

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention de :

La licence en sciences et techniques « EAU ET ENVIRONNEMENT »

**« Diagnostic des points de mesure de qualité d'eau
potable adoptés par la RADEEMA »**

Soutenu le 20 juin 2023

Réalisé par : EZZABOUR HIBA
BOUSSALEM HIND
BADRI RACHIDA

Encadrants : Mr. ERRAGRAGUI MOHAMED - FSTG
Mr. ABBID ABDESSATAR - RADEEMA
Mr. RAIBI MOHAMED - RADEEMA

Devant le jury: Mr. ERRAGRAGUI MOHAMED
Mr. DAOUDI LAHCEN
Mr. RAIBI MOHAMED

REMERCIEMENTS

C'est avec plaisir que nous réservons cette page pour remercier tous ceux qui ont eu la gentillesse de nous aider tout au long de ce stage de fin d'étude.

Nous tenons tout d'abord, à remercier le département Ressources Humaines et le département Exploitation Eau à la RADEEMA, surtout nos encadrants Mr. ABBID ABDESSATAR, Mr. RAIBI MOHAMMED, et toute l'équipe du service Feeders et réservoirs, qui nous ont orientés et n'ont pas hésités à nous aider, conseiller et répondre à toutes nos questions.

Nous remercions également, notre encadrant interne Mr. ERRAGRAGUI MOHAMMED, notre chef de filière Mr. MOUSTADRAF JALAL et tous les professeurs du département sciences de la terre à la faculté des sciences et techniques Marrakech, qui nous ont offert une excellente formation tout au long de notre cursus scolaire.

Un grand merci à nos parents qui nous ont soutenus pendant toutes nos années d'études, et nous tenons à remercier aussi tous nos amis qui ont rendu notre expérience très amusante.

Finalement nous remercions également toutes les personnes qui nous ont aidé et encouragé de loin ou de près à réussir notre mémoire de fin d'étude.

RÉSUMÉ

Dans le cadre de notre formation en licence sciences et techniques Eau et Environnement, nous avons eu l'opportunité d'effectuer un stage de six semaines au sein du département Exploitation Eau de la régie autonome de distribution d'eau et d'électricité de Marrakech. Notre stage s'est déroulé au sein de la division conduite réseau chargée de surveiller les paramètres importants pour la gestion de la qualité de l'eau potable.

L'objectif de notre travail a consisté à analyser les solutions existantes pour l'instauration des points de mesure de qualité d'eau potable adoptées par la régie autonome de la distribution d'eau et d'électricité Marrakech (RADEMA), et d'identifier les avantages et les inconvénients de ces solutions (points de qualité). Pour cela, nous avons visité plusieurs stations de mesure, dans tous les réservoirs d'eau de Marrakech, ainsi que le laboratoire Sidi Moussa et le bureau central de commande (BCC), afin de mieux comprendre notre problématique.

À la fin de ce mémoire, nous allons proposer des solutions qui permettent de réduire les points faibles des solutions existantes à travers une analyse critique et l'application des outils de prise de décisions et de choix dans la technologie offerte par le marché national et international.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	0
RÉSUMÉ	2
LA LISTE DES FIGURES	5
LISTE DES TABLEAUX	6
LISTE DES ACRONYMES	7
INTRODUCTION GENERALE.....	8
CHAPITRE I : organisme d'accueil et processus d'exploitation d'eau	9
Introduction	10
I. Organisme d'accueil RADEEMA	10
II. Département d'exploitation de l'eau	11
III. Alimentation en eau potable la ville de Marrakech	12
1. Réservoirs de stockages :	12
2. Réseau de distribution d'eau potable :	14
3. Les équipements :	16
CHAPITRE II : Analyses de qualité d'eau potable.....	21
Introduction	22
I. Les normes et les lois marocaines de la qualité d'eau potable :	22
1. Les normes	22
2. Les lois :	24
II. Laboratoire et les points de qualité :	25
1. Laboratoire	25
2. Les points de qualité :	28
CHAPITRE III : Etude d'instauration d'une carte de suivi de qualité d'eau	32

Contexte Générale.....	33
I. Description de la carte de qualité existante :.....	33
II. Diagnostic de la solution adoptée (points de mesure de qualité hach lange)	34
1. Spécification technique d'un point de qualité.....	34
2. Descriptifs des points de mesure de qualité.....	36
3. Caractéristiques techniques des capteurs de marque HACH LANGE	41
III. Analyse critique :	42
IV. SOLUTIONS :.....	46
Conclusion :.....	56
CONCLUSION GENERALE	57
LISTE BIBLIOGRAPHIQUE	59

LA LISTE DES FIGURES

Figure 1: Siège RADEEMA	10
Figure 2: Organigramme d'organisation du département Exploitation Eau	12
Figure 3: Réservoir BIR RAMRAM	13
Figure 4: Château d'eau Sidi Moussa	14
Figure 5: Réseau feeders dans les réservoirs (Sidi Moussa).....	15
Figure 6: Logiciel de cartographie des réseaux d'alimentation en eau potable (Zograph)	16
Figure 7 : Ventouses	17
Figure 8: Vanne	17
Figure 9: Vidange au réservoir BIR RAMRAM.....	18
Figure 10: Stabilisateur de pression	18
Figure 11: Poteau d'incendie	19
Figure 12: Débitmètre.....	19
Figure 13: Soupape de décharge	20
Figure 14: Laboratoire d'analyse de qualité d'eau potable.....	25
Figure 15: Organigramme de fonctionnement du BCC.....	29
Figure 16: Panneau de fonctionnement des instruments	31
Figure 17: Distribution des points de qualité dans la ville de Marrakech	34
Figure 18: Armoire d'abri dans le point de qualité Arset Lmaach	35
Figure 19: Le turbidimètre et le chloromètre du point de qualité de Arset Lmaach	35
Figure 20: Automate programmable	36
Figure 21: Valeurs de chlore et de turbidité avant maintenance	44
Figure 22: Sonde multiparamétrique de S::CAN (AQUATIC LIFE)	48
Figure 23: Sonde multiparamétrique I-CENSE (Solar impulse foundation).....	50
Figure 24: Fonctionnement Modbus (VOLTEBOX)	56

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Tableau des normes marocaines de qualité d'eau potable	23
Tableau 2: Distribution des points de qualité sur les secteurs de la ville de Marrakech	37
Tableau 3: Distribution des points de qualité sur les réservoirs de la ville de Marrakech	38
Tableau 4: Composantes des points de qualité	39
Tableau 5: Etat de fonctionnement des points de qualité	40
Tableau 6: Fiche technique des instruments actuellement utilisés dans les points de qualité ..	42
Tableau 7: Points forts et faibles des points de qualité.....	43
Tableau 8: Fiche technique de ENDRESS+HAUSER.....	47
Tableau 9: Fiche technique de S::CAN	49
Tableau 10: Fiche technique de I-CENSE.....	50

LISTE DES ACRONYMES

AEP : Alimentation en Eau Potable

API : Automate Programmable Industrielle

BCC : Bureau Central de Commandes

CHU : Centre Hospitalisé Universitaire

DEE : Département Exploitation Eau

FTU : Formazine Turbidité Unit

IP : Indice de Protection

ISO : International Standardisation Organisation

LPC : Logiciel de Programmation des Centrales

NEMA : National Electrical Manufacturers Association

NM : Norme Marocaine

NTU : Nephelometric Turbidity Unit

QSE : Qualité, Sécurité et Environnement

RADEEMA : Régie Autonome de la Distribution d'Eau et d'Electricité Marrakech

SIG : Systèmes d'Information Géographique

STEP : Station d'Epuration et de Réutilisation des Eaux Usées

TAC : Titre Alcalimétrique Complet

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est une ressource essentielle et indispensable à la vie de l'être humain, il est nécessaire de bien gérer la consommation d'eau, vu que la demande en eau potable dans le milieu urbain a connu un accroissement important pendant les dernières décennies.

Il convient de noter que la qualité d'eau potable au Maroc est généralement de bonne qualité mais elle diffère selon les régions, par exemple Marrakech, Rabat et Casablanca qui disposent d'un système de traitement d'eau relativement efficace et fournissent des eaux de bonne qualité à leurs abonnés.

Le traitement des eaux est fourni par l'ONEE-branche eau, et que la distribution est assurée par les régies qui diffèrent selon la région, notamment : RAMSA, LYDEC, RADEEC, AMENDIS...

A Marrakech la RADEEMA est chargée de la distribution d'eau potable ainsi que la surveillance et le contrôle de sa qualité, dans laquelle nous avons effectué notre stage pendant 6 semaines au département Exploitation Eau.

Notre sujet « Diagnostique des points de mesure de qualité d'eau potable adoptés par la RADEEMA » porte sur la réalisation d'une étude sur les solutions actuellement adoptées par la Régie de distribution d'eau et d'électricité de Marrakech , qui permettra comme résultat, d'élaborer une carte de suivi de mesures des paramètres principaux d'eau potable : le pH, la Conductivité, le chlore et la turbidité. La solution actuellement adoptée pour la surveillance de la qualité d'eau potable est la mise en place de 26 stations de mesures en temps réel appelées les points de qualité sur le réseau AEP et les réservoirs de stockage d'eau potable, les mesures sont télétransmises à partir du bureau central de commandes.

Pour accomplir cette étude, nous avons visité l'ensemble de l'infrastructure des réservoirs d'eau potable et quelques points de qualité sur les réservoirs et sur le réseau, ainsi que la BCC pour la remontée des données envoyées par ces points de qualité.

La problématique principale est de trouver des nouvelles solutions pour améliorer d'avantage le bon fonctionnement des points de qualité ainsi que de réduire les points désavantageux de la solution déjà instaurée et ceci par l'emploi d'un diagnostic et une analyse critique.

CHAPITRE I : ORGANISME D'ACCUEIL ET PROCESSUS D'EXPLOITATION D'EAU

Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter la RADEEMA, ses missions, ses départements ainsi que le fonctionnement du réseau d'alimentation en eau potable.

I. Organisme d'accueil RADEEMA

On avait l'honneur de passer notre stage de projet fin d'étude à la RADEEMA, la régie autonome de distribution d'eau et d'électricité Marrakech, qui est un établissement semi publique, créé en 1971, chargé de la distribution et la gestion de l'eau potable et d'électricité au sein de la ville de Marrakech.

La RADEEMA a comme but l'utilisation durable de l'eau et de l'électricité, l'amélioration de la qualité des services et des systèmes de distribution de l'eau potable, la lutte contre la surexploitation et de gaspillage des ressources en eau, ainsi que la satisfaction des besoins des habitants de la ville de Marrakech.

