

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT
D'HYDRAULIQUE

N° :.....



DOMAINE : TECHNOLOGIE
FILIERE :HYDRAULIQUE
OPTION : HYDRAULIQUE URBAINE

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de
Master Académique**

Par :

Fatima Zerd

Moussa Bissar

Intitulé

**Conception d'un système de supervision du pH pour
l'évaluation de la qualité de l'eau**

Soutenu devant le jury composé de

Adjissi Omar

Université de M'sila

Président

Djallel Mahdi

Université de M'sila

Encadreur

Temim Djamel

Université de M'sila

Examineur

Année Universitaire 2024 – 2025

Remerciements

Louange à Dieu qui nous a permis d'achever ce travail et nous a facilité les voies de l'apprentissage et de la recherche. Que la paix et les bénédictions soient sur notre Prophète Mohammed, le dernier des messagers, ainsi que sur sa famille et ses compagnons.

*Nous exprimons notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à notre encadreur, **Monsieur Djallel Mahdi**, pour sa précieuse supervision, ses conseils éclairés et son soutien constant tout au long de la réalisation de ce mémoire. Ses orientations ont eu un impact décisif sur l'aboutissement de ce travail.*

*Nos remerciements s'adressent également à l'ensemble des enseignants et du personnel du **Département de l'Hydraulique de l'Université Mohamed Boudiaf-Pôle**, pour l'enseignement et l'encadrement de qualité qu'ils nous ont offerts durant toutes nos années d'étude.*

Nous remercions aussi toutes les personnes qui nous ont soutenus, de près ou de loin, dans l'accomplissement de ce mémoire, que ce soit à l'intérieur ou à l'extérieur de l'université.

Nous tenons à exprimer notre reconnaissance à nos familles respectives, pour leur soutien moral indéfectible, leurs encouragements et leurs prières, qui ont été pour nous une source de force et de motivation tout au long de ce parcours.

Nous remercions également nos camarades et amis, avec qui nous avons partagé entraide, motivation et moments de solidarité pendant ces années universitaires.

À toutes celles et ceux qui ont contribué d'une manière ou d'une autre, à la réalisation de ce travail, nous disons : merci du fond du cœur, et qu'Allah vous récompense pour votre bienveillance.

QU'Allah nous accorde le succès.

Résumé

La mise en œuvre de système de mesure en temps réel du pH pour l'évaluation et l'analyse de la qualité de l'eau offre une solution prometteuse pour le contrôle de la pollution et la bonne gestion de traitement de l'eau. Cette étude vise à réaliser ce système de surveillance du pH de l'eau à l'aide de technologies modernes, dans le but de fournir des mesures précises par l'insertion des systèmes de communication sans fil par Bluetooth ou Wifi et l'intégration d'une sonde de température pour régler la valeur de pH automatiquement.

Dans ce travail, nous proposons la mise en place d'un système simple et facile à utiliser basé sur une carte Arduino Mega permet d'être pertinent sur le choix dans l'exploitation et la supervision des données tout en permettant des coûts d'investissement minimisés et rendre l'équipement plus performant. Les données mesurées sont affichées sur un petit écran LCD, et les valeurs sont envoyer par Bluetooth vers un smartphone afin de suivre l'évolution de la qualité de l'eau dans le temps. En effet, le choix de surveillance de la qualité de l'eau d'une partie de la zone du pôle universitaire de m'sila indique que l'eau est dans la gamme de l'eau potable malgré la variation du pH. Ainsi les causes les plus probables de cette variation peuvent être dues aux différences de composition entre les réservoirs et les tuyaux, la température et les conditions de stockage de l'eau ou le mélange avec l'eau résiduelle initiale contenus qui contiennent des micro-organismes.

Mots-clés : Supervision, Qualité de l'eau, pH, Arduino Mega.

ملخص

إن تنفيذ نظام قياس فوري لمستوى الكمون الهيدروجيني (pH) لتقييم وتحليل جودة المياه يعد حلاً واعدًا للتحكم في التلوث والإدارة الجيدة لمعالجة المياه. تهدف هذه الدراسة إلى تطوير نظام لمراقبة درجة حموضة المياه باستخدام تقنيات حديثة، بهدف تقديم قياسات دقيقة من خلال إدخال أنظمة اتصالات لا سلكية عبر البلوتوث أو الواي فاي، ودمج مسبار درجة حرارة لضبط قيمة الكمون الهيدروجيني pH اليا. في هذا العمل، نقتراح إنشاء نظام بسيط وسهل الاستخدام يعتمد على لوحة إردوينوميكا (ArduinoMega) مما يتيح اختياراً مناسباً لاستغلال وجعل الجهاز أكثر كفاءة. تعرض البيانات المقاسة على الهاتف الذكي لمتابعة تطور جودة المياه في الوقت الحقيقي. في الواقع، أظهرت مراقبة جودة المياه في جزء من القطب الجامعي لمسيلا أن المياه تقع ضمن نطاق مياه الشرب رغم تغير قيمة ال pH. وقد تكون الأسباب الأكثر احتمالاً لهذه التغييرات ناتجة عن اختلافات في التركيب بين الخزانات والأنابيب، ودرجة الحرارة، وظروف تخزين المياه، أو اختلاطات بالمياه المتبقية الأصلية التي تحتوي على كائنات دقيقة.

الكلمات المفتاحية: الإشراف، جودة المياه، الكمون الهيدروجيني، اردوينوميكا.

Abstract

The implementation of a real-time pH measurement system for assessing and analyzing water quality offers a promising solution for pollution control and effective water treatment management. This study aims to develop a pH monitoring systems using modern technologies to provide accurate measurement by incorporating wireless communication systems via Bluetooth or Wi-Fi, and integrating a temperature sensor to automatically adjust the pH value. In this work, we propose the implementation of a simple and easy for uses this system which based on an Arduino Mega board, which proves to be a relevant choice for data exploitation and supervision while minimizing investment costs and enhancing. The measured data is displayed on a small LCD screen, and the values are sent via Bluetooth to a smartphone to monitor the evolution of water quality in real time. Indeed, the monitoring of water quality in part of the university pole of M'sila indicated that the water falls within the range of potable water when the pH change. The most probable causes of this pH variation could be due to differences in composition between the reservoirs and pipes, temperature, water storage composition, or mixing with residual initial water containing microorganisms.

Keywords: Supervision, Water Quality, pH, Arduino Mega.

Table des matières

Résumé	
Introduction générale	01
Chapitre I : Description des zones d'analyse et de surveillance du pH	
1. Introduction	03
2. Définition de la qualité de l'eau	03
3. Caractéristiques de la qualité de l'eau	03
3.1. Caractéristiques physiques de la qualité de l'eau	03
3.2. Caractéristiques chimiques de la qualité de l'eau	04
3.3. Caractéristiques biologiques de la qualité de l'eau	04
4. Normes de surveillance de la qualité de l'eau	04
4.1. Normes physique	04
4.2. Normes biologique	05
5. L'importance du pH dans la qualité de l'eau	05
5.1. Définition du pH	05
5.2. Impact du pH sur les infrastructures	05
5.3. Impact du pH sur la qualité de l'eau	06
5.4. Impact du pH sur l'agriculture	06
5.5. L'impact du pH sur l'eau	06
5.6. Échelle du pH	07
5.6.1. Acide	08
5.6.2. Neutre	08
5.6.3. Basique	08
6. Mesure du pH	09
6.1. L'histoire de l'invention de l'appareil de mesure du pH	09
6.2. Méthodes optiques de mesure du pH	09
6.2.1. Colorimétrie	09
6.2.2. Bâtonnets de test	10
6.2.3. Photométrie	10
6.3. Méthodes électrochimiques de mesure du pH	11
6.3.1. Technologie des capteurs électrochimiques	11
6.4. Mesure électronique du pH	12

6.4.1. Composants d'un pH-mètre	12
6.4.2. Formule de base de mesure électrique du pH	13
7. Situation géographique de la zone d'étude	18
7.1. Situation géographique de l'Université de M'sila – Pôle Universitaire	18
7.2. Coordonnées géographiques approximatives du Pôle Universitaire	19
7.3. Situation climatique	19
7.3.1. Humidité	19
7.3.2. Précipitations (moyenne annuelle des pluies)	19
7.4. Réseau d'eau à l'Université de M'sila – Pôle Universitaire	19
7.4.1. Réservoirs d'eau	19
7.4.2. Puits artésiens	19
7.4.3. Réseau de distribution	20
8. Conclusion	21
Chapitre II : Matériels électriques inclut au système de supervision du pH	
1. Introduction	23
2. Description du matériels utilisés au système de supervision	23
2.1. Alimentation du système	23
2.2. Carte Arduino	24
2.2.1. Caractéristique générale de la carte Arduino Mega	25
2.2.2. Architecteur de la carte Arduino Mega 2560	26
2.2.3. Programmation de la carte Arduino	30
2.3. Sonde électrique de Ph	32
2.3.1. Caractéristiques de la sonde pH HJ-828	32
2.3.2. Caractéristiques de l'électrode de pH	33
2.3.3. Précautions d'utilisation de la sonde pH	34
2.3.4. Mode de branchement de la sonde HJ-828	35
2.4. Module Wi-Fi	37
2.4.1. Caractéristiques	38
2.4.2. Descriptions des broches de ESP-01	40
2.4.3. Emballage et dimension	41
2.4.4. Descriptions fonctionnelle	41
2.4.5. Organisation de la mémoire	42
2.5. Module Bluetooth HM-10 BLE 4.0	42
2.5.1. Caractéristiques de base du module HM-10BLE 4.0	43
2.5.2. Description des broches	44
2.6. Sonde de température (DS18B2)	44

2.6.1. Caractéristiques de la sonde DS18B20	44
2.6.2. Description des broches	46
2.7. Afficheur LCD	47
3. Conclusion	48
Chapitre III : Conception et réalisation du système de mesure et de supervision du pH de l'eau	
1. Introduction	50
2. Conception du système de mesure de pH et de la température	50
2.1. Mise en œuvre du code du système	55
2.1.1. Démarrage avec Arduino IDE	55
2.1.2. Première étape : création du new Project	55
2.1.3. Comment créer un projet	55
2.1.4. Description du Code Arduino (programme)	56
2.2. Mise en œuvre de fonctionnement du système et calibrage	60
2.2.1. Electrode de pH	60
2.2.2. Liquide de stockage de la sonde du pH	60
2.2.3. L'influence de la température sur les mesures de pH	61
2.2.4. Etalonnage et ajustement du dispositif de mesure du pH	62
3. Evaluation de la Qualité de l'eau des zones d'étude	64
3.1. Supervision du pH	64
3.2. Analyse des résultats expérimentaux	68
3.2.1. Résultats graphiques de la Zone 1 RESV	69
3.2.2. Résultats graphiques de la Zone 2 MI	70
3.2.3. Résultats graphiques de la Zone 3 SNV	70
3.2.4. Résultats graphiques de la Zone 4 SM	71
3.2.5. Résultats graphiques de la Zone 5 ST	71
3.2.6. Résultats graphiques de la Zone 6 GTE	72
3.2.7. Comparaison graphique en termes de pH	72
4. Conclusion	77
Conclusion Générale	79
Références	80

Table des figure

N°	Figures	Pages
Figures de chapitre I		
01	Echelle du pH d'une solution	08
02	Constitution du circuit de mesure	14
03	Expérience de détermination de la concentration des ions hydrogène à l'aide d'une cellule électrode standard à hydrogène	15
04	Effet de la perméabilité membranaire sur la répartition des ions et l'équilibre des charges	15
05	Membrane de verre	16
06	Composants et principe de fonctionnement de l'électrode en verre (sonde de pH)	16
07	Établissement des cellules électrochimique utilisant AgCl	17
08	Structure interne de l'électrode standard à hydrogène (ESH) avec KCL saturé ou 0.1 M	18
09	Situation géographique du pôle Universitaire M'sila prise par Google Maps	19
10	Marquage du tube PEHD	20
11	Réservoir Université Mohamed Boudiaf – Pôle	21
Figures de chapitre II		
01	Image d'Adaptateur AC-DC (12V—3A)	23
02	Image du Kit solaire autonome 12V-200W	24
03	Image de la carte Arduino Mega2560	25
04	Dimensions des cartes et Arduino Mega2560 vue dessus	26
05	Schéma de câblage	27
06	Interface IDE Arduino	31
07	Paramétrage de la carte Arduino Mega (sélection type de la carte)	32
08	Choix du port de communication	32
09	Taille (mm) de l'électrode de Ph	33
10	Sonde de pH avec le Module amplificateur	36
11	Carte/module d'amplificateur de la sonde pH (OT3470)	36
12	Schéma fonctionnel de L'ESP8266EX	38
13	Positionnement des broches sur le module Wifi ESP8266 ESP-01	40

14	Image du module Wifi ESP8266 ESP-01	41
15	Vue de dessus et dimension du module Wi-Fi ESP-01[14.3 mm* 3.0 mm]	41
16	Image du module HM-10BLE 4.0	43
17	Image de la sonde de température DS18B20	45
18	Image d'un afficheur LCD 16X2	47
Figures de chapitre III		
01	Câblage du système de mesure de pH et de température avec connexion Bluetooth et Wifi	52
02	Photo du montage prototype réalisé	52
03	Connexion du montage par USB avec PC pour supervision des mesures	52
04	PH/Température-Mètre portable sans système de transmission des données	55
05	fenêtres d'accueil Arduino IDE	55
06	Choix du type de carte (Arduino Mega)	56
07	Etape de compilation du programme	60
08	variation de pH en fonction de la temperature	62
09	Courbe avec tiret montre l'écart du zéro d'une électrode de pH sur l'appariel de mesure	63
10	Courbe avec tiret montre l'écart de la pente d'une électrode de pH sur l'appariel de mesure	63
11	Image de prise de mesures dans le labo Hydraulique pour l'étalonnage de notre système prototype	64
12	Boite prototype du montage, alimenter par un power Bank	65
13	Prise de mesure sur un échantillon d'eau de la zone facultés des sciences exactes (SM)	65
14	Affichage de données sur le moniteur serie sur le port COM7	65
15	Supervision des donnees de pH et Temperature sur smartphone	66
16	Situation géographique des zones d'études	67
17	Réservoirs dans lesquels les échantillons ont été prélevés	67
18	Graphe RESV 1 ^{re} prise de mesure de la température et du pH	69
19	Graphe RESV 2 ^{ieme} prise de mesure de la température et du pH	69
20	3.20 Graphe MI 1 ^{re} prise de mesure de la température et du pH	69
21	Graphe MI 2 ^{ieme} prise de mesure de la température et du pH	69
22	Graphe SNV 1 ^{re} prise de mesure de la température et du pH	70
23	Graphe SNV 2 ^{ieme} prise de mesure de la température et du pH	70

24	Graphe SM 1 ^{re} prise de mesure de la température et du pH	70
25	Graphe SM 2 ^{ieme} prise de mesure de la température et du pH	70
26	Graphe ST 1 ^{re} prise de mesure de la température et du pH	71
27	Graphe ST 2 ^{ieme} prise de mesure de la température et du pH	71
28	Graphe GTE 1 ^{re} prise de mesure de la température et du pH	71
29	Graphe GTE 2 ^{ieme} prise de mesure de la température et du pH	71
30	Comparison garphique de la variation du pH dans les deux prises de mesures de la zone1 Résevoir	72
31	Comparison garphique de la variation du pH dans les deux prises de mesures de la zone2 MI	72
32	Comparison garphique de la variation du pH dans les deux prises de mesures de la zone3 SNV	73
33	Comparison garphique de la variation du pH dans les deux prises de mesures de la zone4 SM	73
34	Comparison garphique de la variation du pH dans les deux prises de mesures de la zone5 ST	74
35	Comparison garphique de la variation du pH dans les deux prises de mesures de la zone6 GTE	74
36	Augmentation du pH de l'eau distribuée de la zone principale RESV vers les autres zones	75

Liste des tableaux

N°	Tableaux	Pages
2.1	Caractéristiques de l'électrode de pH	34
2.2	Connexions du module HJ-828	37
2.3	Caractéristiques techniques du module Wi-Fi	39
2.4	Descriptions des broches de ESP-01	40
2.5	Description des connexions du module HM-10 BLE 4.0	44
2.6	Broches de la sonde de température DS18B20	46
3.1	Liste des matériels	51
3.2	Conception et réalisation d'un système de mesure et de supervision de la qualité de l'eau	54
3.3	Stokage et Maintenance des Sondes de pH	60
3.4	Expérience de mesure des paramètres dans le laboratoire d'hydraulique pour notre prototype	64

Introduction générale

La mesure du pH est une étape primordiale dans de nombreux processus d'analyse de la qualité de l'eau. Le **potentiel Hydrogène**, noté **pH** est une mesure de la concentration et l'activité des ions hydrogène en solution, dans notre cas l'eau. En effet les changements de pH peuvent modifier le goût, la couleur et la durée de conservation de l'eau. Ainsi Un pH inadéquat de l'eau du robinet peut entraîner la corrosion du système de distribution. Pareillement le pH peut affecter les plantes et les animaux dans l'environnements naturels.

Dans ce contexte la mise en œuvre de système de mesure en temps réel du pH pour l'évaluation et l'analyse de la qualité de l'eau offre une solution prometteuse pour le contrôle de la pollution et la bonne gestion de traitement de l'eau.

Cette étude vise à concevoir et développer un système de surveillance du pH de l'eau à l'aide de capteurs intelligents et de technologies modernes, dans le but de fournir des mesures précises pouvant être utilisées pour prendre des décisions rapides pour maintenir la qualité de l'eau. Les mesures sont affectées par la température, elles doivent donc être compensées automatiquement il faut insérer une sonde de température.

Le système de mesure ou de supervision du pH de l'eau est constitué d'une carte électronique Arduino Mega, de deux sondes de pH et de température, d'un afficheur LCD et des modules de transmission des données vers un PC ou Smartphone. En effet l'insertion des systèmes de communication sans fil par Bluetooth ou Wifi permet d'être pertinent sur le choix dans l'exploitation et la supervision des données tout en permettant des coûts d'investissement minimisés et rendre l'équipement plus performant.

Chapitre 1

Description des zones
d'analyse et de surveillance du
pH

1 Introduction

La qualité de l'eau est l'un des problèmes environnementaux et sanitaires les plus importants, car de nombreuses activités humaines, et consommation domestique, dépendent de la disponibilité d'une eau de bonne qualité. Affectant directement la vie aquatique et la santé en général.

Cette étude vise à concevoir et développer un système de surveillance du pH de l'eau à l'aide de capteurs intelligents et de technologies modernes, dans le but de fournir des mesures précises pouvant être utilisées pour prendre des décisions rapides pour maintenir la qualité de l'eau.

2 Définition de la qualité de l'eau

La qualité de l'eau fait référence à l'ensemble des caractéristiques physique, chimique et biologiques de l'eau, qui déterminent son aptitude à divers usages tels que la consommation humaine, l'irrigation, l'industrie et l'entretien des écosystèmes. Il s'agit d'un indicateur fondamental de la santé humaine et environnementale et il est affecté par de nombreux facteurs naturels et humains. [1]

3 Caractéristiques de la qualité de l'eau

3.1 Caractéristiques physiques de la qualité de l'eau

- **Couleur :** La couleur de l'eau peut indiquer la présence de matière organique ou de minéraux dissous.
- **Odeur :** Une odeur désagréable peut indiquer une contamination par des déchets organiques ou chimiques.
- **Goût :** Un goût anormal peut résulter de la présence de produits chimiques ou de métaux.
- **Turbidité :** La turbidité indique la présence de particules en suspension telles que de l'argile ou des matières organiques. La turbidité indique la clarté de l'eau.
- **Température :** La température de l'eau affecte l'oxygène dissous et l'activité des organismes aquatiques.

3.2 Caractéristiques chimiques de la qualité de l'eau

- **Oxygène dissous** : est nécessaire à la vie aquatique et de faibles niveaux peuvent entraîner la mort d'organismes vivants
- **Éléments nutritifs** : tels que l'azote et phosphore, qui peuvent provoquer une eutrophisation et des proliférations d'algues
- **Métaux lourds** : comme le plomb et le mercure, qui peuvent être toxiques même à faibles concentrations.
- **Salinité** : indique la quantité de sels dissous et affecte l'aptitude à la consommation et à l'utilisation agricole
- **PH** : Le pH détermine l'acidité ou l'alcalinité de l'eau et affecte les réactions chimiques et biologiques. Ce paramètre sera particulièrement notre cas d'étude.

3.3 Caractéristiques biologiques de la qualité de l'eau

- **Bactéries et virus** : Peut indiquer une contamination des eaux usées et présenter des risques pour la santé
- **Algues** : Elles peuvent causer des problèmes de goût et d'odeur et produire des toxines nocives.
- **Microorganismes** : Certains d'entre eux peuvent être bénéfiques, d'autres peuvent indiquer une contamination

4 Normes de surveillance de la qualité de l'eau

La surveillance de la qualité de l'eau repose sur plusieurs normes physiques, chimiques et biologiques qui déterminent son adéquation à la consommation humaine, à l'agriculture et à l'industrie.

4.1 Normes physique : Ces paramètres définissent les caractéristiques physiques de l'eau qui peuvent influencer sa qualité et son utilisation :

- **Température** : Influence la solubilité de l'oxygène et l'activité biologique.
- **Turbidité** : Mesure la quantité de particules en suspension.
- **Solides dissous totaux (TDS)** : Inclut les sels et minéraux dissous ; une concentration inférieure à **500mg/L** est recommandée pour l'eau potable.
- **Conductivité électrique** : Indique la concentration en ions dissous, influençant la qualité de l'eau pour l'irrigation et l'industrie.

- **Normes chimiques :** Elles concernent la composition chimique de l'eau et la présence éventuelle d'éléments dangereux
- **pH :** Doit être compris entre 6.5 et 8.5 pour l'eau potable.
- **Oxygène dissous (DO) :** Doit être supérieur à 5 mg/L pour assurer la survie des organismes aquatiques.
- **Nitrates (NO_3^-) :** Ne doivent pas dépasser 50 mg/L pour éviter des risques sanitaires, notamment chez les nourrissons.
- **Métaux lourds :** Tels que le plomb (Pb), le mercure (Hg), et le cadmium (Cd), qui doivent être présents en quantités minimales.

4.2 Normes biologique : Elles concernent la présence de micro-organismes pathogènes qui peuvent causer des maladies :

- **Bactéries coliformes :** Ne doivent pas être détectées dans 100mg D'eau potable.
- **Parasites et virus :** Comme Escherichia coli (E. coli). Indicateur de contamination fécale.
- **Algues et micro-organismes :** Peuvent altérer la couleur, l'odeur et la qualité sanitaire de l'eau. [2]

5 L'importance du pH dans la qualité de l'eau

5.1 Définition du pH

Le **potentiel Hydrogène**, noté pH est une mesure de la concentration et l'activité des ions hydrogène en solution, dans notre cas l'eau.

L'importance du pH pour une gamme étendue d'applications et expliquent pourquoi le pH est si fréquemment déterminé. [3]

. L'impact du pH sur l'eau peut avoir plusieurs aspects :

5.2 Impact du pH sur la qualité de l'eau

- Le pH influence la solubilité des produits chimiques et des minéraux dans l'eau.
- Dans une eau acide, les métaux lourds comme le plomb et le cuivre peuvent se dissoudre plus facilement, rendant l'eau toxique.

-Dans une eau alcaline, certains minéraux peuvent précipiter, formant des dépôts qui peuvent obstruer les tuyaux ou réduire l'efficacité des systèmes de filtration

5.3 Impact du pH sur les infrastructures

-Une eau alcaline peut provoquer la corrosion des tuyaux et des réservoirs métalliques.
-Une eau alcaline peut entraîner la formation de dépôts calcaires, ce qui réduit l'efficacité des systèmes de chauffage et de refroidissement

5.4 Impact du pH sur l'agriculture

-le pH de l'eau utilisée pour l'irrigation influence l'absorption des nutriments par les plantes.
-Si l'eau est trop acide ou trop alcaline, les plantes peuvent ne pas absorber correctement les nutriments, ce qui affecte leur croissance.

5.5 L'impact du pH sur l'eau

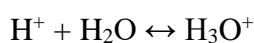
Le pH est une mesure de l'acidité ou de l'alcalinité de l'eau, allant de 0 à 14. Lorsque le pH est de 7, l'eau est neutre, inférieure à 7, l'eau est acide, supérieure à 7, l'eau est alcaline.

Il est important de surveiller le pH afin d'éviter les dommages sur la ligne de production qui sont en contact avec les réactants peuvent subir une corrosion si le pH dépasse certaines limites. Ainsi que le pH est également un paramètre important pour la recherche et le développement dans l'étude de procédés biochimiques.

