de leur qualité.

# *CHAPITRE I*

*Recherche bibliographique*

*Auscultation des barrages*

## CHAPITRE 1 : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

### 1 L'AUSCULTATION

#### 1.1 Introduction

L'auscultation des barrages regroupe tous les dispositifs permettant de mesurer des grandeurs physiques susceptibles d'évoluer dans la vie du barrage, de façon à mettre en évidence son comportement et les phénomènes évolutifs significatifs de son vieillissement. Ainsi on mesure des déplacements, des déformations, des contraintes, des pressions, des débits, etc.

L'auscultation des structures dans une démarche très proche de celle du médecin associant, l'observation des phénomènes et la mesure de grandeurs liées à ceux-ci, participe de la méthode expérimentale. Par méthode expérimentale, on entend une démarche rationnelle partant de l'observation des faits et qui s'appuyant sur des modèles théoriques ou lois physiques peu à peu élaborés au cours d'une longue histoire de l'observation des comportements des matériaux et des structures, permet d'avancer dans une connaissance de plus en plus poussée de l'état de ces structures et de leur niveau de sécurité, pour les concevoir de façon sûre et économique. C'est la méthode inductive, méthode pratique et efficace qui s'oppose à la méthode déductive qui procède de propositions ou principes posés *a priori* (Bonelli et al., 2005).

L'auscultation est indispensable pour le suivi du barrage, de sa conception à sa mise hors service. C'est une composante de son comportement structurel et du contrôle de la sécurité. Elle est également précieuse pour faire progresser la connaissance sur le comportement et le vieillissement du barrage, et permettre d'améliorer les études et expertises dans leurs différents aspects techniques et économiques (Poupart et al., 2000). De ce point de vue, l'auscultation est une composante essentielle de progrès. Elle permet d'indiquer à l'exploitant avant qu'il ne soit trop tard les travaux de confortement nécessaires et, dans les cas extrêmes, les mesures d'urgence assurant la protection des populations en aval.

Le dispositif d'auscultation est un système de mesures qui, s'il est judicieusement conçu, permet de juger, par le suivi de paramètres représentatifs, le comportement du barrage et de ses fondations en regard des charges qui les sollicitent. Les contrôles sont exécutés tout d'abord pendant la construction et le premier remplissage, puis pendant l'exploitation afin de pouvoir garantir la détection rapide de tout comportement anormal (Bonelli et al., 2005). L'analyse des résultats est effectuée de façon à obtenir une appréciation du comportement à court et à long

terme. Cette analyse est aussi indispensable pour compléter et améliorer les connaissances de l'ingénieur.

Par ailleurs, la collecte d'informations relatives au milieu environnant, parmi lesquelles les conditions météorologiques et hydrologiques, la stabilité des versants, les risques d'avalanche et de chute de glace, fait partie également de la surveillance de l'ouvrage d'accumulation (Bonelli et al., 2005).

## **1.2 Conception globale du dispositif d'auscultation**

Il n'y a pas de règle établie fixant le nombre d'appareils de mesure à mettre en place. Ce nombre varie selon le type de barrage et ses dimensions, son mode de construction, son âge, ainsi que les conditions propres au site, en particulier celles relatives aux fondations. L'expérience acquise dans le domaine de l'analyse du comportement des ouvrages d'accumulation doit aussi être prise en considération (Dunnicliff, 1993).

Le dispositif d'auscultation doit être conçu de telle façon qu'il soit possible de mesurer aussi bien les charges, telles la poussée hydrostatique et la température qui sollicitent l'ouvrage (causes), que les différents paramètres (grandeurs) qui caractérisent le comportement d'un ouvrage de retenue (conséquences). Les charges directes et les conditions extérieures vont engendrer, d'une part, des déformations, des variations de température en particulier dans le corps d'un ouvrage en béton et, d'autre part, des pressions hydrostatiques (sous-pressions, pressions interstitielles) et des infiltrations (percolations) (Hanna, 1985).

Le tableau (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) donne les principaux paramètres qui doivent être relevés pour les barrages en béton et en remblai, ainsi qu'en fondations.

### **1.2.1 Caractéristiques des instruments de mesure**

Il est primordial d'apporter un soin particulier au choix des instruments de mesure en tenant compte des paramètres à observer, du mode de construction de l'ouvrage et des possibilités techniques d'installation. Les instruments de mesure sont choisis en fonction de la plage de mesure prévue. Il ne faut pas perdre de vue que certains appareils permettent d'obtenir des valeurs plus précises que celles recherchées. Il n'est donc pas toujours utile de relever des valeurs comportant un trop grand nombre de décimales. Il importe de veiller à une mise en place correcte afin de garantir une excellente fiabilité des mesures, ce qui est une condition pour l'interprétation adéquate des résultats (Hanna, 1985).

**Tableau 1:** Paramètres significatifs pour le suivi du comportement des barrages et de ses fondations.

<b>Barrage en béton</b>	<b>Barrage en remblai</b>	<b>Fondations</b>
Déformations de la structure	Déformations du corps du barrage	Déformations Mouvement des appuis
Mouvements particuliers (fissures, joints)	Mouvements particuliers (liaisons avec une structure béton)	Mouvements particuliers (fissures, diaclases)
Température dans le corps du barrage	Eventuellement température dans le corps du barrage pour la détection de percolation	Eventuellement température dans la fondation pour la détection de percolation
Sous-pressions (au contact béton-fondation et dans le rocher)	Pressions interstitielles dans le corps du barrage en remblai et niveau piézométrique	Pressions interstitielles Sous-pressions en profondeur Niveau piézométrique Niveau de la nappe phréatique
Débits d'infiltration et de drainage	Débits d'infiltration et de drainage	Débits d'infiltration, de drainage et résurgences (sources)
Analyse chimique des eaux de percolation Turbidité (éventuelle)	Analyse chimique des eaux de percolation Turbidité	Analyse chimique des eaux de percolation Turbidité

## **2 LES PARAMETRES MESURES**

Les types de mesures et d'appareils les plus répandus pour l'auscultation des barrages en remblai sont brièvement décrits ci-dessous (Bonelli et al., 2005). Ces mesures portent sur les sollicitations et sur la réponse de l'ouvrage. Les deux sollicitations principales sont :

### **2.1 La hauteur d'eau**

La hauteur est mesurée par une échelle limnométrique (visuel) ou un limnimétrie enregistreur (précision  $\approx$  centimètre).



**Figure 1:** Sonde limnimétrie.



**Figure 2 :** Une échelle limnométrique.

## 2.2 Les précipitations

Les précipitations sont obtenues par un pluviomètre installé sur le barrage, relevé quotidiennement (précision  $\approx$  millimètre/jour).

Il peut parfois être nécessaire de prendre en compte d'autres sollicitations : niveau aval, nappe de versant ou fonte des neiges. La réponse de l'ouvrage est appréhendée par des mesures de déplacements et des mesures hydrauliques (Bonelli et al., 2005).



**Figure 3:** Pluviomètre.

## 2.3 Déplacements

Un tassement excessif de la crête entraîne une diminution de la revanche (différence entre la côte de la crête et la côte des plus hautes eaux de projet), ce qui diminue la sécurité du barrage vis à vis du risque de surverse. Ce tassement peut refléter une forte compressibilité de la fondation, ou un compactage insuffisant du corps du barrage (teneur en eau de compactage trop faible par exemple).

- des amorces de glissement dans le talus aval du barrage, le talus des rives ou les versants de la retenue, sont susceptibles de remettre en cause la stabilité de ces talus. L'implantation d'inclinomètres peut permettre de localiser la zone de glissement en profondeur et de suivre l'évolution du glissement(Bonelli et al., 2005).

Les mesures de déplacements sont de trois types :

### **2.3.1 Les déplacements de surface**

Les déplacements mesurés par nivellement et planimétrie (tassements, mouvements amont/aval et rive/rive). Ces mesures mobilisent des compétences spécialisées, une fois ou deux fois par ans.

### **2.3.2 Les déplacements en profondeur**

Les déplacements mesurés par des instruments installés le plus souvent lors de la construction (pendule, inclinomètre, élongamètre, extensomètre, distofofor, tassomètre).

### **2.3.3 Les déplacements relatifs :**

Le long d'un joint ou d'une fissure, quantifiée par des instruments le plus souvent installés à la demande (Fissuromètres, vinchon).

## **2.4 Les débits de fuite**

Une diminution des débits peut être imputée à une amélioration naturelle de l'étanchéité du barrage et de sa fondation par colmatage à l'amont, évolution qui est favorable. Cette diminution peut également refléter un colmatage des drains, qui se trouvent peu à peu contournés et ne contrôlent plus les débits de fuite. Ce colmatage peut être la conséquence d'un phénomène d'érosion interne (suffusion). Dans ce cas très inquiétant, la piézométrie va augmenter et les écoulements non contrôlés peuvent être à l'origine d'érosion interne (renard) ou de glissements du talus aval. Seule la mesure du couple piézométrie/débit permet un diagnostic(Bonelli et al., 2005).

- une augmentation anormale des débits peut être imputée à une alimentation par un versant, mais aussi à un processus d'érosion interne (renard). Dans ce dernier cas, les eaux collectées peuvent être chargées d'éléments fins issus du corps du barrage.

-mesurés par empotement (collecte chronométrée avec un récipient gradué)ou par seuil calibré (déversoir à seuil avec limnimétrie, puis utilisation d'une loi de seuil pour estimer le débit). Ils concernent les drains, les puits de décompression, les zones de résurgence(Bonelli et al., 2005).

## 2.5 Pressions interstitielles et niveau piézométrique

Dans un barrage en remblai, il importe de contrôler l'évolution des pressions interstitielles (en particulier dans le noyau et les fondations). Les pressions interstitielles ne doivent pas dépasser les valeurs admises dans le projet. Cela peut se faire par la mise en place de cellules de pression pneumatiques, hydrauliques ou électriques. Le contrôle sera d'autant meilleur que le nombre de profils de mesure ainsi que le nombre de cellules par profil seront élevés. Ce mode de faire garantit une certaine redondance justifiée par un taux de défaillance des cellules souvent important.

On peut se contenter de contrôler l'évolution des infiltrations, à savoir le niveau de la ligne de pression, en des points choisis. On utilisera alors un tube dans lequel on relève la hauteur de la nappe piézométrique. Lorsque ces tubes sont mis en place dans un terrain assez perméable, les mesures sont fiables et durables. Si par contre ces tubes se trouvent dans un terrain imperméable, un laps de temps relativement long est nécessaire avant de noter une modification du niveau piézométrique, en raison de la durée de déplacement du volume d'eau en jeu. Dans un tel cas, des cellules piézométriques fermées sont plus appropriées (Dams et al., 1972)

**Tableau 2 :** Paramètres pouvant faire l'objet d'une mesure continu.

Pour tous les ouvrages	Pour les barrages en béton	Pour les barrages en remblai
Niveau du plan d'eau	Déformations caractéristiques (par exemple, déformation totale dans une section)	Débits de percolation et de drainage caractéristiques (par exemple, débit total)
Conditions météorologiques (précipitations)	Température du béton	Pressions interstitielles
	Débits d'infiltration et de drainage en des points particuliers	Turbidité des eaux de percolation

La priorité doit être donnée aux instruments (ICOLD, 1988):

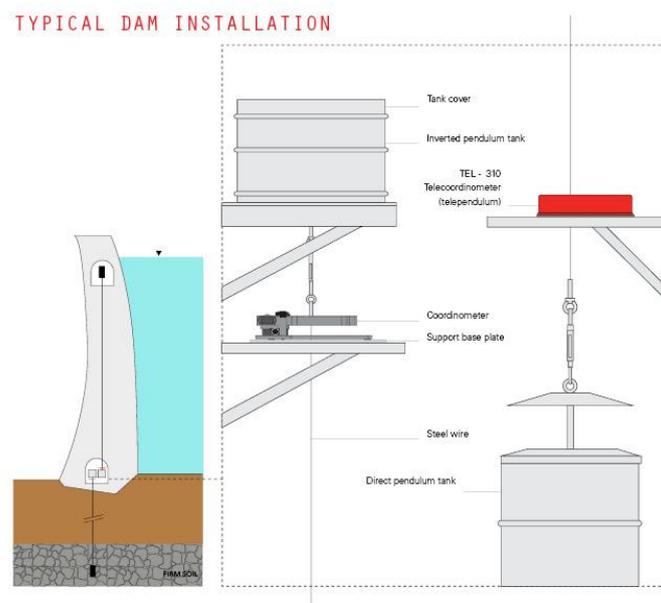
- **Simples** dans leur concept et leur exploitation, robustes.
- **Insensibles** aux conditions environnementales (température, humidité, surtensions).
- **Durables** (la longévité des appareils doit être assurée surtout pour ceux qui sont directement intégrés dans le corps de l'ouvrage lors de la construction),
- **Précis**.
- **Fiables et de lecture facile**.

Pour autant qu'ils ne soient pas noyés dans le corps de l'ouvrage, ils doivent être accessibles et remplaçables. Lors du remplacement d'un appareil, il est primordial d'assurer la continuité des mesures. Enfin, pour parer à des pannes ou défaillances, il est recommandé, dans la mesure du possible, de prévoir des mesures redondantes des principaux paramètres. Il est aussi utile de pouvoir recouper les mesures sur la base de deux (02) méthodes différentes (par exemple, pendule – polygonale, indicateurs de tassements – nivellement)(ICOLD, 2018).