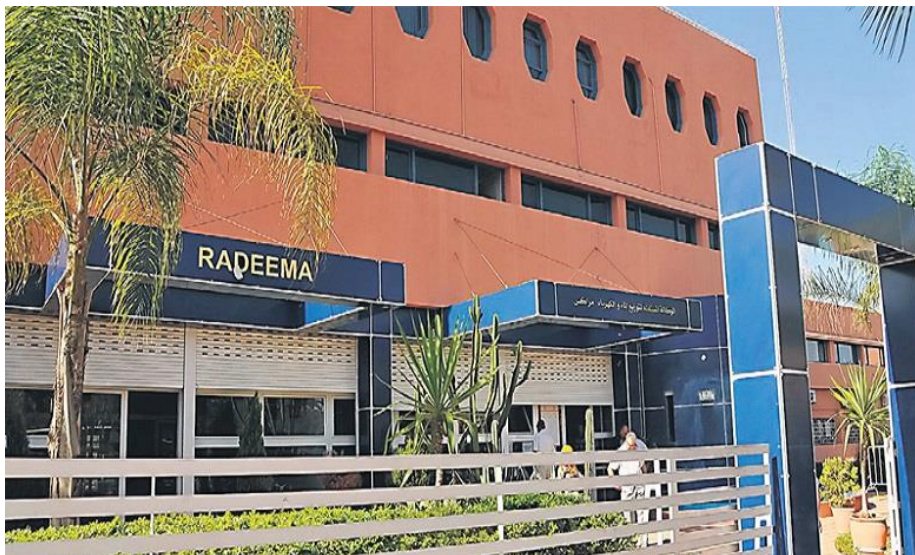


Figure 1: Siège RADEEMA (Rapport d'activités,2015)

Parmi les services qu'offre la RADEEMA, on distingue :

1. Electricité : la RADEEMA fournit l'électricité à environ 1 million d'habitants avec un taux de branchement de 98,8%. La ville est actuellement alimentée par des réseaux HTA (haute tension entre 1 kV et 50 kV) et BT (petites lignes de réseau de 230V à 400V). Cela est possible par la mise en place de 4 postes d'alimentation : Jnanate, M'hamid, Marrakech Ville, Ennakhil.

2. Assainissement liquide : presque 94% de la population de Marrakech est servie d'un réseau d'assainissement. Dans le but de la préservation de l'environnement et l'amélioration des

conditions d'hygiène, la collecte et le transport des eaux usées est assuré par des réseaux à système gravitaire.

Le traitement des eaux usées est effectué par la STEP « station d'épuration et de réutilisation des eaux usées de Marrakech » par la méthode des boues activées selon 4 étapes :

- Prétraitement : dégrillage, dessablage et déshuilage.
- Traitement primaire : décantation.
- Traitement secondaire : traitement biologique et clarification.
- Traitement tertiaire : coagulation, floculation et désinfection à l'UV.

3. Eau potable : la ville de Marrakech apporte l'eau de trois types de sources :

- Superficielles: Barrage Sidi Driss, barrage Hassan I, canal Rocade.
- Souterraines : Captage des forages et des nappes souterraines.
- Ressources de secours : Oued N'fis versé au barrage Lalla Takerkoust.

L'eau brute est prélevée et apportée à l'ONEE branche eau pour le traitement qui est ensuite fourni à la RADEEMA pour la distribution aux abonnés de la ville de Marrakech.

II. Département d'exploitation de l'eau

La RADEEMA, comporte quatre directions :

- Direction administrative
- Direction ingénierie et investissements
- Direction clientèle
- Direction financière et direction Exploitation

La direction d'exploitation est constituée de son tour de trois départements à savoir :

- Département exploitation électricité
- Département exploitation eau
- Département exploitation assainissement

Le département Exploitation Eau dont la mission principale est la gestion du réseau d'eau potable, s'organise sous l'organisme suivant :

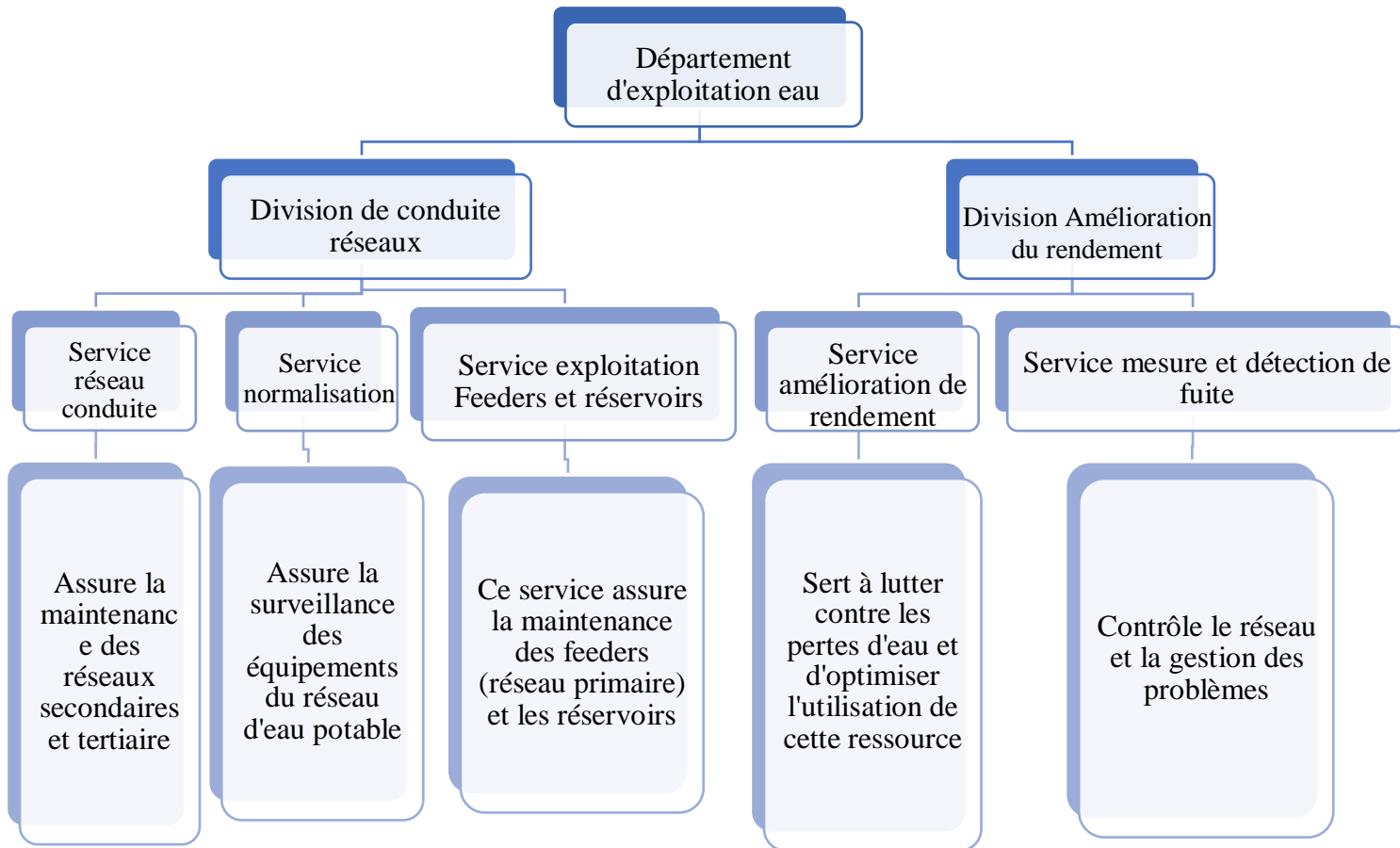


Figure 2: Organigramme d'organisation du département Exploitation Eau

Les principales missions du DEE (département Exploitation Eau) :

- Conduite réseau d'eau potable
- La gestion de la maintenance de l'infrastructure d'eau potable
- Amélioration du rendement du réseau

III. Alimentation Eau potable de la ville de Marrakech

Le système de distribution d'eau dans la ville de Marrakech est composé de divers réservoirs et un réseau de conduites de plusieurs types et diamètres.

1. Réservoirs de stockages :

Un réservoir de stockage d'eau potable est un contenant ou un réservoir conçu pour stocker de grandes quantités d'eau potable.

La RADEEMA possède trois réservoirs qui alimentent la totalité de la ville de Marrakech et définissent quatre étages de pression :

a. L'étage haut service Sidi Moussa :

C'est le réseau alimenté par le réservoir dite Sidi Moussa de capacité 50000 m³ et de cote altimétrique 554 NGM constitué de trois cuves (25000 m³, 12500 m³, 12500 m³).

Alimentant les secteurs :

- Le secteur Zone Touristique
- Le secteur Sidi Youssef
- Le secteur M'Hamid
- Le secteur Medina Sud

b. L'étage bas service sud La Route d'OURIKA :

C'est le réseau alimenté par le réservoir dite Route d'ourika de capacité 85000 m³ et de cote altimétrique 459 NGM comprenant deux réservoirs, le premier de capacité 55000 m³ constitué de sept cellules, le deuxième de capacité 30000 m³ constitué de 3 cellules.

Alimentant les secteurs :

- Le secteur Daoudiate.
- Le secteur Medina Nord.
- Le secteur Massira (Socoma, Azli Sud...).

c. L'étage bas service nord BIR RAMRAM :



Figure 3: Réservoir Bir Ramram (rapport de gestion, 2018)

C'est le réseau alimenté par le réservoir appelé Bir Ramram de capacité 30000 m³ et de cote altimétrique 521 NGM comprenant trois cellules chacune de 30000 m³.

Alimentant les secteurs Azouzia, Massira I, II et III, Le secteur Balaaguid

d. L'étage très haut service Sidi Moussa :

Un château d'eau (réservoir surélevé) de capacité 500 m³ et de cote altimétrique 584 NGM, est alimenté par le réservoir 50 000 m³ du haut service à l'aide d'une station de pompage.

Alimentant :

- La commune Tassoultante
- Golf Chrifia.
- Golf Argan.



Figure 4: Château d'eau Sidi Moussa (rapport de gestion 2015)

2. Le réseau de distribution d'eau potable :

En général, le réseau de distribution de la RADEEMA totalise un linéaire d'environ 2800 km de conduites de différents diamètres et natures : béton précontraint, amiante ciment, fonte grise, fonte ductile, PVC, Polyéthylène, répartis en de 200 km du réseau feeders (diamètre \geq 400 mm), de 2600 km du réseau secondaires et tertiaires (diamètre $<$ 400 mm), et de différentes pressions (selon l'étage : haut service ou bas service). Dans ce réseau d'eau potable, on essaie de faire circuler les eaux potables à l'aide d'un système gravitaire à condition que la topographie et la nature du terrain le permettent, d'où le cas de la ville de Marrakech.

En raison de cela, de nombreux avantages peuvent être obtenus :

- Plus simple et plus économique.
- Il y a plusieurs trajets possibles entre le réservoir et le point d'alimentation.
- La sécurité d'approvisionnement est beaucoup plus grande puisque les consommateurs en aval peuvent être alimentés.

Il y a deux types des réseaux :

a. Les réseaux Feeders :

Le réseau primaire d'eau, appelé aussi réseau d'alimentation Feeders, est un système de distribution d'eau qui transporte l'eau potable des réservoirs de stockage vers les réseaux secondaires. Le réseau primaire d'eau est généralement composé de conduites d'eau de gros diamètre (supérieure ou égale 400 mm) qui transportent de grandes quantités d'eau sur de longues distances pour minimiser les pertes d'eau dues à la friction et à la pression. Ces conduites sont souvent soutenues par des supports pour maintenir la distance de sécurité entre les conduites et le sol. Le réseau primaire d'eau est un élément clé du système de distribution d'eau, permettant la distribution efficace et fiable de l'eau potable à travers un réseau complexe de réservoirs, vers les réseaux secondaires.