En terme quantitatif le pH est défini comme étant le logarithme négatif de la concentration en ions H_3O^+ , alors la formule principale du PH est :

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+] \dots\dots\dots (1)$$

Cette équation montre que, lorsque la concentration en ions H_3O^+ change d'un facteur dix, le pH change d'une unité. Ceci illustre bien l'importance de pouvoir mesurer des variations, même faibles, du pH d'un échantillon.[3]



Ainsi que la formule du pOH :

$$\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-] \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{pH} + \text{pOH} = 14 \text{ (à } 25 \text{ °C) } \dots\dots (3)$$

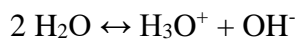
Et pour retrouver la concentration $[\text{H}^+]$ à partir du pH :

$$[\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}} \dots\dots\dots (4)$$

Pour retrouver la concentration $[\text{OH}^-]$ du pOH :

$$[\text{OH}^-] = 10^{-\text{pOH}} \dots\dots\dots (5)$$

Les acides et bases ne sont pas seuls à se dissocier pour former des ions hydronium ou hydroxyle, l'eau pure se dissocie elle aussi en formant ces ions :



K_w est la constante de dissociation de cette réaction encore appelée produit ionique de l'eau :

$$K_w = [\text{H}_3\text{O}^+] [\text{OH}^-] / [\text{H}_2\text{O}] = [\text{H}_3\text{O}^+] [\text{OH}^-] = 10^{-14} \text{ mol/L} \quad (25 \text{ °C) } \dots (6)$$

L'équation de K_w montre que la solution est neutre pour des quantités égales de H_3O^+ et de OH^- . Or c'est le cas lorsque la concentration de $[\text{H}_3\text{O}^+]$ et $[\text{OH}^-]$ est de 10^{-7} mol/L , soit à pH 7. Lorsque la concentration en ions H_3O^+ est plus élevée, le pH se trouve dans la plage acide de l'échelle de pH.

5.6 Échelle du pH

La différence quantitative entre des substances acides et basiques peut être déterminée en effectuant des mesures de pH.

Afin de pouvoir mesurer la valeur du pH dans une solution échantillon il faut savoir comment les capteurs de cette valeur réagissent à la concentration d'acide dans la solution. Un pH-mètre est un instrument scientifique utilisé pour mesurer le degré d'acidité ou d'alcalinité d'une

solution. Le "pH" est une mesure de la concentration d'ions hydrogène(H^+) dans une solution l'échelle de pH va de 0 à 14 (figure2), où :

- pH inférieur à 7 : indique une solution acide.
- pH est égal à 7 : indique une solution neutre (comme de l'eau pure).
- pH supérieur à 7 : indique une solution alcaline (ou basique).

Les valeurs de pH d'une solution aqueuse s'inscrivent dans l'échelle des pH. Cette échelle s'étend des solutions fortement basiques aux solutions fortement acides.



Figure I.1 : Echelle du pH d'une solution

5.6.1 Acide :

Les acides sont des solutions de pH inférieur à 7, ils contiennent plus d'ions hydrogène que d'ions hydroxyde.

5.6.2 Neutre :

Les solutions basiques ont un pH à 7, elles contiennent moins d'ions hydrogène que d'ions hydroxyde. Le point neutre dépend de la température.

5.6.3 Basique :

Les solutions basiques ont un pH inférieur à 7, elles contiennent moins d'ions hydrogène que d'ions hydroxyde. [4]

6 Mesure du pH

6.1 L'histoire de l'invention de l'appareil de mesure du pH

Les méthodes de mesure du pH sont des plus diverses : colorimétrique, photométrique ou électrochimiques.

A la fin d'année 1919 : L'idée de base de la mesure du pH a commencé avec le scientifique danois** SOREN SORENSEN ** qui a introduit le concept de pH en 1909. Sorensen travaillait au laboratoire Carlsberg au Danemark, où il a développé une échelle pour mesurer l'acidité de la bière. L'inventeur SØREN SØRENSEN : IL est considéré comme le fondateur du concept de pH. L'Années 1920 : Les premiers appareils électrochimiques de mesure du pH ont été développés. **ARNOLD ORVILLE BECKMAN ** a été l'un des pionniers dans ce domaine. En 1934, BECKMAN a inventé le premier 'pH-mètre' portable pratique pour mesurer le pH, qu'il a appelé 'pH-mètre'.

Des procédés différents peuvent donner des résultats de mesure différents, qui seront tous valables en principe. Les normes nationales et internationales prévoient que le pH est mesuré par un procédé électrochimique avec des électrodes en verre.

6.2 Méthodes optiques de mesure du pH

6.2.1 Colorimétrie :

Le dispositif de mesure optique le plus simple est constitué de la lumière du jour comme source de lumière, d'une indication de pH et l'œil humain. Il suffit de remplir un tube à essais de l'échantillon d'eau et d'ajouter une solution indicatrice. La solution d'indicateur est faite d'une substance qui prend une couleur différente suivant le pH. La comparaison de la couleur avec une échelle de référence permet de déterminer simplement la valeur du pH. C'est une méthode de choix pour les mesures isolées, par exemple dans les piscines privées.

La colorimétrie ne répond pas aux exigences de haute précision. La valeur mesurée dépende entre autres de la lumière du jour et de la perception des couleurs par l'utilisateur. Des modifications de la couleur peuvent être provoquées, suivant les indicateurs par des substances

contenues dans l'échantillon ou simplement par des sels solution. La plage de mesure couverte est souvent de quelque unité de pH seulement.

6.2.2 Bâtonnets de test :

La mesure de pH avec un bâtonnet de test est analogue au procédé colorimétrique. L'indicateur de pH est simplement déposé sur un bâtonnet de matière plastique. Pour la mesure il suffit de plonger le bâtonnet dans la solution à tester et d'estimer la valeur du pH par comparaison avec une échelle de couleurs.

Les bâtonnets couvrent d'assez larges plages de mesure grâce à la combinaison de plusieurs indicateurs. En plus des problèmes connus de la colorimétrie, les bâtonnets peuvent provoquer des erreurs de mesure supplémentaires par l'épanchement des indicateurs. C'est en partie à cause de cela que m'indicateur de pH est fixé chimiquement au matériau porteur, pour éviter l'épanchement.

L'incertitude des méthode colorimétriques ou des bâtonnets indicateurs disponible dans le commerce est $\Delta\text{pH}=0.5$ ou plus. [5]

6.2.3 Photométrie

La mesure photométrique du pH applique les mêmes principes que la colorimétrie, mais la mesure de l'intensité de la couleur est l'affaire d'un photomètre. Ces appareils comportent une lampe comme source de la lumière et un élément photosensible que ceux de la colorimétrie. De plus, la sensibilité supérieure du récepteur de lumière donne une plus grande résolution de la mesure. La mesure avec un indicateur rouge au phénol par exemple est une méthode très répandue dans les piscines.

6.3 Méthodes électrochimiques de mesure du pH

Un pH-mètre utilise plusieurs techniques pour mesurer avec précision l'acidité ou l'alcalinité des solutions. Voici les technologies les plus importantes utilisées dans ces appareils :

6.3.1 Technologie des capteurs électrochimiques :

- **Électrode de verre :**

- Il est constitué d'un verre spécial sensible aux ions hydrogène (H^+).
- Contient un liquide électrolytique interne (généralement du chlorure de potassium).

Lorsqu'elle est immergée dans la solution, une différence de potentiel se forme entre l'électrode intérieure et l'électrode extérieure, qui est liée à la concentration en ions H^+ .

- **Électrode de référence :**

- Fournit une tension constante pour comparaison (comme une électrode argent/chlorure d'argent $Ag/AgCl$ ou une électrode calomel Hg/Hg_2Cl_2).
- Il complète le circuit électrique sans affecter la réaction chimique.

Les électrodes de verre trouvent de très nombreuses applications. Des qualités de verre spéciales étendent le champ des applications jusqu'aux domaines des solutions fortement alcalines ou de l'acide fluorhydrique. Toutefois cette technique de mesure connaît des limites. Aux valeurs de pH trop basses, l'acide fluorhydrique attaque aussi le meilleur verre et même une électrode de verre robuste n'atteint pas la solidité d'un métal. L'électrode en antimoine peut couvrir cette plage d'applications extrêmes. Il s'agit d'un bâtonnet d'antimoine métallique à la surface duquel s'établit le potentiel. Toutefois avec l'antimoine l'équilibre dépend de l'activité des ions hydroxyde, à partir de laquelle on peut calculer, avec les ions produits par l'eau l'activité des ions hydrogène.

Les électrodes en antimoine sont très solides mécaniquement et chimiquement. Elles sont recommandées pour les mesures dans l'acide fluorhydrique.

La relation entre le potentiel électrique et la valeur de pH n'est pas aussi linéaire que celle d'une électrode de verre. Les électrodes en antimoine peuvent être utilisées jusqu'à 80°C dans une plage de pH = 1 à pH = 10. Le point zéro de la chaîne de mesure avec électrode en antimoine est $pH_0 = 0 \pm 1,5$. La pente se situe en général entre $k' = 51$ mV et $k' = 60$ mV par unité de pH.

Les convertisseurs de mesure pour les électrodes en antimoine ou en bismuth doivent être ajustés à cause du point zéro différent de celui des électrodes de verre. [5]

6.4 Mesure électronique du pH

La méthode de mesure électronique du pH valable en principe électrochimiques. Les normes nationales et internationales prévoient que le pH est mesuré par un procédé électrochimique avec des électrodes en verre. La base de tous les procédés normalisés de mesure du pH est donc un principe de mesure électrochimique. Une définition mondialement acceptée de la valeur du pH existe depuis 1999 (IUPAC, Provisional Recommendations). Cela a été possible quand l'Angleterre a abandonné son échelle de mesure du pH au profit de celle de la Convention Bates-Guggenheim, en usage dans tous les autres pays. L'Irlande et de nombreux pays asiatiques utilisaient-là l'échelle anglaise. [5]

L'importance d'un pH mètre qui est un outil scientifique utilisé pour mesurer avec précision l'acidité ou l'alcalinité d'une solution. Son importance réside dans sa capacité à fournir des mesures rapides et précises, ce qui le rend indispensable dans de nombreux domaines. Voici les principaux avantages et l'importance de cet appareil :

- Précision élevée,
- Applications industrielles,
- Application agricole,
- Recherche scientifique,
- Santé publique,
- Et dans notre cas d'étude la surveillance continue.

6.4.1 Composants d'un pH-mètre

- **Électrode de verre (Glass Electrode) :** C'est la partie principale de l'appareil, composée d'une membrane en verre mince sensible aux ions hydrogène, elle contient une solution interne avec une concentration connue en ions hydrogène (généralement de l'acide chlorhydrique), lorsque l'électrode est immergée dans la solution à mesurer, les ions hydrogène interagissent avec la membrane de potentiel électrique.
- **Électrode de référence :** Fournit un potentiel de référence Stable pour comparer avec le potentiel généré par l'électrode de verre, elle contient électrolyte (généralement du

chlorure de potassium) et est fermée par une membrane poreuse permettant l'échange d'ions.

- **Voltmètre** : mesure la différence de potentiel entre l'électrode de référence, et la convertit en une valeur de pH affichée sur l'écran.
- **Écran d'affichage** : Affiche la valeur du pH mesurée après traitement du signal électrique.

6.4.2 Formule de base de mesure électrique du pH

- **Equation de Nernst pH Tension** :

La formule qui permet de prévoir de la f.é.m. avec la concentration et la pression s'exprime sous la forme d'une équation découverte par le chimiste allemand Walther Nernst.

Alors le potentiel électrochimique de l'électrode de travail est donné par la relation de Nernst :

$$\Delta E = \Delta E^\circ - \frac{RT}{nF} \ln Q \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$Q = a(H^+)/a(H_2) \dots\dots\dots(8)$$

Pour la demi-réaction : $Ox + n e^- \rightarrow Réduction$: $E = E^\circ - \ln \dots\dots\dots(9)$

Au fur et à mesure de l'avancement de la réaction, Q augmente de

0 ($E = \infty$) jusqu'à atteindre la valeur de K à l'équilibre, où

$E^\circ = \ln K$ et donc $E = 0$. On notera qu' $a(e^-) = 1$. [6]

Le capteur pour cette mesure est constitué de deux éléments électrochimiques, l'électrode de mesure et l'électrode de référence. Les ions hydrogène produisent sur l'électrode de mesure un potentiel électrique caractéristique de la solution de mesure. Le potentiel de référence reste constant, indépendamment de la valeur du pH. La différence entre les deux potentiels détermine le signal électrique du capteur, c'est la tension de la chaîne de mesure.

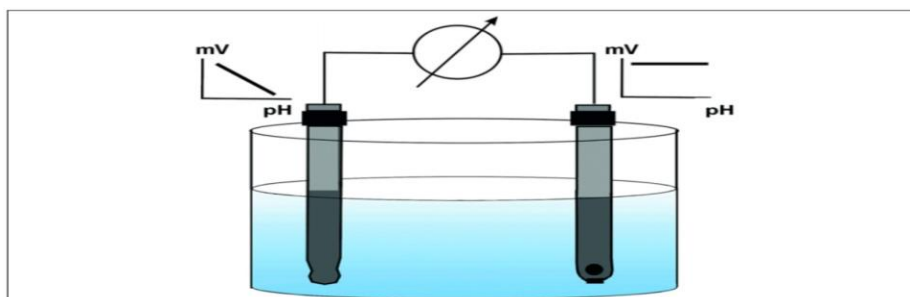


Figure I.2 : Constitution du circuit de mesure

La mesure du pH est réalisée :

- Au moyen d'une électrode de verre (électrode de mesure) avec une membrane de verre sensible au moyen d'un électrode de référence aussi insensible que possible à la température et au pH.
- Ou au moyen d'une électrode combinée (réunion par construction d'une électrode de mesure en verre et d'une électrode de référence)

Le formalisme mis en place pour une pile de concentration s'applique en particulier au cas du couple H^+/H_2 . Une pile constituée d'une solution d'activité a_x en ions H^+ afficher une force électromotrice :

$$\Delta E = \Delta E^\circ - \ln Q = \Delta E^\circ \ln a_x \quad \text{avec : } \Delta E^\circ = E^\circ(H^+/H_2) = 0 \dots \dots \dots (10)$$

$$\text{Comme} \quad \ln x = 2.303 \log x \text{ et } n=1 \dots \dots \dots (11)$$

$$\Delta E = + (-\log a_x) \dots \dots \dots (12)$$

$$\Delta E = +59.2 \text{ mV} \cdot \text{pH} \dots \dots \dots (13)$$

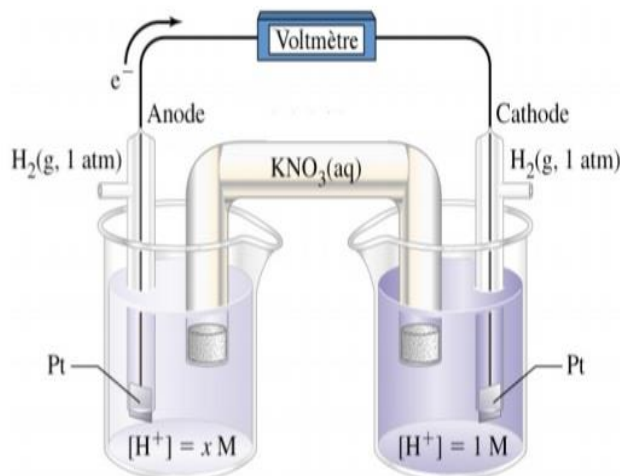


Figure I.3 : Expérience de détermination de la concentration des ions hydrogène à l'aide d'une cellule électrode standard à hydrogène [6]

L'électrode standard à hydrogène peut être remplacée par une autre demi pile de potentiel standard E°_{ref} connu. La f.é.m. Mesurée sera alors :

$$\Delta E = E^{\circ}_{\text{ref}} + 59.2 \text{ mV} \cdot \text{pH} \dots \dots \dots (14)$$

- **Potentiel de membrane :**

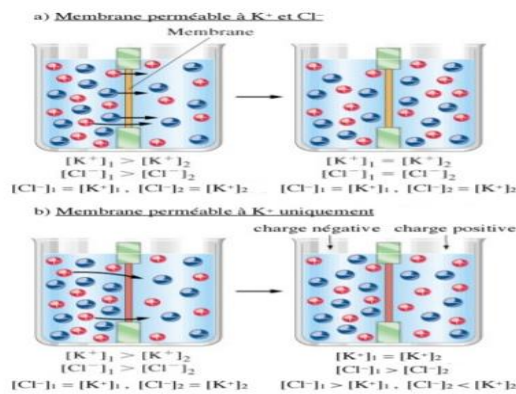


Figure I.4 : Effet de la perméabilité membranaire sur la répartition des ions et l'équilibre des charges [6]

Certaines membranes biologiques, ou artificielles (polymères, verres, céramiques) ont pour propriété de n'être perméables qu'à un seul type d'ions.

Imaginons deux compartiments contenant deux concentration différentes c_1 et c_2 d'un même sel en solution, séparés par une telle membrane, perméable à un seul des ions. Ce dernier diffusera à travers la membrane jusqu'à établissement d'un équilibre de concentration, tandis que le déséquilibre subsistera pour l'autre ion. Le résultat est l'apparition d'une charge électrique nette de signe opposé dans les deux compartiments.

La différence de potentiel entre les deux compartiments sera alors :

$$\Delta E = \ln \approx \ln \dots \dots \dots (15)$$

- **L'électrode de verre :**

Une membrane de verre, perméable en surface aux ions H^+ et perméable le transport au centre des ions Na^+ , fera apparaître de part et d'autre une différence de potentiel proportionnelle au pH de la solution à analyser.

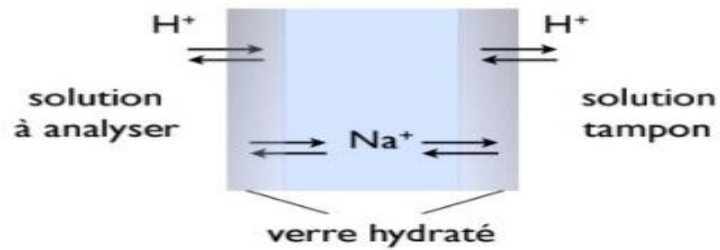


Figure I.5 : Membrane de verre [6]

Cette électrode de verre peut être combinée beaucoup plus pratique à utiliser que deux électrodes à hydrogène pour mesurer le pH d'une solution aqueuse. [6]

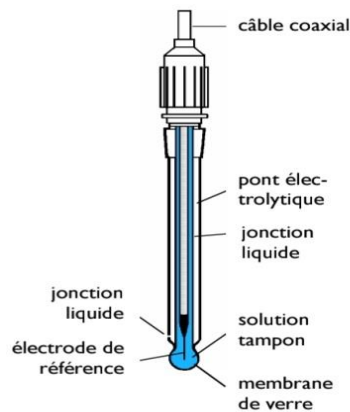
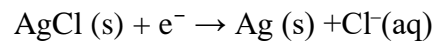


Figure I.6 : Composants et principe de fonctionnement de l'électrode en verre (sonde de pH) [6]

- **Electrodes de référence :**

- A) **Electrode AgCl/Ag :**



$$E = + 0.288\text{V/ SHE (KCL saturé)}$$

$$E = + 0.198\text{V/ SHE (KCL saturé)}$$

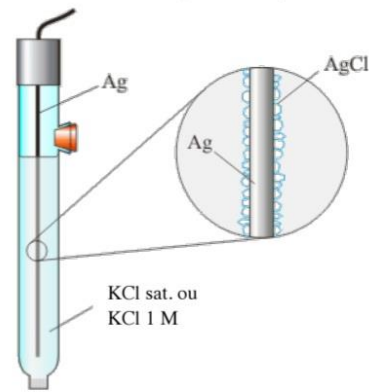
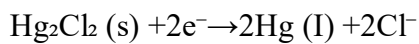


Figure I.7 : Établissement des cellules électrochimique utilisant AgCl [6]

B) Electrodes au calomel (Hg_2Cl_2) :



$$E = + 0.334\text{V} / \text{SHE} (\text{KCl } 0.1 \text{ M})$$

$$E = + 0.244\text{V} / \text{SHE} (\text{KCl saturé, SCE})$$

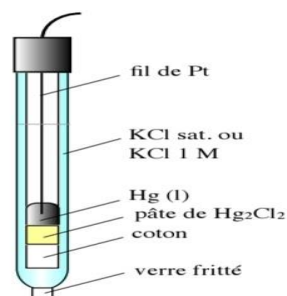


Figure I.8 : Structure interne de l'électrode standard à hydrogène (ESH) avec KCl saturé ou 0.1 M. [6]

• **Variation du potentiel avec le pH :**

Les demi-réactions de nombreux couples rédox mettent en jeu des ions H^+ ou OH^- .

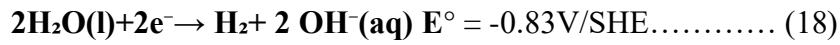
La réduction des ions $\text{MnO}_4^- (\text{aq}) + 8\text{H}^+ (\text{aq}) + 5\text{e}^- \rightarrow \text{Mn}^{2+} (\text{aq}) + 4\text{H}_2\text{O}$

$$E^\circ = + 1.51\text{V} / \text{SHE} \dots \dots \dots (16)$$

Les demi-réactions de ce type ont un potentiel qui dépend du pH du milieu. Si l'activité des ions autre que H^+ reste égale à 1, on détermine la variation du potentiel de réduction avec le pH en utilisant la relation de Nernst. Dans notre exemple du MnO_4^- :

$$E = E^\circ - \ln Q \quad Q = \dots \rightarrow E = E^\circ - \text{pH} \dots \dots \dots (17)$$

Autre exemple : La réduction de l'eau en H₂ fournit des ions OH⁻ :



$$E = E^\circ - \ln Q \quad Q = (a_{\text{OH}^-})^2 \rightarrow E = E^\circ + \text{pOH} \dots \dots \dots (19)$$

$$\text{A pH} = 7: E = E^\circ + 59.2\text{mV} \cdot (14 - \text{pH}) = -0.83\text{V} + 0.059\text{V} \cdot 7 = -0.42\text{V}/\text{SHE}.$$

$$\text{A pH} = 0: E = -0.83\text{V} + 0.059\text{V} \cdot 14 = 0.0\text{V}/\text{SHE} = E^\circ(\text{H}^+/\text{H}_2) \dots \dots \dots (20)$$

7 Situation géographique de la zone d'étude

7.1 Situation géographique de l'Université de M'sila – Pôle universitaire

L'Université Mohamed Boudiaf de M'sila est située dans la wilaya de M'sila, au centre-nord de l'Algérie. Elle relève du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique de la ville de M'sila, précisément sur la route nationale n°45, reliant M'sila et à Bordj Bou Arreridj.



Figure I. 9 : Situation géographique du pôle Universitaire M'sila prise par google Maps

7.2 Coordonnées géographiques approximatives du Pôle Universitaire

L'université s'étend sur une vaste superficie et comprend plusieurs facultés et instituts. Elle est située dans une zone stratégique reliant les wilayas de l'est (Sétif, Bordj Bou Arreridj) à celle des Hauts Plateaux, ce qui lui confère une importance géographique notable.

Latitude : 35.718° Nord

Longitude : 4.504 Est

7.3 Situation climatique

7.3.1 Précipitations (moyenne annuelle des pluies) :

- Varient entre 200 et 400 mm par an.
- La majorité des pluies tombe entre novembre et mars.
- L'été est très sec, avec parfois aucune pluie du tout en juillet et août.

7.3.2 Humidité :

- Généralement faible, surtout en été.
- Le taux d'humidité relative peut descendre à moins de 30 % durant les jours d'été.

7.4 Réseau d'eau à l'Université de M'sila – Pôle Universitaire

L'Université Mohamed Boudiaf (Figure I.9) fait partie du réseau de distribution d'eau de la ville de M'sila, qui se distingue par une infrastructure relativement développée. Ce réseau comprend :

7.4.1 Réservoirs d'eau : La ville de M'sila dispose de 24 réservoirs d'une capacité totale de 51 300 m³, ce qui contribue à fournir de l'eau à l'Université et aux zones environnantes.

7.4.2 Puits artésiens : La ville compte 38 puits utilisés pour l'alimentation en eau, ce qui renforce la stabilité des approvisionnements en eau.

7.4.3 Réseau de distribution : La ville se distingue par un taux de raccordement au réseau d'eau atteignant 98 %, ce qui reflète l'efficacité de la distribution et la capacité à répondre aux besoins des institutions telles que l'université.

Il ressort de certaines études et informations que le réseau de distribution d'eau de l'université du Pôle de M'sila est constitué de canalisations en PEHD (figure I.10) et qu'il est relié à un seul réservoir d'eau. Ce réservoir unique (figure I.11) est situé au nord de l'université du Pôle, en face du siège de la faculté d'Informatique et de Mathématiques. Chaque faculté dispose d'un réservoir métallique : la faculté des sciences et technologies, la faculté des sciences de la matière, la faculté des sciences de la nature et de la vie, l'institut de Gestion des techniques Urbaines, et la faculté de mathématiques. Il a été observé que chaque année, le réservoir principal est nettoyé deux fois à l'aide de chlore.

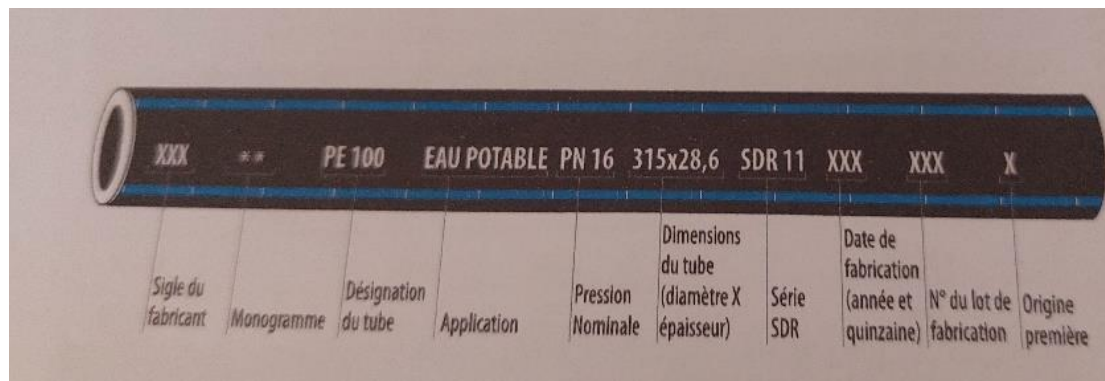


Figure I. 10 : Photo Marquage du tube PEHD

L'eau utilisée à l'université de M'sila provient de la région de Mezrir.