## 2.6 Les avantages et les inconvénients des moyens de mesures

La surveillance d'un barrage vise à détecter les dérives et les évolutions de l'ouvrage susceptibles d'être à l'origine d'un phénomène dangereux. Elle vise donc à réduire le risque d'accidents potentiels liés à des défaillances intrinsèques. Elle diffère de différentes activités : les inspections visuelles, le contrôle des organes d'évacuation et de sécurité et l'auscultation. Le système d'auscultation est donc une composante de la surveillance de l'ouvrage. Il s'agit d'un système technique et organisationnel visant à obtenir des mesures précises de paramètres physiques représentatifs de l'état de l'ouvrage et de son évolution. Ces mesures sont exploitées pour évaluer périodiquement la sûreté de l'ouvrage et mettre en œuvre le cas échéant des opérations de confortement. (Masse and Balouin, 2016).

### 2.6.1 Pendules directs et inverses :



**Figure 4** : Pendules directs et inverses.

### **2.6.1.1 Domaine d'application :**

Mesure des déplacements horizontaux relatifs de deux points disposés sur une même verticale. Mesure de déplacements verticaux pour les pendules équipés d'un dispositif de mesure en Z(Masse and Balouin, 2016).

### **2.6.1.2 Principe de la mesure :**

Un fil tendu par un poids indique la verticale et permet de déterminer le déplacement de la projection du point d'ancrage par rapport à une table de visée scellée au corps du barrage(Masse and Balouin, 2016).

### **2.6.1.3 Avantages des mesures de pendule :**

- grande précision des mesures (1/10 mm).
- simplicité d'exécution des mesures.
- mesure directement significative.
- possibilité de mesures fréquentes.
- capacité à être automatisées et télétransmises.

### **2.6.1.4 Inconvénients des mesures de pendule :**

- mesures relatives d'un point par rapport à un autre.

### **2.6.1.5 Points à examiner :**

La précision de la mesure dépend de l'immobilité des fils, de la liberté de déplacement des fils et poids ou flotteurs, et de la qualité du scellement du câble et de la table de visée.

Il convient de vérifier que le câble est à l'abri de mouvement d'air ou de projection d'eau. Que la table et le câble sont scellés sur le même plot que le scellement est de bonne qualité, qu'il n'y a pas d'obstacle sur la trajectoire du câble, que les niveaux de liquide dans les réservoirs sont constants et que les réservoirs ne sont pas gelés(Masse and Balouin, 2016).

## **2.6.2 Planimétrie et nivellement :**

### **2.6.2.1 Domaine d'application :**

Mesure des déplacements planimétriques d'un ensemble de repères par rapport à un réseau de repères et de stations supposés fixes(Masse and Balouin, 2016).

### **2.6.2.2 Principe de la mesure :**

Le déplacement des repères est calculé à partir de mesures d'angles effectuées au théodolite de grande précision depuis un réseau de piliers ou autres repères supposés fixes(Masse and Balouin, 2016).

### **2.6.2.3 Avantages des mesures planimétriques :**

- Possibilité de surveiller un grand nombre de points.
- Grandeurs directement significatives.
- Détermination de déplacements absolus.
- Grande pérennité du matériel.

### **2.6.2.4 Inconvénients des mesures planimétriques :**

- Mesures longues à réaliser.
- Faible précision.
- Nécessité de faire appel à un personnel spécialisé.
- Mesures ne pouvant pas être faites dans toutes les conditions météorologiques (fortes pluies, neige, brouillard).

### **2.6.2.5 Points à examiner :**

La qualité des mesures dépend du bon état du matériel utilisé, de la compétence du personnel qui réalise et dépouille les mesures et de la stabilité des repères (Masse and Balouin, 2016).

Les repères de planimétrie et de nivellement scellés doivent être parfaitement solidaires de la structure qu'ils représentent. Il en est de même pour les stations et les plaques de calage des théodolites. Il convient donc de vérifier l'absence de fissures au voisinage des repères. Il convient également de protéger les repères contre les chocs susceptibles de se produire en phase de travaux par exemple (Masse and Balouin, 2016).

## **2.6.3 Extensometrie**

### **2.6.3.1 Domaine d'application**

Mesure ponctuelle des déformations dans un massif en béton en vue d'en déduire la valeur des contraintes et leurs directions.

### **2.6.3.2 Principe de la mesure**

La déformation ponctuelle dans une direction donnée est mesurée par un appareil immergé dans le béton avant sa prise. Cet appareil est constitué d'une corde métallique tendue entre deux flasques. Un électroaimant met la corde en vibration et un second électroaimant permet de mesurer le mode vibratoire et d'en déduire la tension de la corde qui est directement fonction de sa longueur. La fréquence de la vibration est fournie par un fréquencemètre.

### **2.6.3.3 Avantages des mesures d'extensométrie**

- Grande précision des mesures.

- Facilité des mesures.
- Mesures électriques donc transmissibles.

#### 2.6.3.4 Inconvénients des mesures d'extensométrie

- Mesure indirecte.
- Impossibilité d'intervenir sur les appareils.
- Indications ponctuelles.
- Difficulté d'interprétation.
- Risque de dérive de l'appareillage.

#### 2.6.3.5 Points à examiner

Le matériel de mesure n'étant pas accessible, il n'y a pas de contrôle réalisable sur ce type d'appareils.

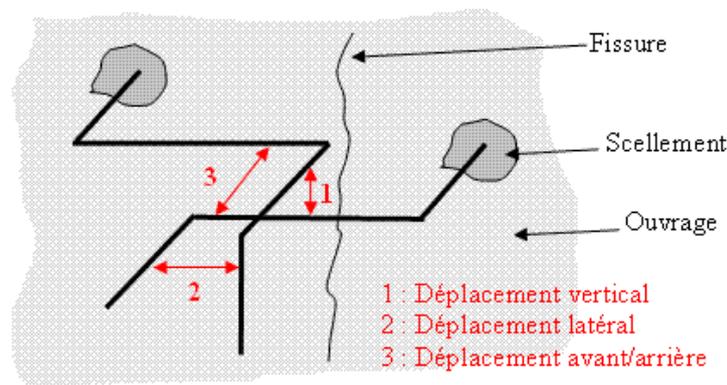
### 2.6.4 Contrôle de joints et fissures

#### 2.6.4.1 Domaine d'application

Mesure des déplacements d'un bloc par rapport à un autre dans trois directions principales, soit au droit d'un joint, soit au droit d'une fissure.

#### 2.6.4.2 Principe de la mesure

Le vinchon mis au point par la DTG d'Électricité de France comporte deux barres d'acier coudées, scellées de part et d'autre du joint ou de la fissure, permettant de mesurer, selon trois directions, les déplacements d'une barre par rapport à l'autre.



**Figure 5:** Principe du Fissuromètres Vinchon.

#### 2.6.4.3 Matériels utilisés

Technologie simple : les barres sont scellées de part et d'autre d'une fissure ou d'un joint que l'on cherche à ausculter. Chaque barre est équipée de pastilles usinées permettant de disposer le

ped à coulisses pour la mesure. Selon la direction, les distances entre les repères sont de 60, 80 ou 100 mm de manière à éviter d'intervertir deux mesures dans des directions différentes(DRA-91, 2012).

#### **2.6.4.4 Avantages des mesures de vinchons**

- Grande simplicité du matériel utilisé.
- Mesure directe ;
- Bonne précision (1/10 mm).

#### **2.6.4.5 Inconvénients des mesures de vinchons**

- Mesure ponctuelle et relative.

#### **2.6.4.6 Points à examiner**

Les points de fixation doivent être parfaitement solidaires du bloc correspondant. Les pastilles sur lesquelles sont faites les mesures doivent être arrondies et à l'abri de toute corrosion. Les vinchons doivent être remplacés lorsque le déplacement mesuré dans l'une des trois directions dépasse une valeur seuil au-delà de laquelle la précision diminue fortement du fait du non-respect de la direction initiale des mesures.

Les points de mesure doivent être protégés des chocs ou situés de manière à ne pas y être exposés.

### **2.6.5 Mesure des infiltrations et pressions**

#### **2.6.5.1 Piézomètres**

##### **2.6.5.1.1 Domaine d'application**

Mesure des pressions d'eau dans un forage et des pressions interstitielles au sein d'un massif de matériau meuble. Les piézomètres en fondation permettent de détecter des sous-pressions et de l'artésianisme.

##### **2.6.5.1.2 Principe de la mesure**

La pression est obtenue, soit en implantant un capteur à l'endroit précis où on désire la mesurer, soit en la calculant à partir de la pression ramenée à l'extérieur massif.

##### **2.6.5.1.3 Avantages des piézomètres**

- Mesure directe facile à interpréter ;
- Appareil télé mesurable (utilisation de cellule électrique).
- Bonne précision si le matériel est adapté.

#### **2.6.5.1.4 Inconvénients des piézomètres**

- Mesure ponctuelle.
- Difficulté d'intervenir sur une cellule si celle-ci ne fonctionne pas.
- Cellule sensible à l'état de magnétisation de la corde vibrante.

#### **2.6.5.1.5 Points à examiner**

Les piézomètres fermés (cellule CL1 de Telemac) permettent une mesure électrique.

**Inconvénient** : difficiles à contrôler et non remplaçables

**Avantage** : télémessure possible

Il existe des piézomètres fermés à cellule rechargeable (munis d'un obturateur gonflable).

Des problèmes de compatibilité entre appareils de mesure et cellule peuvent se poser. Ils doivent provenir du même fournisseur.

Les Piézomètres ouverts sont sensibles à des défauts d'étanchéité sur la tête qui peuvent fausser la mesure.

Les piézomètres sont plus efficaces en milieu calcaire qu'en milieu argileux ou les débits d'infiltration sont très faibles. Les piézomètres de Casa grande, qui ont un diamètre plus faible sont plus adaptés pour ces milieux(DRA-91, 2012).

#### **Précision**

Piézomètre ouvert : précisions au cm

Cellule : Précision au mm

#### **2.6.5.2 Débits de fuite ou de drainage**

##### **2.6.5.2.1 Domaine d'application**

Mesure des débits de fuite au travers d'un massif.

##### **2.6.5.2.2 Principe de la mesure**

Les mesures de débit peuvent se faire de trois manières :

- A l'aide d'un récipient gradué mis en place sous l'écoulement pendant un temps déterminé.
- A l'aide d'un récipient non gradué dont on mesure le temps de remplissage.
- En continu en mesurant la hauteur d'eau passant au travers d'une section calibrée. Des télémessures sont possibles en mesurant le niveau d'eau dans un réservoir.

### **2.6.5.2.3 Avantages des mesures de débit**

- Simplicité des mesures.
- Possibilité de télémesure (capteur à ultrasons), ou capteurs de niveaux.
- Représentativité de la grandeur mesurée.

### **2.6.5.2.4 Inconvénients des mesures de débit**

- Sensibilité au gel.
- Nécessité d'un entretien fréquent.

### **2.6.5.2.5 Points à examiner**

Les capacités utilisées doivent être adaptées au débit à mesurer.

Les sections de mesure soit triangulaires, soit rectangulaires, doivent être maintenues propres.

Il convient de prêter attention aux dépôts solides qui peuvent s'accumuler dans les bacs ou déversoirs.

## **2.6.6 Fibre optique**

### **2.6.6.1 Domaine d'application**

Localisation des changements de températures provoquées par une circulation d'eau.

### **2.6.6.2 Principe de la mesure**

Une fibre optique protégée à l'intérieur d'un câble est installée dans la fondation. A l'aide d'un instrument de mesure, des impulsions lumineuses sont injectées dans la fibre. L'analyse de l'intensité rétrodiffusée et du décalage en longueur d'onde induit par la diffusion permettent de localiser l'écoulement d'eau. La mesure du temps de parcours (aller et retour) permet de déterminer la température de la fibre tout le long du câble. Cette mesure est donc intégratrice.

Différents types d'analyseurs prennent en compte des types de diffusion différents :

Brillouin ou Raman. Les systèmes Brillouin ont une portée de 30km, les systèmes Raman de 1 à 10km (Données constructeurs). La précision est de l'ordre de 1m.

### **2.6.6.3 Avantages de la fibre optique**

- Mesure intégratrice.
- Ne nécessite pas d'identifier la localisation précise des fuites probables.
- Insensibilité à la corrosion, le champ électromagnétique.
- Télémesure possible.

#### **2.6.6.4 Inconvénients la fibre optique :**

- Mesure indirecte (mesure de température).
- Etalonnage complexe de chaque câble.
- Mesure non pérenne (en cas de remplacement la série de données est perdue).
- Sensible à l'état de traction de la fibre donc aux déformations (la fibre peut-être utilisée pour mesurer des déformations ou des tensions).

### **3 CONCLUSION**

Les questions de sécurité liées aux barrages constituent un enjeu. Elles concernent non seulement le barrage lui-même et sa "sécurité intrinsèque", mais aussi ses modalités d'exploitation. Le contrôle du bon état des barrages peut aussi inclure une préoccupation patrimoniale, notamment pour les barrages concédés. L'analyse des mesures d'auscultation permet d'appréhender le comportement d'un ouvrage, et de fonder les diagnostics.