Figure 5: Réseau feeders dans les réservoirs (Sidi Moussa)

b. Les réseaux secondaires :

Les réseaux secondaires de distribution d'eau sont des réseaux de canalisations qui transportent l'eau potable depuis les canalisations principales de distribution vers les utilisateurs finaux, tels

que les maisons, les entreprises et les institutions. Ils sont souvent de petit diamètre (inférieure à 400 mm) et sont conçus pour fournir de l'eau à une zone géographique plus restreinte.

Le suivi d'état de ces infrastructures et les simulations pour optimiser leur fonctionnement est effectué par le SIG (Système d'Information Géographique) qui permet de stocker, de gérer, d'analyser et de présenter des données géographiques liées à la distribution d'eau et d'électricité dans la région de Marrakech-Safi au Maroc. Il est utilisé pour de nombreuses tâches, tel que la planification et la conception de nouveaux réseaux, la surveillance, la gestion des fuites et des pannes, la facturation et la gestion des clients, etc. Il est également utilisé pour améliorer la qualité de service en réduisant les temps de réponse aux pannes et en assurant une meilleure répartition des ressources.

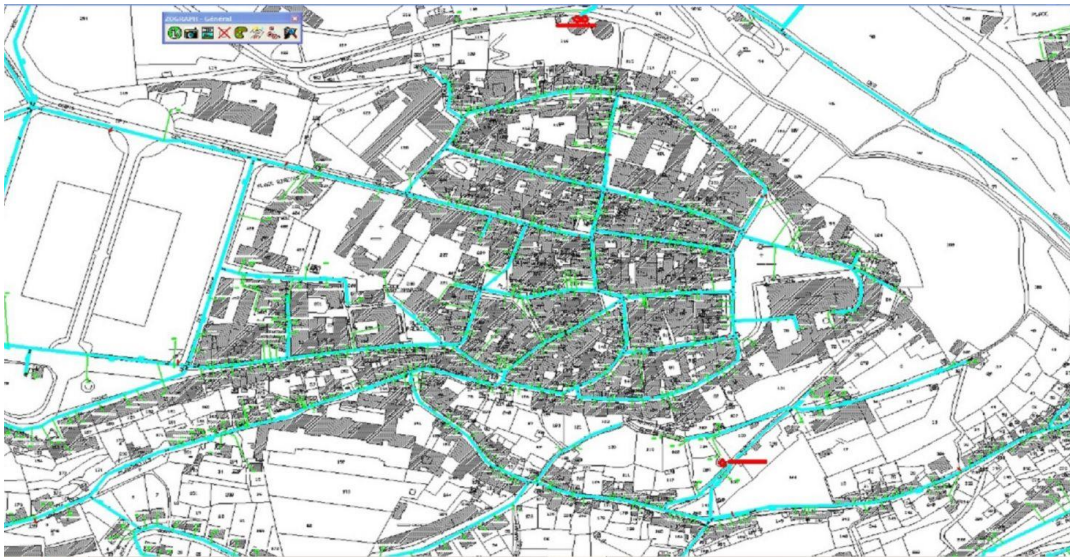


Figure 6: Logiciel de cartographie des réseaux d'alimentation en eau potable (Zograph)

3. Les équipements :

Le réseau d'eau potable se compose de plusieurs équipements nécessaires qui peuvent varier selon la taille et la complexité du réseau d'eau, mais en général, sont nécessaires pour assurer la distribution fiable ainsi qu'ils permettent une conduite de réseau efficace et sûre de l'eau potable.

Les principaux équipements hydromécaniques installés sur le réseau sont :

a. Les ventouses :

Permettent le dégazage des réseaux ou l'entrée d'air lors des opérations de vidange ou de remplissage.



Figure 7 : Ventouses

b. Les vannes

Les vannes sont des dispositifs manuels ou automatiques, utilisés pour réguler le débit d'eau, contrôler le flux d'eau et de fermer complètement l'eau en cas de besoin dans les canalisations d'un réseau d'eau.



Figure 8: Vanne

b. La vidange

La vidange est le processus de retrait de l'eau ou des matières solides d'un réservoir ou d'une canalisation dans un réseau d'eau ou d'assainissement. Dans un réseau d'eau, la vidange est généralement effectuée pour l'entretien ou la réparation des équipements tels que les réservoirs, les canalisations, les pompes et les vannes.



Figure 9: Vidange au réservoir Bir Ramram

c. Les Stabilisateurs de pression :

C'est un dispositif utilisé pour régler ou réduire la pression en passant d'une conduite du réseau principal à une conduite du réseau secondaire, pour protéger les conduites.



Figure 10: Stabilisateur de pression

d. Les poteaux d'incendies et les bouches d'incendies :

Les poteaux d'incendie et les bouches d'incendie sont des équipements installés à la surface du sol, le long des rues et des trottoirs, qui sont utilisés pour fournir de l'eau à haute pression dans le cas d'un incendie.



Figure 11: Poteau d'incendie

e. Le débit mètre :

C'est un dispositif qui permet de mesurer le débit d'eau passant dans les conduites, à l'aide du principe d'induction magnétique.



Figure 12: Débitmètre

f. La soupape de décharge :

C'est un dispositif de sécurité, qui sert à évacuer un certain débit d'eau pour protéger contre la surpression (coups de bélier) causée par la fermeture rapide des vannes ou un dysfonctionnement des pompes.



Figure 13: Soupape de décharge

Conclusion :

La distribution d'eau potable est un processus très compliqué qui nécessite des études approfondies, des infrastructures et de divers équipements, tout cela pour maintenir les conduites et protéger l'eau de chaque contamination susceptible. La RADEEMA adopte plusieurs méthodes et normes pour le suivi de qualité dans ces conduites, ce qui est le sujet du chapitre suivant.

CHAPITRE II : ANALYSES DE QUALITÉ D'EAU POTABLE

Introduction

La surveillance sur la qualité d'eau est très importante pour la protéger contre les contaminations à l'intérieur du réseau.

Ce chapitre est concentré sur les méthodes et les réglementations utilisées par la RADEEMA afin de gérer et surveiller la qualité d'eau distribuée aux consommateurs.

I. Les normes et les lois marocaines de la qualité d'eau potable :

1. Les normes

Le tableau ci-dessous illustre les principaux paramètres de qualité d'eau potable et leurs valeurs maximale admissible.

Paramètres	Unité	VMA
FACTEURS PHYSICO-CHIMIQUES		
Gout	Seuil de perception 25°C	3
Odeur	Seuil de perception 25°C	3
Turbidité	Unité de turbidité Néphélo : NTU	5
Potentiel hydrogène	Unité Ph	6,5<pH<8,5
Conductivité	µS/cm à 20°C	2700
Nitrates	NO3 : mg/l	50
Chlorures	Cl : mg/l	750
Sulfates	SO4 : mg /l	400
Aluminium	Al : mg /l	0,2
Ammonium	NH4 : mg/l	0,5
Oxydabilité au KMnO4	mg/l	5

Paramètres	Unité	VMA
FACTEURS D'INTÉRÊT BIOLOGIQUE		
Escherichia coli Entérocoques intestinaux	0/100 ml	Les teneurs en chlore résiduel doivent être compris entre : 0,1 et 1 mg/ à la distribution 0,5 à 1,0 mg à la production
Coliformes	0/100 ml	-Pas de coliformes dans 95% des échantillon prélevés sur une période de 12 mois -Pas de résultats positifs dans deux Échantillons consécutifs variation dans un rapport de 10 par rapport à la valeur habituelle
Micro-organismes revivifiables à 22°C et 37°C	0/100 ml	Variation dans un rapport de 10 par rapport à la valeur habituelle

Tableau 1: Tableau des normes marocaines de qualité d'eau potable (NM 03.7.001)

La RADEEMA a adopté le système de management intégré QSE (qualité, sécurité et environnement) dont elle a été certifiée en 2010. De suite, elle a l'obligation de respecter les exigences des trois normes de l'organisation internationale de normalisation (ISO) : ISO 9001, ISO 14001, et 45001 et notamment les exigences de qualité décrites explicitement dans les normes PNM-03.7.002 et NM 03.7.001.

2. Les lois :

Avec la croissance importante du besoin de l'eau, le risque de surexploitation et d'épuisement des ressources en eau augmente, la rationalisation de l'exploitation d'eau serait nécessaire pour conserver et gérer les ressources en eau.

Le premier texte se rapportant à l'eau est celui du dahir de 1914 complétés par les dahirs de 1919 et 1925. Ces dahirs intègrent l'eau au domaine public hydraulique.

Loi no : 10-95 : elle a comme objectif, la protection et conservation des ressources, protection de la santé de l'homme et la réglementation des activités qui peuvent polluer les ressources en eau.

Le décret no : 2-97-787 du 4 février 1998, ce décret définit les normes de qualité auxquelles une eau doit satisfaire selon son utilisation.

L'arrêté conjoint no 1277-01 du 17 octobre 2002, fixe les normes de qualité des eaux superficielles utilisées pour la production de l'eau potable et définit trois catégories d'eau selon le traitement requis.

- A1 : des eaux qui nécessitent un traitement physique simple pour être potable (désinfection et filtration).
- A2 : pour les eaux nécessitantes, pour être potable, un traitement physique et chimique (pré chloration, coagulation, floculation, décantation, filtration, désinfection).
- A3 : pour les eaux nécessitantes, pour être potables, un traitement physique et chimique poussée.

II. Le laboratoire et les points de qualité :

1. Le Laboratoire

La RADEEMA possède 3 laboratoires :

- Laboratoire de la STEP où s'effectue la surveillance et le contrôle de qualité de l'eau épurée.
- Laboratoire Arset Lmaach où s'effectue l'étalonnage des compteurs.
- Laboratoire de Sidi Moussa où s'effectue la surveillance et le contrôle de qualité de l'eau potable.



Figure 14: Laboratoire d'analyse de qualité d'eau potable

En général, la mesure de qualité d'eau potable sur le réseau de distribution s'effectue pour le laboratoire selon la méthodologie :

a. L'échantillonnage

Le prélèvement d'échantillon est fait dans des sites précis et représentatifs, à l'intérieur du réseau (les analyses de type 1), ou à l'entrée du réseau de distribution (les analyses de type 2).

Pour les analyses physico-chimiques (TH, TAC, chlorures, IP, pH, nitrates, nitrites, Ammonium, turbidité et conductivité), le prélèvement se fait au niveau du robinet, dans des bouteilles de polyéthylène ou de verre.

Le matériel utilisé pour l'échantillonnage doit être nettoyé régulièrement, le matériel à savoir :

- Glacière isotherme, thermomètres et accumulateurs, pour les stockages des échantillons dans des conditions de température entre 2°C et 8°C.
- Des flacons de polyéthylène ou de verre borosilicaté de 500ml et 250ml.

Il faut tout d'abord couler l'eau de 5 à 10 secondes à fort débit, puis remplir un bécher à un débit moins fort, ensuite mesurer la température sur place et la noter sur la fiche journalière. Pour les analyses physico chimiques il faut rincer les flacons avec l'eau de prélèvement et les remplir à fond afin de réduire l'interaction avec la phase gazeuse et minimiser l'agitation.