Figure I.11 :Photo Réservoir Université Mohamed Boudiaf – Pôle

8 Conclusion

La bonne gestion de la qualité de l'eau dans cette zone d'étude s'appuie sur la surveillance continue pour mesurer les niveaux de pollution établies par des normes de législation par conséquent de prendre les mesures nécessaires des contrôles pour la protection de l'eau qui déterminent son adéquation à la consommation humaine, à l'arbuste et les plantes.

En convaincant nécessaire d'implanter certains appareils avancés prennent en charge Bluetooth et Wifi pour connecter des données aux téléphones ou aux ordinateurs. Afin d'éviter le déplacement vers le labo d'analyse et permis des lectures instantanées des données par rapport aux méthodes classiques (exemple, les réactifs papier, mesure dans les labos).

En effet, la surveillance du pH et de la température, dans le but d'étudier la qualité de l'eau sous cet angle, sera notre objectif dans ce projet et repose sur l'installation de l'équipement électrique sur le site ainsi que sur l'aménagement du réseau électrique nécessaire à la mise en place des systèmes de surveillance.

Ce système ne nécessite pas une grande consommation d'énergie électrique. Ainsi, il est possible d'utiliser soit le réseau électrique de l'université, soit des cellules solaires accompagnées des batteries de 12 V pour assurer la recharge et le fonctionnement du système de mesure et de surveillance du pH.

Chapitre 2

Matériels électriques inclut au système de supervision du pH

1. Introduction

Les systèmes embarqués tels que l'Arduino, ESP32, Raspberry sont aujourd'hui implantés dans la plupart des réalisations grand public ou professionnelles, ils gèrent au plus juste et au plus vite les applications. Il existe aujourd'hui de nombreuses familles des systèmes embarqués. Dans ce chapitre nous sommes concentrés sur la présentation d'une façon générale de notre choix du système embarqué Arduino Mega2560 et l'architecture de cette carte.

Etant donné l'utilité de cette carte nous avons jugé nécessaire de consacrer ce chapitre 2 qui décrit ce type de composant. La connaissance de la différente caractéristique de ce composant va nous aider à mieux concevoir notre montage prototype.

2. Description du matériels utilisés au système de supervision

2.1 Alimentation du système

Une alimentation externe est nécessaire pour faire fonctionner notre montage. Cette alimentation externe peut provenir soit d'un adaptateur AC-DC ou la batterie (figure II.1). L'adaptateur peut être connecté en branchant une fiche à centre positif 2,1 mm dans la prise électrique du bord. Même à partir d'une batterie peut être insérée dans les en-têtes de broche de terre et V_{in} du connecteur d'alimentation.

Le système à réaliser peut fonctionner sur une alimentation externe de 6 à 20 volts. Si elle est fournie avec moins de 7V, cependant, la broche 5V peut fournir moins de cinq volts et le système peut être instable. Si vous utilisez plus de 12V, le régulateur de tension peut surchauffer et endommager la plage recommandée est de 7 à 12 volts.



FigureII.1 : Image d'Adaptateur AC-DC (12V—3A)

On revanche on peut même utiliser un petit panneau solaire 12 V et module photovoltaïque pour petite autoconsommation électrique (figure II.2).

Le kit **solaire** autonome est idéal **pour** les sites isolés qui ne sont pas raccordés au réseau et même pour notre cas d'étude qui nous épargne d'utiliser et aménager le réseau électrique pour alimentation permanente.



FigureII.2 : Image du Kit solaire autonome 12V-200W [8]

2.2 Carte Arduino

En 2005, Massimo Banzi et David Cuartielles ont conçu un appareil programmable facile à utiliser pour la conception et la réalisation de toutes sortes de projets artistiques interactifs.

Le fruit de ce travail, réalise à l'institut de design interactif d'Ivrea en Italie. A 2T2 NOMM2 Arduino.

Le produit devait être simple d'emploi (moins cher et bon marché), facile à connecter à toutes sortes de capteurs et d'actionneurs.

Selon les termes même de l'équipe fondatrice Arduino, une carte Arduino peut se résumer à un circuit imprimé sur lequel est soudé un microcontrôleur de la famille AVR Atmel. Le choix du microcontrôleur s'est arrêté sur la famille de microcontrôleurs 8bits AVR d'Atmel. Un microcontrôleur (MCU) est une puce qui éunit toutes les fonctions requises avec des connexions simplifiées. Les microcontrôleurs sont ceux de la société Atmel Corporation de San José en

Californie. Presque toutes les cartes Arduino utilisent un modèle sur 8 bits. (le modèle Due embarque un processeur assez différent, un Cortex ARM 32 bits).

Ce qui distingue une carte Arduino des nombreuses autres cartes dites de développement est son environnement logiciel. Tous les utilisateurs Arduino profitent du même environnement, qui constitue la pierre d'angle et la raison principale du succès d'Arduino.

2.2.1 Caractéristique générale de la carte Arduino Mega

L'Arduino Mega est une carte microcontrôleur basée sur l'ATmega2560. Il dispose de 54 broches numériques d'entrée / sortie (dont 14 peuvent être utilisées comme sorties PWM), 16 entrées analogiques, 4 UART (ports série matériels), une MHz oscillateur en cristal de 16, d'une connexion USB, une prise d'alimentation, d'une embase ICSP et un bouton de réinitialisation. Il contient tout le nécessaire pour soutenir le microcontrôleur, il suffit de le connecter à un ordinateur avec un câble USB.

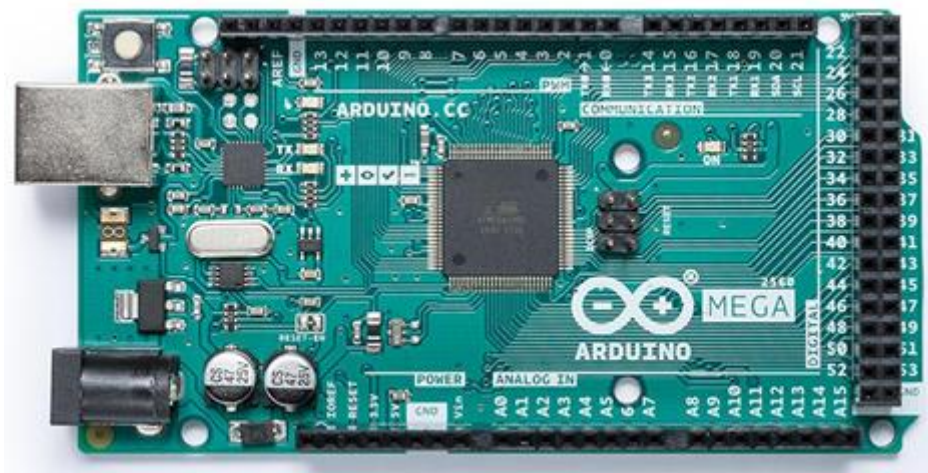


Figure II.3 : Image de la carte Arduino Mega2560

Microcontrôleur ATmega2560

Fonctionnement Tension 5V

Tension d'entrée (recommandé) 7-12V

Tension d'entrée (limites) 6-20V

PINS 54 (dont 15 fournissent PWM) E/S numériques

Bornes d'entrées analogique 16

DC Courant par I/O Pin 40 Ma

Courant pour Pin 3.3V 50 mA

Mémoire flash 256 Ko (dont 8 Ko sont utilisés pour programme de démarrage) 4 Ko EEPROM
8 Ko SRAM interne 32 × 8 registres de travail à usage général.

Compteur en temps réel avec oscillateur séparé.

Quatre canaux PWM 8 bits

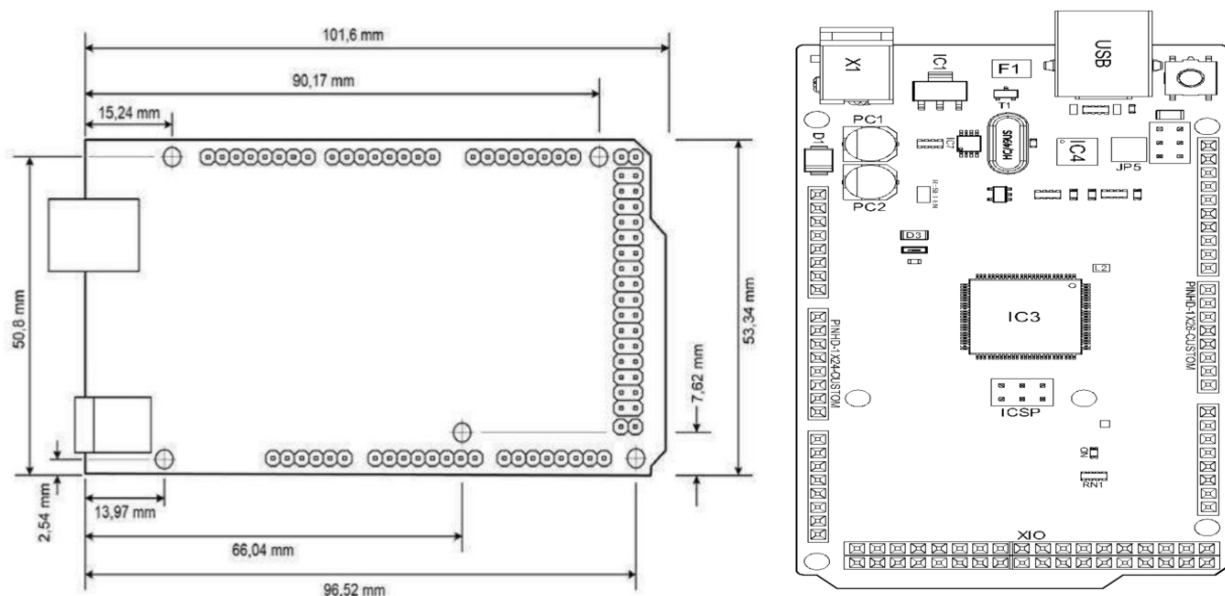
Quatre contrôleurs/périphériques USART série programmables Interface série SPI

Vitesse d'horloge 16 MHz

2.2.2 Architecteur de la carte Arduino Mega 2560 :

Les cartes Mega et Mega 2560 se distinguent par le type de contrôleur, la Mega2560 remplaçant la Mega (dont la fabrication est arrêtée chez Arduino.cc).

La figure donne les dimensions externes des Mega et Mega2560. Une carte d'extension bouclier de base (pour Uno, Leonardo, etc.) est compatible avec le format Mega, puisque les quatorze premières entrées-sorties numériques et les six premières entrées analogiques sont aux même endroits . [9]



FigureII.4 : Dimensions des cartes et Arduino Mega2560 vue dessus

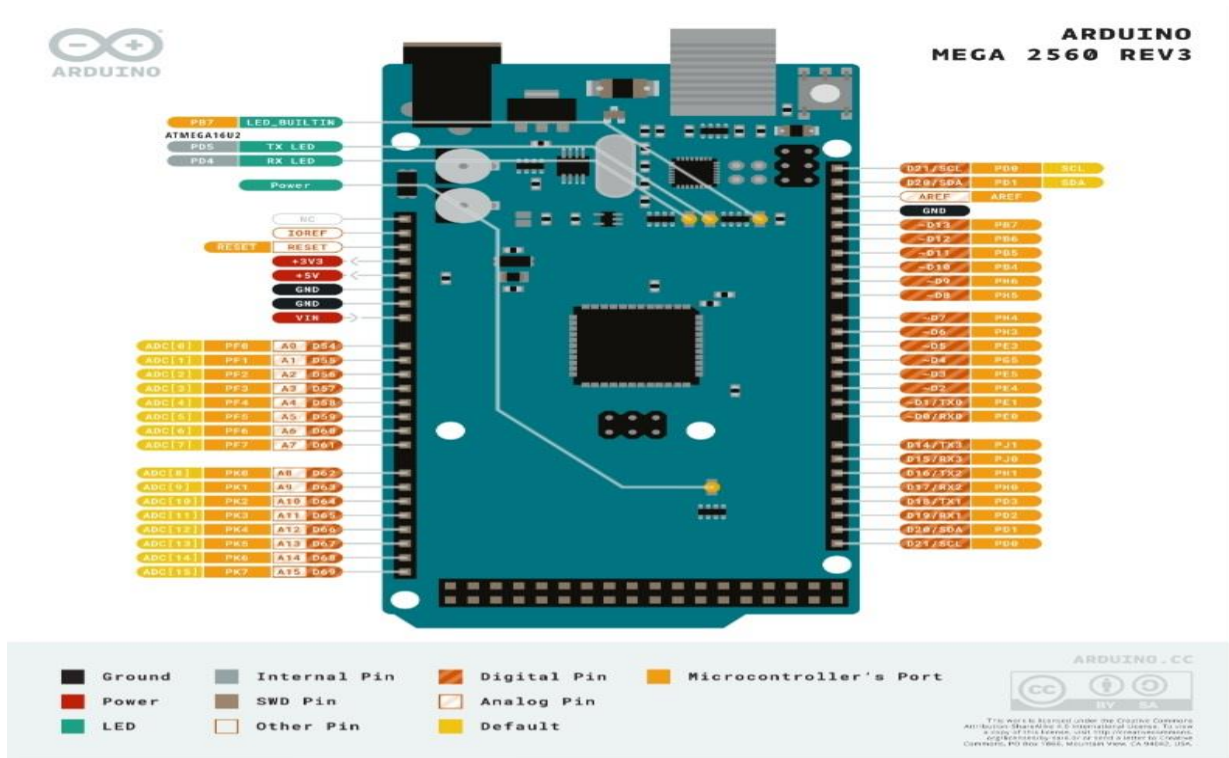


Figure II.5 : Schéma de câblage. [9]

- **Broches d'alimentation**

Les Arduino Mega peut être alimenté via la connexion USB ou avec une alimentation externe (figure II.12 a). La source d'alimentation est sélectionnée automatiquement.

Les broches d'alimentation sont les suivantes :

V_{IN} : La tension d'entrée à la carte Arduino quand il s'agit d'utiliser une source d'alimentation externe (par opposition à 5 volts de la connexion USB ou autre source d'alimentation régulée). Vous pouvez la tension d'alimentation à travers cet axe.

5V : L'alimentation régulée utilisée pour alimenter le microcontrôleur et d'autres composants de la carte. Cela peut provenir soit de VIN via un régulateur de bord, ou être alimenté par USB ou d'une autre alimentation de 5V régulée.

3V3 : Une alimentation de 3,3 volt généré par la puce FTDI de bard. Appel de courant maximal est de 50 mA.

GND : Les épingles de la terre. [10]

- **Mémoire**

Le ATmega 2560 dispose de 256 Ko de mémoire flash pour stocker le code (dont 8 Ko est utilisé pour le bootloader), 8 Ko de SRAM et 4 Ko de mémoire EEPROM (qui peut être lu et écrit avec la bibliothèque EEPROM).

- **Entrée et sortie**

Chacune des 54 broches numériques sur le Mega peut être utilisée comme une entrée ou une sortie, en utilisant `pinMode()`, `digitalWrite()` et les fonctions `digitalRead()`. Ils fonctionnent à 5 volts.

Chaque broche peut fournir ou recevoir un maximum de 40 mA et a une résistance de pull-up interne (déconnecté par défaut) de 20-50 kOhms.

En outre, certaines broches ont des fonctions spécialisées :

Serial : 0 (RX) et 1 (TX), série 1 : 19 (RX) et 18 (TX), série 2 : 17 (RX) et 16 (TX), série 3 : 15 (RX) et 14 (TX). Permet de recevoir (RX) et transmettre (TX) des données du port série TTL. Broches 0 et 1 sont également reliés à des broches correspondantes du FTDI USB-TTL puce série.

Interruptions externes : 2 (interruption 0), 3 (alarme 1), 18 (interruption 5), 19 (interruption 4), 20 (interruption 3) et 21 (interruption 2). Ces broches peuvent être configurées pour déclencher une interruption sur une valeur faible, un front montant ou descendant, ou un changement de valeur.

PWM : 2 à 13 et 44 à 46. Fournir 8 bits sortie PWM avec la fonction `analogWrite()`.

SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS). Ces broches supportent la communication SPI, qui, bien que fournie par le matériel sous-jacent, n'est pas actuellement inclus dans le langage Arduino. Les broches SPI sont également réparties sur l'embase ICSP, qui est physiquement compatible avec le Duemilanove et Diecimila.

LED : 13. Il est équipé d'une LED connectée à la broche numérique 13. Lorsque la broche est faible, il est éteint.

I2C : 20 (SDA) et 21 (SCL). Soutenir la communication I2C (TWI) en utilisant la bibliothèque de fil (documentation sur le site Web de câblage).

Le Mega dispose de 16 entrées analogiques, chacune qui fournissent 10 bits de résolution (c. 1024 valeurs différentes). Par défaut, ils mesurent à partir du sol à 5 volts, mais est-il possible de changer de changer l'extrémité supérieure de sa gamme en utilisant la broche AREF et la fonction `analogReference()`.

Il y a une couple d'autres broches de la carte : AREF. Tension de référence pour les entrées analogiques. Utilisé avec `analogReference()`.

Réinitialiser, Apportez cette ligne basse pour réinitialiser le microcontrôleur, Généralement utilisé pour ajouter un bouton de réinitialisation de boucliers qui bloquent l'un sur le plateau.

[10]

- **Communication :**

L'Arduino Mega a un certain nombre de facilités pour communiquer avec un ordinateur, un autre Arduino ou d'autres microcontrôleurs. Le ATmega 2560 fournit quatre UART TTL matérielles pour la communication série (5V). Un FT232 sur les chaînes de bord de l'un d'entre eux via un port USB et le pilote FTDI (inclus avec le logiciel Arduino) fournit un port COM virtuel de logiciel sur l'ordinateur. Le logiciel Arduino comprend un moniteur de série qui permet aux données textuelles simple pour être envoyés vers et depuis la carte Arduino. Le RX

et TX LED de la carte clignote lorsque des données sont transmises via la puce FTDI et la connexion USB à l'ordinateur (mais pas pour la communication série sur les broches 0 et 1).

Une bibliothèque SoftwareSerial permet une communication série sur l'un des axes numériques de la Mega.

Le ATmega2560 supporte également la communication I2C (TTW) et SPI. Le logiciel Arduino inclut une bibliothèque de fil à simplifier l'utilisation du bus I2C, voir la documentation sur le site Web de câblage pour plus de détails. Pour utiliser la communication SPI, voir la fiche ATmega2560 sur site www.Arduino.cc. [10]

- **Broche Réinitialisation :**

Plutôt que d'exiger une presse physique du bouton de réinitialisation avant un téléchargement, l'Arduino Mega est conçu d'une manière qui lui permet d'être réinitialisé par un logiciel installé sur un ordinateur connecté. L'une des lignes de contrôle de flux de matériel (DTR) de la FT232 est reliée à la ligne de réinitialisation de l'ATmega2560 l'intermédiaire d'un condensateur de 100 nanofarads. Lorsque cette ligne est affirmée (prises faible), la ligne de réinitialisation tombe assez longtemps pour réinitialiser la puce. Le logiciel Arduino utilise cette capacité pour vous permettre de télécharger du code en appuyant simplement sur le bouton de téléchargement dans l'environnement Arduino. Cela signifie que le bootloader peut avoir un délai plus court, comme l'abaissement du DTR peut être bien coordonné avec le début de la télécharger.

Cette configuration a d'autres implications. Lorsque le Mega est connecté à un ordinateur fonctionnant sous Max OS X ou linux, il réinitialise à chaque fois qu'une connexion est établie avec elle à partir du logiciel (via USB). Pour la demi-seconde ou deux après, le bootloader est en cours d'exécution sur les Mega. S'il programmé pour ignorer les données malformées (c. autre chose que d'un chargement d'un nouveau code), il va intercepter les premiers octets de données envoyés à la carte une fois la connexion est ouverte. Si un croquis exécuté sur le conseil reçoit configuration d'un temps ou d'autres données quand il commence d'abord, assurons-nous que le logiciel avec lequel il communique attend une second après l'ouverture de la connexion et avant de données.

Le Mega contient une trace qui peut être coupé pour désactiver la réinitialisation automatique. Les électrodes sur chaque côte de la trace peuvent soudés ensemble pour le réactiver. Il est étiqueté "RESET-FR". Vous pouvez également être en mesure de désactiver la réinitialisation automatique en connectant une résistance de 110 ohms de 5V à la réinitialisation.

- **Protection de surintensité USB :**

L'Arduino Mega a une polyfuse remise à zéro qui protège les ports USB de votre ordinateur de shorts et les surintensités. Bien que la plupart des ordinateurs fournissent leur propre protection interne, le fusible fournit une couche supplémentaire de protection. Si plus de 500 mA est applique sur le port USB, le fusible sera automatiquement rompre la connexion jusqu'à ce que le court ou surcharge.

2.2.3 Programmation de la carte Arduino

Les Arduino Mega peuvent être programmées avec le logiciel Arduino (télécharger depuis le site : [11]).

Le ATmega2560 sur l'Arduino Mega vient fiabilisées avec un bootloader qui permet de charger un nouveau code pour elle sans l'utilisation d'un programmeur de matériel externe. Il communique en utilisant le protocole STK500 origine (référence, les fichiers d'en-tête C).

On peut également contourner le bootloader et programmer le microcontrôleur grâce à l'ICSP (programmation In-Circuit Serial).

En effet, les outils nécessaires pour programmer Arduino Mega sont :

- Un Microordinateur (PC), pour écrire les instructions permettant de confectionner le fichier sketch à extension .cc dans l'environnement IDE Arduino.
- Un Logiciel de programmation fourni gratuitement par Société Arduino (à télécharger sur le site). Il faut l'installer sur un PC et apprendre à servir.
- Un câble de liaison USB pour relier le PC et la carte Arduino Mega.) [11]

- **Présentation de l'Espace de développement Intégré (EDI) Arduino (Software) :**

Les fondateurs d'arduino ont alors écrit le micrologiciel amorcéur (bootloader) qui permet le chargement du programme puis de l'outil de création fonctionnant sur une machine hôte sous Windows, macOS ou linux pour rédiger et compiler les programmes. Les fondateurs ont décidé de donner aux fichiers contenant le code source le nom de croquis, pour bien montrer que cette écriture devait rester simple comme une esquisse et pouvoir être peaufinée par étapes successives. Tout cela forme l'environnement Arduino.

À chaque carte correspond un domaine d'application. Toutes les cartes partagent la même librairie de fonctions open source, le même jeu d'outils avr-gcc et le même logiciel amorcéur/chargeur préimplanté dans le microcontrôleur de chaque carte Arduino.

L'IDE permet d'écrire, de modifier un programme et de le convertir en une série des instructions compréhensible par la carte Arduino.

Comme n'importe quel langage de programmation, une interface souple et simple est exécutable sur n'importe quel système d'exploitation Arduino basé sur la programmation en

C/C++

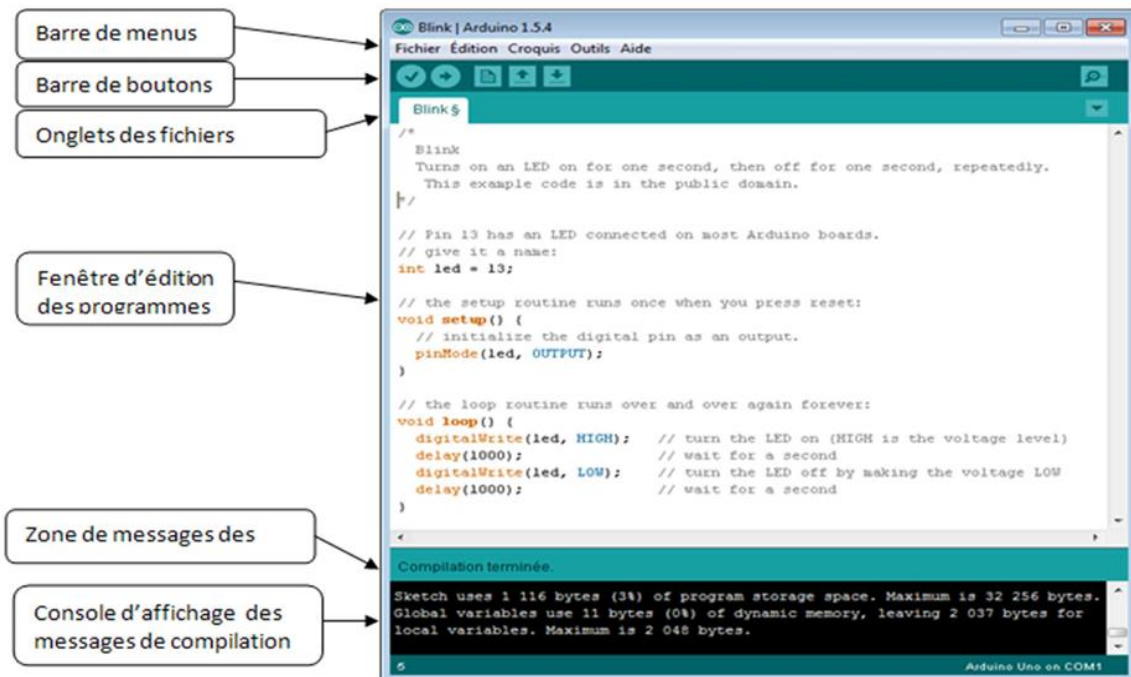


Figure II.6 : Interface IDE Arduino

Un programme utilisateur Arduino est une suite d'instructions élémentaires sous forme textuelle, ligne par ligne. La carte lit puis effectue les instructions les unes après les autres, dans l'ordre défini par les lignes de code, comme lors d'une programmation classique.