*CHAPITRE II*

*CONCEPTION DU MODELE*

*HC-SR04*

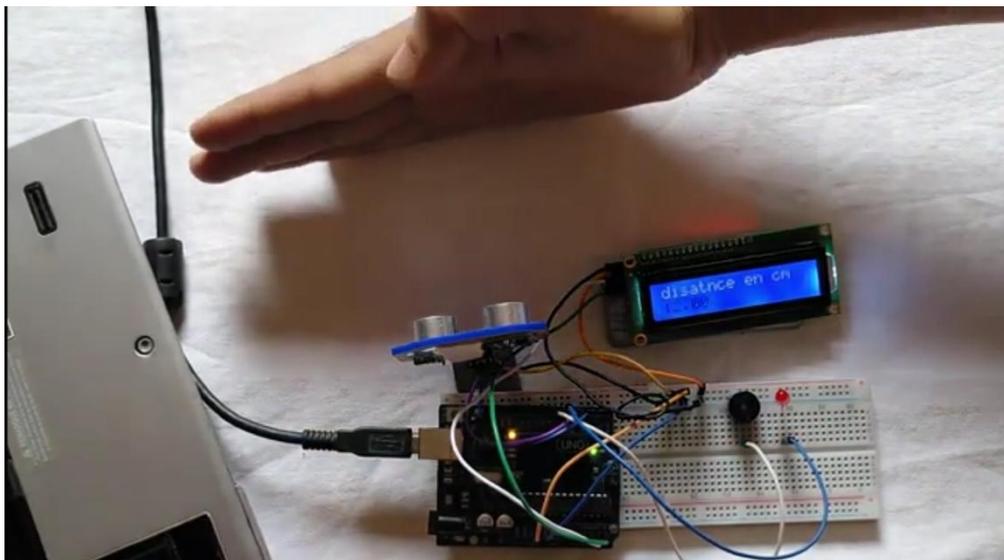
## CHAPITRE 2 : CONCEPTION DU MODELE HC-SR04

### 1 INTRODUCTION

En raison des problèmes rencontrés lors de la mesure du niveau d'eau dans les barrages par des moyens traditionnels utilisés, parfois il nous est impossible de mesurer et parfois les mesures ne sont pas précises, nous avons décidé de chercher une solution alternative en temps réel et plus savoureuse, nous avons donc fabriqué des instruments pour mesurer le niveau d'eau dans les barrages.

Dans cette partie, nous présenterons de nouveaux instruments de mesure qui suivent le rythme de la technologie qui mesure le niveau d'eau dans les barrages. Il nous donne des mesures à distance sans naviguer dans le barrage. Ça s'appelle HC-SR04(Monk, 2013).

### 2 MODULE HC-SR04 COUPLE AVEC LA CARTE ARDUINO-UNO :



**Figure 1 :** Schéma d'un module HC-SR04 couplé avec la carte ARDUINO-UNO et LCD.

#### 2.1 Module HC-SR04

Un émetteur d'ultrasons de HC-SR04 envoie des ondes sonores (8 impulsions à 40kHz). Les ondes se réfléchissent sur un obstacle et reviennent vers un récepteur (Rx)(Monk, 2013).

Connaissant la vitesse du son dans l'air (environ 340 m/s) il suffit de diviser par 2 le temps mis par les ondes pour faire l'aller-retour et on calcule la distance, tel qu'il est illustré dans la figure (7)(Ervin, 2010).



**Figure 2:** Module HC-SR04.

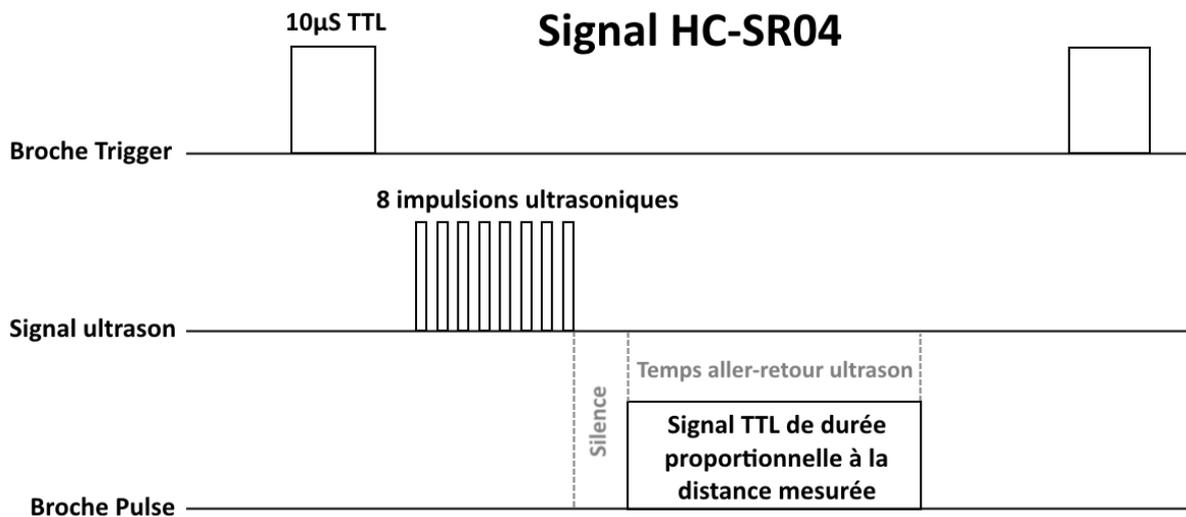
VCC : Voltage Courant continu

Gnd : Grounds, en électricité, la terre électrique

Trig : La génération d'un signal de déclenchement du capteur ultrasonique

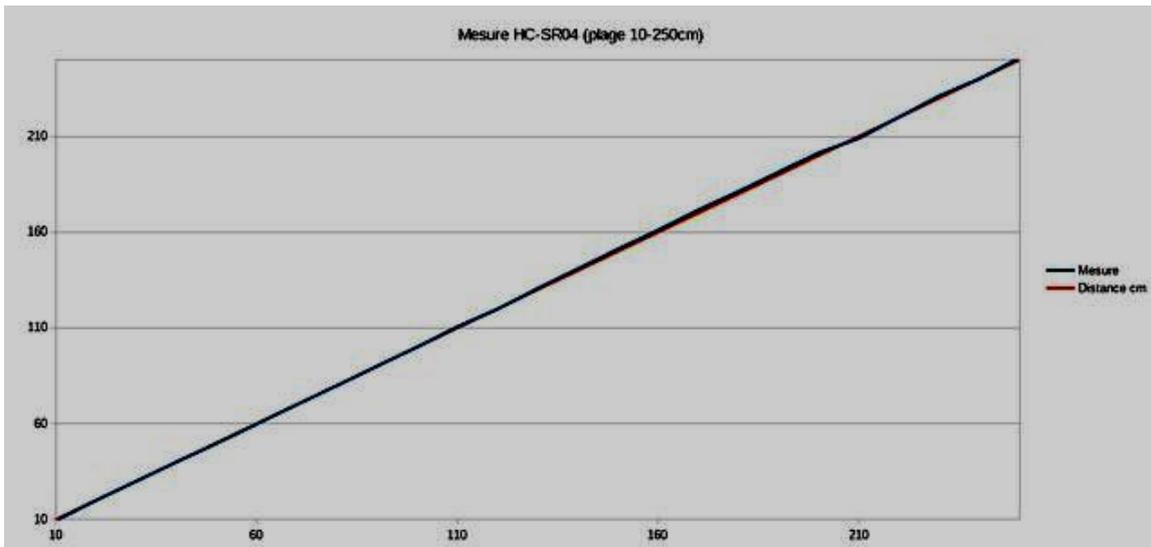
Echo : L'acquisition et la mesure de la largeur de l'impulsion du signal du retour

La circuiterie du HC-SR04 délivre un créneau de tension 5V qui démarre juste après l'émission du train d'ondes ultrasonores, pour s'arrêter lorsque le récepteur détecte les ondes en retour, tel qu'il est illustré dans la figure(8)(ZEGHOUDI and BENOUDINA, 2019).



**Figure 3 :** Signal donné par le HC-SR04.

Nous avons pu remarquer qu'en dessous d'un centimètre, le capteur faisait n'importe quoi. Je suppose donc que le constructeur donne un minimum de deux centimètres pour garder un peu de marge. La figure (9) montre la linéarité du capteur sur la plage [1-250] cm.



**Figure 4 :** Graphique de linéarité du capteur sur la plage 1-250cm.

## 2.2 Carte ARDUINO-UNO

Une carte ARDUINO (figure 10) communique avec son environnement par l'intermédiaire de ses broches d'entrées/sorties. Sur ces broches, des capteurs, dispositifs permettant de transformer une information de l'environnement en signal électrique et des actionneurs, dispositifs permettant de transformer un signal électrique en action mécanique ou lumineuse, vont être connectés. Par conséquent le nombre de broches disponible est un critère de choix important car il détermine le nombre de capteurs et d'actionneurs que l'on va pouvoir connecter (Gabriel and Kuria, 2020).

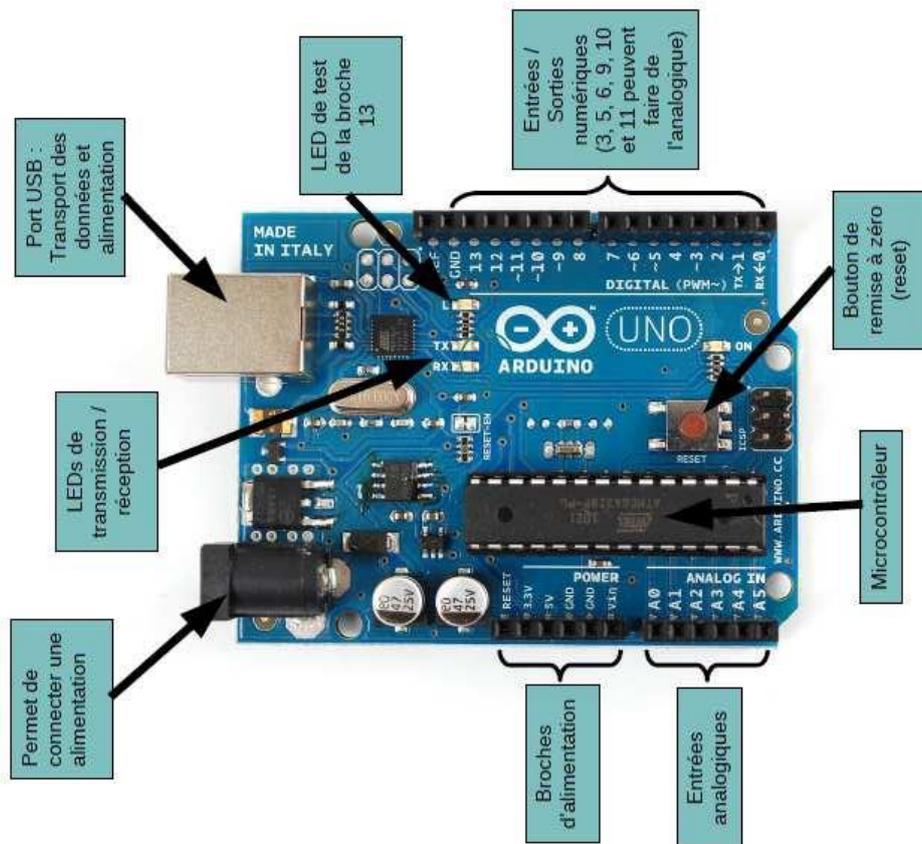
L'ARDUINO étant un ordinateur spécialisé dans la gestion de capteurs et d'actionneurs, c'est un programme qui va décider de la manière donc les capteurs et les actionneurs sont utilisés. C'est donc très différent de l'électronique traditionnelle où les fonctions qui relient les capteurs aux actionneurs, l'appui d'un bouton qui entraîne l'allumage d'un LED par exemple, sont déterminées « en dur » par le câblage entre les composants, et par les composants eux-mêmes. Ici les fonctions sont déterminées par un programme ARDUINO qui émule un langage C++. Par conséquent les fonctions peuvent être, d'une part, beaucoup plus élaborées et, d'autre part, modifiables à volonté sans changer la quincaillerie (Gabriel and Kuria, 2020).



**Figure 5 :**Module ARDUINO-UNO.

Comme le montre la figure (11), un module ARDUINO est généralement construit autour d'un microcontrôleur Atmel AVR (ATmega328 ou ATmega2560 pour les versions récentes, ATmega168 ou ATmega8 pour les plus anciennes), et de composants complémentaires qui facilitent la programmation et l'interfaçage avec d'autres circuits. Chaque module possède au moins un régulateur linéaire 5V et un oscillateur à quartz 16 MHz (ou un résonateur céramique dans certains modèles). Le microcontrôleur est préprogrammé avec un boot-loader de façon à ce qu'un programmeur dédié ne soit pas nécessaire. Les modules sont programmés au travers d'une connexion série RS-232, mais les connexions permettant cette programmation diffèrent selon les modèles. Les premiers ARDUINO possédaient un port série, puis l'USB est apparu sur les modèles Diecimila, tandis que certains modules destinés à une utilisation portable se sont affranchis de l'interface de programmation, relocalisée sur un module USB-série dédié (sous forme de carte ou de câble).