Pour les analyses bactériologiques, laisser l'eau couler pendant 1 min et fermer le robinet, puis le flamber pour stériliser l'entourage d'eau, ensuite remplir le flacon en verre, stérilisé et rincé avec le thiosulfate de sodium qui évite l'effet des biocides. Le temps entre le prélèvement et la réception ne doit dépasser 6 heures.

b. Les analyses :

L'eau traitée subit deux types d'analyses :

- Les analyses physico chimiques :

- **La température :** influence la solubilité des éléments dissous et agit sur la conductivité, le pH, la teneur en O₂. Elle est mesurée par un thermomètre in situ.
- **Potentiel d'hydrogène :** mesuré au laboratoire à l'aide d'une électrode de verre.
- **La turbidité :** est la présence des particules non dissoutes. En utilisant la lumière néphalométrique dans un turbidimètre, on peut mesurer l'intensité du rayonnement diffus la valeur mesurée dépend de l'angle de mesure et l'angle d'ouverture du rayonnement arrivant sur le récepteur.
- **Les chlorures :** les chlorures sont dosés en milieu acide par le nitrate mercurique en présence de la diphénylcarbazonne comme indicateur.
- **Conductivité :** est le pouvoir d'une solution aqueuse à transporter un courant électrique. Elle permet d'avoir une idée sur la salinité d'eau. C'est une mesure du courant conduit par les ions présents dans l'eau. L'échantillon est placé dans un récipient avec la cellule de mesure, la conductivité est mesurée à 25°C.
- **Sulfates :** les sulfates sont précipités en milieu chlorhydrique à l'état de Sulfate de Baryum et stabilisés à l'aide d'une solution de tween 20.
- **Nitrates :** les nitrates sont dosés par la solution d'hydroxyde de sodium, puis introduit au spectrophotomètre à une longueur d'onde de 415 nm.

- **Oxydabilité** : permet d'avoir une idée sur la quantité de matière organique existante dans l'eau. On chauffe l'échantillon dans un bain d'eau bouillante en présence d'une quantité connue de permanganate de potassium et d'acide sulfurique pendant 10 minutes, les matières oxydables de l'échantillon réduisent une partie de la permanganate, l'excès de ce dernier est déterminé par addition d'un excès d'oxalate, suivi par un dosage de l'oxalate par le permanganate.
- **Titre alcalimétrique complet** : consiste à la neutralisation des carbonates hydroxydes et hydrogencarbonates par un acide fort à pout de virage pH= 4,5, à la présence d'un colorant, c'est-à-dire la neutralisation de toutes les espèces basiques présentes dans l'eau.
- **La dureté** : la dureté totale d'une eau c'est la somme de concentration des ions calcium et les ions magnésium et d'autre cations divalents et trivalents dans cette eau. L'unité démesure est TH (titre hydrotimétrique), les ions de calcium et magnésium sont complexés par l'EDTA (Éthylène-diamine-tétra-acétique).

- **Les analyses bactériologiques :**

Les analyses bactériologiques sont réalisées par deux méthodes : la méthode de membrane filtrante et la méthode d'incorporation en gélose

- La méthode de filtration consiste à recueillir, identifier, et dénombrer à la surface d'une membrane filtrante stérile, les bactéries recherchées dans un échantillon d'eau. Il s'agit de faire passer un volume d'échantillon à travers une membrane de porosité 0.45mm.

Avec cette méthode on recherche :

- La présence des coliformes et leurs nombres dans l'échantillon ;
- La présence Escherichia coli et leurs nombres dans l'échantillon ;
- La présence Entérocoques et leurs nombres dans l'échantillon ;
- La méthode d'incorporation en gélose consiste à dénombrer les germes revivifiables présents dans une portion d'échantillon sur un milieu de culture sélectif.

c. Résultats :

Après avoir fini toutes les analyses, il faut remplir un rapport d'analyse, pour confirmer que la qualité de l'eau est conforme aux normes marocaines. En cas de non-conformité, le gestionnaire au laboratoire doit avertir le services exploitation pour prendre les dispositions nécessaires pour la purge du tronçon du réseau objet d'analyse non-conforme et de son tour aviser les autorités sanitaires de chaque incident d'altération de qualité pouvant impacter la santé des citoyens.

d. Le contrôle de la certitude des mesures :

Pour assurer des mesures fiables et de haute précision et certitude :

- L'audit vérifie et valide la qualité des analyses au laboratoire.
- Tout le matériel subit des essais lors de la réception.
- Pour les analyses, plusieurs méthodes sont adoptées pour assurer que tous les réactifs et les instruments fonctionnent correctement, par exemple l'essai blanc, duplicata, Répétabilité des analyses.
- Contrôle externe par un laboratoire reconnu internationalement, qui prépare des échantillons et les envoie au laboratoire autour du monde, pour effectuer des analyses, les résultats doivent être conformes à ceux du laboratoire international, ce contrôle est effectué 3 fois par an.

2. Les points de qualité :

L'année 2015 a été marquée par la mise en place d'un système de télégestion multi fluide, pour gérer et contrôler les trois fluides (eau potable, électricité et assainissement) appelé le BCC (Bureau Central de Commande).

Le BCC (Bureau Central de Commande) de la RADEEMA Arset Lmaach – Marrakech est un centre de contrôle centralisé qui supervise et gère les opérations de distribution d'eau potable, d'électricité et assainissement dans la région. Le BCC-branche eau de la RADEEMA collecte et analyse les données provenant de diverses sources, telles que les capteurs sur le réseau et les réservoirs pour but d'assurer le bon fonctionnement du réseau de distribution, la surveillance en temps réel, la détection des pannes et des incidents, la coordination des équipes d'intervention sur le terrain, ainsi que la prise de décisions stratégiques pour garantir un service fiable et de qualité aux consommateurs.

Le fonctionnement général du BCC :

Le BCC utilise des capteurs et des dispositifs de surveillance installés à différents points du réseau pour collecter des données en temps réel. Ces capteurs peuvent mesurer des paramètres tels que la pression, le débit, la température, turbidité, chlores, etc. Les données collectées par ces capteurs sont transmises au BCC afin d'être analysées. La Transmission des données peut se faire à l'aide d'un système de communication qui est le réseau de télécommunication, Les données sont généralement transmises de manière automatique et continu par un protocole de communication standardisés (modem GSM) pour assurer l'interopérabilité entre les infrastructures et le BCC, les données reçues sont traitées et stockées dans des systèmes de gestion de données appropriés. Les données sont ensuite analysées pour surveiller l'état des infrastructures, détecter les anomalies, prendre des décisions opérationnelles et planifier la maintenance.

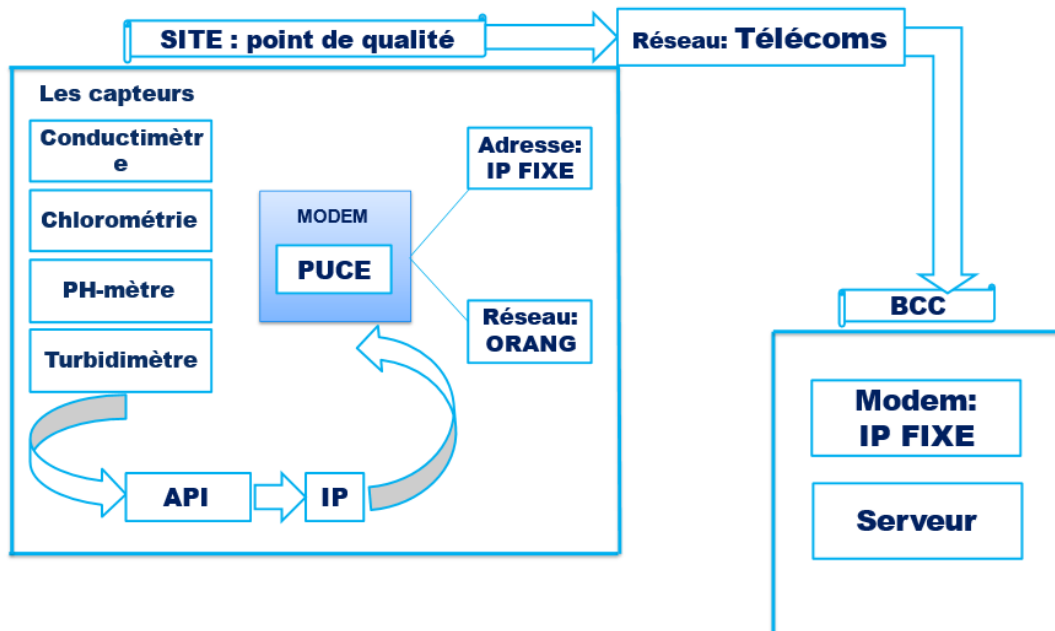


Figure 15: Organigramme de fonctionnement du BCC

En ce qui concerne l'eau potable, la télégestion est assurée par des stations de mesures de qualité d'eau (points de qualité) distribuée tout au long du réseau AEP (alimentation en eau potable), où se mesurent plusieurs paramètres : le pH, la turbidité, la conductivité et le chlore. Ces points de qualité disposent de divers instruments pour mesurer les paramètres désirés en continu et en temps réel.

Les capteurs de point de qualité :

- Le Conductimètre :

C'est un appareil qui permet de mesurer la conductivité électrique d'une solution, et indique la capacité d'une substance à conduire du courant électrique, ainsi que la fonction de la concentration totale en ions, leurs mobilités, leurs valences, leurs concentrations relatives et de la température. Plus la concentration est élevée, plus la conductivité électrique est élevée.

- Le Turbidimètre :

La turbidité correspond à une réduction de la transparence d'un liquide par la présence de matières non dissoutes. Le turbidimètre mesure la capacité optique d'une eau à absorber ou/et à diffuser de la lumière. L'intensité de cette dernière réfléctée nous donne des informations sur la dimension du trouble. Le turbidimètre donne la turbidité en FTU, cette unité est identique à la NTU. Il s'emploie fréquemment pour une analyse d'eau potable. D'un point de vue hygiénique, les valeurs limites sont à l'heure actuelle en dessous de 1 FTU.

- La Chlorométrie :

Le chlore a pour but la désinfection de l'eau par la destruction ou l'inactivation des organismes pathogènes présents. Une chlorométrie est un instrument utilisé pour mesurer la concentration du chlore dans l'eau, La plupart des chlorométries sont conçus pour être directement fixés à une bouteille de chlore qui constitue le réservoir qui fournira le chlore par dépression. En cas d'insuffisance du gaz, on peut injecter une dose de sécurité de chlore dans l'eau. Le débit de chlore à injecter est réglable et ne peut dépasser 1 kg/heure.

- Le PH-mètre :

Est une mesure de l'acidité ou d'alcalinité de l'eau, il sert à plonger l'électrode dans l'eau et d'afficher la valeur sur l'écran du ph mètre avec le nettoyage des électrodes pour éviter tout type de contamination.



Figure 16: Panneau de fonctionnement des instruments

Conclusion :

À la suite de l'analyse de la composition et la fonction de ces unités de point de qualité, nous passer à l'étape d'étude d'instauration d'une carte de suivi de qualité à travers une analyse critique des instruments et l'énumération de plusieurs solutions techniques pouvant contribuer énormément à l'utilisation de ces unités d'une manière très large sur le réseau d'eau potable.