Une simple manipulation enchaînée doit être suivie afin d'injecter un code vers la carte Arduino via le port USB.

Étape 1 : On crée notre programme adapter à notre étude avec le logiciel IDE Arduino.

Étape 2 : On vérifie ce programme avec le logiciel Arduino (compilation par le bouton Vérifier)

Étape 3 : On téléverse le programme sur la carte (Téléversement du programme).

Étape 4 : On câble le montage électronique carte Arduino avec les sondes et les module de communication et le module d'affichage.

Avant d'envoyer un programme dans la carte, il est nécessaire de sélectionner le type de la carte (exemple Arduino Mega) et le numéro de port USB (COM 7 comme à titre d'exemple) cette figure suivante apparaitre :

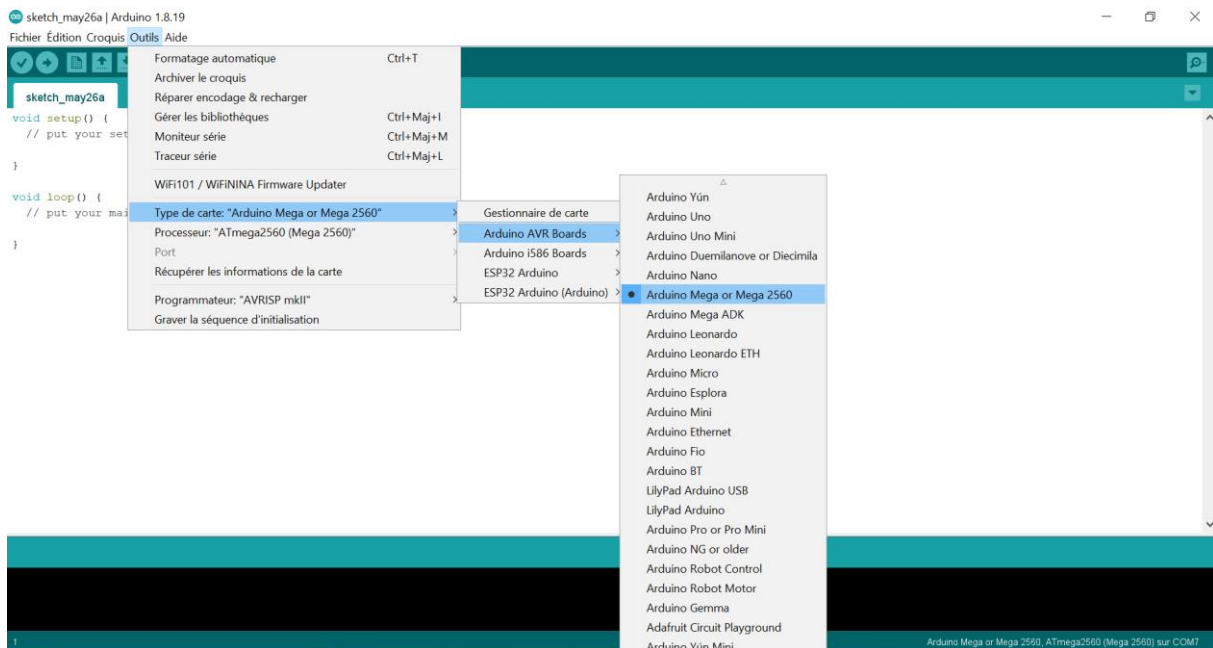


Figure II.7: Paramétrage de la carte Arduino Mega (sélection type de la carte)

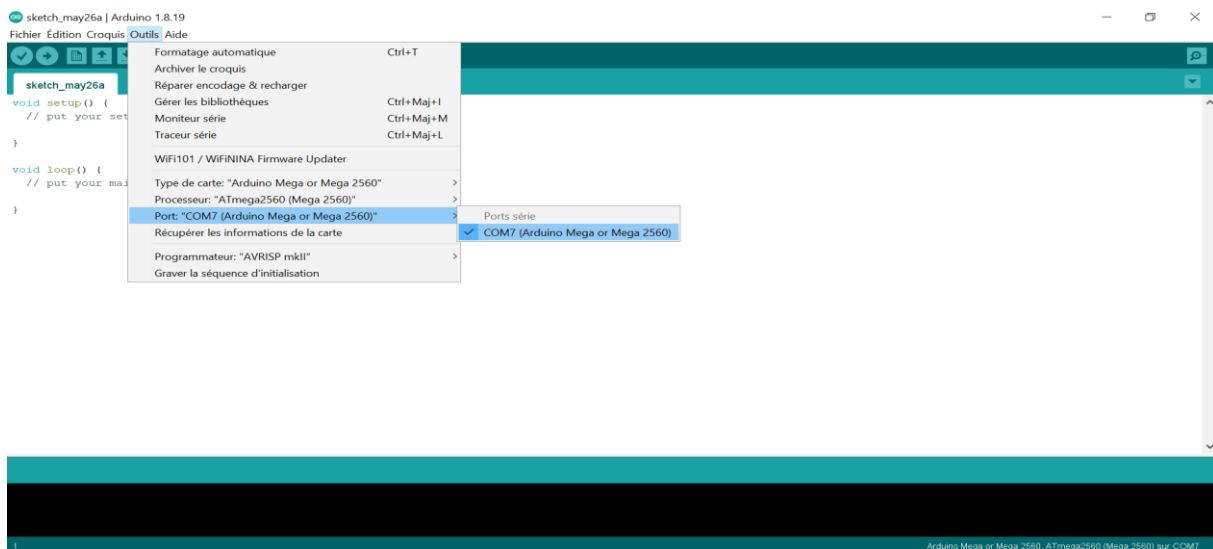


Figure II.8: Choix du port de communication

2.3 Sonde électrique de pH

Nous avons besoin de mesurer la qualité de l'eau avec le paramètre pH alors la firme DFROBOT a fabriqué une sonde de pH analogique, spécialement conçu pour les **contrôleurs Arduino**, [12] (avec une conception simple, pratique et des connexions efficaces. Il dispose d'une LED qui fonctionne comme indicateur d'alimentation, d'un connecteur BNC et d'une interface capteur PH2,0.

2.3.1 Caractéristiques de la sonde pH HJ-828 :

Voici leur signification la plus fréquente :

Température de travail : -10 ~ 50 (température nominale 20)

Humidité de travail : 95 % HR (humidité nominale 65 % HR)

Taille : 42 mm × 32mm × 20 mm

Tension de chauffe : $5 \pm 0.2V$ (AC DC)

Courant de fonctionnement : 5-10mA

Gamme : pH 0-14

Temps de réponse : 5S

Temps de stabilisation : 60S

Puissance de l'élément : 0,5W

PO : Sortie analogique 0-5 V pour PH

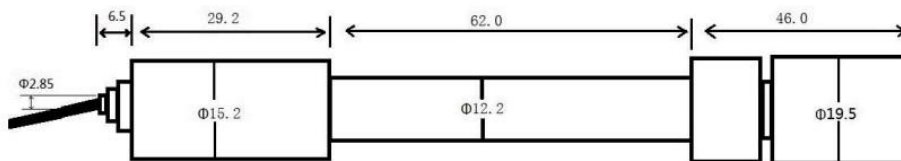
GND &ndash ; Mise à la terre

VCC &ndash ; Alimentation d'entrée 5 VDC

Dimensions : 42 mm × ; 32mm × 20mm

Fournit une sortie analogique 0-5V – parfait pour Arduino.

- Tension du module : 5 ,00 V
- Taille du module : 43 mm x 32 mm
- Plage de mesure : 0-14 pH
- Mesure de la température : 0-60 °C
- Précision : ± 0.1 pH (à 25 °C)
- Temps de réponse : ≤ 1 min
- Sonde de pH avec connecteur BNC
- Interface PH2.0 (câble de 3 pieds)
- Potentiomètre de réglage du gain
- LED indicateur d'alimentation
- Longueur du câble entre la sonde et le connecteur BNC :660 mm



FigureII.9 : Taille (mm) de l'électrode de pH :

2.3.2 Caractéristiques de l'électrode de pH :

La sortie des électrodes pH est en millivolts et la valeur du pH de la relation est indiquée comme suit (25°C) :

Tension (MT)	Valeur du pH	Tension (MT)	Valeur du Ph
414.12	0.00	-414.12	14.00
354.96	1.00	-354.96	13.00
295.80	2.00	-295.80	12.00
236.64	3.00	-236.64	11.00
177.48	4.00	-177.48	10.00
118.32	5.00	-188.32	9.00
59.16	6.00	-59.16	8.00
0.00	7.00	0.00	7.00

Tableau II.1: Caractéristiques de l'électrode de pH

2.3.3 Précautions d'utilisation de la sonde pH

- Avant d'utiliser l'électrode en continu en continu à chaque fois, vous devez l'étalonner avec la solution standard pour obtenir des résultats plus précis. La température ambiante optimale est d'environ 25°C et la valeur du pH est connue et fiable, proche de la valeur mesurée Si vous mesurez le pour un échantillon acide, la valeur du pH de la solution standard doit être de 4.00 si vous mesurez l'échantillon alcalin, la valeur de la solution standard doit être de 9,18 . Calibrage des sous-sections, juste pour obtenir une meilleure précision
- Avant que l'électrode de pH ne mesure différentes solution, nous devons utiliser de l'eau pour la laver. Nous recommandons d'utiliser de l'eau déionisée :
 - L'électrode utilisée pour la première ou longue série sans réutilisation, le bulbe de l'électrode et le noyau de sable, immergés dans la solution 3N KCL, activés pendant huit heures.
 - La fiche de l'électrode doit être maintenue propre et sèche.
 - La solution de référence de l'électrode est la solution 3NKCL
Il convient d'éviter les mesures en échelonnant la contamination entre les solutions afin de pas affecter la précision de la mesure.

-Veuillez utiliser une alimentation à découpage externe et une tension aussi proche que possible de +0.05V. Plus la tension est précise, plus la précision est élevée.

- a) Connectez l'équipement selon le schéma, c'est-à-dire que l'électrode de pH est connectée au connecteur BNC de la carte du pH-mètre, puis à l'aide des lignes de connexion, la carte du pH-mètre est connectée par exemple au port analog 0 du contrôleur Arduino.
- b) Lorsque le contrôleur Arduino est alimenté, vous verrez que la LED bleue sur la carte est allumée.
- c) Téléchargez l'exemple de code sur le contrôleur Arduino.
- d) Placez l'électrode de pH dans la solution standard dont la valeur de pH est de 7,00, ou court-circuitez directement l'entrée du connecteur BNC. Ouvrez le moniteur série de L'IDE Arduino, vous pouvez voir la valeur du pH imprimée dessus et l'erreur ne dépasse pas 0,3. Enregistrez la valeur de PH imprimée, puis comparez-la à 7.00 et la différence doit être modifiée en "Offset" dans le code de l'échantillon. Par exemple, la valeur de pH imprimée est de 6,88, donc la différence est de 0,12. Vous devez changer le "#define Offset 0.00 " en "#define Offset 0,12". Dans votre programme.
- e) Placez l'électrode de pH dans la solution standard de pH dont la valeur est de 4,00. Attendez ensuite environ une minute, ajustez le potentiel de gain de l'appareil, laissez la valeur se stabiliser autour de 4,00. À ce stade, l'étalonnage acide est terminé et vous pouvez mesurer la valeur du pH d'une solution acide. Remarque : si vous souhaitez mesurer la valeur du pH d'une autre solution, vous devez d'abord laver l'électrode de pH.
- f) Selon les caractéristiques linéaires de l'électrode de pH elle-même, après l'étalonnage ci-dessus, vous pouvez mesurer directement la valeur du pH de la solution alcaline, mais si vous souhaitez obtenir une meilleure précision, vous pouvez la recalibrer. L'étalonnage alcalin utilise la solution standard dont la valeur du pH est de 9,18. Ajustez également le dispositif de potentiel de gain, laissez la valeur se stabiliser autour de 9,18. Après cet étalonnage, vous pouvez mesurer la valeur du pH de la solution alcaline. [13]

2.3.4 Mode de branchement de la sonde HJ-828

Ce module amplifie les valeurs mesurées par un capteur de pH (comme la sonde électronique OT3489 - à commander séparément). Cela permet de les lire avec un microcontrôleur tel qu'un Arduino ou un esp32. [14]



FigureII.10 : Sonde de pH avec le Module amplificateur [14]

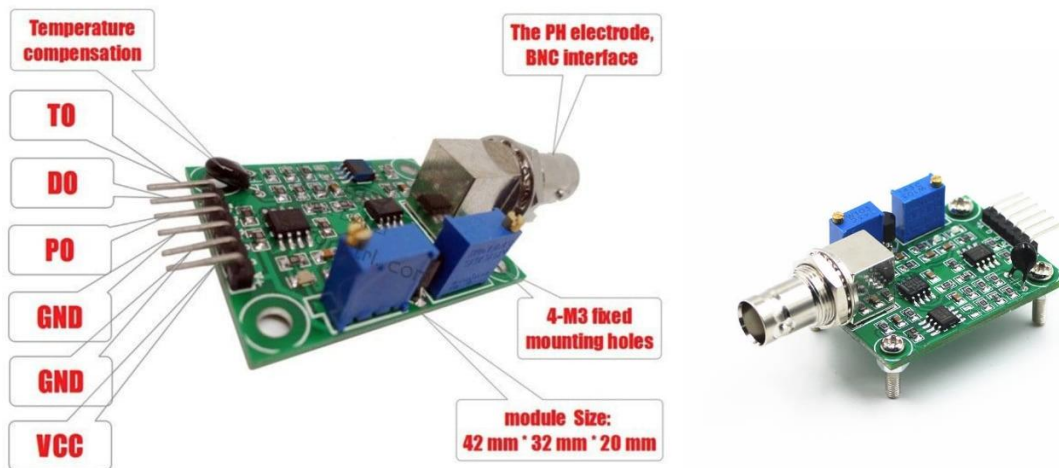


Figure II.11 : Carte/module d'amplificateur de la sonde pH (OT3470) [14]

Les inscriptions comme To, Do, Po, G, G, V+ que nous trouvons (figureII.11) sur le module amplificateur de sonde de pH type BNC avec amplificateur, modèle HJ-828 de sonde de pH analogique correspondent à des broches de connexion, mais elles ne sont pas toujours normalisées.

Sur le module (HJ-828), d'après l'étiquetage visible sur le module pH, la signification des broches sur ce module est donnée par le tableau suivant :

Broche	Signification
Po	<i>Sortie analogique(pH)</i>

<i>Do</i>	<i>Sortie numérique(seuil)</i>
<i>To</i>	<i>(Peut être inutilisé ou test)</i>
<i>G</i>	<i>Masse</i>
<i>G</i>	<i>Masse</i>
<i>V+</i>	<i>Alimentation 5v</i>

Tableau II.2 : Connexions du module HJ-828

2.4 Module Wi-Fi :

Le but d'intégrer ce module Wifi est de permettre à l'Arduino Mega d'envoyer ou recevoir des données via Wi-Fi, en utilisant l'ESP8266 comme module Wi-Fi série. Voici **le matériel nécessaire** pour connecter un module **ESP8266-01S** avec un **Arduino Mega 2560** afin d'utiliser le Wi-Fi :

- Arduino Mega 2560
- ESP8266-01S
- Adaptateur de tension (ou diviseur de tension) pour ESP8266 (car il fonctionne en 3.3V)
- Alimentation 3.3V stable pour l'ESP8266 (il consomme pas mal de courant)
- Fils de connexion.

Le module WiFi ESP-01 est développé par l'équipe Ai-thinker. Le processeur principal ESP8266 est disponible dans des tailles de module plus petites Le tensilica L106 encapsule un micro MCU 32 bits ultra-basse consommation à la points de l'industrie, avec un mode court 16 bits, des vitesses d'horloge de MHz et 160 MHz, prend en charge le RTOS et intègre le Wi-Fi MAC/BB/RF/PA/LNA, ainsi qu'une antenne embarquée. Le module prend en charge la norme IEEE802.11 b/g/n et la pile de protocoles TCP/IP complète. Les utilisateurs peuvent utiliser les modules supplémentaires pour un périphérique réseau existant ou créer un contrôleur réseau distinct L'ESP8266 est un système sur puce sans fil hautement intégré, conçu pour les concepteurs de plates-formes mobiles à contraintes d'espace et de puissance. Il offre une capacité inégalée à intégrer des fonctionnalités Wi-Fi dans d'autres systèmes ou à fonctionner comme une application autonome, avec le coût le plus bas et un encombrement minimal. [15]

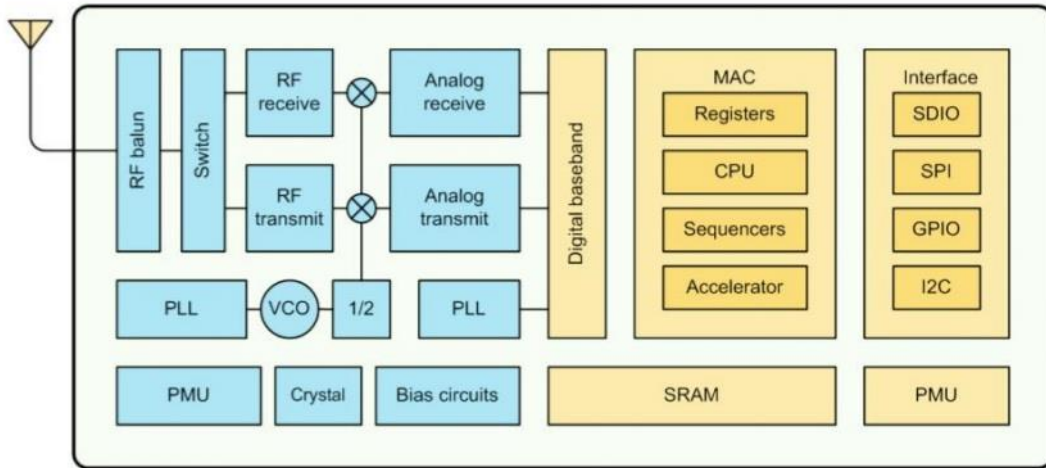


Figure II.12 : Schéma fonctionnel de L'ESP8266EX. [15]

L'ESP8266EX offre une solution de réseau Wi-Fi d'un autre processeur d'application.

Lorsque l'ESP8266EX héberge l'application, il démarre directement à partir d'un flash externe. Il dispose d'un cache intégré pour améliorer les performances du système dans de telles application

Alternativement, servant d'adaptateur Wi-Fi, l'accès internet sans fil peut être ajouté à n'importe quelle conception basée sur un microcontrôleur avec une connectivité simple (interface SPI/SDIO ou I2C/UART).

L'ESP8266EX est l'une des puces WiFi les plus intégrées du secteur ; Il intègre les commutateurs d'antenne, le balun RF, l'amplificateur de puissance, l'amplificateur de réception à faible bruit, les filtres les modules de gestion de l'alimentation, nécessite un minimum de circuit externes et la solution entière, y compris le module frontal, est conçue pour occuper une surface PCB minimale.

L'ESP8266EX intègre également une version améliorée du processeur 32 bits de la série L106 Diamond de Tensilica, avec SRAM intégrée, en plus des fonctionnalités Wi-Fi.

L'ESP8266EX est souvent intégré à des capteurs externes et à d'autres appareils spécifiques à l'application via son GPIO ; Les codes pour de telles applications sont fournis dans des exemples du SDK.

La plateforme de connectivité intelligente (ESCP) d'Espressif Systems présente des fonctionnalités sophistiquées au niveau du système, notamment la commutation rapide du contexte veille/réveil pour une VoIP économe en énergie, la polarisation radio adaptative pour un fonctionnement à faible consommation, le traitement avancé du signal et l'annulation des parasites, ainsi que des fonctionnalités de coexistence radio pour l'atténuation des interférences cellulaires, Bluetooth, DDR, LVDS et courantes. [15]

2.4.1 Caractéristiques :

- 802.11 b/g/n
- Microcontrôleur embarqué basse consommation 32 bits

- Convertisseur analogique-numérique 10 bits intégré
- Empilement de protocoles TCP/IP intégré
- Interrupteur réseau, balun, amplificateur de puissance et circuits de mise en réseau intégrés
- Règlement PL, régulateurs et unités de gestion de l'alimentation intégrés
- Prend en charge la diversité des antennes
- Wi-Fi 204 GHz, prend en charge WPA/WPA2
- Prend en charge les modes d'opération STA/AP
- Prend en charge la fonction Smart Link pour les appareils Android iOS
- Prend en charge la fonction de liaison intelligente pour les appareils Android et Ios
- Système 2.0(H), SPI, UART, I2C, I2S, IRDA, PWM, GPIO
- STMC,1X1 MIMO,2x1MIMO
- A-MPRDU & A-MSDU segmentation et temps de traitement de 0.4 μ s
- Consommation en veille prolongée < 10 μ A, courant de fuite hors tension < 5 μ A
- Réveillez et transmettez des paquets en < 2 ms
- Consommation électrique en veille < 0.1 mW (DTIM3)
- Puissance de sortie de sortie de +20 dBm en 802.11b
- Plage de températures de fonctionnement : 40°C à 125°C

Le tableau Ici-dessous décrit les principaux paramètres

Categories	Items	Values
WiFi Paramters	WiFi Protocles	802.11 b/g/n
	Frequency Range	2.4GHz-2.5GHz (2400M-2483.5M)
Hardware Paramaters	Peripheral Bus	UART/HSPI/I2C/I2S/Ir Remote Contorl GPIO/PWM
	Operating Voltage	3.0~3.6V
	Operating Current	Average value: 80mA
	Operating Temperature Range	-40°~125°
	Ambient Temperature Range	Normal temperature
	Package Size	14.3mm*24.8mm*3mm
	External Interface	N/A
	Software Parameters	Wi-Fi mode
Software Parameters	Security	WPA/WPA2
Software Parameters	Encryption	WEP/TKIP/AES
Software Parameters	Firmware Upgrade	UART Download / OTA (via network) / download and write firmware via host
Software Parameters	Ssoftware Development	Supports Cloud Server Development / SDK for custom firmware development
Software Parameters	Network Protocols	IPv4, TCP/UDP/HTTP/FTP
Software Parameters	User Configuration	AT Instruction Set, Cloud Server, Android/iOS App

Tableau II.3 : Caractéristiques techniques du module Wi-Fi. [15]

2.4.2 Descriptions des broches de ESP-01 :

Il existe au total 8 nombres de broches, dont les définitions sont décrites dans le tableau ci-dessous.

Broche	Wifi ESP8266-ESP-01	Signification
GND		Masse
GPIO2		General Purpose Input/Output : L'entrée/sortie à usage général (GPIO) fait référence à une broche 2 de signal numérique sur un circuit qui peut être configurée par logiciel pour agir comme une entrée ou une sortie.
GPIO0		General Purpose Input/Output : L'entrée/sortie à usage général (GPIO) fait référence à une broche 0 de signal numérique sur un circuit qui peut être configurée par logiciel pour agir comme une entrée ou une sortie.
RXD		Réception des Données
VCC		Alimentation (attention 3.3V non 5V)
RST		Reset (redémarrer le module)
CH_PD		Sélection de puce (3.3V)
TXD		Transmission des Données

Tableau II .4 : Descriptions des broches de ESP-01

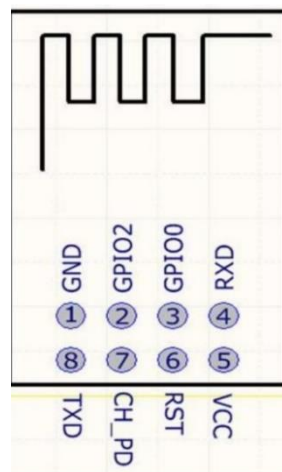


Figure II.13 : Positionnement des broches sur le module Wifi ESP8266 ESP-01

2.4.3 Emballage et dimension :

La taille externe du module est de 14.3 mm x 3 mm, comme illustré dans la figure 3 ci-dessous. Le type de mémoire flash intégré dans ce module est une mémoire flash SPI, dont la capacité est de 1 Mo et dont la taille du boîtier est SOP-210mil l'antenne appliquée sur ce module est une antenne PCB-on-board 3DBI.

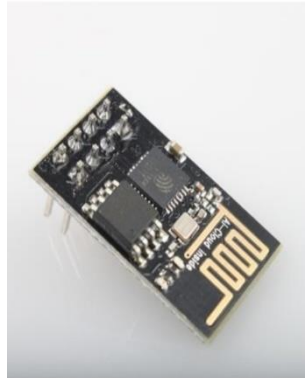
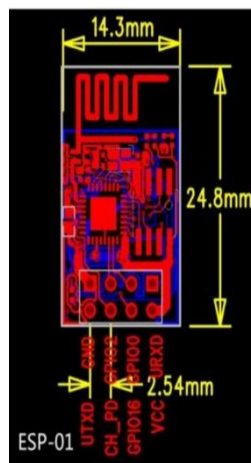


Figure II.14 : Image du module Wifi ESP8266 ESP-01



FigureII.15 : Vue de dessus et dimension du module Wi-Fi ESP-01[14.3 mm* 3.0 mm].
[15]

2.4.4 Descriptions fonctionnelle [15]

L'ESP8266EX est équipé d'un microcontrôleur (MCU) 32 bits Tenilica L106, qui présente une consommation d'énergie extrêmement faible et un RSIC 16 bits. La vitesse d'hoeloge du processeur est de 80 MHz Il peut également atteindre une valeur maximale de 160 MHz.