L'ARDUINO utilise la plupart des entrées/sorties du microcontrôleur pour l'interfaçage avec les autres circuits. Le modèle Diecimila par exemple, possède 14 entrées/sorties numériques, dont 6 peuvent produire des signaux PWM, et 6 entrées analogiques. Les connexions sont établies au travers de connecteurs femelle HE14 situés sur le dessus de la carte, les modules d'extension venant s'empiler sur l'ARDUINO. Plusieurs sortes d'extensions sont disponibles dans le commerce. Les modules non officiels « BoARDUINO » et « Barebones », compatibles avec la technologie ARDUINO, utilisent des connecteurs mâles pour une utilisation aisée avec des plaques de test(www.arduino.cc, 2015).

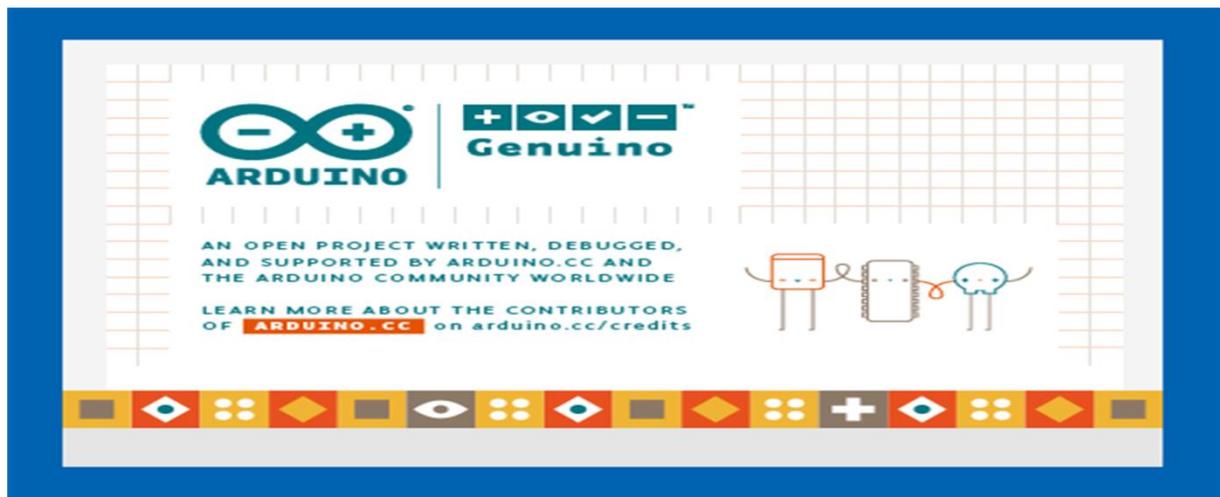


**Figure 6:** Les composants de la carte ARDUINO-UNO.

### 2.3 Logiciel utilisé

Le logiciel de programmation des modules ARDUINO(Figure12) est une application Java, libre et multiplateformes, servant d'éditeur de code et de compilateur, et qui peut transférer le firmware et le programme au travers de la liaison série (RS-232, Bluetooth ou USB selon le module). Il est également possible de se passer de l'interface ARDUINO, et de compiler les programmes via l'interface en ligne de commande.

Le langage de programmation utilisé est le C++, compilé avec  $avr-g^{++3}$ , et lié à la bibliothèque de développement ARDUINO, permettant l'utilisation de la carte et de ses entrées/sorties. La mise en place de ce langage standard rend aisé le développement de programmes sur les plates-formes ARDUINO, à toute personne maîtrisant le C ou le C++(www.arduino.cc, 2015).



**Figure 7:** Logiciel de programmation ARDUINO.

## 2.4 Enregistrement des données

Lorsque l'on veut récupérer des données acquises par un ARDUINO, il existe différentes solutions :

- Communiquer par le câble USB et le terminal série (voir Bibliothèque Serial), le **moniteur série** dispose d'une zone de saisie de texte, associée à un bouton (**Envoyer**) pour envoyer le message saisi. Du côté de l'ARDUINO (le récepteur), les données sont d'abord stockées dans une zone mémoire spéciale appelée *serial buffer*. Il s'agit d'une zone « tampon », où les données peuvent rester en attendant d'être lues. Dès que des données s'y trouvent la fonction (`Serial.available`) renvoie une valeur supérieure à 0.
- Utiliser un média de communication sans fil (Bluetooth, Xbee, ...) ou bien enregistrer les données localement sur la carte SD de manière à pouvoir les consulter plus tard. La dernière solution est particulièrement adaptée pour :

Nous avons besoin d'un grand espace pour enregistrer les informations à long terme sans avoir à nous tenir devant l'ordinateur pour enregistrer les données de la manière traditionnelle car nous pouvons utiliser ces informations d'historique (cfaury, Publié 22 novembre 2016 · Mis à jour 1 avril 2019).

### 2.4.1 Problématique

La problématique du stockage de données est un sujet récurrent en développement ARDUINO. Qu'il s'agisse de stockage de mesures, de journaux d'événements ou simplement de fichiers de configuration, on a souvent besoin de stocker des données pour une utilisation ultérieure.

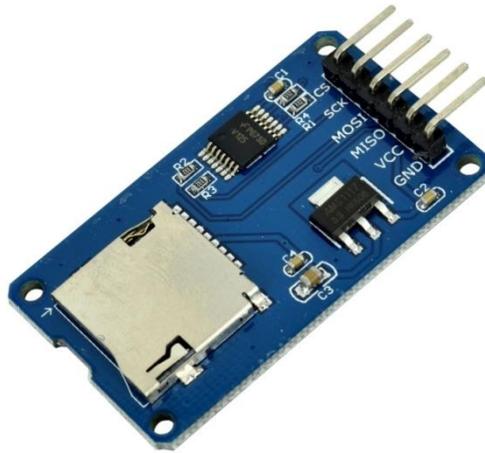
Comme toujours en électronique, plusieurs solutions sont possibles. On peut par exemple utiliser une mémoire EEPROM ou Flash, mais cela a un coût non négligeable et ce n'est pas très pratique. Une solution plus simple d'utilisation existe : utiliser une carte SD.

#### **2.4.2 Utilisation d'une carte SD**

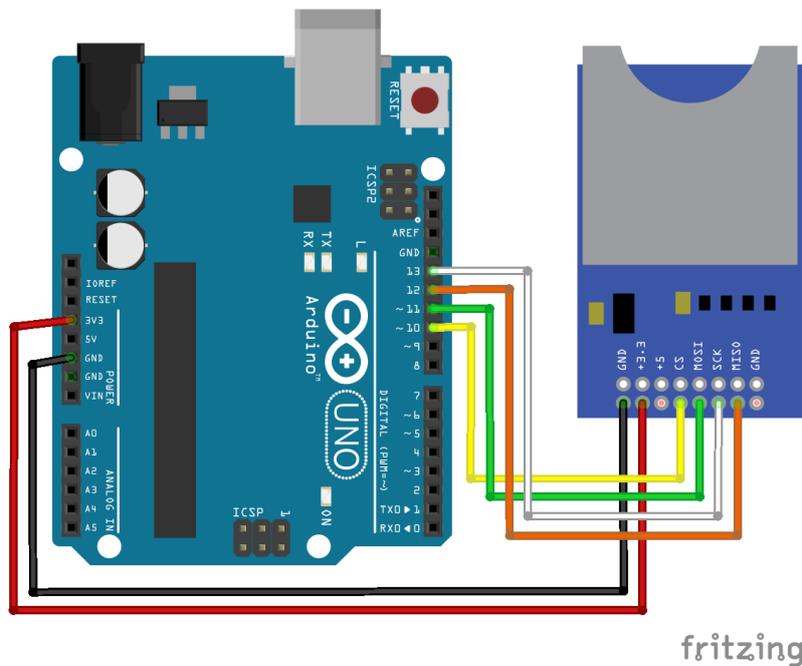
Pour utiliser une carte SD, il faut un module spécial. Il existe de nombreux shields possédant un slot pour carte microSD (figure13). Dans ces cas-là, aucun branchement particulier n'est à faire. Les autres modules, plus universels et non réservés aux ARDUINO, fonctionnent sur un bus SPI, et doivent être connectés sur les ports suivants :

Techniquement, toutes ces shields font usage des broches D11, D12 et D13. Ces trois broches forment un bus SPI. C'est via ce bus SPI que le microcontrôleur de la carte ARDUINO communique avec la carte SD (figure 14). Le module de carte SD présente 6 broches pour permettre d'établir la connexion. 2 connexions pour l'alimentation et 4 pour établir la liaison SPI (Serial Peripheral Interface).

- 5V ou 3.3V pour l'alimentation du module
- GND la masse du module
- CS ou ChipSelect pour activer la communication
- MISO (Master Input, Slave Output) broche de transmission équivalente à la borne Tx d'un port série. Sortie du module.
- MOSI (Master Output, Slave Input) broche de réception équivalente à la borne Rx d'un port série. Entrée du module.
- SCK (Clock) horloge permettant de synchroniser la communication(www.arduino.cc, 2015)



**Figure 8:** Shields carte microSD.



**Figure 9 :** Connectez shields carte SD avec la carte ARDUINO.

### 2.4.3 Affichage

Ce projet utilise, bien évidemment des afficheurs LCD 2\*16 bits a logique intégrée que l'on trouve aujourd'hui très facilement sur le marché. C'est un moyen d'affichage des informations. Et comme il ne fait aucune interprétation des codes de commandes des afficheurs il est compatible de tous les modèles existants, de 1 ou 2 lignes de 16 ou 20 caractères. Il existe deux interfaces normalisées : une version « parallèle » et une autre « série ». Dans cette étude on a

utilisé la version parallèle qui est composée de 2 lignes et 16 caractères, tel qu'il est illustré dans la figure(15)(Soni et al., 2017).



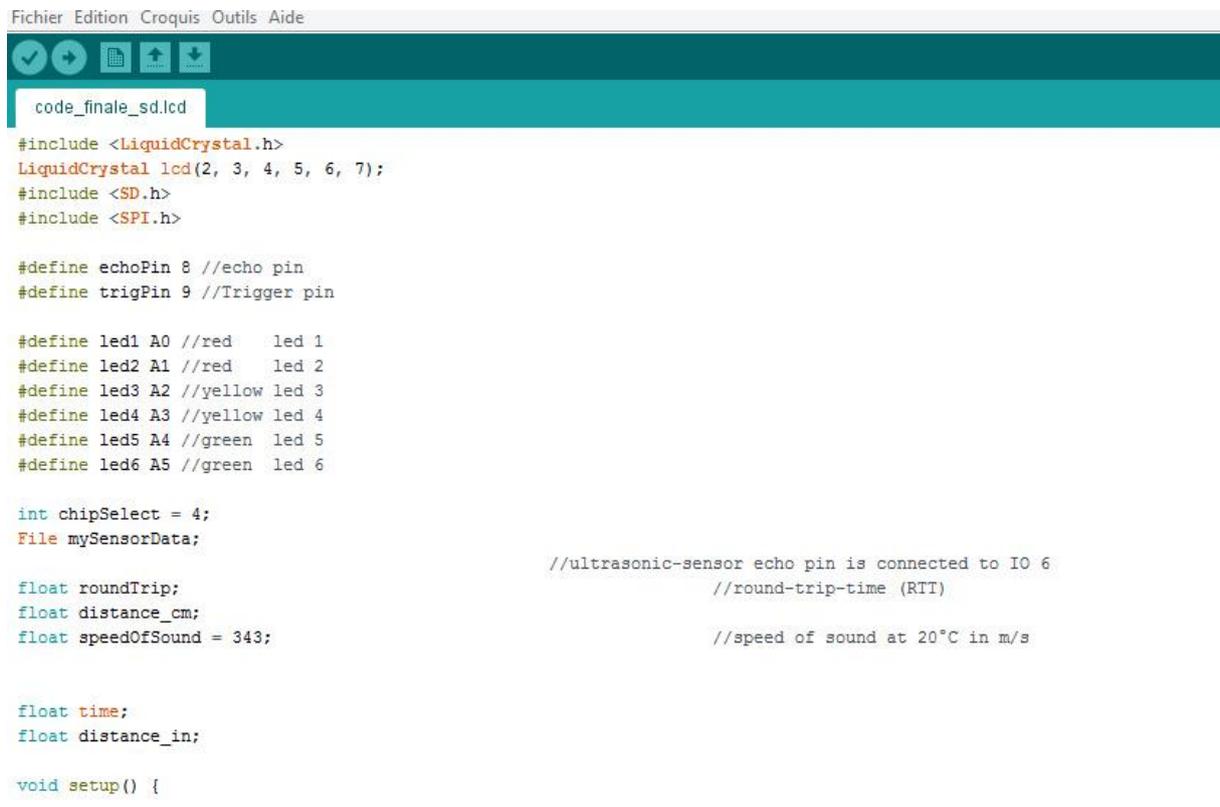
**Figure 10 : LCD 16\*2.**

Au-dessus de l'écran à cristaux liquides proprement dit, on trouve une série de 14 broches aux rôles Suivantes :

- Broche 1 : masse.
- Broche 2 : Vcc.
- Broche 3 : luminosité.
- Broche 4, RS (Registre Select) : sert à dire au module dans quel registre il doit écrire les données.
- Broche 5, R/W : sélection du mode lecture ou écriture.
- Broche 6, E : Commande des opérations d'écriture ou de lecture.
- Broche 7 à 14 : utilisées pour le transfert des données ou des instructions. Le transfert peut se faire sur 8 bits, toutes les broches sont alors utilisées, ou sur 4 bits.