**CHAPITRE III : ETUDE
D'INSTAURATION D'UNE CARTE DE
SUIVI DE QUALITE D'EAU POTABLE**

Contexte Général

Afin d'assurer la desserte en eau potable de la globalité de la ville de Marrakech et garantir la distribution et l'alimentation des abonnés en une eau qui répond aux normes de qualité et de pression, la RADEEMA a réalisé plusieurs projets visant l'amélioration de la conduite du réseau d'eau potable.

A partir de l'année 2015, la RADEEMA a réalisé le projet BCC (Bureau Central de Commande) qui consiste à la création d'une plateforme permettant la gestion des trois fluides : eau potable, électricité et assainissement.

De son tour le BCC-eau a pris en charge en priorité la gestion télégérée des réservoirs de stockage d'eau potable, le réseau primaire et en particulier a permis la mise en place d'une carte qualité d'eau potable composé de 26 points variés.

I. Description de la carte de qualité existante :

Les points de mesure de qualité d'eau potable se sont des unités utiles pour la surveillance en temps réel de la qualité d'eau distribuée dans le réseau AEP (Alimentation en eau potable). Ces points sont placés soit sur le réseau de distribution d'eau ou sur les conduites d'alimentation ou de sortie des réservoirs de stockage. Ils sont composés de capteurs permettant la mesure et l'envoi des paramètres de l'eau (la turbidité, le chlore, le ph, la conductivité).

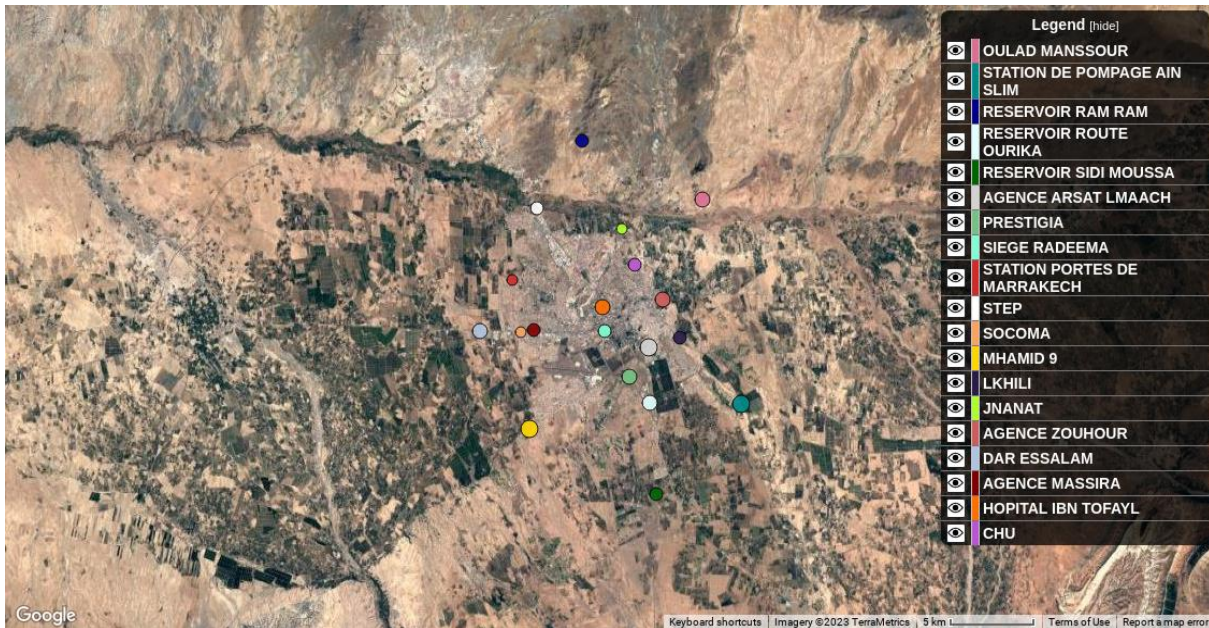


Figure 17: Distribution des points de qualité dans la ville de Marrakech

La solution adoptée par la RADEEMA est une Édition de la marque Hach Lange. Dans ce stage, notre objectif est de diagnostiquer la solution présente et d'examiner des nouvelles éditions ou d'autres solutions offertes par le marché.

II. Diagnostic de la solution adoptée (points de mesure de qualité hach lange)

Les unités constituant la carte de qualité d'eau se présentent sous forme d'armoires de rue ou sous forme de tableaux pour les points logés dans les locaux techniques de certaines administrations (Exemple : Point de qualité CHU).

1. Spécification technique d'un point de qualité

- **L'armoire d'abri :**

C'est un dispositif utilisé pour les points de mesure de qualité sur le réseau d'eau potable. C'est une sorte d'armoire qui contient les capteurs de mesure de quelques paramètres, elle est verrouillable pour empêcher l'accès non autorisé aux instruments.



Figure 18: Armoire d'abri dans le point de qualité Arset Lmaach

- **Les capteurs**

Ce sont des instruments placés dans les armoires d'abri, et mesurent les paramètres désirés, et les convertissent en grandeurs électriques facilement transmises, ils sont liés à un transmetteur qui enregistre et affiche les valeurs mesurées.



Figure 19: Le turbidimètre et le chloromètre du point de qualité de Arset Lmaach

- **L'automate programmable**

C'est un dispositif électrique d'automatisme qui sert à surveiller les capteurs, collecter les données et les transmettre. Chaque point de qualité à son propre API (automate programmable industrielle).



Figure 20: Automate programmable

2. Descriptifs des points de mesure de qualité

Les unités sont installées dans des endroits différents et sont éparpillés sur presque toute les zone de la ville pour que les données de qualités soient représentatives, ci-dessous les tableaux représentant la distribution des points de qualités ceux installés sur le réseau d'eau et ceux sur le réservoir :

a. Points de qualité installés sur le réseau

N° Point	ADRESSE	SECTEUR
1	Prestigia	MHAMID
2	Arset El Maach	Medina
3	Palais El Mechouar	Sidi Youssef
4	Siège Radeema	Massira
5	Station Les Porte De Marrakech	Massira
6	STEP	Daoudiat
7	Agence Zohour Rte Meknès	Daoudiat
8	Hôpital Mohammed Vi	Daoudiat
9	Hôpital Ibn Tofail	Daoudiat
10	Dar Salam	Massira
11	Agence Radeema Massira	Massira
12	Lakhili	Sidi Youssef
13	Jnanate	Daoudiat
14	Socoma	Massira
15	Mhamid 9	Mhamid

Tableau 2: Distribution des points de qualité sur les secteurs de la ville de Marrakech

b. Points de qualité installés sur les réservoirs

N° POINT	RÉSERVOIR	EMPLACEMENT
16	Réservoir Sidi Moussa	Entrée
17	Réservoir Sidi Moussa	Sortie
18	Réservoir Sidi Moussa	Entrée château
19	Réservoir Sidi Moussa	Sortie château
20	Réservoir Rte Ourika	Entrée
21	Réservoir Rte Ourika	Sortie
22	Réservoir Bir Ramram	Entrée
23	Station De Pompage Ain Slim	Entrée
24	Station De Pompage Ain Slim	Sortie
25	Station De Surpression Oulad Mansour	Entrée
26	Station De Surpression Oulad Mansour	Sortie

Tableau 3: Distribution des points de qualité sur les réservoirs de la ville de Marrakech

c. Composantes de chaque point

Ci- dessous est un tableau qui résume l'existence des trois composantes de chaque point de qualité (les capteurs, l'automate programmable, le modem GSM).

N° Point	Capteurs				API	Modem
	Chlorométrie	PH-mètre	Turbidimètre	Conductimètre		
1	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non
2	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Oui
3	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non
4	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non
5	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non
6	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non
7	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Oui
8	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Oui
9	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Oui
10	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non
11	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Oui
12	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non
13	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Oui
14	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Oui
15	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Oui
16	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
17	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
18	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Oui
19	Oui	Non	Non	Non	Oui	Oui
20	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
21	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
22	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
23	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Oui
24	Oui	Non	Non	Non	Oui	Oui
25	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Oui
26	Oui	Non	Non	Non	Oui	Oui

Tableau 4: Composantes des points de qualité

- Toutes les unités installées sur le réseau ne comportent que les deux paramètres, celle du chlore et celle de turbidité

- Les points de qualité installés à l'intérieurs des réservoirs comportent en plus d'analyseurs de chlore et de turbidimètre, un PH-mètre et un conductimètre
- La remontée des données au BCC dépend principalement de l'existence d'un modem dans le point de qualité.

d. Etat de fonctionnement des points de mesure de qualité

Voici un tableau qui résume l'état de fonctionnement des 26 points de qualité

ETAT	NOMBRE	POINTS
Points En Service	12	<ul style="list-style-type: none"> - Tous les points du réservoir SIDI MOUSSA - Entrée du réservoir route d'OURIKA - Réservoir Ramram - Tous les points de la station de pompage - Tous les points de la station de surpression - Les points Arset Lmaach et Jnanat
Points Hors Service	13	<ul style="list-style-type: none"> - Sortie réservoir route Ourika - Tous les points sur le réseau sauf les points Arest Lmaach Et Jnante
Points Supprimés	1	<ul style="list-style-type: none"> - Agence Zouhour route Meknès

Tableau 5: Etat de fonctionnement des points de qualité

- Le point de qualité sur le réservoir qui est hors service, c'est en raison d'absence de la vidange, qui est très important pour le fonctionnement des points de qualité
- Presque tous les points de qualité sur le réseau d'alimentation en eau potable, disposent de toutes les composantes (API, modem et capteurs...), mais leurs données ne remontent pas au BCC, ou montrent des valeurs qui dépassent la norme.

3. Caractéristiques techniques des capteurs de marque HACH LANGE

La marque actuellement adoptée par la RADEEMA est Hach Lange, basée aux états unis, elle offre une vaste gamme d'instruments, des analyseurs de mesures et des sondes de mesure en continu pour la surveillance de la qualité d'eau.