L'ESP8266EX est souvent intègre à des capteurs externes et à d'autres appareils spécifiques via ses GPIO ; Les codes pour de telles applications sont fournis dans des exemples du SDK.

2.4.5 Organisation de la mémoire [15]

- **SRAM et ROM internes :**

Le SoC WiFi ESP8266EX est intégré à un contrôleur de mémoire, comprenant des mémoires SRAM et ROM. Le microcontrôleur peut visiter les unités de mémoire via les interfaces iBus ,dBUS et AHB Toutes les unités de mémoire peuvent être visitées sur demande, tandis qu'un arbitre de mémoire décidera de la séquence d'exécution en fonction du moment où ces demandes sont reçues par le processeur .

Selon notre version actuelle du SCK fourni, l'espace SRAM disponible pour les utilisateurs est attribué comme suit : taille de la RAM < 36 Ko, c'est-à-dire lorsque l'ESP8266EX fonctionne en mode station et est connecté au Routeur, l'espace programme accessible à l'utilisateur dans le tas et la section de données est d'environ 36 Ko).

Il n'y a pas de ROM programme dans le SoC, par conséquent, le programme utilisateur doit être stocké dans une mémoire flash SPI externe.

- **Flash SPI externe :**

Ce module est équipé d'une mémoire flash SPI externe de 1 Mo pour stocker les programmes utilisateur. Si l'espace de stockage définissable plus grand est requis, une mémoire flash SPI avec une taille de mémoire plus grande est préférable théoriquement partant, une capacité de mémoire allant jusqu'à 16 Mo peut être prise en charge.

Capacité de mémoire flash SPI suggérée :

L'OTA est désactivé : la mémoire flash minimale pouvant être prise en charge est de 512 Ko

L'OTA est activé : la mémoire flash minimale pouvant être prise en charge est de 1Mo

Plusieurs modes SPI peuvent être pris en charge, notamment SPI standard , SPI double et SPI quadruple par conséquent, veuillez choisir le mode SPI correct lorsque vous téléchargez dans la mémoire flash, sinon les firmwares/programmes que vous avez téléchargés peuvent ne pas fonctionner correctement. [15]

2.5 Module Bluetooth HM-10 BLE 4.0

Le HM -10 est un petit module Bluetooth 4.0 BLE SMD fonctionnant en 3.3V, basé sur les SOC Bluetooth TI CC2540 ou CC2541 (System On Chip). Le HM-10 est fabriqué par Jinan Huamao et fait partie de nombreux dispositifs Bluetooth qu'ils produisent, [16]

Le HM-10 est devenu un module Bluetooth 4 BLE très populaire pour une utilisation avec Arduino. Cela est en partie dû à la connexion série UART standard qui permet de se connecter assez facilement à un Arduino. La couche UART est à la fois un avantage et un inconvénient : elle facilite l'utilisation, mais masque la couche BLE, ce qui empêche de contrôler le côté BLE proprement dit.

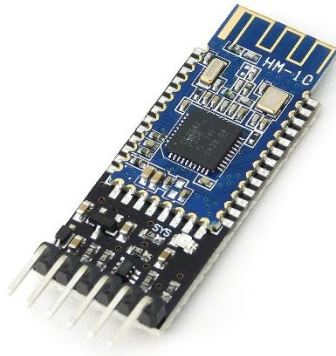


Figure II.16 : Image du module HM-10BLE 4.0

2.5.1 Caractéristiques de base du module HM-10BLE 4.0

Les derniers modules HM-10 semblent tous utiliser à la CC2540, sauf qu'elle consomme moins d'énergie et a une portée plus courte. La série CC254x est basée sur le microcontrôleur 8051 et fonctionne à 32 MHz.

Le HM-10 est uniquement compatible avec la version Bluetooth 4.0, ce qui signifie qu'il ne peut pas se connecter aux modules Bluetooth 2.2/2.1 tels que le HC-06 et le HC-05.

Le HM-10 est contrôlé via des commandes AT envoyées via la connexion série UART. Il existe de nombreuses commandes, certaines simples, d'autres plus complexes.[16]

Ainsi les caractéristiques générales de ce module sont :

- Type: BLE (Bluetooth Low Energy), version 4.0
- Consommation d'énergie : Très faible (grande autonomie)
- Vitesse de communication : Moins rapide que HC-05 en mode classique
- Mode de fonctionnement : Peut-être esclave ou maître (selon le firmware)
- Portée : Environ 50 m
- Compatibilité : Compatible avec les smartphones récents (Android & iOS)
- Usage typique : Applications mobiles modernes, IoT, capteurs alimentés par batterie
- Alimentation +2.5 V à +3.3 V
- Nécessite jusqu'à 50 mA
- Utilise environ 9 mA lorsqu'il est en état actif
- Utilise 50-200 μ A en mode veille
- Puissance RT : -23 dBm, 0 dBm, 6dBm
- Vitesse de transmission par défaut pour la connexion série : 9600 bauds
- Code PIN par défaut : 000000
- Nom par défaut : HMSoft
- Basé sur les puces CC2540 ou CC2541

2.5.2 Description des broches

La description des broches du module Bluetooth HM-10 BLE 4.0 sont données par le tableau suivant :

Broche Bluetooth HM-10	Signification des Broches
STATE	Sortie Etat du HM-10
RXD	Réception des Données
TXD	Transmission des Données
GND	Masse
VCC	Alimentation (attention 3.3V non 5V)
EN	Sélection du module

Tableau II.5 : Description des connexions du module HM-10 BLE 4.0

2.6 Sonde de température (DS18B2)

La sonde de température numérique Dallas Semiconductor DS18B20 à résolution programmable 1-Wire fournit des lectures de température configurables de 9 à 12 bits, indiquant la température du dispositif. Les données sont envoyées depuis/ vers le DS18B20 via une interface 1-wire, de sorte qu'un seul fil (et la masse) est nécessaire pour la connexion à un microprocesseur central. L'alimentation pour la lecture, l'écriture et les conversions de température peut être tirée de la ligne de données elle-même sans besoin de source d'alimentation externe. Chaque DS18B20 contient un numéro de série unique en silicium, ce qui permet à plusieurs DS18B20 de coexister sur un même bus 1-Wire. Cela facilite le plusieurs endroits.

2.6.1 Caractéristiques de la sonde DS18B20

La sonde de température DS18B20 possède quatre composants principaux :

1. ROM gravée de 64 bits
2. Capteur de température
3. Registre d'alarme non volatile (déclencheurs TH et TL)
4. Registre de configuration.



FigureII.17 : Image de la sonde de température DS18B20

Le dispositif tire son alimentation de la ligne de communication 1-Wire en stockant de l'énergie sur un condensateur interne pendant les périodes où le signal est à l'état haut, puis continue de fonctionner pendant les périodes où le signal est bas, jusqu'à ce que l'énergie soit rechargée.

Alternativement, le DS18B20 peut être alimenté par une source externe (3V à 5,5 V).

La communication avec le DS18B20 se fait via un port 1-wire. Avant que le protocole de la ROM ne soit établi, les fonctions de mémoire et de contrôle ne sont pas disponibles. Le maître doit d'abord fournir l'une des cinq commandes de fonction ROM suivantes :

1. Lecture de la ROM
2. Correspondance ROM
3. Recherche ROM
4. Saut de ROM
5. Recherche d'alarme.

Ces commandes fonctionnent sur la partie ROM gravée de 64 bits de chaque dispositif et peuvent sélectionner un dispositif précis sur la ligne 1-wire, ou indiquer quels dispositifs sont présents. Une fois une commande ROM reçue, le maître peut alors envoyer des commandes de -fonction mémoire.

Une commande de contrôle ordonne au DS18B20 de mesurer la température. Le résultat sera stocké dans la mémoire scratchpad du DS18B20 et peut être lu par une commande mémoire. Les déclencheurs d'alarme de température TH et TL sont stockés dans une EEPROM de 1 octet

chacun. Si la commande de recherche d'alarme n'est pas utilisée, ces registres peuvent être utilisés comme mémoire utilisateur générale.

Le scratchpad contient également un octet de configuration permettant de définir la résolution souhaitée pour la conversion température/ numérique. L'écriture de TH, TL et de l'octet de configuration se fait via une commande mémoire. L'accès en lecture à ces registres se fait également via le scratchpad [17] :

Ainsi les caractéristiques générales de cette sonde sont [17]

- L'interface unique 1-Wire nécessite seulement une broche pour la communication
- Capacité multidrop qui simplifie les applications de détection de température distribuée
- Ne nécessite aucun composant externe
- Peut être alimenté via la ligne de données. Plage d'alimentation : de 3,0 V à 5,5 V
- Aucune alimentation en veille nécessaire
- Mesure les températures de -55 °C à +125 °C. Équivalent en Fahrenheit : de -67 °C à + 257 °F
- Précision de $\pm 0,5$ °C de -10 °C à +85 °C
- Résolution du thermomètre programmable de 9 à 12 bits
- Convertit la température en signal numérique en 750 ms (max.)
- Alarmes de température configurables par l'utilisateur
- La commande de recherche d'alarme identifie et adresse les dispositifs dont la température dépasse les limites programmées (état d'alarme)

2.6.2 Description des broches

La description des broches de la sonde de température DS18B20 est donnée par le tableau suivant :

Broches sonde DS18B20	Signification des Broches
GND	Masse
DAT	Broche de données (E/S). Pour une utilisation en 1-Wire : drain ouvert.
VCC	Tension d'alimentation.

Tableau II.6 : signification des broches de la sonde de température DS18B20

2.7 Afficheur LCD

L'afficheur LCD 16×02 est un écran à cristaux liquides capable d'afficher 16 caractères sur deux lignes. Avec une ROM intégrée contenant 160 caractères. Le rétroéclairage de l'écran est vert. Cet afficheur, de dimensions 80mm x 35mm x 11mm, avec une zone de visualisation de 64.5mm x 16mm, est fréquemment utilisé dans des appareils tels que photocopieuses, télécopieurs, imprimantes laser, et équipements de réseau, offrant une facilité de programmation et une adaptabilité à divers projets.

Afficheur LCD 2 x16 caractères rétroéclairé se raccordant via le bus I2C sur un microcontrôleur (Arduino ou Raspberry Pi par exemple).

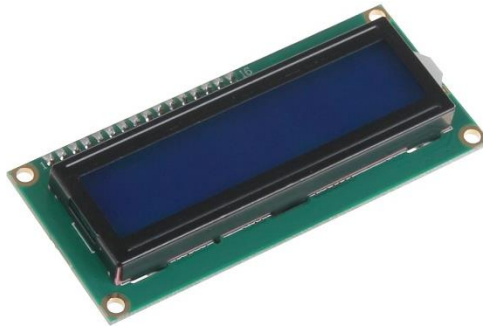


Figure II.18 : Image d'un afficheur LCD 16X2 [18]

- Comment câbler : GND—GND ; VCC—VCC ; SDA—Port Analogique ; SCL—Port Analogique
- Compatibilité : convient pour Arduino et Raspberry pi.
- Tension de fonctionnement : 5 V
- Un potentiomètre utilisé pour régler le rétroéclairage et le contraste
- Alimentation : 5 Vcc
- Interface : I2C (adresse 0x27)
- Contraste ajustable via potentiomètre
- Dimensions : 80 x 38 x 18 mm

3. CONCLUSION

La compréhension de modules exposées dans ce chapitre nous offre des bases de connaissances pour l'usage de la carte d'acquisition Arduino. Dans ce chapitre, notre étude s'est focalisée sur la présentation de ce système embarqué choisi la carte Arduino Mega, et le matérielle nécessaire pour réaliser ce projet tout en commençant par un bref historique et quelques détails concernant la création et l'utilité de ce système. Par la suite nous avons donné son côté matériel, enfin présenter le logiciel et le langage de programmation qui permet de le flasher.

En conclusion nous pouvons dire que l'Arduino Mega peut bien jouer le rôle d'une unité de traitement et de mesure de pH et de la température en vue d'appliquer ce système dans le test de la qualité de l'eau. Pour fonctionner cette unité de mesure, il faut la programmer et l'adapter à un compilateur de programmation IDE Arduino afin de câbler le montage carte Arduino avec les sondes pH et température, le module d'affichage et les modules de communication Wifi et Bluetooth pour superviser les informations mesurées.

Chapitre 3

Conception et réalisation du système de mesure et de supervision du pH de l'eau

1. Introduction

Le smartphone et les tablettes avec sa connectivité Bluetooth intégrée, et Wifi deviennent une supervision universelle pour tous les équipements de mesure électriques. Les utilisateurs pourront superviser à terme et contrôler à distance un très grand nombre de zone d'étude. Pour répondre à cette évolution majeure, nous allons créer une carte qui permet de superviser le pH de n'importe quelle zone laquelle implantée dedans ce système, à travers un smartphone ou une tablette.

2. Conception du système de mesure de pH et de la température

Le Contrôleur Arduino Mega est préprogrammé, de tel sorte nous obtiendrons la valeur du pH et la température indiquées dans un afficheur LCD ou superviser dans un smartphone via WiFi ou Bluetooth. Pour l'utiliser, il suffit de connecter la sonde pH au connecteur BNC. Nous avons réalisé ce système prototype dans une boîte de plastique pour un meilleur rangement (figure III.2).

Le tableau suivant illustre le matriels utilisés pour realiser notre système avec leurs prix :








Image du Module	Désignation	Caractéristiques	Prix (DA)
	Module Arduino Mega	ATmega2560 Processor (16MHz)	4400,00
	Sonde de température	DS18B20	1200.00
	Sonde de pH	Carte (OT3470) /module d'amplificateur de capteur de pH	5600.00
	Module Wifi	ESP 8266 ESP-01	800.00
	Module Bluetooth	HM-10 BLE 4.0	1200.00
	Alimentation continue	Alimentation (AC-DC) +12[V]	500.00
	Afficheur LCD	16x2, I2C	1300.00



Figure III.2 : Photo du montage prototype réalisé

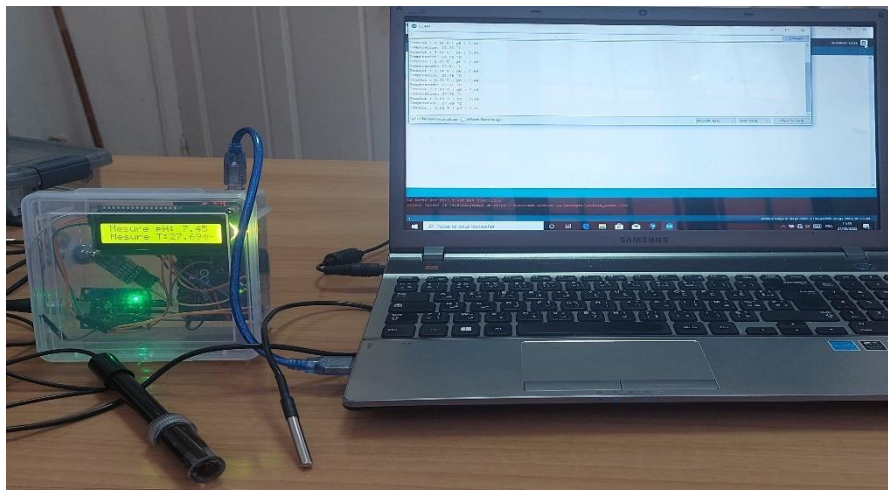


Figure III.3 : Connexion du montage par USB avec PC (supervision des mesures)

En raison d'éclaircissement de câblage du montage, le tableau suivant donne la signification du branchement:

Broche sonde pH	Signification	Connexion à Arduino Mega
To	Tension de sortie (sortie analogique)	A0 (entrée analogique)
Do	Sortie numérique (seuil réglable)	Non utilisé
Po	Point de test / offset (souvent NC)	À ne pas connecter généralement
G	GND (masse)	GND
G	Deuxième masse (parfois pour sonde)	GND ou masse sonde
V+	Alimentation (souvent 5V)	5V
Broche sonde Température	Signification	Connexion à Arduino Mega
GND	Masse	GND
DAT	Broche de données (E/S). Pour une utilisation en 1-Wire : drain ouvert.	Pin 3 (Entrée numérique PWM)
VCC	Broche d'alimentation optionnelle. VDD doit être mis à la masse pour le fonctionnement en mode parasite.	5V
Broche Bluetooth HM-10	Signification	Connexion à Arduino Mega
STATE	Sortie Etat du HM-10	Non connecter
RXD	Réception des Données	TX0
TXD	Transmission des Données	RX0
GND	Masse	GND
VCC	Alimentation (attention 3.3V non 5V)	3.3V
EN		Non connecter
Broche Wifi ESP8266-ESP-01	Signification	Connexion à Arduino
GND	Masse	GND
GPIO2	General Purpose Input/Output : L'entrée/sortie à usage général (GPIO) fait référence à une broche 2 de signal numérique sur un circuit qui peut être configurée par logiciel pour agir comme une entrée ou une sortie.	Non connecter

GPIO0	General Purpose Input/Output : L'entrée/sortie à usage général (GPIO) fait référence à une broche 0 de signal numérique sur un circuit qui peut être configurée par logiciel pour agir comme une entrée ou une sortie.	Non connecter
RXD	Réception des Données	TX1 (il faut ajouter un pont diviseur de tension (2 résistances) pour baisser la tension a 3.3V
VCC	Alimentation (attention 3.3V non 5V)	3.3 V
RST	Reset (redémarrer le module)	Non connecter
CH_PD	Sélection de puce (3.3V)	Non connecter
TXD	Transmission des Données	RX1

Tableau III.2 : Significations de branchement du montage avec Arduino Mega

A titre comparatif, notre appareil prend en charge Bluetooth et Wifi pour transmettre les données mesurées aux Smartphones ou aux ordinateurs qui nous permet de superviser et partager les données avant de les traitées. Ce montage a coûté 15180.00DA, par contre la plupart des pH mètres qui sont utilisées aux labos ne contient pas un système de communication et de partage de données mesurées et le moins cher rechercher sur internet coûte vers les environs 161.685,00 DA (figure III.4).



Figure III.4 : PH/Température-Mètre portable sans système de transmission des données

2.1 Mise en œuvre du code du système

La carte Arduino présente le noyau de notre système, elle est programmée par un logiciel compatible appelé Arduino IDE (Espace de développement intégrée) utilise le langage C++, qui est une application écrite en Java.

Le téléchargement étant effectué depuis le site officiel d'Arduino son installation sur l'ordinateur n'offre aucune difficulté particulière. Sous Windows une icône 'Arduino' apparaît sur le bureau. En cliquant sur elle, on obtient l'écran ci-dessous :

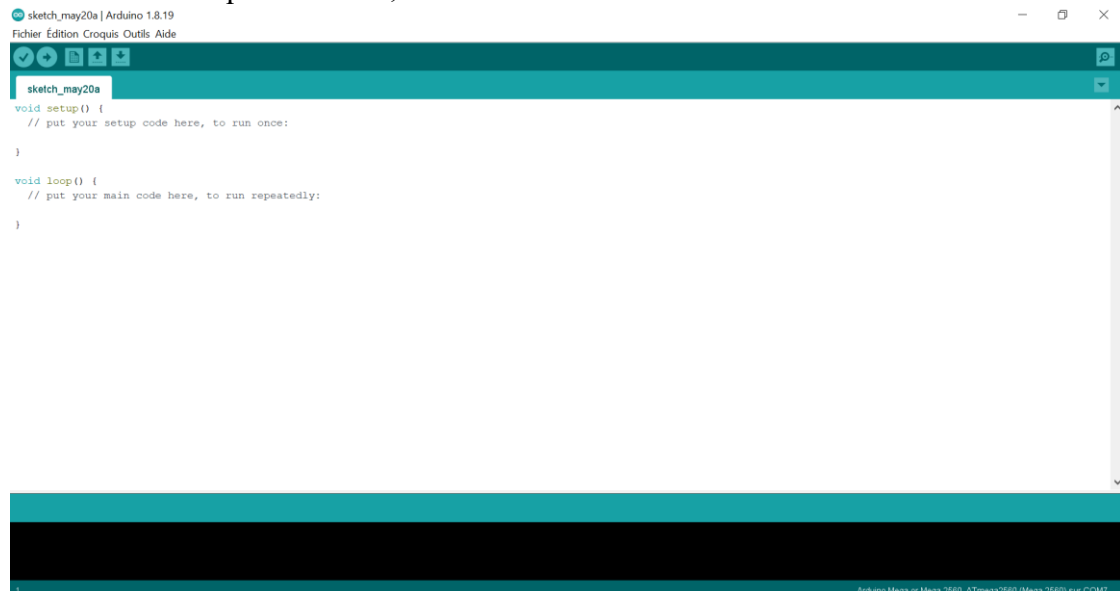


Figure III.5 : fenêtre d'accueil Arduino IDE

2.1.1 Démarrage avec Arduino IDE

Arduino IDE est un outil de développement spécifique aux système embarquée Arduino, ESP 32, et d'autre. Il permet d'écrire, mettre au point et optimiser les programmes, sous Windows ou Linux.

2.1.2 Première étape : création du new Project

Créer un projet revient à définir entre autres :

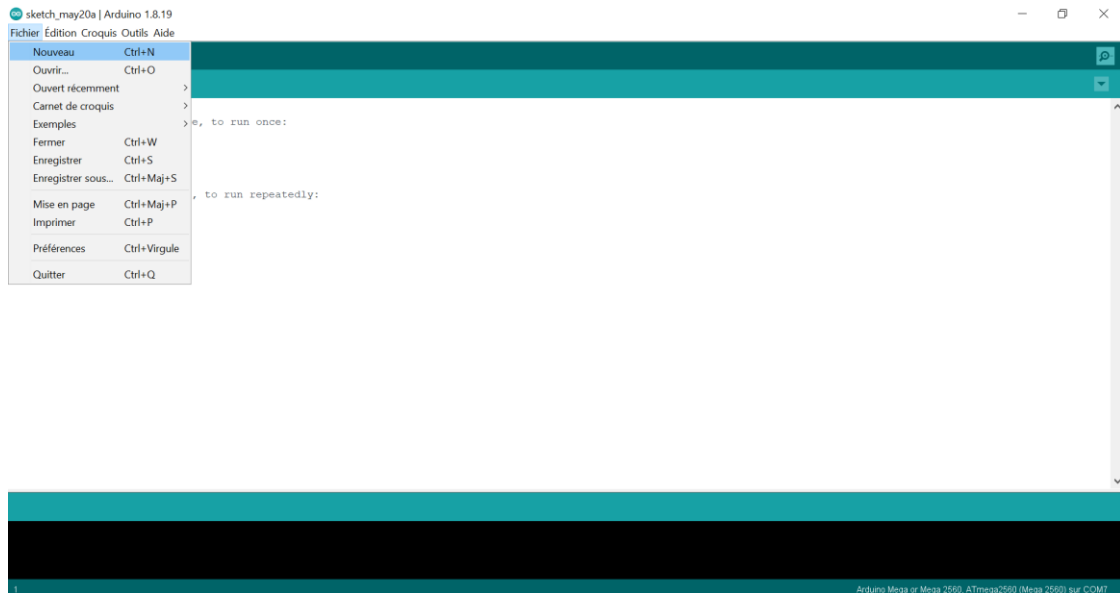
- Le nom que va porter le programme ;
- Les fichiers qu'IDE Arduino devra utiliser au cours du développement. Un projet comporte un nom, avec extension **.cc**

2.1.3 Comment créer un projet :

Lancez Arduino IDE, puis allez dans :

Fichier → *Nouveau*

Cette manœuvre ouvre la fenêtre suivante



Par la suite on choisit le type de carte qu'on veut flasher

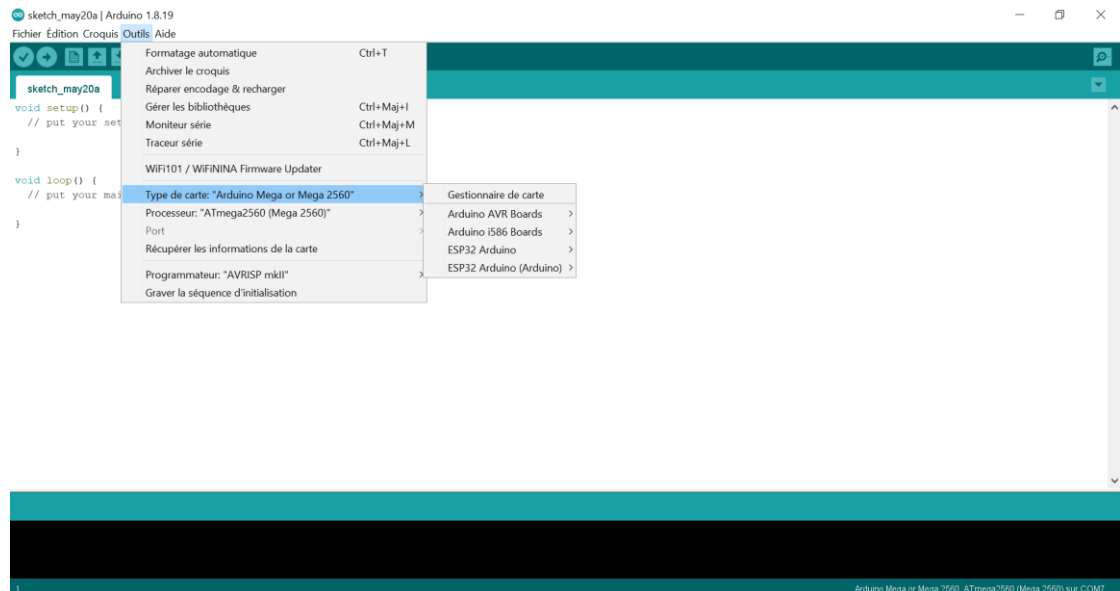


Figure III.6 : Choix du type de carte (Arduino Mega)

A partir de là on peut commencer à écrire notre programme adapté à résoudre le problème et réaliser notre cahier de charge, qui sera décrit dans le paragraphe suivant.