Un afficheur LCD est capable d'afficher tous les caractères alphanumériques usuels et quelques Symboles supplémentaires. Pour certains afficheurs, il est même possible de créer ses propres Caractères. Chaque caractère est identifié par son code ASCII qu'il faut envoyer sur les lignes D0 à D7 broches 7 A 14. Ces lignes sont aussi utilisées pour la gestion de l'affichage avec l'envoi d'instructions telles Que l'effacement de l'écran, l'écriture en ligne 1 ou en ligne 2, le sens de défilement du curseur(Bugaje et al., 2015).

## 2.4.4 Les programmes utilisés



```
Fichier Edition Croquis Outils Aide
code_finale_sd lcd
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(2, 3, 4, 5, 6, 7);
#include <SD.h>
#include <SPI.h>

#define echoPin 8 //echo pin
#define trigPin 9 //Trigger pin

#define led1 A0 //red    led 1
#define led2 A1 //red    led 2
#define led3 A2 //yellow led 3
#define led4 A3 //yellow led 4
#define led5 A4 //green  led 5
#define led6 A5 //green  led 6

int chipSelect = 4;
File mySensorData;
//ultrasonic-sensor echo pin is connected to IO 6
float roundTrip; //round-trip-time (RTT)
float distance_cm;
float speedOfSound = 343; //speed of sound at 20°C in m/s

float time;
float distance_in;

void setup() {
```

## 2.5 Calage et validation :

Au début du projet nous avons mis en place un appareil de mesure du niveau d'eau. On voulait l'utiliser dans les piézomètres des barrages pour la mesure en continu des variations du niveau d'eau et avoir des informations à distance (figure17).

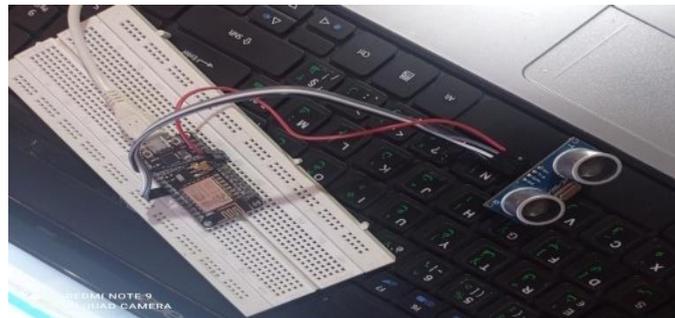
Pour atteindre notre objectif initial nous avons suivi les étapes suivantes :

- Une application (figure16) est installée sur le téléphone connecté avec le dispositif via le réseau Internet



**Figure 11** : l'application Blynk.

- Une fois l'installation, le montage des pièces et la programmation est achevé nous avons testé au laboratoire en mettant de l'eau dans un seau et en variant le niveau d'eau progressivement afin que nous obtenions une gamme de mesure significative (qui varie de 2 cm à + 400 cm),
- Chaque variation du niveau d'eau est mesurée par une sonde limnométriques et comparé avec nos mesures.



**Figure 12** : Appareil de mesure du niveau d'eau dans les piézomètres à distance.

Après cette expérience, nous avons remarqué que :

- La mesure est dépendante de la connexion ;
- lorsque le téléphone est fermé, on ne peut pas connaître les mesures.

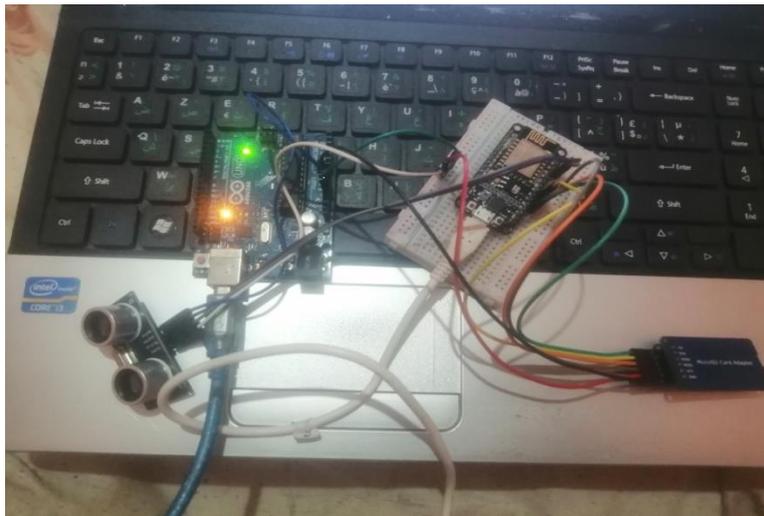
Pour résoudre ce problème nous avons donc pensé à :

- ajouter une carte mémoire à l'appareil pour enregistrer les informations.

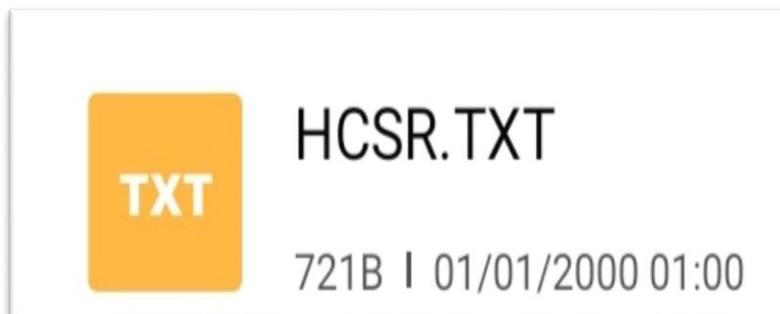
Malheureusement cette solution n'est pas facile à installer l'entrée de la carte mémoire avec les composants de l'appareil sans changer le programme, parce que lorsque vous ajoutez une pièce, vous devez ajouter sa propre programmation.

Après de nombreuses tentatives, nous avons réussi à compléter le code.

On a essayé à nouveau l'appareil (figure18) au laboratoire, nous avons remarqué que toutes les mesures (figure20) effectuées sont identiques à ceux de la sonde et enregistrées dans la carte mémoire en forme de fichier TXT (figure 19).



**Figure 13:** Appareil de mesure du niveau d'eau dans les piézomètres à distance et lecteur carte SD.



**Figure 14 :** Dossier d'enregistrement.

```

← content://media/external/file/37
100.69,
100.72,
100.74,
100.26,
100.70,
100.74,
101.17,
100.27,
100.76,
100.76,
100.31,
100.76,
100.76.

```

**Figure 15** : Les mesures enregistrées dans la carte mémoire.

### 2.5.1 Testé l'appareil dans le barrage :

L'objectif initial de notre mémoire de fin d'étude et de placer le dispositif dans les piézomètres pour contrôler les variations des niveaux d'eau en continu et collecter un maximum de données à pas de temps régulier.

Pour atteindre notre objectif notre choix s'est porté sur le barrage de Bougous dans la wilaya d'El Tarf. La mise en place de notre dispositif à rencontrer plusieurs contraintes à savoir :

- Le diamètre des piézomètres qui est supérieur ou égale à la largeur du dispositif. Ce qui nous a obligé à faire des modifications sur la pièce en coupant ses bords les arrondie afin de l'insérer dans le tube.
- Après avoir résolu le problème du diamètre, nous avons rencontré un autre problème, qui est que le piézomètre lui-même qui est composé de tubes soudés à l'intérieur. Cette soudure est un obstacle à la collision des ondes sonores, ce qui nous donne des fausses mesures (entre la pièce HC-SR04 et la soudure au lieu niveau d'eau).
- Pour cela nous avons donc changé la pièce HC-SR04 par la pièce SR04M-02 (figure21) car elle est plus petite et nous pouvons l'insérer à l'intérieur du tuyau pour dépasser le soudage ;
- Un autre problème nous a rencontrer est l'inclinaison des tubes (piézomètres).L'angle des ondes sonores envoyées par cette pièce est grand, car l'angle des ondes est de 75°à cet angle, les ondes sonores réfléchis sont ceux des tubes pas ceux de l'eau.



**Figure 16 : SR04M-02.**

Face à tous ces problèmes et vue le temps pour réaliser le mémoire on a vue nécessaire d'abandonner l'idée de suivi de la variation des eaux des piézomètres et chercher autres alternatives.

### **2.5.2 Testé l'appareille HC04-SR pour mesuré la côte d'eau dans les barrages**

Ce projet était son idée initiale de mesurer le niveau d'eau dans le piézométrique. Mais vue les problèmes citer dans la partie précédente nous avons changé l'idée et utiliser l'appareil pour mesurer le niveau d'eau dans les barrages.

Nous avons donc fait quelques modifications à l'appareil en ajoutant un écran (figure22) pour afficher les mesures et les lampes LED de différentes couleurs (chaque couleur signifie un certain niveau)ainsi qu'une sirène au cas où l'eau atteint un niveau maximum. Tous ces ajouts pour nous alerter en temps réel des variations de mesures.

Nous avons apporté aussi des modifications au niveau du programme la figure 23 représente la forme finale du dispositif.



**Figure 17 : HC-SR04 et LCD16\*2.**

Après avoir testé ce dernier dans le laboratoire, nous avons trouvé qu'il montrait les mesures sur l'écran ainsi que d'enregistrer sur la carte mémoire, nous l'avons mis à l'intérieur d'une boîte étanche pour la protéger de l'eau et la placer dans le barrage.



**Figure 18 :** La forme final du dispositif.

Au niveau du barrage Bougous on a discuté avec le chef d'exploitation pour tester l'appareil et on a fait une séance de travail sur place on a constaté que le niveau d'eau est presque constant. Cette contrainte nous a obligés à changer le site et voir avec le chef d'exploitation du barrage Mexa.

C'était donc le meilleur endroit pour tester le dispositif car le niveau de l'eau varie souvent après les lâchées du barrage Bougous.

La figure 24 nous montre l'installation et la mise en place de l'appareil. Testé pendant 5 jours, en revenant pour récupérer les mesures, nous avons constaté que la carte mémoire était endommagée et que la batterie était faible.

Il fallait donc changer la batterie et la carte et la laisser encore (DRA-91, 2012) pendant 5 jours mais cette fois a collaboré avec les agents du barrage qui s'occupent de l'auscultation pour vérifier à des intervalles de temps régulier de la journée. A la fin du cinquième jour, nous avons récupéré l'appareil et les mesures. Ces derniers ont été confrontés avec ceux effectués par l'équipe du barrage. Les résultats ont été presque identiques mais avec plus de précision dans les valeurs de notre appareil.



**Figure 19** : Mise en place de l'appareil dans le barrage Mexa.

## 2.6 Conclusion

Grâce à ces expériences, nous avons remarqué que l'un des inconvénients de l'appareil est qu'il ne fonctionne pas dans un champ étroit car son angle est grand, mais il a prouvé sa précision dans la mesure du niveau d'eau dans les barrages, et il a également des sources qui nous alertent sur le niveau d'eau.

## *CHAPITRE III*

### *La zone d'étude*

## CHAPITRE 3 : ZONE D'ETUDE

### 1 INTRODUCTION

La wilaya d'EL TAREF est riche en eau, il contient de nombreux barrages, parmi ces barrages nous avons choisi les barrages de Mexa et Bougous pour tester l'appareil de mesure du niveau d'eau dans les barrages. Dans ce chapitre, nous allons montrer l'emplacement de chaque barrage et ses caractéristiques.

#### 1.1 Barrage Bougous

La position du barrage ait résulté la plus économique. Suite à la comparaison entre cinq emplacements étudiés le long du cours de l'oued BOUGOUS.

Ce site est le seul qui répond à deux conditions essentielles. La vallée est étroite et elle s'ouvre immédiatement en amont, ce qui permet de réaliser une retenue importante à l'aide d'un barrage d'une hauteur convenable.

Le barrage de BOUGOUS est situé dans la partie Nord - Est d'Algérie près de la frontière Algéro-Tunisienne, approximativement à 100km de la wilaya d'ANNABA et à 20km de la wilaya d'EL TAREF, en suivant la route nationale reliant ANNABA à EL KALA.