Les points de qualité actuels disposent de deux transmetteur sc200 chacun affiche deux paramètres, un capteur de conductivité et un capteur de pH émergés dans la cellule d'échantillonnage, un panneau chloromètre ampérométrique et un turbidimètre, ci-dessous sont les fiches techniques de chaque instrument :

TRANSMETTEUR sc200	
Composants	Transmetteur piloté par micro presseur et par menus qui gère le fonctionnement des valeurs et affiche les valeurs mesurées
Dimension (l x h x p)	1/2 DIN 144 x 144 x 180,9mm
Température de fonctionnement	-20°C à 60°C
Pression	-6,9 bar à 105°C
Communication	MODEM GSM
Alimentation	Transmetteur alimenté en courant alternatif 100-240 VCA ±10% 50/60 Hz
Certification	CSA, CE, UL, ETL, IP66
Autres	Carte SD pour stockage d'information 2 voies

Ph METRE	
Dimension	Longueur : 271.3 mm
Débit	3m par seconde
Précision	±0.02 pH
Plage de mesure	-2,0 à 14,0
Communication	MODBUS
Maintenance	Nettoyage du capteur chaque 90 jours remplacer le pont salin et remplir la solution
Mode d'étalonnage	Deux points en automatique, un point en automatique, deux points en manuel, un point en manuel
Autres	Compensation thermique

ULTRATURB	
Dimension (l x h x p)	250 x 240 x 110 mm
Température de fonctionnement	2°C à 40°C
Température de l'échantillon	Max 50°C
Indice de protection	IP 65
Débit	min. 0,2 L/min max 1L/min
Précision	± 0,008 FNU ou ± 1% de la valeur mesurée
Plage de mesure	0,001 à 1000 FNU
Maintenance	Nettoyage automatique, remplacement du déshydratant et du balai, vérification du point zéro et du gradient
Mode d'étalonnage	Réglé à l'usine et validé à l'aide de la Formazine
Temps de réponse	1 à 60 s
Raccordement	Tube (diamètre intérieur 13 mm) ou raccordement fixe
Autres	Compensation des bulles d'air

INDUCTIVE CONDUCTIVITY SENSOR		Cl10sc and cl10 REAGENTLESS CHLORINE ANALYZER	
composants	Capteur de conductivité	Composants	Panneau chloromètre ampérométrique autonome avec capteur de chlore, capteur de débit et capteur de combinaison pH ou de pH/D optionnel, cuves à circulation, transmetteur sc et passerelle numérique
Dimension	L : 127 mm	Dimension (l x h x p)	48,3 x 49,5 x 15,1 cm
Garantie	1an, 2 ans	Température de fonctionnement	0°C à 45°C
Débit	Max : 3m/s	Débit	30-50 l/h
Plage de mesure	0 - 2000 mS/cm	Précision	± 10% au pH 8.5
Mode d'étalonnage		Plage de mesure	0 à 20ppm
Temps de réponse	0,5 s	Communication	Passerelle liée à l'enregistreur
Raccordement	Emergé 79.2mm	Maintenance	Nettoyage du capteur et des cuves de circulation remplacer le pont salin et la solution électrolyte
Alimentation	Courant alternatif	Raccordement	Prélèvement: 6mm OD Purge: 12 mm OD
		Alimentation	12 Vcc ± 10%, mA maximum

Tableau 6: Fiche technique des instruments utilisés dans les points de qualité

(HACH LANGE, manuel d'utilisation)

III. Analyse critique :

D'après notre étude « Diagnostique des points de mesure de qualité d'eau potable adoptés par la RADEEMA » qui consiste clairement à l'élaboration d'une carte de suivi de mesure de qualité, nous constatons que la RADEEMA a beaucoup de difficultés pour avoir ce type de carte, à cause des problèmes mentionnés au diagnostic tels que : les valeurs inacceptables non conforme aux normes, et le manque de remontée des données au BCC.... Etc, ce qui engendre une carte non représentative des valeurs des points de qualités.

Ci-dessous est un tableau qui résume les points forts et faibles de la solution actuelle :

Forces	Faiblesses
<ul style="list-style-type: none"> - Permet de mesurer les paramètres en temps réel - Mode d'alimentation secteur - Utilisation d'un logiciel open source - Intégration facile à la BCC - Caractères techniques des instruments satisfaisants - Garantie - Conformité aux normes - Sécurité des chambres de qualités situé à la RADEEMA 	<ul style="list-style-type: none"> - Manque d'entretien des instruments et de la maintenance planifiée - Les pannes de modems fréquentes - Pertes des ressources en eau - Manque de service après-vente - Mode de communication (modem GSM) - Nombre des points de qualités hors service est très élevé

Tableau 7: Points forts et faibles des points de qualité

Les points de qualités actuelles à la régie affrontent des difficultés face à leurs durabilités et leur fonctionnement, voici quelques problèmes observés durant notre stage :

Maintenance :

La maintenance et la surveillance et le nettoyage des appareils sont d'une importance capitale pour assurer leur bon fonctionnement et leur durabilité à long terme, et le manque de ces paramètres peut être dû à plusieurs raisons. Tel que le manque de ressources financières, humaines ou matérielles peut entraver la capacité à effectuer des activités de maintenance, de nettoyage et de surveillance régulières. Et si les responsables et le personnel ne sont pas suffisamment conscients de l'importance de la maintenance, du nettoyage et de la surveillance, ils peuvent ne pas accorder la priorité nécessaire à ces activités. Ensuit l'absence d'un plan de maintenance clair et d'un calendrier régulier, car sans une planification adéquate, les tâches peuvent être négligées ou oubliées, ce qui peut entraîner une accumulation de problèmes et des défaillances potentielles. Parfois, le manque de ces paramètres est simplement dû à de la négligence ou à la procrastination, et c'est parce que les opérations quotidiennes sont intenses et que les délais doivent être respectés, il peut être difficile de consacrer du temps et des ressources à la maintenance, au nettoyage et à la surveillance.

Dans notre cas, les appareils utilisés dans les points de qualité, nécessitent un entretien et une maintenance, cette maintenance peut être soit un étalonnage, un nettoyage ou un remplacement

des pièces de rechange ou de consommables à une fréquence qui varie d'un appareil à l'autre.
Par exemple :

Le turbidimètre actuellement utilisé, nécessite un changement des racleurs, des essuies glaces et un nettoyage la chambre de mesure....,

La chlorométrie l'électrolyte et les membranes doivent être changés chaque 60 jours...etc.

Ce manque de maintenance engendre des valeurs de mesures inacceptables, prenons l'exemple du point de qualité Arset Lmaach, la valeur de turbidimétrie qui apparait au BCC est 6,93, ainsi que JNANAT de valeur 15,59 NTU, et Agence Massira de valeur 6,31 NTU, et ça ne répond pas aux normes de qualité.



Figure 21: Valeurs de chlore et de turbidité avant maintenance

Gaspillage d'eau :

Le gaspillage d'eau est un problème majeur qui fait face à la RADEEMA. Car les échantillons sont prélevés par les capteurs automatiquement dans les points de qualité.

Ces échantillons d'eau sont prélevés pour effectuer des analyses de qualité, telles que la mesure du niveau de chlore, la détermination de la turbidité, etc. Ensuite les instruments utilisés pour effectuer ces analyses et prendre les valeurs, Après avoir effectué les mesures nécessaires, les échantillons d'eau ne sont pas réintroduits directement dans le réseau de distribution. Cela est dû à diverses raisons, telles que le mode d'installation, la présence de substances chimiques utilisées lors des analyses, donc ils sont généralement déversés dans le réseau d'assainissement liquide, qui est conçu pour traiter et gérer les eaux usées. Les échantillons sont introduits dans le réseau d'assainissement avec des débits importants allant jusqu'à 600 litres par jour. Cette pratique peut entraîner une perte significative d'eau, car les échantillons, une fois versés dans le réseau d'assainissement, sont perdus. Ainsi, une quantité d'eau importante est gaspillée à chaque utilisation des appareils de mesure.

Effectivement, en plus du gaspillage d'eau lié aux échantillons versés dans le réseau d'assainissement, il peut y avoir des points de qualité qui ne sont même pas connectés à ce réseau. Cela peut entraîner une perte supplémentaire d'eau précieuse.

Problème de communication :

La transmission des données nécessite un mode de communication qui fonctionne correctement. Et si tous les capteurs fonctionnent comme il faut et que la maintenance est strictement effectuée, la remontée des données au BCC ne sera pas possible sans la communication, et il sera difficile de suivre l'état des équipements et les valeurs de mesure d'eau.

Actuellement, à la régie, la transmission des données de valeurs de mesure est effectuée par la mise en place des modems GSM avec des adresses IP fixes, dans les sites désirés (les points de qualités) et dans le BCC, ce dernier reçoit les données de mesure transmises des sites chaque 10 minutes à travers le réseau de télécommunication de l'opérateur orange.

Pour l'instant, au BCC, il y a que deux points de qualité dont les valeurs remontent à la centrale : Jnante et Agence Arset Lmaach.

Cela est dû à plusieurs raisons :

- Le réseau peut avoir des difficultés comme l'affaiblissement du signal dû à l'emplacement du point de qualité ou même de l'opérateur, ce qui influence la remontée des données au BCC.
- Comme il est illustré dans la figure 18, l'armoire d'abri métallique absorbe la chaleur, ce qui réchauffe l'intérieur de l'armoire et la température dépasse les limites de fonctionnement du modem aboutissant à son dysfonctionnement.
- Le type d'alimentation utilisé dans tous les points de qualité est l'alimentation secteur, qui est couramment utilisée dans les points de qualité pour fournir l'énergie nécessaire au fonctionnement des modems et autres équipements. Lorsque l'alimentation secteur est interrompue, cela peut entraîner un dysfonctionnement du modem.

IV. SOLUTIONS :

Il s'avère que la carte de qualité existante au BCC ne soit pas adaptée à la télégestion et à la surveillance de la qualité de l'eau potable en raison de problèmes tels que des valeurs erronées ou une absence de remontée des données. Ces problèmes sont souvent causés par des interruptions de communication ou un manque de maintenance des points de mesure de qualité...

Les points de qualités qui émettent ses valeurs sont une solution qui est généralement efficace pour la mesure de qualité d'eau potable en temps réel. Cependant, ces points de qualité ne sont pas sans problèmes, et ces problèmes peuvent affecter la fiabilité de la surveillance, il est possible d'améliorer la surveillance de la qualité de l'eau et de garantir la sécurité de l'approvisionnement en eau potable.

Pour améliorer la supervision et le contrôle de la qualité de mesure d'eau potable on propose des modifications à effectuer sur la solution actuelle :

Premièrement, on suggère de changer les instruments de mesure utilisés dans les points de qualité, par des instruments qui se nettoient automatiquement ou nécessitent moins de maintenance, afin de minimiser les entretiens, on propose quelques marques tel que :

ENDRESS & HAUSER : C'est une entreprise fondée à Reinach en Suisse, Endress+Hauser est un fournisseur majeur d'appareils de mesure et de solutions d'automatisation pour les processus industriels. Ils produisent une gamme d'instruments d'analyse physico-chimique mesurant les variables de la qualité des liquides et des gaz, comme le pH/Redox, la conductivité, l'oxygène dissous, la turbidité, l'humidité, etc. Ils sont tous liés à un transmetteur qui affiche et enregistre les valeurs mesurées, celui-là est liée à l'API (automate programmable industrielle).

Endress and hauser présente un Transmetteur 1/2 voies Liquiline CM442, qui peut afficher jusqu'à 8 paramètres, avec deux capteurs à la fois qui peuvent être liés n'importe quelle combinaison, et transmettent des données à travers la communication : Profibus DP, Modbus RS485, Modbus TCP, Ethernet.