2.1.4 Description du Code Arduino (programme)

Un programme ou un code Arduino est une suite d'instructions élémentaires sous forme textuelle (ligne par ligne). La carte Arduino Mega lit puis effectue les instructions les unes après les autres dans l'ordre défini par les lignes de codes.

Ainsi notre programme est écrit dans la fenêtre présentée dans la figure III.6 comme suit :

```
#include <math.h>

#include <SoftwareSerial.h>

#include <Wire.h>

#include <LiquidCrystal_I2C.h>

#include <OneWire.h>

#include <DallasTemperature.h>

#define ONE_WIRE_BUS 3 // Pin connectée au DATA de la sonde

OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);

DallasTemperature sensors(&oneWire);

const int pHPin = A0;

const float Offset= 0.12+1.06;

float volt_pH, Temp, pH;

//pin 20 SDL pin 21 SQL pour Ardiono Mega2600

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

void setup() {

  Serial.begin(9600); // Moniteur serie USB active' sur PC

  Serial1.begin(9600); // HM-10 sur Serial1 (pins 18/19 sur Mega)

  // Activer le pull-up interne sur la pin de DATA

  pinMode(ONE_WIRE_BUS, INPUT_PULLUP);

  sensors.begin();

  lcd.init(); // initialisation de l'afficheur

  lcd.backlight();

  lcd.setCursor(0, 0);

  lcd.print("Mesure pH ");

  lcd.setCursor(0, 1);

  lcd.print("Mesure temp");
```

```
void loop() {  
  // put your main code here, to run repeatedly:  
  int pH_Num = analogRead(pHPin);  
  volt_pH = pH_Num * (5.0 / 1023.0);  
  //Mesure de temperature  
  sensors.requestTemperatures();  
  Temp = sensors.getTempCByIndex(0);  
  delay(500); // fin mesure de temperature  
  
  // LCD à l'adresse I2C 0x27 avec écran 16 colonnes, 2 lignes  
  pH=(-(9.62)*(volt_pH)+42.708)*((15+273.15)/(Temp+273.15));  
  delay(100);  
  if (pH<=14 && pH>=0){  
    pH=pH;  
  }  
  if (pH>14){  
    pH=14;  
  }  
  if (pH <0){  
    pH=0;  
  }  
  
  ////end prog Calibration  
  
  // Affichage local serie du pH Via USB PC  
  Serial.print("Température: ");  
  Serial.print(Temp,2);  
  Serial.println(" °C");  
  delay(500);  
  Serial.print("Tension : ");
```

```
Serial.print(volt_pH, 2);

Serial.print(" V | pH : ");

Serial.println(pH, 2);

lcd.setCursor(0, 0);

lcd.print("Mesure pH: ");

lcd.print(pH, 2);

//delay(500); // 0.5 seconde entre chaque mesure

// Affichage de Temp sur LCD

lcd.setCursor(0, 1);

lcd.print("Mesure T:");

lcd.print(Temp, 2);

lcd.print("C");

delay(500); // 0.5 seconde entre chaque mesure

// Envoyer valeur Temperature Temp par Bluetooth (via HM-10)

Serial1.print("pH: ");

Serial1.print(pH, 2); // le 2 veut dire deux chiffres après la virgule

        //Serial1.print(" | V: ");

        //Serial1.println(volt_pH, 2);

        //delay(500);

// Envoyer valeur pH par Bluetooth (via HM-10)

Serial1.print("Temp: ");

Serial1.print(Temp, 2); // le 2 veut dire deux chiffres après la virgule

Serial1.print("C");

delay(500);

}

//fin du programme Void loop( )
```

A la fin de cette étape on peut maintenant compiler le programme en fin le téléverser dans la carte Arduino Mega.

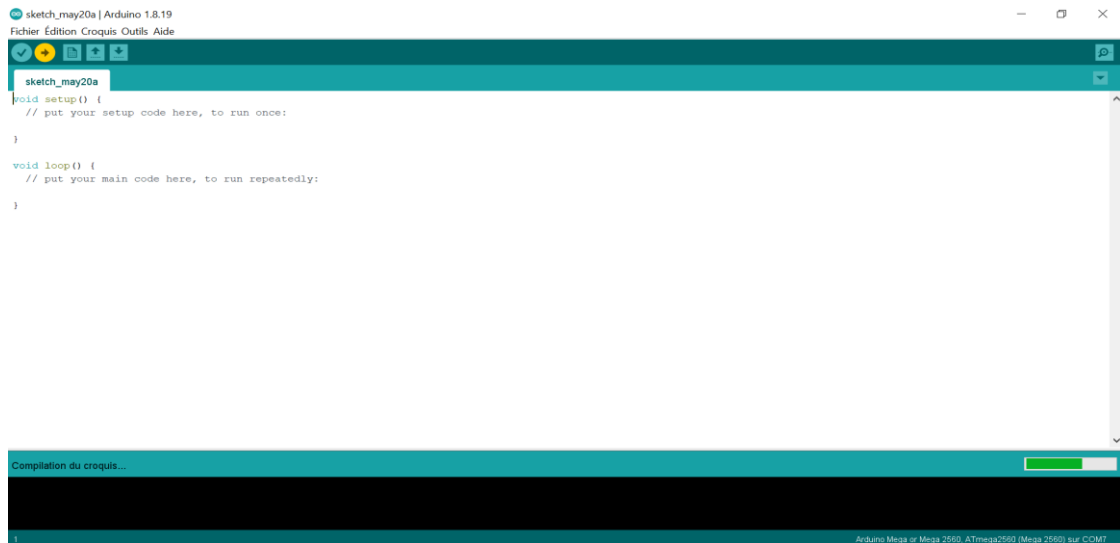


Figure III.7: Etape de compilation du programme

2.2 Mise en œuvre de fonctionnement du système et calibrage

2.2.1 Electrode de pH

Les électrodes de pH jouent un très grand rôle dans la détermination correcte du pH puisqu'elles sont l'élément sensible au pH. Afin de prolonger la durée de vie de l'électrode et d'obtenir les meilleurs résultats, la maintenance de l'électrode est par conséquent très importante.

2.2.2 Liquide de stockage de la sonde du pH

Le **KCl** est utilisé dans les sondes pH comme **liquide de stockage** (par exemple : **solution de KCl 3M**).

Dans ce cas, pour maintenir l'**équilibre ionique** autour de l'électrode :

- Éviter que le liquide de référence se vide,
- Protéger la membrane.

Concentration de KCl	pH
0.01 M	~7.0
0.1 M	~7.0
1 M	~6.8
3 M (solution de stockage)	~6.5-6.8

Tableau III.3 : Stokage et Maintenance des Sondes de pH

2.2.3 L'influence de la température sur les mesures de pH

La température est également un facteur important. Le potentiel d'électrode mesuré dans un échantillon dépend partiellement de la température de l'échantillon. Cet effet étant linéaire et connu, il peut être compensé. Un problème se pose toutefois lorsqu'il y a un gradient de température entre l'électrode et l'échantillon. La mesure du pH subit alors une dérive jusqu'à ce que la température de l'électrode et celle de l'échantillon se sont égalisées. Ce n'est qu'alors que la lecture sera stable. Si cette différence de température passe inaperçue, la mesure peut paraître instable. Et si l'instabilité reste inaperçue, un pH non arrivé à l'équilibre sera déterminé.

La chaîne galvanique (électrodes de pH et de référence) est raccordée à un appareil de mesure présentant une haute résistance d'entrée. Cet appareil relie les deux électrodes et mesure le potentiel E de la chaîne. Le potentiel galvanique E est donné par l'équation de Nernst décrit au chapitre 1 **Equation (7)**.

La température influence l'électrode de pH de différentes façons : Pente Dans l'équation de Nernst, qui décrit la relation entre les [mV] mesurés et le pH de l'échantillon, la température en Kelvin figure III.7 dans le terme matérialisant la pente :

$$E = E_0 + 2.3 RT \cdot \log a_{H^+}$$

En remplaçant toutes les lettres par des chiffres, sauf la température en Kelvin (T), on obtient:

$$E = E_0 - 0.198 \cdot T \cdot \text{pH}$$

Cette équation montre clairement que la pente d'une électrode dépend linéairement de la température. Le comportement est par conséquent entièrement prévisible et l'effet de la température peut être compensé par notre montage, moyennant une sonde de température intégré ce que nous avons fait pour régler la valeur de pH automatiquement.

La valeur du pH dépend de l'activité des ions H^+ de la solution. Or, l'activité des ions dépend de la température ($\Delta \text{pH} / \Delta T$). Donc, la température influence également le pH. Le coefficient de température exprime la variation de pH par °C .[3]

Voici la courbe de variation du pH en fonction de la température déterminé par le logiciel MATLAB

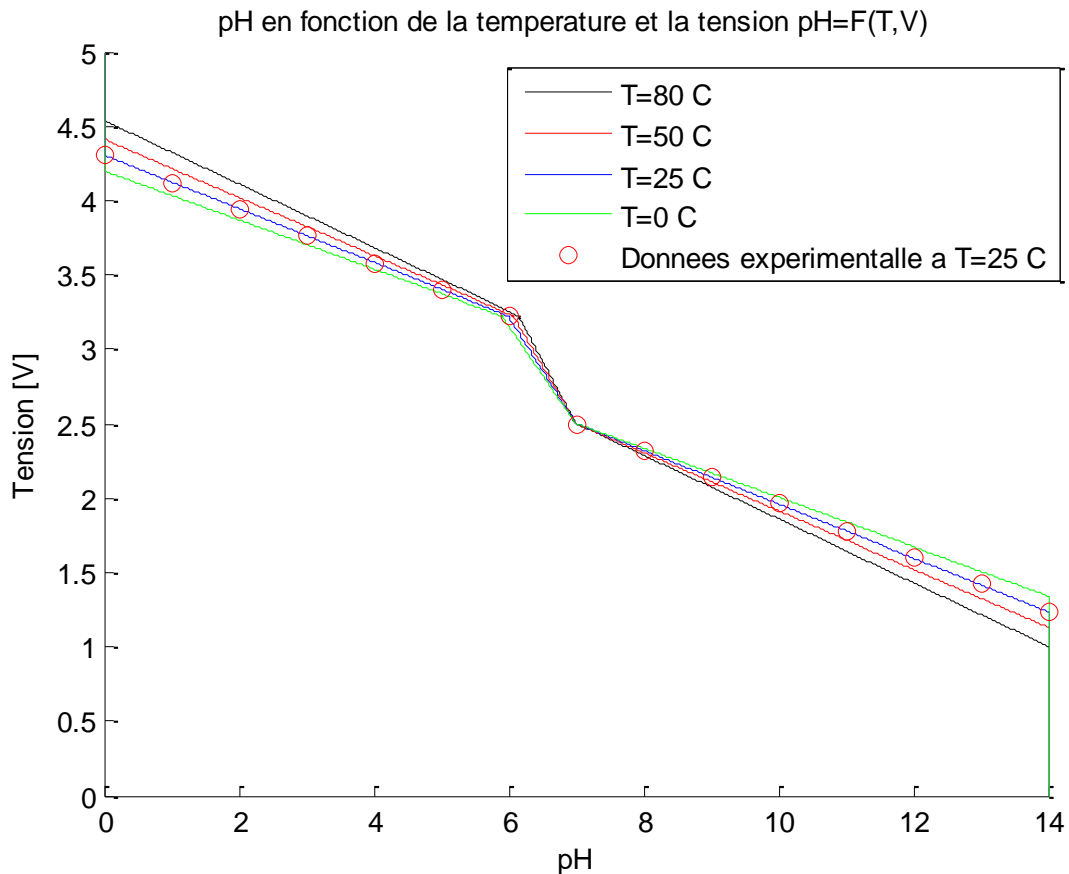


Figure III.8: variation de pH en fonction de la temperature

2.2.4 Etalonnage et ajustement du dispositif de mesure du pH

L'étalonnage d'une électrode de pH doit être régulièrement étalonnée :

Deux valeurs, à savoir le zéro (mV) et la pente (mV/pH) de l'électrode peuvent être ajustées sur le pH-mètre en fonction de l'électrode qui lui est raccordée. Puisqu'il faut ajuster deux valeurs, le réglage minimal requiert un étalonnage à deux points (figure III.9).

Le réglage du zéro et de la pente est requis pour compenser tout écart par rapport aux valeurs théoriques. Ces écarts sont dus à la réponse non parfaitement linéaire de l'électrode. Une solution tampon de pH 7.00 correspond au zéro de la plupart des électrodes de pH en verre et est spécialement conçu pour l'étalonnage du zéro. Selon la plage de mesure envisagée, des solutions tampons de pH 4.01 ou pH 9.21 (ou 10.00) sont recommandées pour ajuster la pente. Ces deux réglages sont illustrés dans la figure ci-dessous. Le dessin de gauche montre, en mV, l'écart par rapport à la valeur théorique, soit 0 mV à pH 7.00. Le dessin de droite montre l'écart de la pente par rapport à la valeur théorique de 59.16 mV/pH à 25 °C. [3]

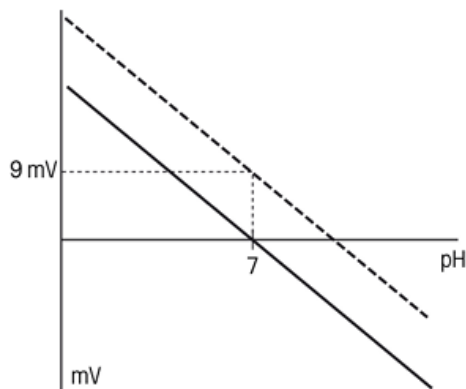


Figure III.9 a) Courbe avec tiret montre l'écart du zéro d'une électrode de pH sur l'appareil de mesure [3]

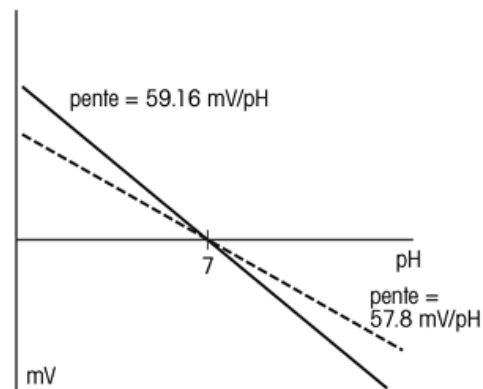


Figure III.10 b): Courbe avec tiret montre l'écart de la pente d'une électrode de pH sur l'appareil de mesure [3]

Lors de l'étalonnage, on détermine la pente et le zéro de l'électrode. Le zéro et la pente théoriques sont donnés par l'équation de Nernst :

$$E = E_0 + 2.3RT / nF * \log [H_3O^+] = E_0 - 2.3RT / nF * pH$$

$$\text{pente} = 2.3RT / nF \quad \text{avec } n=1$$

Le zéro = devrait être de 0 mV à pH 7,00. Pente et zéro d'une électrode de pH.

L'étalonnage est nécessaire pour ajuster la pente et le zéro de l'électrode à leur valeur vraie dans le système de mesure en cause. La courbe d'étalonnage sert ensuite à corrélérer les valeurs en mV mesurées par l'électrode avec le pH de la solution mesurée.

Afin d'effectuer une mesure juste, la relation $E=f(\text{pH})$ donnée par l'appareil doit être correcte : L'appareil mesure une tension électrique qu'il convertit en pH puisque, comme pour l'ESH on peut établir une relation directe entre E et pH.

On suppose que la relation $E=f(\text{pH})$ donnée par le pH mètre est toujours affine, mais pour des raisons diverses d'origine expérimentale, sa pente ainsi que son ordonnée à l'origine peuvent varier : le pH mètre est dérégulé. L'étalonnage à l'aide de deux solutions tampons de pH connus consiste à fixer deux points (on fixe un point puis la pente) de la droite, de manière à ce que la relation $E = f(\text{pH})$ donne des mesures justes.

Des solutions calibrées utilisées pour étalonner notre montage avant utilisation, généralement des solutions avec des valeurs de pH connues (par exemple, 4, 7 et 10). Voici le tableau relevé au laboratoire de l'hydraulique de l'université de Msila qui donne la correspondance entre la

Tension de sortie en volts (V) et la valeur de pH typique pour une sonde pH standard (sonde en verre) via un module comme le nôtre (HJ-828).



Figure III.11 : Image de prise de mesures dans le labo Hydraulique pour l'étalonnage de notre système prototype.

Tension mesurée [V] a 15°C	4.05	3.75	3.38
Solution tompon a 25°C	4	7	10
pH estimer a 15°C	3.78	7.03	10.22

Tableau III.4 : Points de mesures pour l'étalonnage de notre système prototype.

3. Evaluation de la Qualité de l'eau des zones d'étude

3.1 Supervision du pH

Le choix de l'implantation du système de supervision équipé de Bluetooth dans la zone de l'université de M'sila doit être fait en compte des contraintes techniques et géographique. À partir de là, le poste de supervision doit contenir :

- La boîte prototype de notre montage techniquement représenté (figure 2).
- Poutreau pour fixer la boîte du montage.
- Raccordements de l'alimentation électrique ou panneau solaire.
- Deux capteurs de type pH et température, chaque capteur posé à un niveau spécifique.



Figure III. 12 : Boîte prototype du montage, alimenté par un power Bank

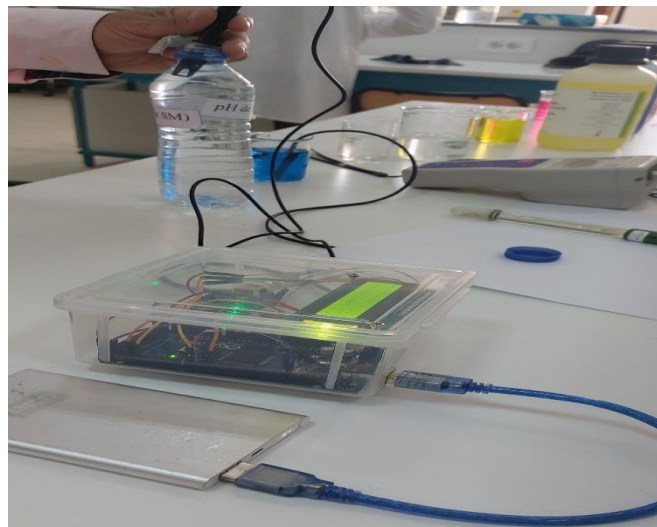


Figure III.13 : Prise de mesure sur un échantillon d'eau de la zone facultés des sciences exactes (SM).

On branche le montage afin de prendre les résultats des analyses, ensuite on ouvre le moniteur série dans Arduino IDE la figure suivante montre ce que nous supervisons :

```

COM7
11:10:17.236 -> Tension : 2.91 V | pH : 7.62
11:10:19.281 -> Température: 29.56 °C
11:10:19.795 -> Tension : 2.92 V | pH : 7.61
11:10:21.850 -> Température: 29.50 °C
11:10:22.866 -> Tension : 2.92 V | pH : 7.60
11:10:24.418 -> Température: 29.50 °C
11:10:24.935 -> Tension : 2.92 V | pH : 7.61
11:10:26.981 -> Température: 29.50 °C
11:10:27.496 -> Tension : 2.92 V | pH : 7.60
11:10:29.542 -> Température: 29.50 °C
11:10:30.045 -> Tension : 2.92 V | pH : 7.60
11:10:32.104 -> Température: 29.50 °C
11:10:32.620 -> Tension : 2.92 V | pH : 7.60
11:10:34.680 -> Température: 29.50 °C
11:10:35.194 -> Tension : 2.92 V | pH : 7.60

// Défilement automatique [x] Afficher l'historique
// source: void: pas; name: pas
// pin 20 SCL pin 21 SDA pour Arduino Mega2560
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

void setup() {
  Serial.begin(9600); // Moniteur serie USB active' sur PC
  Serial1.begin(9600); // HM-10 sur Serial1 (pins 18/19 sur Mega)
  // Activer le pull-up interne sur la pin de DATA
  pinMode(ONE_WIRE_BUS, INPUT_PULLUP);
  sensors.begin();
  //Serial.println("Test de la sonde pH dans le liquide de stockage...");
  lcd.init(); // initialisation de l'afficheur
  lcd.backlight();
}

```

Figure III.14 : Affichage de données sur le moniteur série sur le port COM7

En effet, pour superviser maintenant ces données sur smartphone via Bluetooth, nous devons télécharger d'abord « Serial Bluetooth » depuis Playstore sur un smartphone. Par la suite ouvrir l'application Serial Bluetooth pour ce connecter avec le module Bluetooth de notre montage. Les données de mesure du pH et la température seront visionnées sur le smartphone

Alors la figure suivante montre ce que nous supervisons dans le Smartphone:

```

13:58:30.177 Tension : 3.27 V | pH : 6.90
13:58:31.697 Disconnected
13:59:15.692 Connecting to -unnamed- ...
13:59:17.413 Connected
13:59:18.437 Température: 21.50 °C
13:59:18.933 Tension : 3.17 V | pH : 7.24
13:59:20.987 Température: 21.50 °C
13:59:21.528 Tension : 3.19 V | pH : 7.21
13:59:23.569 Température: 21.50 °C
13:59:24.066 Tension : 3.20 V | pH : 7.19
13:59:26.137 Température: 21.44 °C
13:59:26.658 Tension : 3.21 V | pH : 7.19
13:59:28.721 Température: 21.50 °C
13:59:29.218 Tension : 3.22 V | pH : 7.17
13:59:31.299 Température: 21.44 °C
13:59:31.817 Tension : 3.23 V | pH : 7.12
13:59:33.858 Température: 21.44 °C
13:59:34.358 Tension : 3.24 V | pH : 7.09
13:59:36.418 Température: 21.44 °C
13:59:36.914 Tension : 3.23 V | pH : 7.12
13:59:38.998 Température: 21.44 °C
13:59:39.496 Tension : 3.24 V | pH : 7.07
13:59:41.560 Température: 21.44 °C
13:59:42.050 Tension : 3.25 V | pH : 7.04
13:59:44.119 Température: 21.44 °C
13:59:44.658 Tension : 3.25 V | pH : 7.04
13:59:46.699 Température: 21.44 °C
13:59:47.196 Tension : 3.25 V | pH : 7.01
13:59:49.259 Température: 21.44 °C
13:59:49.759 Tension : 3.26 V | pH : 6.98
13:59:51.819 Température: 21.44 °C
13:59:52.338 Tension : 3.26 V | pH : 6.98
13:59:54.397 Température: 21.37 °C
13:59:54.892 Tension : 3.26 V | pH : 6.98

14:03:12.555 Tension : 3.26 V | pH : 6.93
14:03:14.615 Température: 21.50 °C
14:03:15.118 Tension : 3.26 V | pH : 6.96
14:03:17.180 Température: 21.50 °C
14:03:17.678 Tension : 3.26 V | pH : 6.93
14:03:19.757 Température: 21.50 °C
14:03:20.254 Tension : 3.26 V | pH : 6.96
14:03:22.316 Température: 21.50 °C
14:03:22.814 Tension : 3.26 V | pH : 6.96
14:03:24.878 Température: 21.50 °C
14:03:25.373 Tension : 3.27 V | pH : 6.90
14:03:27.455 Température: 21.50 °C
14:03:27.954 Tension : 3.26 V | pH : 6.93
14:03:30.016 Température: 21.50 °C
14:03:30.514 Tension : 3.26 V | pH : 6.93
14:03:32.579 Température: 21.50 °C
14:03:33.072 Tension : 3.27 V | pH : 6.90
14:03:35.157 Température: 21.50 °C
14:03:35.655 Tension : 3.27 V | pH : 6.87
14:03:37.716 Température: 21.50 °C
14:03:38.217 Tension : 3.26 V | pH : 6.96
14:03:40.248 Température: 21.50 °C
14:03:40.750 Tension : 3.26 V | pH : 6.93
14:03:42.824 Température: 21.50 °C
14:03:43.325 Tension : 3.27 V | pH : 6.90
14:03:45.393 Température: 21.50 °C
14:03:45.891 Tension : 3.26 V | pH : 6.93
14:03:48.018 Température: 21.50 °C
14:03:48.474 Tension : 3.26 V | pH : 6.96
14:03:50.555 Température: 21.50 °C
14:03:51.058 Tension : 3.26 V | pH : 6.93
14:03:53.095 Température: 21.50 °C
14:03:53.619 Tension : 3.26 V | pH : 6.93
14:03:54.074 Disconnected

```

Figure III.15 :Supervision des données de pH et Temperature sur smartphone

Ces données affichées on peut les partager on appuie sur l'angle droite en haut puis sur Data ensuite Share (partager).

Ces informations trouvées seront collectées dans un fichier Excel en raison de faciliter le traitement des données. Les résultats obtenus sont présentés dans le paragraphe suivant.