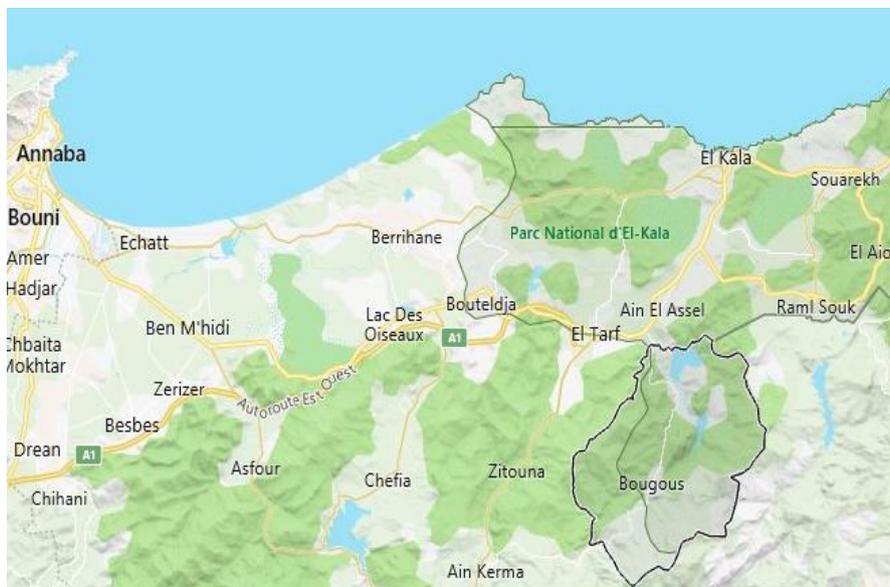


Figure 1 : Localisation de barrage Bougous.

L'oued Bougous avec son bassin versant est situé dans la partie Nord Est de l'Algérie dans la wilaya d'EL TAREF, il s'écoule dans la direction SUD NORD, sont site est situé à 6km en amont du confluent des oueds **BALOUTA** et el **KEBIR**.

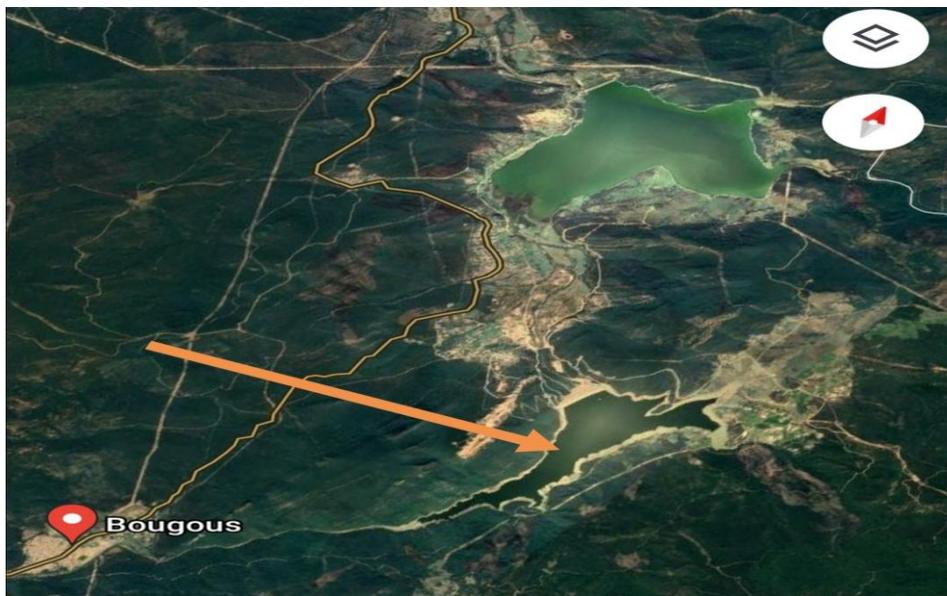
L'axe du barrage se situe à 7 km en amont du barrage Mexenna. Le réservoir du barrage se développera vers la direction SUD, le long de la vallée de l'Oued BOUGOUS. L'emplacement choisi est très proche du lac Mexanna, ce qui permet de ne prendre pas une superficie importante du bassin versant. On ne conclut donc que la position du barrage a été bien choisie.

L'axe retenue lors de l'étude de l'APD est rectiligne avec une orientation environ de N 25° NE et avec les coordonnées suivantes:

X = 1010,620 m

Y = 393,135 m

Z = 77,000 m.NGA



**Figure 2 :**Situation géographique de Barrage Bougous.

La vallée est formée par des rives de moyennes pentes (appui gauche 10°, appui droit 15°) la longueur de la plaine atteint 130 m le long de l'axe.

## **2 CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DU BARRAGE BOUGOUS ET BARRAGE MEXA**

Les deux barrages sont des barrages en terre contenant de l'argile et des roches et des matériaux alluvionnaires extraits du sol où les barrages ont été construits à partir de matériaux trouvés dans le sol, tous les matériaux locaux, ainsi que du ciment utilisé dans le traitement du béton.

**Tableau 1** :Caractéristiques techniques du barrage Bougous et Mexa.

<b>Caractéristiques</b>	<b>Barrage Bougous</b>	<b>Barrage Mexa</b>
Type de barrage	Barrage en terre	Barrage en terre
Côte de retenue normale	139.00 m	52.00 m
Côte de crête	143.60 m	58.33 m
Hauteur de la digue	71.42 m	40.00 m
NPHE	144m	60.00 m

## **2.1 Le système d'auscultation du barrage**

### **2.1.1 Mesure des infiltrations et pressions**

Les piézomètres : il ya 18 piézomètres implantés dans le barrage dont :

- 6 à l'aval de barrage pour mesuré le niveau d'eau ;
- Et 12 dans la galerie d'injection pour mesuré le niveau d'eau dans les piézomètres et mesuré la pression.

### **2.1.2 Débit de fuite**

Le débit des fuites est connu en mesurant la quantité d'eau qui fuit des drains. Le barrage a 77 drains dans la galerie d'injection.

### **2.1.3 Mesuré la cote d'eau**

Une échelle limnimétriques est collée sur la digue côté amont pour connaître le niveau d'eau dans le barrage.

## **2.2 Barrage Mexa**

Le barrage Mexa est aménagé sur la vallée de l'oued El-Kebir-Est, au Nord-Est de la ville d'EL-Tarf (Algérie) et est alimenté par 3 oueds : El-Kabîr, Bougous et Ballouta. Ce barrage d'une capacité de 280 hm<sup>3</sup> a été mis en eau au cours de l'année 2000.

Les eaux de ce barrage sont destinées à l'alimentation en eau potable des villes d'Annaba, d'El-Tarf et d'El-Kala ainsi qu'à l'irrigation des champs agricoles.

Les coordonnées de ce barrage est :

X : 1.008.355.58 m

Y : 399.089.26 m

Z : 60 m



**Figure 3:** Situation géographique de barrage Mexa.

### **2.2.1 Le système d'auscultation du barrage**

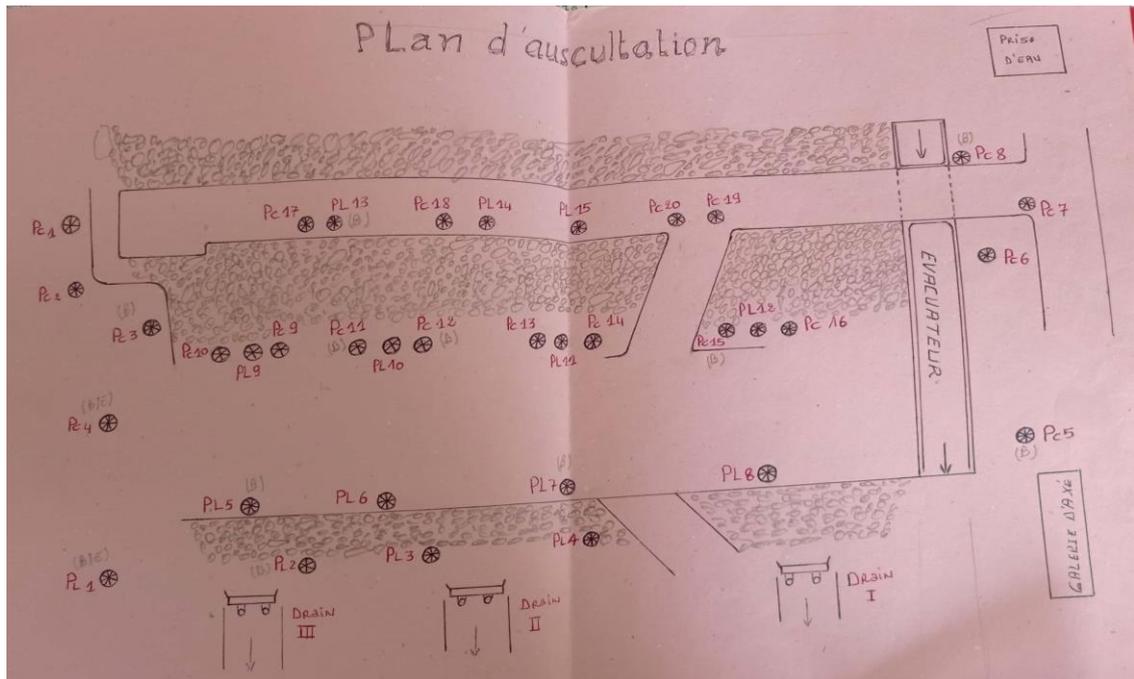
#### **2.2.2 Mesure des infiltrations**

Le barrage comporte 35 piézomètres dont :

- 12 piézomètres bouchés (hors service).
- Six (06) piézomètres implantés dans la digue
- Deux (02) piézomètres sur la rive droite,
- Trois (03) piézomètres sur la rive gauche
- Seize (16) piézomètres à l'aval de barrage.

#### **2.2.3 Mesuré la cote d'eau**

La figure 28 illustre le plan d'auscultation du barrage Mexa. Les piézomètres implantés selon le plan permettent de connaître le niveau d'eau dans le barrage.



**Figure 4 :** plan de piézomètre.

### 3 CONCLUSION

La wilaya d'EL TAREF est considérée parmi les plus pluvieuses régions d'Algérie. Chose qui oblige l'état de profiter de cette richesse en construisant des barrages et des retenues afin de stocker une réserve d'eau suffisante pour servir la population et les agriculteurs. Le barrage de Mexa est aménagé sur la vallée de l'oued El-Kébir-Est, au Nord-Est de la ville d'El-Tarf (Algérie) et est alimenté par trois (03) oueds : El-Kébir, Bougous et Ballouta, destiné essentiellement pour l'alimentation en eau potable des wilayas d'Annaba et El Tarf. Le barrage Bougous est situé sur l'oued Bougous à 20 km à l'est du Chef-lieu, en bordure de la frontière avec la Tunisie. Il est destiné à satisfaire les besoins en eau potable et industrielle de la wilaya d'El Tarf ainsi que la compensation partielle du volume d'eau suite au réaménagement du barrage de Mexa situé à l'aval.

# *CHAPITRE IV*

## *Résultats et discussion*

## CHAPITRE 4 : RESULTATS ET DISCUSSION

### 1 INTRODUCTION

L'auscultation des ouvrages peut avoir plusieurs buts. De fait il s'agit de détecter et de mettre en évidence toute anomalie qui pourrait être le signe avant-coureur d'une défaillance de l'ouvrage. Le résultat de l'interprétation sera d'autant plus favorable que :

- tout type d'anomalie (significative) de comportement sera appréhendée ;
- que la détection sera la plus précise, et
- qu'elle aura lieu le plus rapidement possible.

Il convient toutefois d'ajouter que l'instrumentation et l'interprétation des mesures doivent être conçues de façon à rendre cette explication possible et aisée en cas de nécessité. Il faut enfin souligner l'extrême importance de l'auscultation lors de situations exceptionnelles. Elle dépasse même l'intérêt qu'elle présente lors d'une exploitation normale sans problèmes, étant entendu que les deux situations (ou périodes) sont indissociables.