	Turbimax CUS52D	Capteur de chlore libre analogique CCS51	Sonde de pH analogique Ceratex CPS31
Composants	Le Turbimax CUS52D est un capteur destiné à la mesure de turbidité et de la concentration en MES dans les applications d'eau potable et d'eaux de process	CCS51 est un capteur de chlore libre pour les fabricants de skids et les utilisateurs finaux	Capteurs de pH pour l'eau potable
Maintenance	Nettoyer le capteur	Nettoyage du capteur nettoyer le corps du capteur Remplir la cartouche à membrane d'électrolyte frais	Nettoyer le capteur
Plage de mesure	0.000 à 4000 FNU	0 à 5 mg/l HOCl Standard : 0 à 20 mg/l HOCl	pH 1 - 12
Précision	2 % de la valeur mesurée	±2 % ou ±5 µg/l (ppb) de la valeur mesurée	—
Étalonnage	Récipient d'étalonnage pour capteur de turbidité	—	—
Raccordement	Raccord de clamp 2 capteur avec clamp	Chambre de passage Flowfit CCA151	—
Température de fonctionnement	-20 to +60 °C version plastique Version inox : -20 à 85°C	0 à 55 °C	0 - 80 °C
Débit		Reste stable pour un minimum de 5 l/h	—
Pression de fonctionnement	Version plastique : 0,5 à 6 bars Version inox : 0,5 à 10 bars	Si le produit est réintroduit dans un bassin de débordement, une conduite ou autre, la contre-pression résultante sur le capteur ne doit pas dépasser 1 bar	—
Mode d'alimentation	Connecteur M12	—	
Communication	—	—	Modbus TCP, Ethernet 0/4...20 mA HART, PROFIBUS DP Modbus RS485/RTU, Modbus TCP

Tableau 8: Fiche technique de ENDRESS+HAUSER (ENDRESS AND HAUSER, informations techniques)

S::CAN : Scan est une entreprise basée en Autriche, et fournit des appareils de mesure du débit et divers paramètres de qualité d'eau. Elle présente divers capteurs tels que pH::lyser, condu::lyser, chlori::lyser ... qui peuvent être utilisés séparément ou intégrés à la sonde pour mesurer des paramètres additionnels. Le transmetteur con::cube peut afficher 4 paramètres à la fois, il s'alimente avec 10 à 36 VDC et fonctionne dans l'intervalle de température -20 à 50 °C et communique les données avec Ethernet, Modbus RS485, Profibus...



Figure 22: Sonde multiparamétrique de S::CAN (AQUATIC LIFE)

PIPE::SCAN	
Composants	Système capteurs multiparamétrique
Maintenance	Nettoyage automatique par pression d'air et 6 mois sans maintenance
Plage de mesures	Turbidité : min. 0, max. 800 NTU, chlore total : min. 0, max. 2 mg/l, PH : min. 4 max 10, conductivité [S/cm] : 0-5000
Précision	—
Étalonnage	—
Raccordement	Sangle de pipe Hawle sur conduite de 80mm à 600mm
Température de fonctionnement	0 ... 40 °C
Débit	L'eau est repompé dans la conduite
Pression de fonctionnement	1 ... 10 bars
Mode d'alimentation	Via con::cube, puissance conso. (Max.) 35 W 24 VDC
Communication	Les données sur la qualité de l'eau peuvent être envoyées à n'importe quelle base de données centrale via presque n'importe quel protocole.

Tableau 9: Fiche technique de S::CAN (MAIRAV)

EFS : est un concepteur et fabricant des équipements industriels performants dans plusieurs domaines (Energie, chimie, automobile, eau...) basé en Lyon, France.

I-cense est leur solution de surveillance de qualité d'eau potable en temps réel, permettant de mesurer 6 paramètres en un seul point, avec des mesures fiables, une mesure toute les 5 minutes et 1 transmission/jour et une faible maintenance. Elle a un transmetteur intégré avec une durée de vie de piles de 1 an, une température de fonctionnement 0 - 40 °C et un mode d'émission des données 4G, NB-Iot et LTE-M.



Figure 23: Sonde multiparamétrique I-CENSE (Solar impulse foundation)

I-CENSE	
Composants	Sonde multiparamétrique
Maintenance	Elle permet le fonctionnement en continu sans nettoyage
Plage de mesure	Chlore libre : 0 à 5 mg/l, Turbidité : 0 à 50 NTU, Conductivité : 0 à 2000 μ S Pression : 0 à 20 bars, Température : 0 °C à +40 °C Débit : 0 à 2 m/s - Le débit dépend de la section de la conduite
Précision	Chlore libre \pm 0, 05 mg/l ou 0,5 %, Turbidité \pm 0, 05 NTU Conductivité \pm 0, 5 % de la valeur lue ou \pm 5 μ S, Pression \pm 0, 5 % de la valeur lue ou 0,05 bar, Température \pm 0, 3 °C, Débit 1 %
Étalonnage	Sans calibration
Raccordement	Directement sur la conduite
Température de fonctionnement	0 - 40 °C
Débit	—
Pression	—
Mode d'alimentation	Pack piles ou alimentation externe 9-18V DC
Communication	Une sortie RS 485 + transmetteur

Tableau 10: Fiche technique de I-CENSE (Solar Impulse foundation)

D'après le diagnostic effectué sur les points de qualités de la RADEEMA, on était capable d'établir des critères de choix des instruments pour assurer qu'ils seront compatibles avec la situation à RADEEMA :

ASPECT TECHNIQUE :

Maintenance :

- **Entretien/maintenance préventive** : Certains appareils nécessitent un entretien régulier, c'est une maintenance pour réparer, nettoyer et configurer les appareils avant qu'elles ne tombent en panne. L'entretien régulier des équipements permet de prévenir tous les dysfonctionnements, donc la meilleure façon de conserver les instruments, est de suivre les recommandations du fabricant. Il est favorable que la maintenance soit automatique.
- **Disponibilité de pièces de rechange** : Elle dépend de l'âge et de la marque de l'instrument. Plus l'appareil est plus il est possible d'avoir des pièces de rechange, Il est important de prendre en compte la disponibilité de pièces de rechange, donc avant l'achat de l'instrument il faut contacter le fournisseur concernant cela.
- **Disponibilité des réactifs et facilité de les préparer** (solutions de référence, Formazine...).

Mode d'alimentation : Le choix d'un mode d'alimentation est limité par la localisation du point de qualité, et les instruments utilisés. Le plus facile à trouver et alimenter est le réseau électrique, mais si le point de qualité se trouve dans une région où le réseau électrique n'est pas installé, cela exigera des coûts supplémentaires pour l'installer.

Il existe plusieurs modes d'alimentation :

- Alimentation secteur
- Batteries
- Energie solaire
- Energie thermique ... etc.

Il faut prendre en considération aussi la consommation d'énergie économisée et le câblage.

Type de raccordement sur conduite d'eau potable : Les instruments actuellement utilisés dans les points de qualité de la RADEEMA, nécessitent un raccordement sur les conduites d'eau pour la prise des échantillons, le raccordement diffère selon le type de conduite (PVC, béton armé, acier, ciment, fonte grise, fonte ductile...)

Il est favorable que l'instrument se raccorde directement sur la conduite, il faut prendre en considération le diamètre des clamps utilisés.

Mode d'étalonnage : Tout d'abord, l'étalonnage des appareils de mesures est important car il faut respecter les exigences de la norme de systèmes de qualité, ensuite pour vérifier que les résultats de mesures sont fiables.

Le turbidimètre nécessite un étalonnage par la Formazine (CH₂N₄), qui est une substance fréquemment utilisée car elle forme des suspensions stables qui dispersent la lumière de façon prévisible. Le conductimètre est étalonné chaque 60 jours par l'utilisation d'une solution de référence.

Il faut prendre en compte la facilité et la fréquence d'étalonnage.

Compacité : c'est-à-dire l'espace utilisé par cet instrument doit être favorablement réduit.

Mode de communication : Les instruments sont liés à un enregistreur-transmetteur, pour afficher les valeurs mesurées et les transmettre à la centrale. Il est équipé d'une carte mémoire qui enregistre les valeurs mesurées. On distingue deux modes de transfert de données :

- Temps réel
- Accumulation des données

Il faut prendre en considération la compatibilité entre les instruments de mesure et s'assurer que l'instrument peut s'intégrer facilement à votre système de collecte et d'analyse de données (le BCC).

Sécurité : Protection des données, protection des appareils (courts circuits, corrosion...)

Mode d'installation : Installation en site ou préfabriquée

Fonctions avancées : Fonctions comme alarmes et détection de fuite

Paramètres de mesure :

- Plage de mesure : La plage de mesure est l'intervalle des valeurs d'un capteur dans lequel l'objet à mesurer doit se situer afin de donner des données acceptables, la plage de mesure doit être conforme avec les normes données, par exemple : le turbidimètre avec une plage de mesure 0,0001 à 1 000 FNU et Le chloromètre 0,0 à 200,0 µS/cm
- La précision : une précision élevée est particulièrement importante pour les mesures de qualité de l'eau, car de petites variations peuvent avoir un impact significatif.

ASPECT ENVIRONNEMENTAL :

Gaspillage d'eau : Les échantillons sont déversés, après la mesure, dans le réseau d'assainissement, c'est-à-dire une certaine quantité de litres d'eau potable est épuisée chaque jour, notamment le turbidimètre utilisé reçoit un minimum de débit de 0.2l/min (288 litres par jour), le chloromètre avec un débit minimal de 40 l/h.

Les instruments favorables sont ceux qui mesurent directement sur la conduite, sans gaspillage d'eau.

Environnement de l'instrument : Tout ce qui est autour de l'instrument et peut l'endommager.

- **Température ambiante :** Chaque instrument a une température de fonctionnement et de stockage (pour le chloromètre elle varie entre 0 et 45°C, pour le turbidimètre elle varie entre 2 et 40°C), donc pour le choix de l'instrument il faut soit choisir celui qui a une température conforme avec celle qui existe auparavant aux chambres de qualité, soit fournir la température convenable à l'instrument.
- **Humidité :** la protection contre l'humidité, par exemple des instruments qui disposent des sachets déshydratants.

ASPECT FINANCIÈRES :

Considérer un budget disponible pour l'achat et l'entretien de l'instrument. Comparer les coûts initiaux, les coûts des consommables (les électrodes ou les réactifs), les frais de maintenance et les coûts liés à l'étalonnage ou à la certification.

- Coûts de maintenances
- Prix d'équipement
- Prix de livraison
- Frais d'installation
- Rapport qualité-prix

ASPECT RÉGLEMENTAIRE :

Conformité aux normes : Les instruments utilisent des méthodes de mesures conformes aux normes.

Accréditations des fournisseurs : Pour choisir un instrument, il faut choisir les fournisseurs les plus accrédités, certifiés et les plus connus mondialement.

Les accréditations /certifications qu'il faut chercher pour assurer la meilleure qualité du matériel : CE, FCC, EPA : (Environmental Protection Agency), NEMA : National Electrical Manufacturer Association...

ASPECT RELATION CLIENT-FOURNISSEUR :

Le service après-vente est le support fourni par une entreprise aux clients après avoir acheté un produit, il englobe le service client, le service de garantie, service de réparation, le retour et les échanges. C'est une méthode pour les entreprises et les vendeurs de gagner des clients fidèles. Il faut prendre en considération l'exclusivité d'intervention du fournisseur, c'est-à-dire si l'installation des instruments nécessite l'intervention des fournisseurs.

Deuxièmement, la maintenance est un problème majeur en ce qui concerne le suivi de la qualité. Les valeurs mesurées peuvent varier considérablement en raison de problèmes de maintenance. Par exemple, à Arset Lmaach, la valeur affichée au BCC est de 6,93 NTU, mais après un nettoyage rapide effectué par un technicien, la valeur diminue à 0,41 NTU, ce qui respecte les normes. Pour résoudre ce problème, il est important de renforcer une maintenance préventive planifiée. Cela implique de mettre à disposition des équipes responsables du suivi de la qualité des ressources suffisantes pour assurer la maintenance régulière des instruments. Il est recommandé de demander au propriétaire de la solution d'exclusivité de bénéficier de formations spécialisées en matière de mise en marche, de maintenance et d'entretien du produit. Cela permettra d'acquérir des compétences adéquates pour gérer les instruments.