Figure III.16 : Situation géographique des zones d'études



Figure III.17 : Image Réservoirs dans lesquels les échantillons ont été prélevés

3.2 Analyse des résultats expérimentaux

Nous avons utilisé notre appareil préalablement étalonné pour effectuer une série de mesures, la tâche consistait à mesurer le pH de plusieurs échantillons prélevés dans différentes facultés de l'université (figure III.16), à savoir :

Zone 1 Réservoir d'eau universitaire (RESV),

Zone 2 la Faculté de Technologie (MI),

Zone 3 la Faculté des Sciences de la Nautre et de la Vie (SNV),

Zone 4 la Faculté de Génie des Procédés (SM),

Zone 5 la Faculté d'Informatique (ST)

et la Zone 6 la Facultés des Sciences Exactes (GTE)

Les mesures sont affectées par la température. La constante de dissociation de l'eau dépend de la température. Cet effet étant linéaire et connu.

Pour cette expérience, nous avons utilisé notre dispositif prototype connecté à une sonde de pH pour mesurer le pH et une sonde de temperature pour regler la valeur de pH automatiquement. Ce système était relié à un ordinateur portable et à un smartphone via un port USB et Bluetooth, et un écran LCD ce qui permettait l'affichage direct des données sur l'écran de notre appareil. Les valeurs mesurées comprenaient le pH, la température et la tension électrique (voltage) de chaque échantillon.

Afin de garantir la précision des mesures et d'éviter toute contamination des échantillons, la sonde était stérilisée avec de l'eau distillée après chaque mesure et avant de passer à l'échantillon suivant, cette étape était essentielle pour préserver l'intégrité des résultats et éviter toute interférence ou résidu de l'échantillon précédent.

La première série de mesures a été réalisée le jour même du prélèvement des échantillons. Ensuite, les échantillons ont été conservés dans des conditions appropriées pendant neuf (9) jours, dont nous avons répété la même série de mesures afin de vérifier si des changement du pH étaient survenus avec le temps, l'objectif de cette comparaison était d'étudier la stabilité du pH dans les échantillons et de déterminer s'il y avait eu une dégradation biologique ou un changement chimique pouvant affecter la qualité ou la composition de l'eau, car toute variation significative du pH pourrait indiquer une réaction chimique ou une croissance microbienne dans l'échantillon. Le pH est une échelle logarithmique, nous voyons que l'écart de 0.33 unités de pH approximativement (7.06 \rightarrow 7.33) ou de (7.23 \rightarrow 6.90) est significatif. Soit par

3.2.3 Résultats graphiques de la Zone 3 SNV

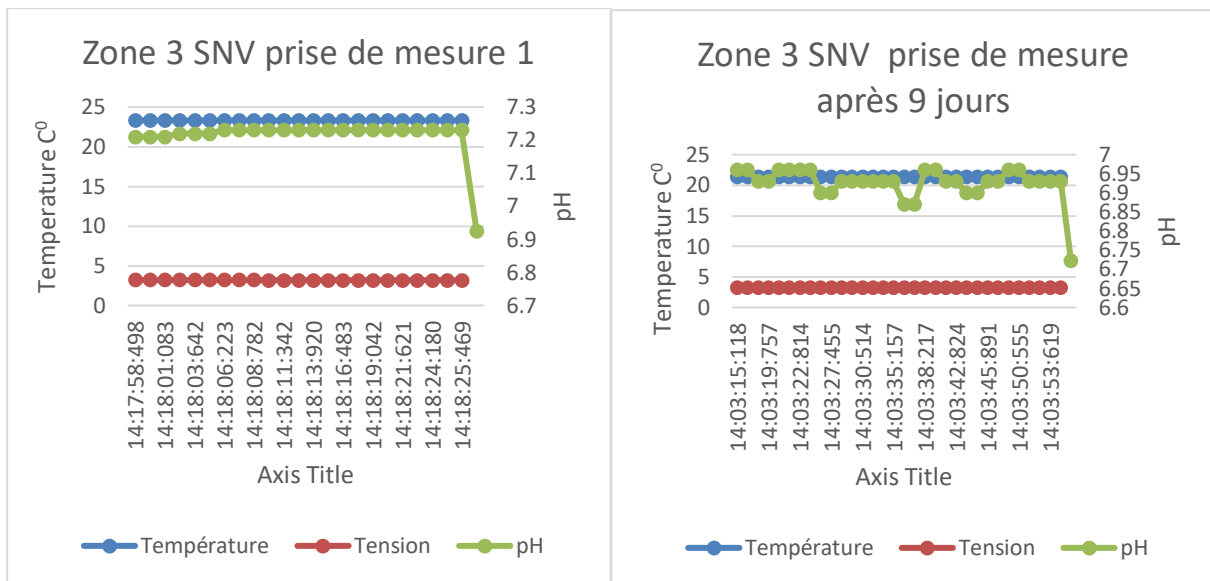


Figure III.22 a) Graphe SNV 1^{re} prise de mesure de la température et du pH, pendant 1 min

Figure III.23 b) Graphe SNV 2^{ieme} prise de mesure de la température et du pH, pendant 38 sec, après 9 jours.

3.2.4 Résultats graphiques de la Zone 4 SM

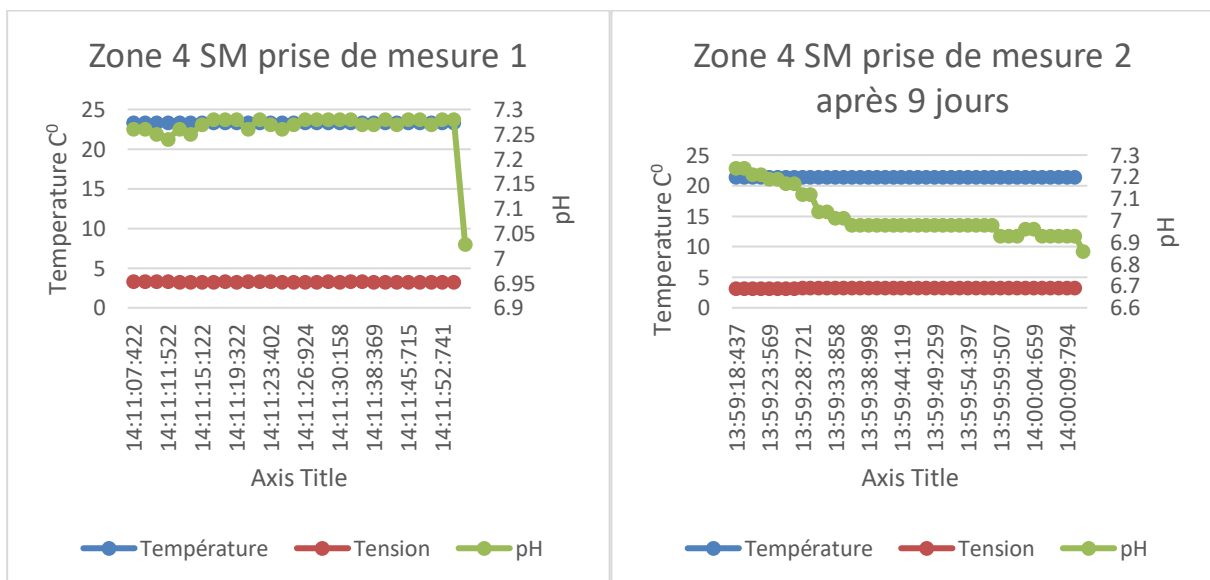


Figure III.24 a) Graphe SM 1^{re} prise de mesure de la température et du pH, pendant 45 sec.

Figure III.25 b) Graphe SM 2^{ieme} prise de mesure de la température et du pH, pendant 1 min, après 9 jours.

3.2.5 Résultats graphiques de la Zone 5 ST

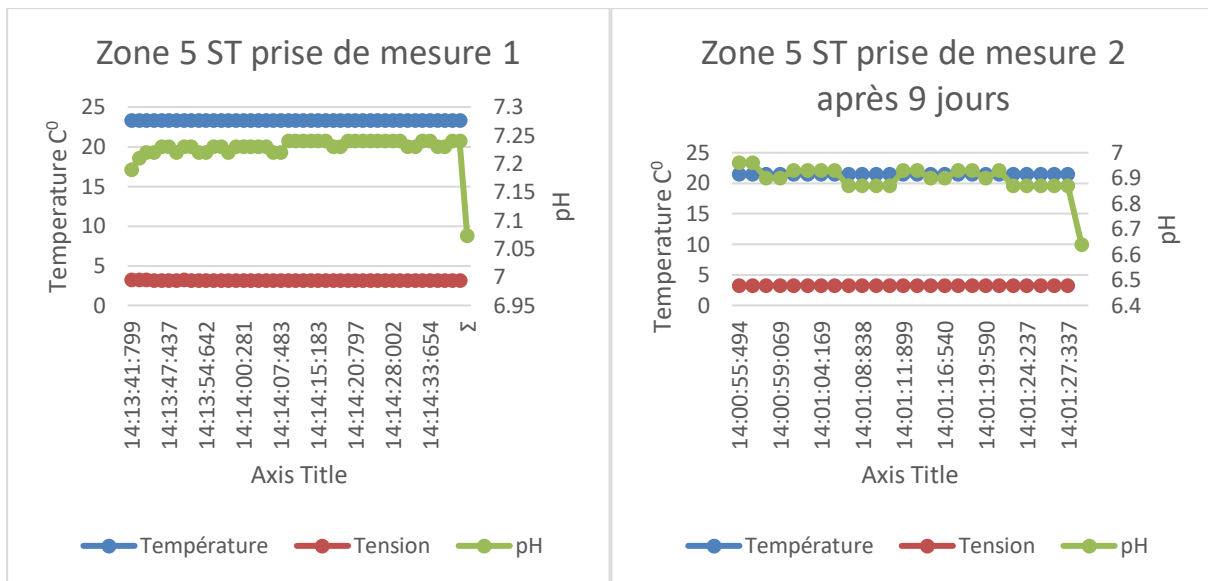


Figure III.26 a) Graphe ST 1^{re} prise de mesure de la température et du pH, pendant 1 min.

Figure III.27 b) Graphe ST 2^{ieme} prise de mesure de la température et du pH, pendant 1min, après 9 jours.

3.2.6 Résultats graphiques de la Zone 6 GTE

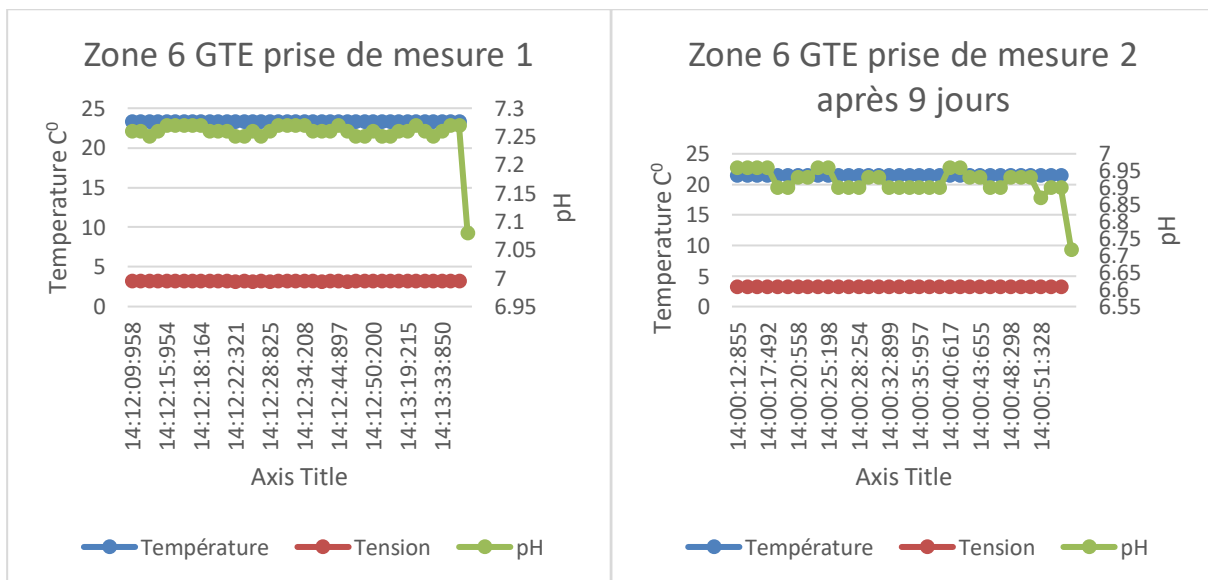


Figure III.28 a) Graphe GTE 1^{re} prise de mesure de la température et du pH, pendant 1 min 24 sec.

Figure III.29 b) Graphe GTE 2^{ieme} prise de mesure de la température et du pH, pendant 39 sec, après 9 jours.

Les résultats graphiques sont obtenus à partir des tableaux (voir Annexe) ces courbes expérimentaux ont montré une variation significative de la valeur du pH après 9 jours de stockage des échantillons. En effet, une diminution du pH a été observée par rapport aux

mesures effectuées le premier jour. Cette baisse suggère la possibilité de réactions chimiques ou d'une activité microbienne dans l'eau, ce qui affecte négativement sa qualité. Les causes les plus probables lorsque on a supervisé ces mesures après 9 jours, seront : les conditions de stockage et la présence des microorganismes. Ces conditions peuvent décomposer des matières organiques, produisant des acides organiques (acide acétique, lactique...), du CO₂, ou même de l'ammonium qui peut s'oxyder en nitrites/nitrates acides. Cela se produit surtout dans l'eau stagnante comme dans notre cas l'eau est conservée dans des petites bouteilles d'eau en plastique. Sans oublier l'effet de la température, la solubilité du CO₂ augmente à basse température.

3.2.7 Comparaison graphique en termes de pH

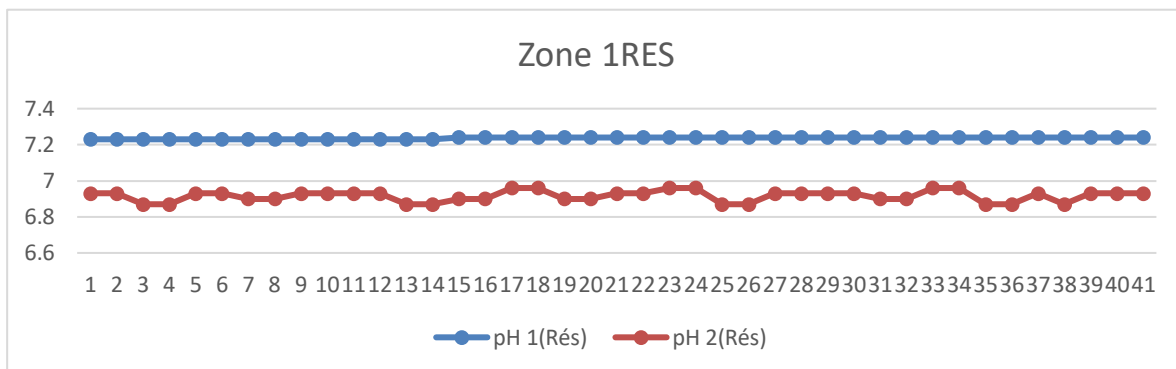


Figure III.30 : Comparaison graphique de la variation du pH dans les deux prises de mesures de la zone 1 Réervoir

La valeur moyenne du pH mesurée dans la zone 1 RESV est $\text{pH}_{\text{moyen}} = 7.06$

La valeur moyenne du pH mesurée dans la zone 1 RESV après 9 jours est $\text{pH}_{\text{moyen}} = 6.9$

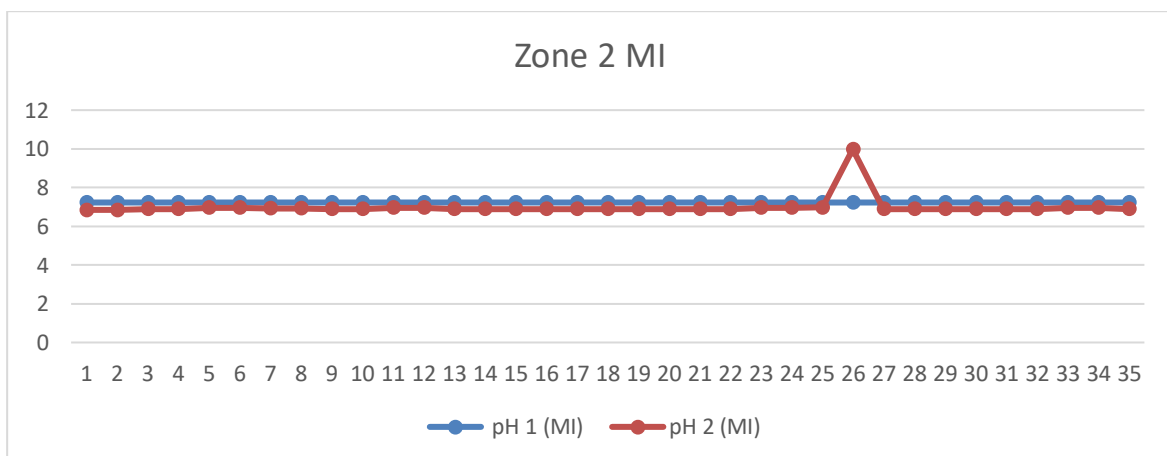


Figure III.31 : Comparaison graphique de la variation du pH dans les deux prises de mesures de la zone 2 MI

La valeur moyenne du pH mesurée dans la zone MI est $\text{pH}_{\text{moyen}} = 7.33$

La valeur moyenne du pH mesurée dans la zone MI après 9 jours est $\text{pH}_{\text{moyen}} = 7.00$

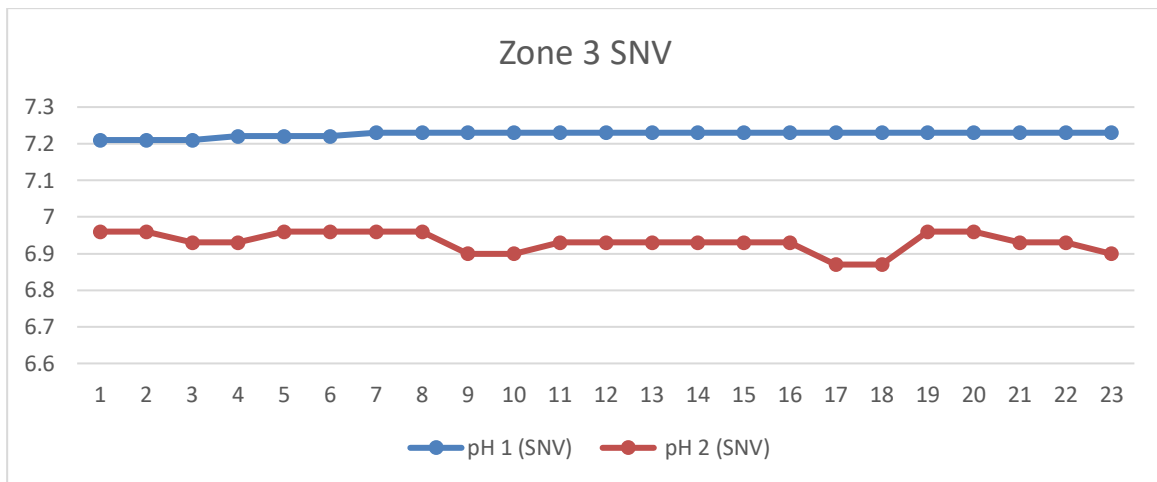


Figure III.32 : Comparaison graphique de la variation du pH dans les deux prises de mesures de la zone3 SNV

La valeur moyenne du pH mesurée dans la zone SNV est $pH_{moyen} = 7.22$

La valeur moyenne du pH mesurée dans la zone SNV après 9 jours est $pH_{moyen} = 6.93$

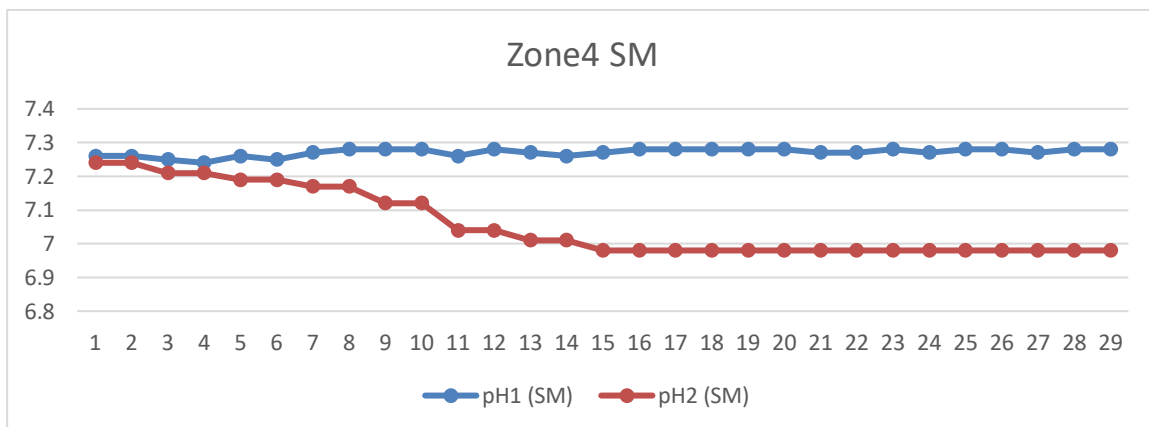


Figure III.33 : Comparaison graphique de la variation du pH dans les deux prises de mesures de la zone4 SM

La valeur moyenne du pH mesurée dans la zone SM est $pH_{moyen} = 7.27$

La valeur moyenne du pH mesurée dans la zone SM après 9 jours est $pH_{moyen} = 7.02$

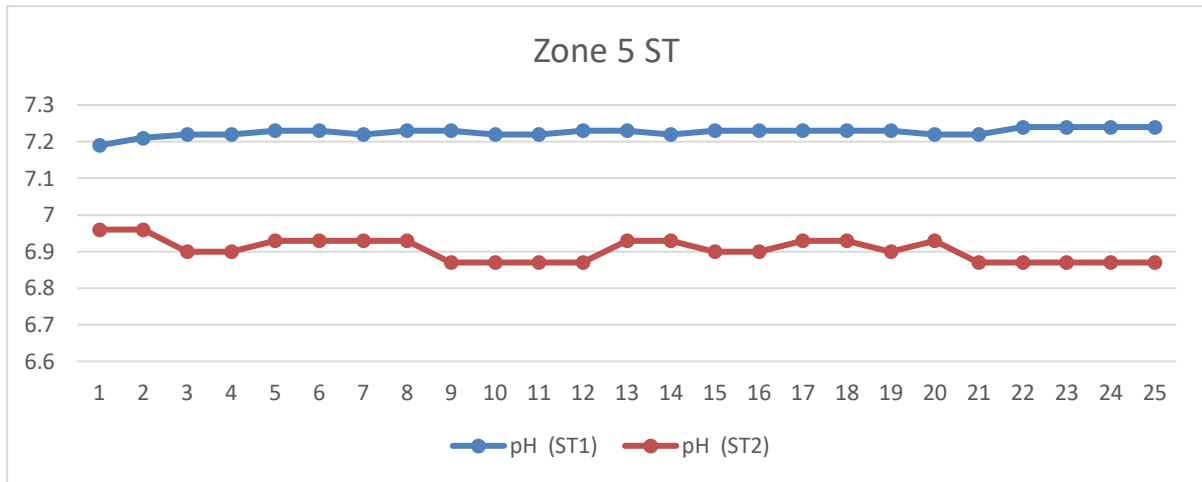


Figure III.34 : Comparaison graphique de la variation du pH dans les deux prises de mesures de la zone 5 ST

La valeur moyenne du pH mesurée dans la zone ST est $\text{pH}_{\text{moyen}} = 7.23$

La valeur moyenne du pH mesurée dans la zone ST après 9 jours est $\text{pH}_{\text{moyen}} = 6.90$

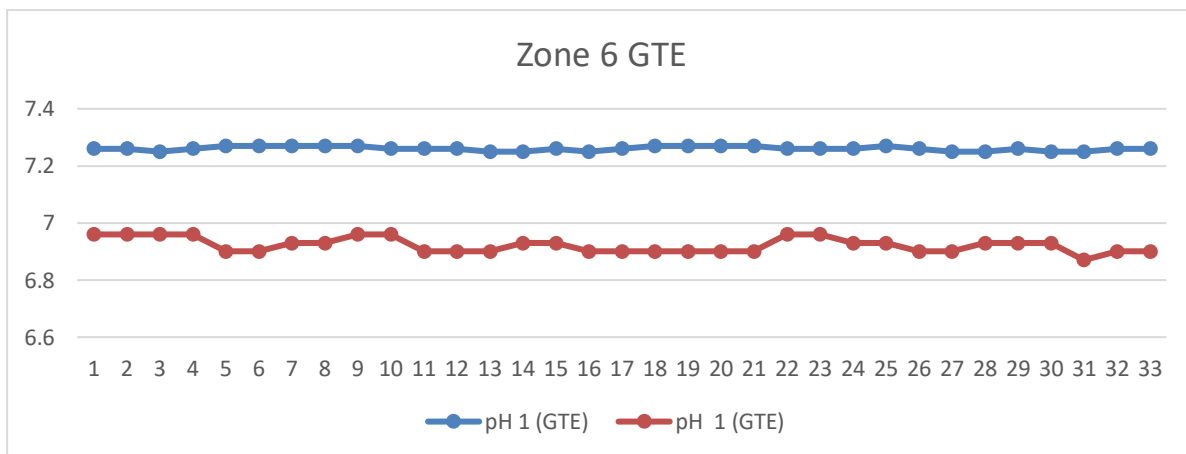


Figure III.35 : Comparaison graphique de la variation du pH dans les deux prises de mesures de la zone 6 GTE

La valeur moyenne du pH mesurée dans la zone GTE est $\text{pH}_{\text{moyen}} = 7.26$ à $T_{\text{moyen}} = 25^{\circ}\text{C}$

La valeur moyenne du pH mesurée dans la zone GTE après 9 jours est $\text{pH}_{\text{moyen}} = 6.92$ à $T_{\text{moyen}} = 20^{\circ}\text{C}$.