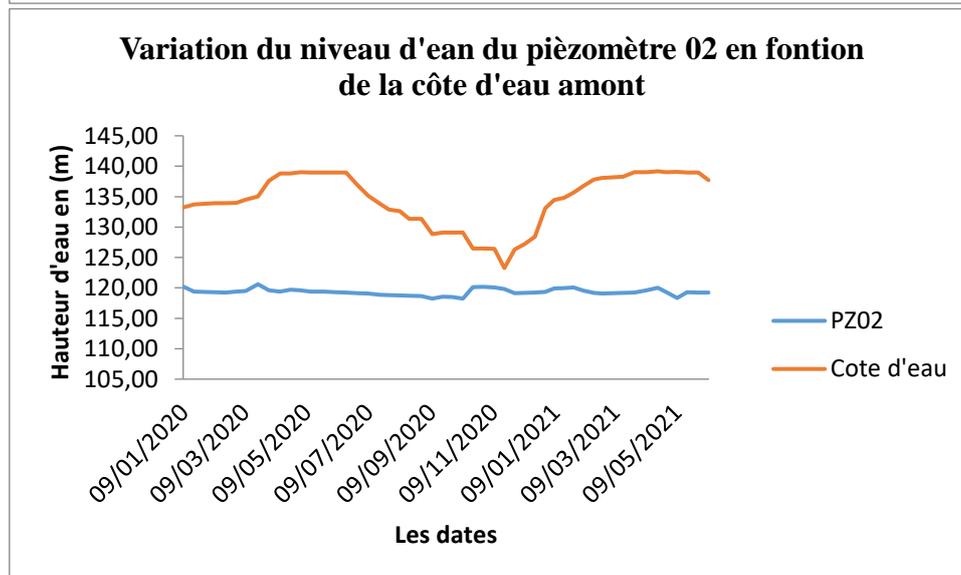
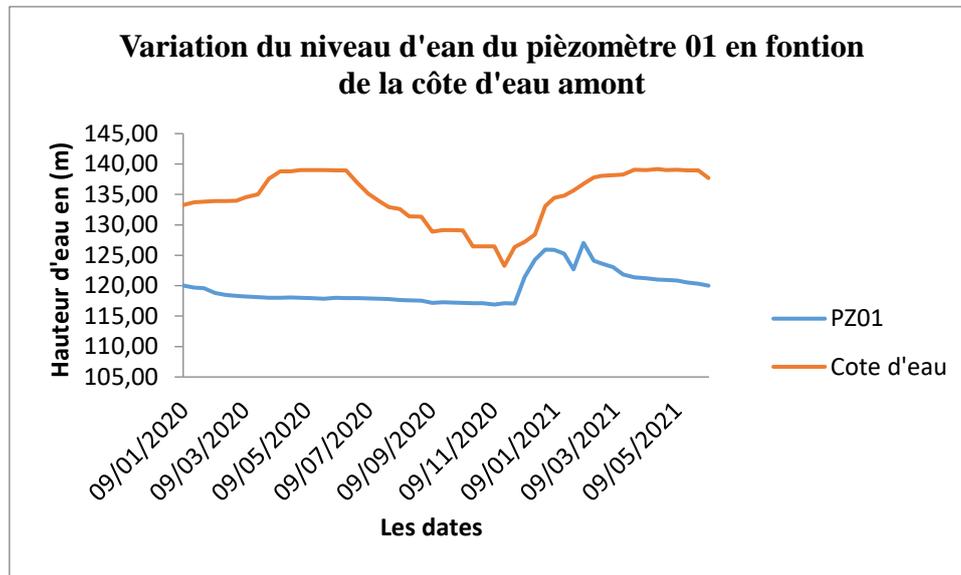
Tout jugement de valeurs - ainsi celui sur la sécurité des barrages - se base sur une comparaison entre "observation" et "référentiel" ou bien entre comportement réel et comportement normal. L'observation comprend entre autres les mesures d'auscultation, ainsi que les résultats des inspections. Le référentiel est formé par les règles de l'art, les lois, les normes, les expériences faites et bien d'autres "informations" encore. Il représente ce qui est considéré normal ou acceptable aux yeux des responsables.

Dans cette partie nous allons analyser des données de l'auscultation des deux barrages Mexa et Bougous pour nous permet de pouvoir considérer ces mesures en dehors de l'influence de paramètres extérieurs (niveau de la retenue, date ou effet saisonnier, temps, pluie). En se ramenant à des conditions constantes, il est possible d'analyser le comportement du barrage au cours du temps et de détecter la mise en place de phénomènes de dégradation.

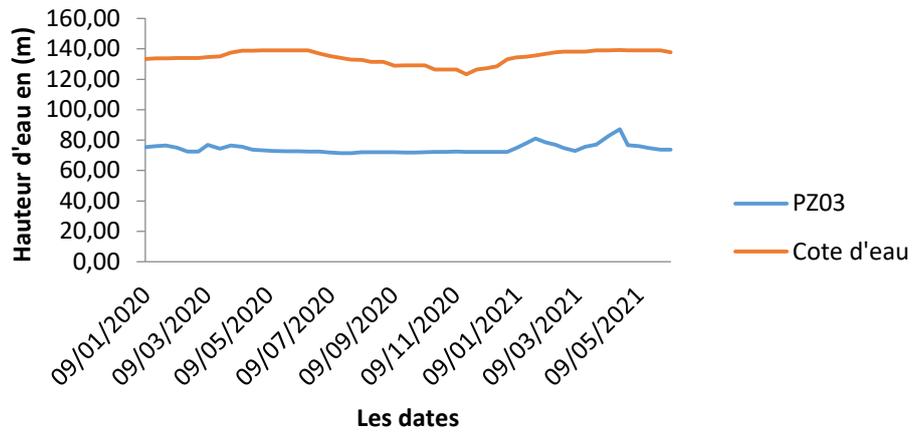
# 1 L'AUSCULTATION DU BARRAGE BOUGOUS

- La variation du niveau d'eau du 6 piézomètres en fonction de la côte d'eau amont

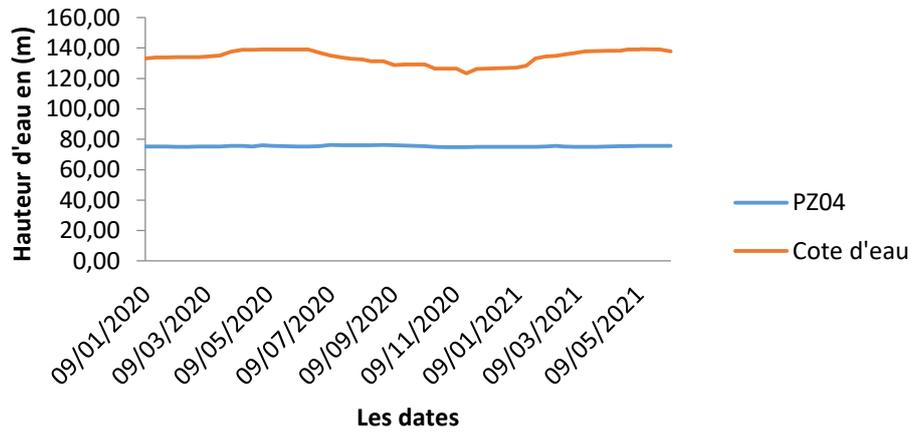
## 1.1 Interprétation des courbes



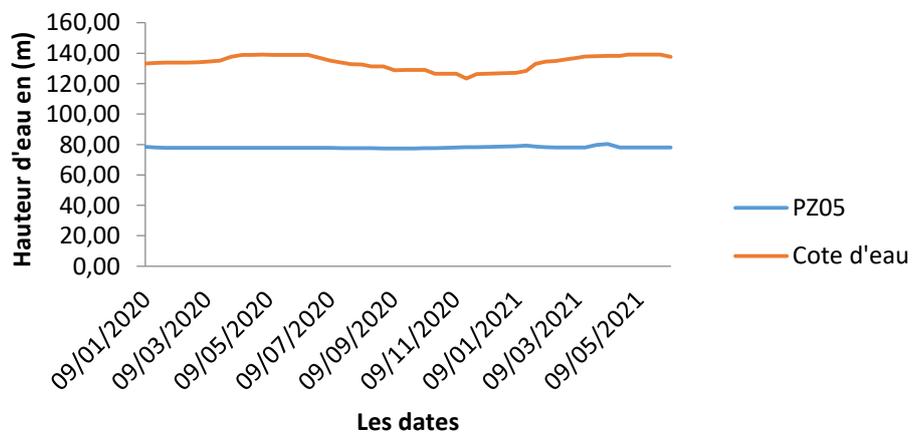
**Variation du niveau d'eau du piézomètre 03 en fonction de la côte d'eau amont**

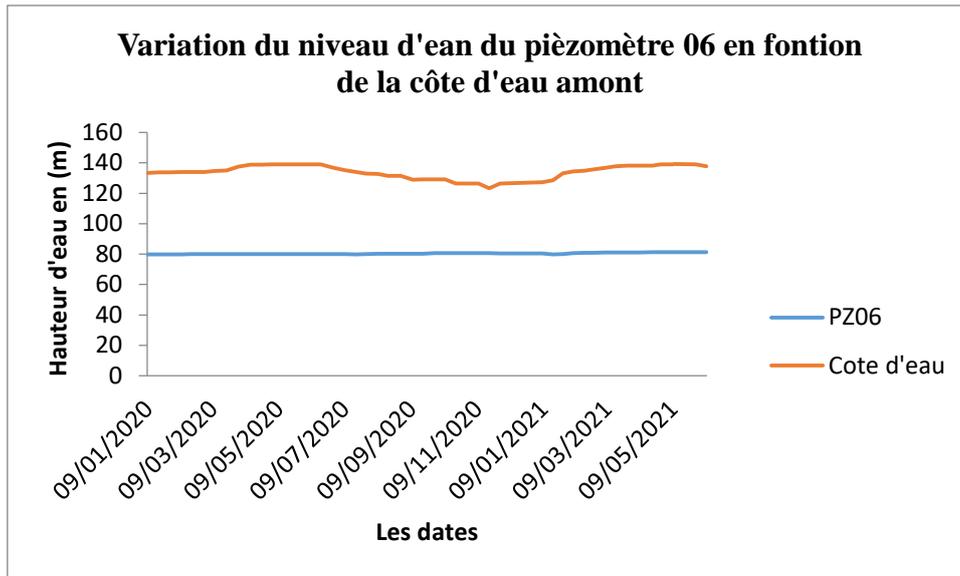


**Variation du niveau d'eau du piézomètre 04 en fonction de la côte d'eau amont**



**Variation du niveau d'eau du piézomètre 05 en fonction de la côte d'eau amont**





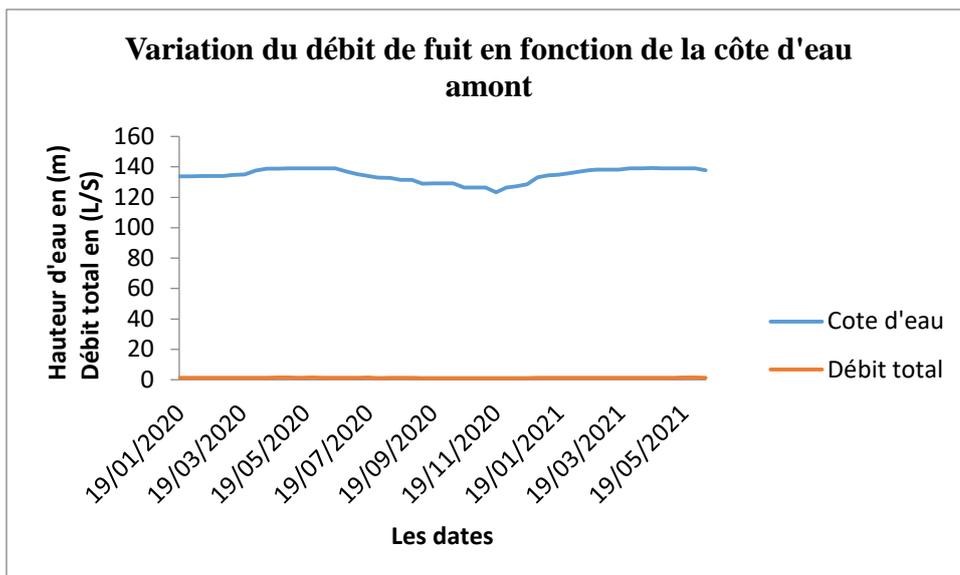
On constate à partir de ces courbes, que la variation de l'eau est proportionnelle entre le niveau d'eau dans le barrage et dans le piézomètre. Cela signifie que lorsque le niveau d'eau dans le barrage change, le niveau d'eau dans le piézomètre change également. Cette variation confirme le bon fonctionnement du parement du barrage, Il n'y a pas d'infiltration d'eau et ne contient pas des fissures.

- **La variation du débit de fuite en fonction de la côte d'eau**

Le barrage est doté de 77 drains dans la galerie d'injection.



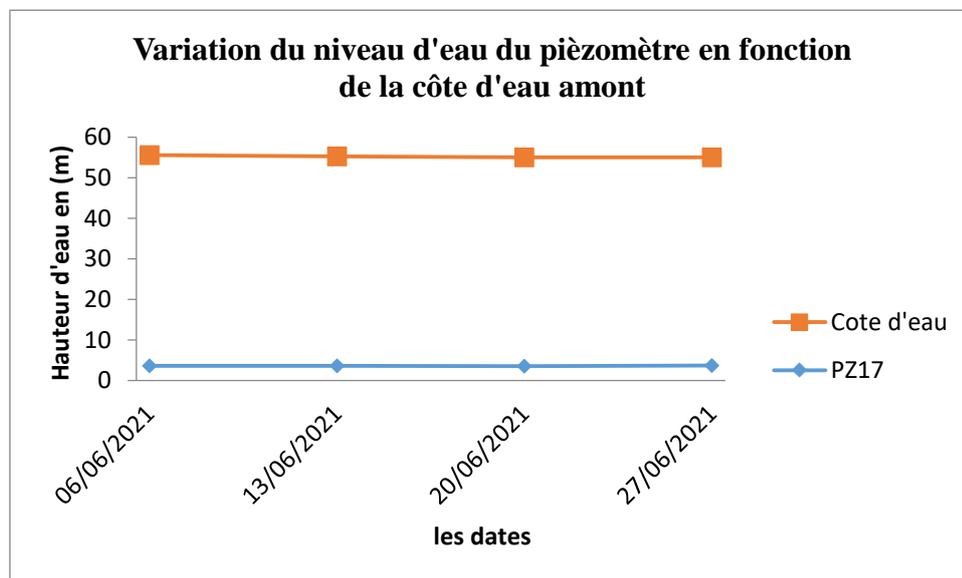
**Figure 1** : Les drains.