Il est essentiel de capitaliser le savoir-faire relatif à la maintenance des équipements spécifiques de mesure de qualités et s'accoutumer à leur utilisation, et capitaliser le savoir-faire relatif à l'analyse des données issue de ces équipements spécifiques de mesure de qualités et faire un jugement sur la fiabilité et la précision des valeurs ainsi que la relations avec les opérations d'étalonnage et de maintenance.

Troisièmement, L'eau est une ressource précieuse et limitée, Il est donc essentiel de prendre des mesures pour réduire le gaspillage d'eau afin de préserver les ressources en eau, les écosystèmes et l'environnement dans son ensemble. Cela peut être réalisé par l'adoption des pratiques de gestion d'eau efficaces, Pour minimiser ce problème nous proposons :

- Un investissement aux appareils de mesure montés directement sur la conduite, tel que les sondes qu'on a proposé (**PIPE::SCAN, I-CENSE**), permet a la RADEEMA d'améliorer la surveillance et la gestion de la qualité de l'eau, il parvient aussi à ne pas gaspiller l'eau et assurer une utilisation plus efficace des ressources hydriques. Cela

contribuera à renforcer la fiabilité de la fourniture d'eau potable et à promouvoir la durabilité environnementale dans les zones desservies par la RADEEMA.

- Si la RADEEMA ne considère pas la première suggestion on peut proposer de choisir des appareils plus avancés et avec un débit inférieur à ceux actuellement utilisés, pour réduire la quantité d'eau nécessaire pour effectuer les mesures. Cela peut être particulièrement bénéfique dans les cas où les débits élevés ne sont pas nécessaires ou appropriés, qui offre une gestion plus responsable des ressources hydriques. Par exemple, (**ENDRESS & HAUSER**).
- Une autre suggestion dans le cas où l'on travaille à prendre en considération la deuxième proposition, qui permet d'éviter de vider le rejet d'eau dans le réseau d'assainissement, et de construire des bassins pour collecter l'eau, et de l'utiliser dans l'irrigation, La mise en œuvre de cette proposition nécessiterait une collaboration étroite entre la RADEEMA et les agriculteurs.

Quatrièmement, en plus d'un service de maintenance et des nouveaux appareils et afin de garantir une transmission de données fluide et continue, essentielle pour la surveillance de la qualité de l'eau potable, nous avons identifié plusieurs suggestions :

- Utiliser des amplificateurs de signal mobile peut certainement améliorer la qualité de transmission des données en renforçant le signal dans les zones de faible couverture.
- L'installation de panneaux isolants de chaleur sur les armoires d'abri peut aider à prévenir la surchauffe des modems, ce qui est essentiel pour maintenir une communication stable.
- En ce qui concerne le protocole de communication, MODBUS est un choix populaire et fiable et moins susceptible de tomber en panne. Il fonctionne selon le principe de maître/esclave, où le LPC (Logiciel de Programmation des Centrales) transmet des signaux électriques codés contenant des informations ou des actions demandées aux esclaves, qui peuvent être des vannes, des serveurs, des API ou des instruments de mesure. Pour assurer le bon fonctionnement du protocole MODBUS, il est recommandé d'utiliser la communication RS-485. Ce protocole permet de relier jusqu'à 32 appareils en utilisant une topologie en bus.

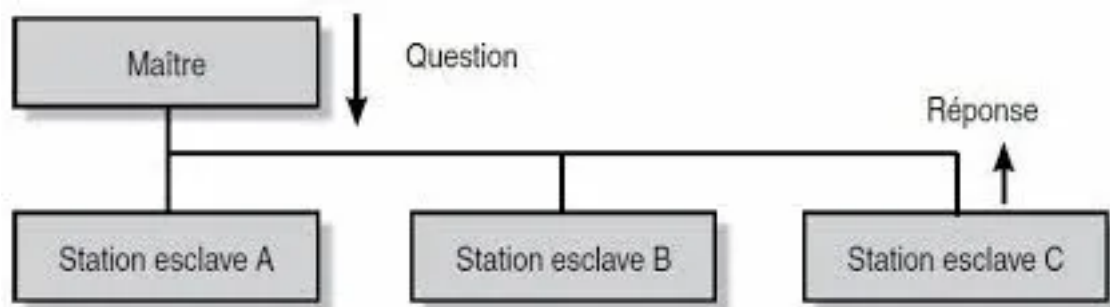


Figure 24: Fonctionnement Modbus (VOLTEBOX)

Conclusion :

Après un diagnostic approfondi et l'identification des points forts et faibles de la solution actuelle, nous avons observé que les solutions pour assurer le bon fonctionnement de ces points de qualité sont relativement réalisables, afin d'établir une carte de suivi de qualité permettant de suivre les valeurs d'eau potable en continu.

CONCLUSION GENERALE :

La distribution d'eau potable est un processus essentiel qui nécessite une approche rigoureuse pour garantir la sécurité et la qualité de l'eau fournie aux consommateurs. La RADEEMA reconnaît l'importance de cette responsabilité et met en œuvre des méthodes et des normes spécifiques pour assurer un suivi efficace de la qualité d'eau tout au long du réseau de distribution. Pour assurer le suivi de la qualité d'eau potable, la RADEEMA utilise deux méthodes : premièrement, les laboratoires d'analyses de qualité d'eau potable (Sidi Moussa) qui prennent des échantillons quotidiennement pour effectuer des analyses physico-chimiques (la turbidité le chlore, le pH, l'Ammonium, le titre Alcalimétrique complet...) et les analyses biologiques (la recherche de *Escherichia coli*, les germes revivifiables et les coliformes). Deuxièmement, les unités de point de qualité installées à des emplacements stratégiques tels que les extrémités du réseau de distribution, les zones susceptibles de fuites ou d'être contaminés et les zones du haut profil comme les palais et les hôtels qui accueillent les personnes importantes. Les échantillons d'eau sont prélevés régulièrement par des raccordements sur les conduites de distribution d'eau potable, ensuite soumis à des tests pour évaluer différents paramètres tels que la turbidité, le pH, le chlore et la conductivité.

Après avoir analysé la composition et la fonction des unités de point de qualité utilisées dans le réseau, l'étape suivante consiste à une étude d'instauration d'une carte de suivi de qualité pour le réseau d'eau potable visant à améliorer la surveillance et la gestion de la qualité de l'eau. Un diagnostic approfondi de la situation actuelle a été effectué, en visitant quelques points de qualités sur le réseau de distribution d'eau potable et sur les réservoirs, où nous avons collecté les informations nécessaires pour bien savoir la situation actuelle à la RADEEMA. Puis en analysant de manière critique les instruments et la solution utilisées, on propose des solutions techniques qui permettent de garantir le bon fonctionnement des points de qualité et aboutit à l'établissement d'une carte de suivi de qualité fiable pour surveiller en continu les paramètres importants.

La première étape consiste à améliorer l'entretien et la maintenance des instruments de suivi de la qualité de l'eau. Les nettoyer et les réparer si nécessaire. Un suivi attentif permettra de garantir que les instruments fonctionnent de manière optimale et fournissent des données précises.

En parallèle, il est important de prendre des mesures pour résoudre les problèmes liés aux pannes fréquentes des modems de communication. La réduction des pertes d'eau est un autre aspect crucial à considérer. Il est important de fournir un support technique solide et réactif pour résoudre rapidement les problèmes liés aux instruments de suivi de la qualité. Cela peut nécessiter la formation du personnel technique. Aussi l'intégration de nouveaux modes de communication peut améliorer la fiabilité et la rapidité de transmission des données entre les instruments de suivi de la qualité et le bureau central de commande.

Enfin, Pour un fonctionnement relativement satisfaisant des appareils des points de qualité, il faut tout d'abord assurer un changement primordial de mode d'opération de surveillance et de contrôle de qualité de l'eau ainsi que prendre en considération toutes les solutions étudiées , Et comme proposition supplémentaire, la sonde multiparamétrique (PIPES::CAN) après l'analyse de leur fiche technique qui est plus au moins convenable aux critères pour le bon choix d'un appareil, il est très utile pour éviter tous les problèmes vu qu'il se caractérise par l'absence du gaspillage de l'eau, une installation qui se fait directement sur la conduite, Requiert une maintenance minimale (changement annuel des membranes et un nettoyage automatique par l'air comprimé), réduction des pièces de rechanges (Électrolyte et membrane Chlore total), la transmission des données à travers n'importe quel protocole de communication et la facilité d'utilisation des instruments c'est-à-dire Toutes les méthodes de fonctionnement et de configuration sont bien expliquées et illustrées dans le manuel d'utilisation , Par conséquent, nous pouvons le considérer parmi les meilleures suggestions possibles.

En mettant en œuvre ces solutions, il est possible d'établir une carte de suivi de qualité solide qui permettra de surveiller en continu les valeurs de l'eau potable dans le réseau de distribution. Cela garantira un contrôle plus précis de la qualité d'eau, une détection plus rapide des problèmes et une prise de décision éclairée pour assurer la distribution d'eau potable de qualité aux consommateurs.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AQUATIC LIFE, Juillet 2019. “The pipe::scan – Overview”

Eau potable, s. d. « une qualité au goût des marrakchis, et conformes aux normes internationales ». www.radeema.ma.

ENDRESS & HAUSER, Juin 2020. « Information technique Turbimax CUS52D ».

ENDRESS & HAUSER, Mars 2013. « Manuel de mise en service de Liquiline CM442 ».

ENDRESS & HAUSER, Mars 2020. « Information technique Memosens CPS31D et Ceratex CPS31 ».

ENDRESS & HAUSER, Septembre 2018. « Information technique CCS51. »

Formation en Hydraulique Urbaine, Génie Civil et SIG, 8 décembre 2019. “Équipements du réseau de distribution de l'eau potable”.

HACH LANGE, 2020. « DOC023.53.03231 », édition 8.

HACH LANGE, 2020. « DOC023.97.80087 », édition 2020.

HACH LANGE, 2023. « DOC023.9880079 », édition 9.

Institut marocain de normalisation (IMANOR), 2022. PNM 03.7.002, « Projet de Norme marocaine », Comité national de normalisation des eaux potables.

Laboratoire SIDI Moussa d'analyse de qualité d'eau potable, 2018. « Mode opératoire des paramètres mesurés ».

La régie autonome de distribution d'eau et d'électricité Marrakech (RADEEMA), 2015. « Rapport d'activités ».

La régie autonome de distribution d'eau et d'électricité Marrakech (RADEEMA), 2018. « Rapport de gestion ».

Mr KHELIF Abdelkrim, 2019/2020. « Équipements de protection des réseaux », cours du module TCER.

« Normes de Qualité », 2007. Secrétariat d'état auprès du ministère de l'énergie des mines de l'eau et de l'environnement chargé de l'eau et de l'environnement. www.eau-tensift.net

L'EAU L'INDUSTRIELES NUISANCES, 08 novembre 2022. « Sonde autonome de surveillance de la qualité de l'eau sur les réseaux d'eau potable I-CENSE », Paru dans le N°4552.

REAL PARS, Décembre 2018. "What is Modbus and How does it Work?".

Steve Allgeier, Victoria Berry, Sara Miller, et al. Mai 2018. "Guidance for Building Online Water Quality Monitoring Stations", United States environmental protection agency (EPA).