Figure III.36 : Augmentation du pH de l'eau distribuée de la zone principale RESV vers les autres zones

On remarque d'après les résultats figurés dans la figure III.36, une augmentation du pH de l'eau à partir du réservoir principal de la zone 1 (RESV) à d'autres zones de 7.06 à 7.33, 7.22, 7.23, 7.22 pour les zones 2, 3, 4, 5, 6 respectivement, peut être causée par plusieurs facteurs, surtout si l'eau a été transportée dans d'autres réservoirs. Par conséquent cela est due lorsque l'eau entre en contact avec des surfaces en béton, du ciment, des tuyaux ou des réservoirs contenant du calcaire (CaCO_3), cela peut libérer des ions basiques comme OH^- ou Ca^{2+} , ce qui augmente le pH. Donc la principale cause possible : contamination ou contact avec des matériaux alcalins.

D'après les normes mentionnées au chapitre 1 le quel le pH doit être compris entre 6.5 et 8.5 pour l'eau potable. Nous remarquons que dans tous les cas de mesures prises dans les différentes zones le pH reste dans la gamme 6.5 et 8.5 par conséquence l'eau est potable.

4. Conclusion

En raison de mesure de la qualité de l'eau dans le champ du pH, en concluant d'après cette étude que les causes les plus probables de l'augmentation du pH peuvent être dues aux différences de composition entre les réservoirs, ou le mélange avec l'eau résiduelle initiale contenus dans les réservoirs où contiennent des micro-organismes qui peuvent produire des substances basiques, ce qui fait monter le pH. Par contre les causes les plus probables de diminution de pH peuvent être dues aux activités microbienne ou organique, la température ou conditions de stockage.

Sur la base de cette étude observée, il est possible de conclure que le nettoyage du réservoir d'eau seulement deux fois par an n'est pas suffisant. Il est donc recommandé d'augmenter la fréquence des opérations, en utilisant des agents désinfectants comme le chlore, pour limiter la reproduction des bactéries et des microbes.

Conclusion générale

Conclusion générale

La bonne gestion de la qualité de l'eau dans cette zone d'étude s'appuie sur la surveillance continue pour mesurer les niveaux de pollution établies par des normes de législation. De ce fait, il est nécessaire d'implanter ce montage avancé prenant en charge Bluetooth pour connecter ces données mesurées aux Smartphones ou aux ordinateurs. Pour prendre des décisions.

En effet, la surveillance du pH et de la température, d'après cette étude en raison de l'évaluation de la qualité de l'eau, d'un point de vue hydraulique dont les causes les plus probables de la variation du pH (augmentation ou diminution) peuvent être dues aux différences de composition entre les réservoirs et les tuyaux, ou le mélange avec l'eau résiduelle initiale contenus qui contiennent des micro-organismes, ainsi que la température et les conditions de stockage de l'eau.

D'un point de vue métrologique, la constante de dissociation de l'eau dépend de la température. Le comportement est par conséquent entièrement prévisible et l'effet de la température est compensé par notre montage, moyennant une sonde de température intégré ce que nous avons fait pour régler la valeur de pH automatiquement. Notre montage prototype prend en charge Bluetooth et wifi pour connecter les données aux smartphones ou aux ordinateurs, cela permis aux algorithmes d'intelligence artificielle d'être utilisés aux prochaines études pour analyser les données et corriger automatiquement les erreurs. Ainsi ce montage peut être connecté à des systèmes de contrôle automatique et envoyer une alerte si le pH dépasse une certaine valeur.

Bien que les mesures indiquent que le pH d'eau est dans la gamme de l'eau potable, il est tout de même recommandé, sur la base de cette analyse, d'augmenter la fréquence des opérations de nettoyage, en utilisant des agents désinfectants comme le chlore, afin de limiter la prolifération des bactéries et des microbes, et d'assurer une eau saine et sûre pour tous les utilisateurs.

Références

Références

- [1] Muhammad Ashour, la qualité et le contrôle sur l'eau potable
- [2] EPA - pH and Water
- [3] Guide pour les mesures de pH, Théorie et pratique des applications de laboratoire, 04/2016 Mettler-Toledo GmbH, 51300185B Marketing pH Lab / MarCom Analytical
- [4] Chimie : Les bases"-Jean Marie Lehn
- [5] JUMO, FAS 622, edition 04.07
- [6] https://www.epfl.ch/labs/gdp/wp-content/uploads/2019/09/ERC_16_Chapitre_8B.pdf
- [8] http://www.myshop-solaire.com/kit-solaire-autonome-12v-200w-_r_79_a_365.html
- [9] www.arduino.cc
- [10] <https://store.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3>
- [11] <https://www.arduino.cc/en/software/>
- [12] <http://www.dfrobot.com/category-104.html>
- [13] http://wiki.dfrobot.com/pH_metre_SKU_SEN0161_PH_metre_SEN0161
- [14] <https://www.otronic.nl/fr/carte-module-damplificateur-de-capteur-pour-tester.html>
- [15] <http://www.yotubecom/watch?v=jR4>
- [16] <http://www.Ai-thinker.com>
- [17] www.dalsemi.com
- [18] www.gotronic.fr

Annexe

Temps	Température	Tension	pH(SM)Zone 4
14:11:07:422	23,31	3,33	7,26
14:11:08:799	23,31	3,33	7,26
14:11:09:363	23,31	3,32	7,25
14:11:11:522	23,31	3,3	7,24
14:11:13:842	23,31	3,28	7,26
14:11:14:788	23,31	3,27	7,25
14:11:15:122	23,31	3,28	7,27
14:11:16:687	23,31	3,28	7,28
14:11:17:122	23,31	3,29	7,28
14:11:19:322	23,31	3,28	7,28
14:11:19:548	23,31	3,29	7,26
14:11:21:584	23,31	3,3	7,28
14:11:23:402	23,31	3,29	7,27
14:11:23:954	23,31	3,28	7,26
14:11:24:357	23,31	3,27	7,27
14:11:26:924	23,31	3,28	7,28
14:11:27:951	23,31	3,28	7,28
14:11:29:321	23,31	3,29	7,28
14:11:30:158	23,31	3,28	7,28
14:11:31:456	23,31	3,29	7,28
14:11:34:458	23,31	3,29	7,27
14:11:38:369	23,31	3,21	7,27
14:11:40:456	23,31	3,22	7,28
14:11:42:751	23,31	3,24	7,27
14:11:45:715	23,31	3,25	7,28
14:11:48:654	23,31	3,24	7,28
14:11:50:498	23,31	3,25	7,27
14:11:52:741	23,31	3,21	7,28
14:11:55:349	23,31	3,22	7,28
Σ			7,27068966

Temps	Température	Tension	pH
13:59:18:437	21,44	3,17	7,24
13:59:18:933	21,44	3,17	7,24
13:59:20:987	21,44	3,19	7,21
13:59:21:528	21,44	3,19	7,21
13:59:23:569	21,44	3,2	7,19
13:59:24:066	21,44	3,2	7,19
13:59:26:137	21,44	3,21	7,17
13:59:26:658	21,44	3,21	7,17
13:59:28:721	21,44	3,22	7,12
13:59:29:218	21,44	3,22	7,12
13:59:31:299	21,44	3,23	7,04
13:59:31:817	21,44	3,23	7,04
13:59:33:858	21,44	3,24	7,01
13:59:34:358	21,44	3,24	7,01
13:59:36:418	21,44	3,25	6,98
13:59:36:914	21,44	3,25	6,98
13:59:38:998	21,44	3,24	6,98
13:59:39:496	21,44	3,24	6,98
13:59:41:560	21,44	3,24	6,98
13:59:42:050	21,44	3,24	6,98
13:59:44:119	21,44	3,24	6,98
13:59:44:658	21,44	3,25	6,98
13:59:46:699	21,44	3,25	6,98
13:59:47:196	21,44	3,25	6,98
13:59:49:259	21,44	3,26	6,98
13:59:49:759	21,44	3,26	6,98
13:59:51:819	21,44	3,26	6,98
13:59:52:338	21,44	3,26	6,98
13:59:54:397	21,44	3,26	6,98
13:59:54:892	21,44	3,26	6,98
13:59:56:951	21,44	3,26	6,98
13:59:57:425	21,44	3,26	6,98
13:59:59:507	21,44	3,26	6,93
14:00:00:009	21,44	3,26	6,93
14:00:02:108	21,44	3,26	6,93
14:00:02:592	21,44	3,26	6,96
14:00:04:659	21,44	3,26	6,96

14:00:05:200	21,44	3,26	6,93
14:00:07:238	21,44	3,26	6,93
14:00:07:711	21,44	3,26	6,93
14:00:09:794	21,44	3,26	6,93
14:00:10:279	21,44	3,26	6,93
Σ			7,02285714

Temps	Température	Tension	pH(RESV)Zone 1
14:15:06:497	23,31	3,2	7,23
14:15:07:017	23,31	3,18	7,23
14:15:09:079	23,31	3,18	7,23
14:15:09:577	23,31	3,18	7,23
14:15:11:647	23,31	3,18	7,23
14:15:12:647	23,31	3,18	7,23
14:15:14:221	23,31	3,18	7,23
14:15:14:719	23,31	3,18	7,23
14:15:16:782	23,31	3,18	7,23
14:15:17:281	23,31	3,18	7,23
14:15:19:362	23,31	3,17	7,23
14:15:19:903	23,31	3,17	7,23
14:15:21:923	23,31	3,18	7,23
14:15:22:417	23,31	3,18	7,23
14:15:24:486	23,31	3,17	7,24
15:14:27:060	23,31	3,17	7,24
14:15:27:559	23,31	3,17	7,24
14:15:29:619	23,31	3,17	7,24
14:15:30:114	23,31	3,17	7,24
14:15:32:179	23,31	3,17	7,24
14:15:32:677	23,31	3,17	7,24
14:15:34:763	23,31	3,17	7,24
14:15:35:260	23,31	3,17	7,24
14:15:37:317	23,31	3,17	7,24
14:15:37:815	23,31	3,17	7,24
14:15:39:877	23,31	3,17	7,24
14:15:40:378	23,31	3,17	7,24
14:15:42:460	23,31	3,17	7,24
14:15:42:959	23,31	3,17	7,24
14:15:45:022	23,31	3,17	7,24
14:15:45:519	23,31	3,17	7,24

14:15:47:584	23,31	3,17	7,24
14:15:48:074	23,31	3,17	7,24
14:15:50:162	23,31	3,17	7,24
14:15:50:661	23,31	3,17	7,24
14:15:52:719	23,31	3,17	7,24
14:15:53:217	23,31	3,17	7,24
14:15:55:323	23,31	3,17	7,24
14:15:55:799	23,31	3,17	7,24
14:15:57:864	23,31	3,17	7,24
14:15:58:358	23,31	3,17	7,24
14:16:00:939	23,31	3,17	7,24
14:16:01:904	23,31	3,17	7,24
Σ			7,06837209

Temps	Température	Tension	pH
14:01:31:983	21,44	3,26	6,93
14:01:32:434	21,44	3,26	6,93
14:01:34:497	21,44	3,27	6,87
14:01:34:994	21,44	3,27	6,87
14:01:37:175	21,44	3,26	6,93
14:01:37:577	21,44	3,26	6,93
14:01:39:638	21,44	3,27	6,9
14:01:40:134	21,44	3,27	6,9
14:01:42:200	21,44	3,26	6,93
14:01:44:777	21,44	3,26	6,93
14:01:45:273	21,44	3,27	6,93
14:01:47:336	21,44	3,27	6,93
14:01:47:836	21,44	3,27	6,87
14:01:49:900	21,44	3,27	6,87
14:01:50:393	21,44	3,26	6,9
14:01:52:476	21,44	3,26	6,9
14:01:52:977	21,44	3,27	6,96
14:01:55:034	21,44	3,27	6,96
14:01:55:533	21,44	3,26	6,9
14:01:57:598	21,44	3,26	6,9
14:01:58:098	21,44	3,26	6,93
14:02:00:173	21,44	3,26	6,93
14:02:00:673	21,44	3,27	6,96
14:02:02:737	21,44	3,27	6,96

14:02:03:236	21,44	3,27	6,87
14:02:05:317	21,44	3,26	6,87
14:02:05:815	21,44	3,26	6,93
14:02:07:877	21,44	3,26	6,93
14:02:08:375	21,44	3,26	6,93
14:02:10:440	21,44	3,27	6,93
14:02:10:935	21,44	3,27	6,9
14:02:13:020	21,44	3,26	6,9
14:02:13:514	21,44	3,26	6,96
14:02:15:577	21,44	3,26	6,96
14:02:16:074	21,44	3,26	6,87
14:02:18:138	21,44	3,26	6,87
14:02:18:636	21,44	3,26	6,93
14:02:20:716	21,44	3,27	6,87
14:02:21:215	21,44	3,26	6,93
14:02:23:246	21,44	3,26	6,93
14:02:23:750	21,44	3,26	6,93
Σ			6,91536585

Temps	Température	Tension	pH (ST) Zone 5
14:13:41:799	23,31	3,21	7,19
14:13:42:296	23,31	3,2	7,21
14:13:44:363	23,31	3,19	7,22
14:13:44:858	23,31	3,18	7,22
14:13:46:944	23,31	3,18	7,23
14:13:47:437	23,31	3,18	7,23
14:13:49:501	23,31	3,18	7,22
14:13:50:001	23,31	3,19	7,23
14:13:52:058	23,31	3,18	7,23
14:13:52:557	23,31	3,18	7,22
14:13:54:642	23,31	3,18	7,22
14:13:55:166	23,31	3,18	7,23
14:13:57:203	23,31	3,18	7,23
14:13:57:719	23,31	3,18	7,22
14:13:59:766	23,31	3,18	7,23
14:14:00:281	23,31	3,18	7,23
14:14:02:344	23,31	3,18	7,23

14:14:02:842	23,31	3,17	7,23
14:14:04:904	23,31	3,17	7,23
14:14:05:398	23,31	3,17	7,22
14:14:07:483	23,31	3,17	7,22
14:14:10:047	23,31	3,17	7,24
14:14:10:536	23,31	3,17	7,24
14:14:12:599	23,31	3,17	7,24
14:14:13:100	23,31	3,17	7,24
14:14:15:183	23,31	3,17	7,24
14:14:15:682	23,31	3,17	7,24
14:14:17:745	23,31	3,18	7,23
14:14:18:234	23,31	3,18	7,23
14:14:20:302	23,31	3,18	7,24
14:14:20:797	23,31	3,17	7,24
14:14:22:882	23,31	3,17	7,24
14:14:23:377	23,31	3,17	7,24
14:14:25:441	23,31	3,17	7,24
14:14:25:936	23,31	3,18	7,24
14:14:28:002	23,31	3,18	7,24
14:14:28:500	23,31	3,18	7,24
14:14:30:583	23,31	3,17	7,23
14:14:31:081	23,31	3,17	7,23
14:14:33:142	23,31	3,17	7,24
14:14:33:654	23,31	3,18	7,24
14:14:35:702	23,31	3,18	7,23
14:14:36:197	23,31	3,17	7,23
14:14:38:282	23,31	3,17	7,24
14:14:38:777	23,31	3,17	7,24
Σ			7,23088889

Temps	Température	Tension	pH
14:00:55:494	21,44	3,27	6,96
14:00:56:494	21,44	3,27	6,96
14:00:58:553	21,44	3,26	6,9
14:00:59:069	21,44	3,26	6,9
14:01:01:607	21,44	3,26	6,93
14:01:03:667	21,44	3,27	6,93
14:01:04:169	21,44	3,26	6,93
14:01:06:295	21,44	3,27	6,93
14:01:06:796	21,44	3,27	6,87
14:01:08:838	21,44	3,27	6,87

14:01:09:334	21,44	3,27	6,87
14:01:11:400	21,44	3,27	6,87
14:01:11:899	21,44	3,27	6,93
14:01:13:981	21,44	3,27	6,93
14:01:14:477	21,44	3,26	6,9
14:01:16:540	21,44	3,27	6,9
14:01:17:037	21,44	3,26	6,93
14:01:19:095	21,44	3,26	6,93
14:01:19:590	21,44	3,26	6,9
14:01:21:719	21,44	3,27	6,93
14:01:22:177	21,44	3,26	6,87
14:01:24:237	21,44	3,26	6,87
14:01:24:736	21,44	3,27	6,87
14:01:26:798	21,44	3,27	6,87
14:01:27:337	21,44	3,27	6,87
			6,9048

Temps	Température	Tension	pH (GTE) Zone 6
14:12:09:958	23,31	3,22	7,26
14:12:11:564	23,31	3,22	7,26
14:12:13:254	23,31	3,21	7,25

14:12:14:154	23,31	3,22	7,26
14:12:15:954	23,31	3,19	7,27
14:12:15:214	23,31	3,22	7,27
14:12:16:321	23,31	3,22	7,27
14:12:17:987	23,31	3,22	7,27
14:12:18:164	23,31	3,22	7,27
14:12:20:654	23,31	3,19	7,26
14:12:21:654	23,31	3,19	7,26
14:12:21:357	23,31	3,19	7,26
14:12:22:321	23,31	3,18	7,25
14:12:24:627	23,31	3,19	7,25
14:12:25:671	23,31	3,18	7,26
14:12:26:628	23,31	3,19	7,25
14:12:28:825	23,31	3,18	7,26
14:12:29:439	23,31	3,19	7,27
14:12:30:758	23,31	3,2	7,27
14:12:31:022	23,31	3,21	7,27
14:12:34:208	23,31	3,21	7,27
14:12:38:369	23,31	3,19	7,26
14:12:40:963	23,31	3,18	7,26
14:12:42:308	23,31	3,19	7,26
14:12:44:897	23,31	3,19	7,27
14:12:46:369	23,31	3,18	7,26
14:12:46:987	23,31	3,19	7,25
14:12:49:321	23,31	3,2	7,25
14:12:50:200	23,31	3,21	7,26
14:12:50:654	23,31	3,19	7,25
14:13:10:507	23,31	3,22	7,25
14:13:15:954	23,31	3,21	7,26
14:13:19:215	23,31	3,19	7,26
14:13:22:569	23,31	3,21	7,27
14:13:27:608	23,31	3,21	7,26
14:13:29:879	23,31	3,21	7,25
14:13:33:850	23,31	3,21	7,26
14:13:36:546	23,31	3,21	7,27
14:13:38:240	23,31	3,21	7,27
Σ			7,26102564

Temps	Température	Tension	pH
14:00:12:855	21,44	3,26	6,96
14:00:14:938	21,44	3,26	6,96
14:00:15:436	21,44	3,26	6,96
14:00:17:492	21,44	3,27	6,96
14:00:18:034	21,44	3,27	6,9
14:00:20:095	21,44	3,26	6,9
14:00:20:558	21,44	3,26	6,93
14:00:22:635	21,44	3,26	6,93
14:00:23:132	21,44	3,26	6,96
14:00:25:198	21,44	3,27	6,96
14:00:25:693	21,44	3,27	6,9
14:00:27:754	21,44	3,27	6,9
14:00:28:254	21,44	3,27	6,9
14:00:30:337	21,44	3,26	6,93
14:00:30:836	21,44	3,26	6,93
14:00:32:899	21,44	3,27	6,9
14:00:33:390	21,44	3,27	6,9
14:00:35:457	21,44	3,26	6,9
14:00:35:957	21,44	3,26	6,9
14:00:38:035	21,44	3,26	6,9
14:00:38:554	21,44	3,26	6,9
14:00:40:617	21,44	3,26	6,96
14:00:41:095	21,44	3,27	6,96
14:00:43:162	21,44	3,27	6,93
14:00:43:655	21,44	3,26	6,93
14:00:45:740	21,44	3,26	6,9
14:00:46:254	21,44	3,27	6,9
14:00:48:298	21,44	3,27	6,93
14:00:48:796	21,44	3,27	6,93
14:00:50:828	21,44	3,27	6,93
14:00:51:328	21,44	3,27	6,87
14:00:53:433	21,44	3,27	6,9
14:00:53:952	21,44	3,27	6,9
Σ			6,92181818

Temps	Température	Tension	pH (SNV) Zone 3
14:17:58:498	23,31	3,2	7,21
14:17:59:018	23,31	3,19	7,21
14:18:01:083	23,31	3,19	7,21
14:17:01:581	23,31	3,19	7,22
14:18:03:642	23,31	3,19	7,22
14:18:04:141	23,31	3,19	7,22
14:18:06:223	23,31	3,19	7,23
14:18:06:715	23,31	3,19	7,23
14:18:08:782	23,31	3,19	7,23
14:18:09:277	23,31	3,18	7,23
14:18:11:342	23,31	3,18	7,23
14:18:11:838	23,31	3,18	7,23
14:18:13:920	23,31	3,18	7,23
14:18:14:417	23,31	3,18	7,23
14:18:16:483	23,31	3,18	7,23
14:18:16:986	23,31	3,18	7,23
14:18:19:042	23,31	3,18	7,23
14:18:19:559	23,31	3,18	7,23
14:18:21:621	23,31	3,18	7,23
14:18:22:119	23,31	3,18	7,23
14:18:24:180	23,31	3,18	7,23
14:18:24:679	23,31	3,18	7,23
14:18:25:469	23,31	3,18	7,23
Σ			7,22608696

Temps	Température	Tension	pH
14:03:15:118	21,44	3,26	6,96
14:03:17:180	21,44	3,26	6,96
14:03:17:678	21,44	3,26	6,93
14:03:19:757	21,44	3,26	6,93
14:03:20:254	21,44	3,26	6,96
14:03:22:316	21,44	3,26	6,96
14:03:22:814	21,44	3,26	6,96
14:03:24:878	21,44	3,26	6,96
14:03:25:373	21,44	3,27	6,9
14:03:27:455	21,44	3,27	6,9
14:03:27:954	21,44	3,26	6,93
14:03:30:016	21,44	3,26	6,93
14:03:30:514	21,44	3,26	6,93
14:03:32:579	21,44	3,26	6,93
14:03:33:072	21,44	3,27	6,93
14:03:35:157	21,44	3,27	6,93
14:03:35:655	21,44	3,27	6,87
14:03:37:716	21,44	3,27	6,87
14:03:38:217	21,44	3,26	6,96
14:03:40:248	21,44	3,26	6,96
14:03:40:750	21,44	3,27	6,93
14:03:42:824	21,44	3,27	6,93
14:03:43:325	21,44	3,26	6,9
14:03:45:393	21,44	3,26	6,9
14:03:45:891	21,44	3,26	6,93
14:03:48:018	21,44	3,26	6,93
14:03:48:474	21,44	3,26	6,96

14:03:50:555	21,44	3,26	6,96
14:03:51:058	21,44	3,26	6,93
14:03:53:095	21,44	3,26	6,93
14:03:53:619	21,44	3,26	6,93
14:03:54:074	21,44	3,26	6,93
Σ			6,931875

Temps	Température	Tension	pH (MI) Zone 2
14:16:28:641	23,31	3,18	7,23
14:16:29:177	23,31	3,18	7,23
14:16:31:263	23,31	3,18	7,23
14:16:33:804	23,31	3,18	7,23
14:16:34:298	23,31	3,18	7,23
14:16:36:363	23,31	3,18	7,23
14:16:36:854	23,31	3,18	7,23
14:16:38:941	23,31	3,18	7,23
14:16:39:437	23,31	3,18	7,23
14:16:41:504	23,31	3,18	7,23
14:16:42:040	23,31	3,18	7,23
14:16:44:056	23,31	3,18	7,23
14:16:44:538	23,31	3,18	7,23
14:16:46:638	23,31	3,18	7,23
14:16:47:140	23,31	3,18	7,23
14:16:49:200	23,31	3,18	7,23
14:16:49:737	23,31	3,18	7,23
14:16:51:761	23,31	3,18	7,23
14:16:52:258	23,31	3,18	7,23

14:16:54:363	23,31	3,18	7,23
14:16:54:842	23,31	3,18	7,23
14:16:56:920	23,31	3,18	7,23
14:16:57:402	23,31	3,18	7,23
14:16:59:481	23,31	3,18	7,23
14:16:59:958	23,31	3,18	7,23
14:17:02:041	23,31	3,18	7,23
14:17:02:539	23,31	3,18	7,23
14:14:04:607	23,31	3,18	7,23
14:17:05:098	23,31	3,18	7,23
14:17:07:182	23,31	3,18	7,23
14:17:07:681	23,31	3,18	7,23
14:17:09:735	23,31	3,18	7,23
14:17:10:235	23,31	3,18	7,23
14:17:12:796	23,31	3,18	7,23
14:17:12:301	23,31	3,18	7,23
14:17:14:884	23,31	3,18	7,23
14:17:15:380	23,31	3,18	7,23
14:17:17:940	23,31	3,18	7,23
14:17:17:441	23,31	3,18	7,23
14:17:20:003	23,31	3,18	7,23
14:17:20:501	23,31	3,18	7,23
14:17:22:583	23,31	3,18	7,23
14:17:23:119	23,31	3,18	7,23
14:17:25:182	23,31	3,18	7,23
14:17:25:639	23,31	3,18	7,23
14:17:27:702	23,31	3,18	7,23
14:17:28:197	23,31	3,18	7,23
Σ			7,23