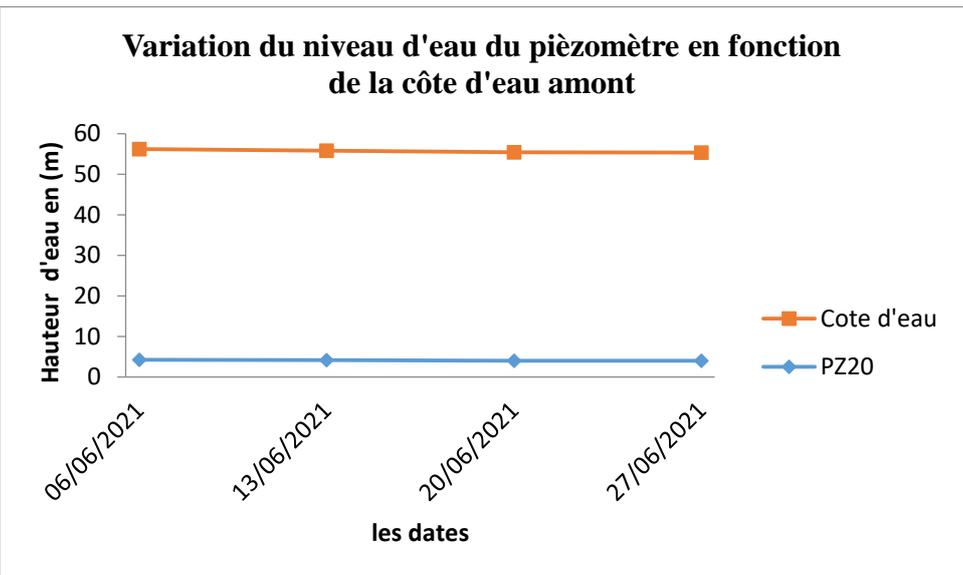
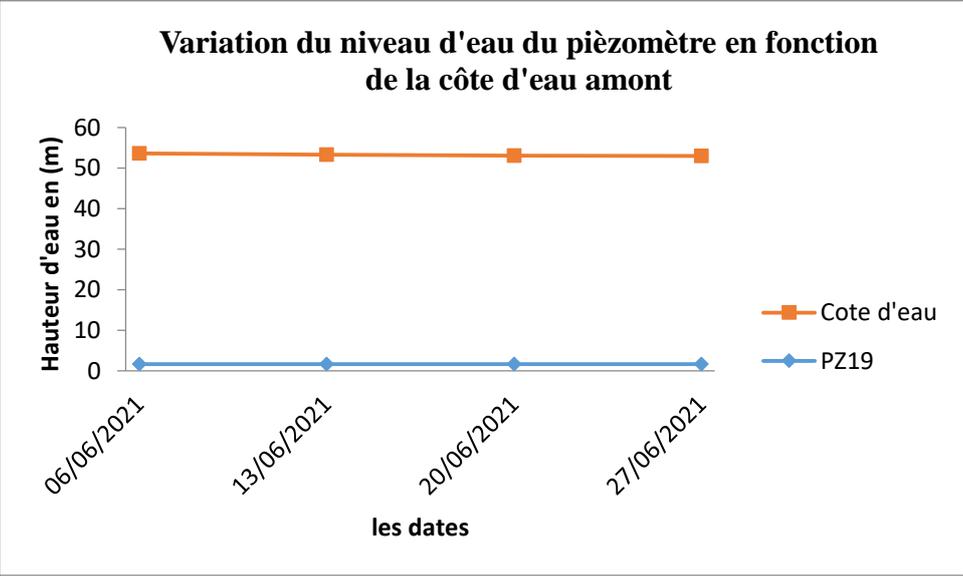
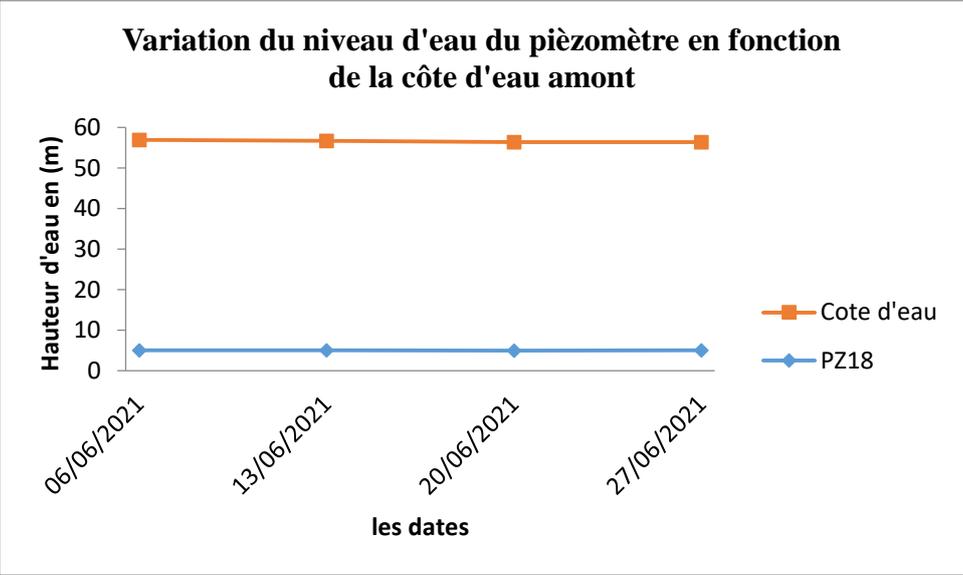


L'analyse de cette courbe, révèle que le débit de fuite dans le barrage estimée à 1,3 l/s en valeur moyenne est faible insignifiante par rapport à la quantité d'eau dans le barrage. La faible valeur du débit de fuite signifie le bon fonctionnement du noyau et la protection amont.

#### Auscultation de barrage Mexa

La variation du niveau d'eau du 4 piézomètres en fonction de la côte d'eau amont





## 1.2 Interprétation des courbes

À partir de ces courbes, on remarque que les deux courbes suivent la même variation. Cela signifie que lorsque le niveau d'eau dans le barrage change, le niveau d'eau dans le piézomètre change également. Ce qui confirme le bon fonctionnement et le bon état de la digue. Il n'y a pas d'infiltration d'eau et ne contient pas des fissures.

## 2 LA COMPARAISON ENTRE LES MESURES DE LA COTE D'EAU PAR LA REGLE DE MESURE ET LES MESURES PAR LE DISPOSITIF HC-SR04

Dans cette partie on va confronter les résultats de la sonde avec ceux mesurées par la règle pour valider le modèle ultrason.

**Tableau 1** : Mesures de la cote d'eau par la règle de mesure et par le dispositif HC-SR04.

<b>La date</b>	<b>Mesures de la cote d'eau par la règle de mesure en (m)</b>	<b>Mesure de la cote d'eau par le dispositif HC-SR04 en (m)</b>	<b>Les erreurs</b>
<b>15/06/2021 à 09 :30h</b>	51.58	51.577	0.0000581
<b>20/06/2021 à 09 :30</b>	51.40	51.393	0.000136
<b>23/06/2021 à 09 :30</b>	51.28	51.278	0.0000390
<b>23/06/2021 à 10 :00</b>	-	51.307	-
<b>23/06/2021 à 14 :00</b>	-	51.350	-
<b>23/6/2021 à 19 :00</b>	-	51.525	-
<b>24/06/2021 à 08 :00</b>	51.85	51.850	0
<b>25/06/2021 à 08 :00</b>	51.99	52	-0.0000912
<b>26/06/2021 à 08 :00</b>	51.95	52	-0.000962
<b>27/06/2021 à 08 :00</b>	51.93	51.927	0.0000577

$$\text{Les erreurs} = \frac{\text{Mesures par la règle de mesure} - \text{Mesures par le dispositif HC - SR04}}{\text{Mesures de la cote d'eau par la règle de mesure}}$$

De ce tableau, nous concluons que le dispositif **HC-SR04** fonctionne bien, et en comparant les mesures, nous remarquons qu'il y a une convergence des valeurs et nous pouvons dire que les mesures du dispositif **HC-SR04** sont précises, car elles nous donnent des mesures en millimètres et nous pouvons suivre le changement du niveau d'eau dans le barrage en fonction du temps.

### **Remarque**

Il y a des valeurs qui n'existent pas dans la table. c'est parce que les surveillants du barrage mesurent un niveau tous les jours à 8 heures du matin, le contraire d'un appareil que nous pouvons programmer à l'heure que nous voulons.

### **Conclusion**

L'auscultation du barrage consiste à se prononcer sur leur état de santé et pour ce faire, il faut distinguer les déplacements du barrage consécutifs aux sollicitations de ceux qui sont symptomatiques d'une dégradation de l'ouvrage.

Les deux barrages étudiés représentent un bon fonctionnement.

L'adaptation d'un modèle de gestion en temps réel des phénomènes extrêmes et les variations brusques passe par la préconisation d'outils d'alerte susceptibles d'anticiper les ondes de crue et leurs impacts à l'aval.

## *Conclusion Générale*

## **CONCLUSION GENERALE**

Dans cette étude, nous connaissons les moyens utilisés dans les barrages et il s'est avéré que connaître le niveau d'eau dans les barrages est très important pour suivre l'état du barrage.

L'objectif de cette étude, créer un appareil à ultrasons pour mesurer le niveau d'eau dans les barrages au lieu de l'ancienne méthode, car parfois nous ne pouvons pas mesurer le niveau d'eau dans les barrages en raison des conditions climatiques. Cet appareil se compose d'une carte Arduino associée au module HC-SR04 Capteur ultrasoniques et d'un écran LCD ainsi que d'une porte de carte mémoire pour enregistrer les mesures.

Bien que nous ayons fait face à des restrictions processus tout en réalisant un cercle, et après de nombreux tests, il était clair de choisir une méthode plus efficace pour la découverte. Grâce à cette combinaison, nous obtenons un appareil pour mesurer le niveau d'eau dans les barrages par ondes ultrasonores.

Lorsque nous comparons les mesures obtenues par les mesures de l'appareil mesurées par l'échelle limnométrique, nous concluons que l'appareil est efficace, nous pouvons compter sur pour mesurer le niveau d'eau dans les barrages.

## *Références Bibliographiques*

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- BONELLI, S., RADZICKI, K., SZCZESNY, J., TOURMENT, R. & FELIX, H. 2005. L'auscultation des barrages en terre: une nécessité. *Ingénieries eau-agriculture-territoires*, p. 13-p. 22.
- BONELLI, S., TOURMENT, R. & FELIX, H. 2003. Analysis of earthdam monitoring data. *Selected problems of water engineering, Kraków*, 133-150.
- BUGAJE, A., LOKO, A., ISMAIL, U. & SAMUEL, A. 2015. Design and implementation of an unmanned ground vehicle for fumigation purpose. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, 30, 441-443.
- CFAURY Publié 22 novembre 2016 · Mis à jour 1 avril 2019. Enregistrer des données.
- DAMS, C. O. O. O., DAMS, M. I. C. O. L. & TONINI, D. 1972. *Reports of the Committee on Observation on Dams and Models*, ICOLD.
- DRA-91 2012. Maîtrise des Risques Accidentels sur les ouvrages hydrauliques : Opération B.2. *RAPPORT D'ÉTUDE*. Paris.
- DUNNICLIFF, J. 1993. *Geotechnical instrumentation for monitoring field performance*, John Wiley & Sons.
- ERVIN, F. 2010. Arduino-based Object Detection System. *Project Final Report*.
- GABRIEL, M. M. & KURIA, K. P. 2020. Arduino Uno, Ultrasonic Sensor HC-SR04 Motion Detector with Display of Distance in the LCD. *International Journal of Engineering Research and Technical Research*, 9.
- HANNA, T. H. 1985. Field instrumentation in geotechnical engineering.
- ICOLD, C. 1988. Dam monitoring general considerations. *International Commission on Large Dams. Bulletin*, 60.
- ICOLD, C. 2018. *Dam Surveillance Guide*, CRC Press.
- MASSE, F. & BALOUIN, T. Evaluation de l'auscultation des barrages pour sa valorisation dans les études de dangers. Colloque CFBR" Sûreté des barrages et enjeux", 2016. 65-77.
- MONK, S. 2013. *30 Arduino projects for the evil genius*, McGraw-Hill Education.
- PENMAN, A. 1986. On the embankment dam. *Geotechnique*, 36, 303-348.
- POUPART, M., DE LUSTRAC, J., BOURGEY, P. & BONELLI, S. Les enjeux économiques de l'auscultation pour la maintenance des barrages. 20ème congrès international des grands barrages, Beijing, CHN, 19-22 septembre 2000, 2000. 1063-1073.
- SARNACKI, S. H., MAROLDA, C. L., NOTO LLANA, M., GIACOMODONATO, M. N., VALVANO, M. A. & CERQUETTI, M. C. 2009. Dam methylation controls O-antigen chain length in Salmonella enterica serovar enteritidis by regulating the expression of Wzz protein. *Journal of bacteriology*, 191, 6694-6700.
- SONI, N., SARITA, S., KUMAR SAHU, B., JAIN, B. & SHRIVASTAVA, G. 2017. Distance measurement using ultrasonic sensor and arduino. *International Journal of Engineering Science and Computing*, 7, 1-2.
- [WWW.ARDUINO.CC](http://WWW.ARDUINO.CC) 2015. [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc).
- ZEGHOUDI, A. & BENOUDINA, H. 2019. Etude et réalisation d'un bâton d'aveugle intelligent à base des capteurs ultrason.