

Licence Sciences et Techniques (LST)

GENIE CHIMIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

**Le suivi chronologique des paramètres pH et conductivité
par établissement des cartes de contrôle**

Présenté par :

◆ Mlle Baabou Chaimae

Encadré par :

◆ Mme .Ouazzani Rachida (radeef)

◆ Pr. Kandri Rodi Youssef (FST)

Soutenu Le 8 Juin 2021 devant le jury composé de :

- Pr Kandri Rodi Youssef

- Pr Bouayad Abdelouahed

- Pr Bouayad Abdessalam

Stage effectué à ... la RADEEF

Année Universitaire 2020 / 2021

REMERCIEMENT

Je souhaite remercier, en premier temps, Mr Hanafi Aboukir le directeur général de la RADEEF, Mr Bahbah le chef de département sécurité qualité et environnement, Mme G. Farés chef de division contrôle qualité, Mme. N. Atmani chef de service qualité des eaux.

Je tiens à remercier aussi mes encadrantes externe, et plus particulièrement Mme. Ouazzani rachida, vous m'avez fait un grand honneur en me confiant ce travail, je vous exprime ma profonde gratitude, j'ai été très motivé par vos qualités de travail et vos compétences professionnelles qui m'ont beaucoup servi, ainsi que par l'effort que vous avez déployé pour la réalisation de ce rapport, veuillez trouver ici, l'assurance de ma reconnaissance et mon grand respect.

Je souhaite remercier, toute l'équipe pédagogique de la faculté des sciences et techniques de Fès et particulièrement mon encadrant Mr kandri Rodi Youssef, ainsi que les intervenants professionnels responsables, pour avoir assuré la partie théorique de ma formation.

Hommages respectueux et sincères au staff technique du laboratoire de contrôle qualité des eaux de la RADEEF Mme O. Saïdi et Mme Z. El Mekki, elles m'ont toujours réservées un accueil chaleureux. je vous exprime ma profonde gratitude.

Enfin, je tiens à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE LA R.A.D.E.E.F	
I. Historique.....	2
II. Laboratoire contrôle qualité des eaux.....	2
1) Activités du laboratoire de la RADEEF.....	2
2) L’organigramme du laboratoire	3
III. Généralité sur l’eau.....	4
CHAPITRE 2 : CONTROLE DE QUALITE DES EAUX POTABLE :	
▪ Echantillonnage	5
▪ Types d'analyses effectuées par le laboratoire.....	6
1) Analyses organoleptiques.....	6
1-1) Le Gout.....	6
1-2) L'Odeur.....	7
1-3) La Couleur.....	8
2) Analyses physiques.....	8
2-1) Température.....	8
2-2) Potentiel hydrogène: pH.....	9
2.3) Conductivité.....	9
2.4) Turbidité.....	10

3) Analyses Chimiques.....	11
3.1) Demande en chlore.....	11
3-2) Détermination de degré chlorométrique de l'eau de javel.....	13
3-3) Dosage des ions.....	14
a) Chlorure.....	14
b) Nitrite	14
c) Nitrate	16
d) Ammonium.....	16
e) Sulfate.....	17

CHAPITRE III : LES CARTES DE CONTROLES CONDUCTIVITE ET pH

1) Généralité	19
1-1) Définition.....	20
1-2) Objectif.....	20
1-3) Nature des cartes de contrôle	20
1-4) Construction d'une carte de contrôle	21
a) Principe.....	21
b) Modalité de prélèvement des échantillons.....	21
c) calcul des moyennes et étendu	22
d) calculs des limites de contrôle	22
2) Etablissement des cartes de contrôle des paramètres Conductivité et pH	
→ Etude expérimentale.....	23
a) Conductivité.....	23
b) Potentiel d'hydrogène pH.....	27
CONCLUSION.....	30

INTRODUCTION

L'eau est sans doute le plus précieuse sur terre, l'usage de l'eau à des fins alimentaires ou d'hygiène corporelle nécessite une excellente qualité physico-chimique, et bactériologique.

L'eau distribuée par réseaux constitue un des produits alimentaires les plus contrôlés en la wilaya de Fès. Ces contrôles sont réalisés depuis son origine jusqu'au robinet. L'eau de distribution doit répondre aux exigences de qualité. Ainsi, elle ne doit contenir aucun micro-organisme, aucun parasite, aucune substance constituant un danger potentiel pour la santé des personnes ; elle doit également être conforme vis-à-vis d'un ensemble de normes de potabilité.

L'eau distribuée à Fès provient des eaux de surface d'oued Sebou et des forages. Ces eaux sont traitées par l'ONEE, en suite acheminées dans des conduites jusqu'au réservoir de stockage de la RADEEF, qui est responsable de leurs distribution.

Dans le cadre de mon stage de fin d'étude de licence en génie chimique, j'ai été accueillie pendant sept semaines à la RADEEF. Au Département Exploitation Eau et Assainissement, dans le laboratoire contrôle de qualité des Eaux potables. Mon travail fut d'établir le suivie chronologique des paramètres **conductivité** et **pH** par établissement des cartes de contrôle.

- Dans le premier chapitre : présentation de la RADEEF
- Dans le deuxième chapitre : contrôle de qualité d'eau potable
- Dans la troisième chapitre : les cartes de contrôle de conductivité et pH

Et je termine par une conclusion et perspective.

CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE LA RADEEF

I. HISTORIQUE :

La Régie Autonome intercommunale de Distribution d'Eau et d'Electricité de la wilaya de Fès (RADEEF) est un établissement public à caractère industriel et commercial. Elle a été créée en 1969 par le conseil principal pour succéder une compagnie française du temps de protectorat pour la distribution d'électricité et d'eau potable en 1970 à partir de OUAD SEBOU.

II. LABORATOIRE CONTROLE QUALITE DES EAUX :

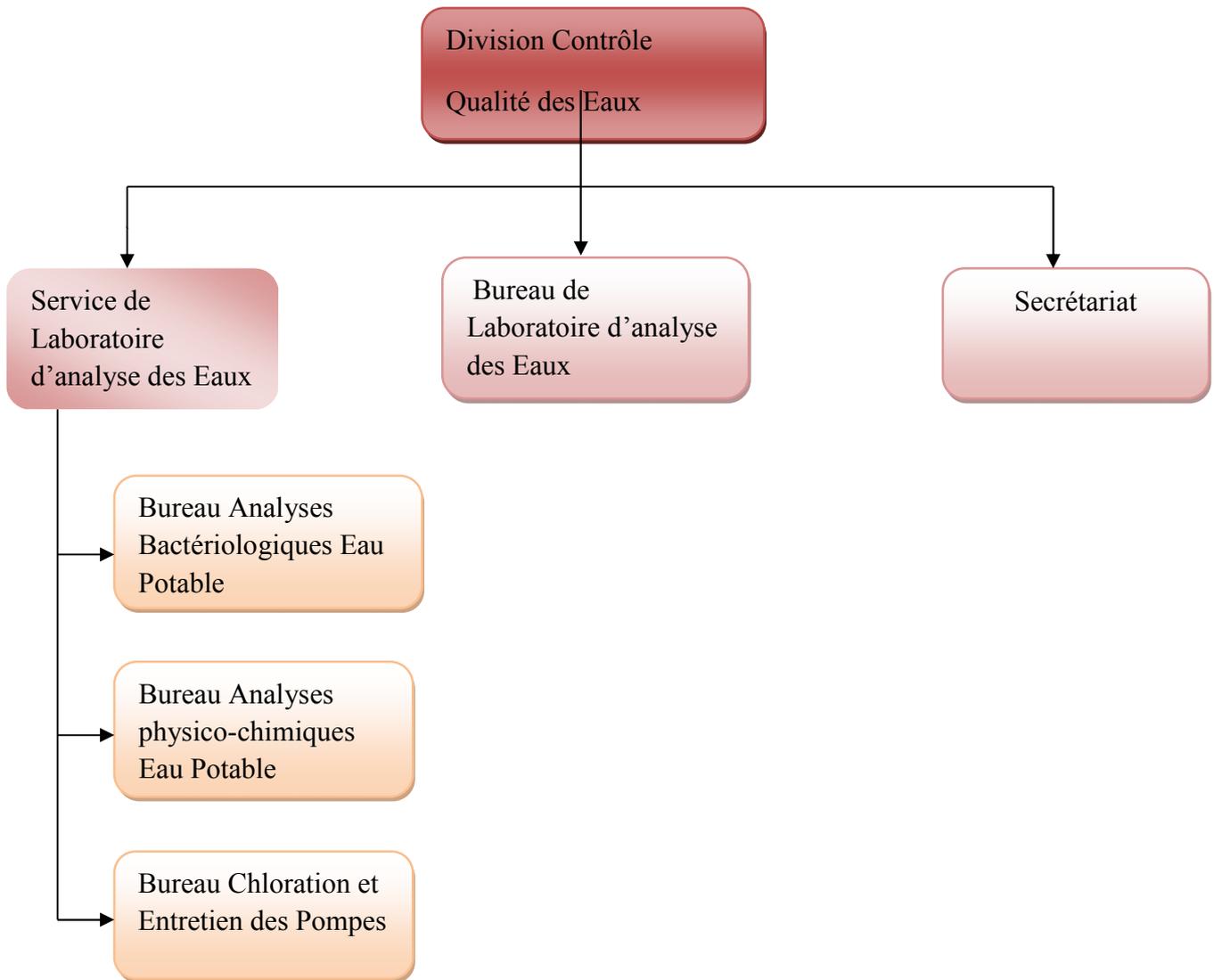
Le laboratoire a été créé en 1976 au siège de la RADEEF puis il fut transféré près du réservoir sud West en janvier 1993. Il a pour but d'assurer que l'eau du robinet ne présente aucun risque pour la santé du consommateur.

1) Activités du laboratoire de la RADEEF :

Le laboratoire de la RADEEF est responsable de la qualité de l'eau de distribution, il se charge de :

- ✚ Contrôler le chlore résiduel sur l'ensemble du réseau.
- ✚ Réaliser les enquêtes de qualité d'eau, suite aux réclamations des abonnés.
- ✚ Contrôler les opérations de nettoyage des réservoirs effectuées par les services d'exploitation du réseau.
- ✚ La préparation de réactif chimiques et des milieux de culture bactériologiques.

2) L'organigramme du laboratoire :

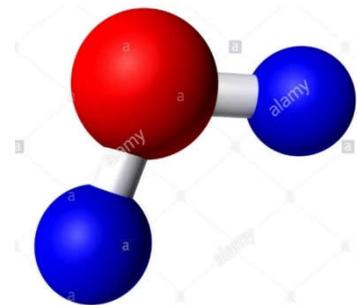


III. Généralité sur l'eau :

L'eau est un composé chimique ubiquitaire sur la Terre, essentiel pour les organismes vivants. C'est le milieu de vie de la plupart des êtres vivants. Elle se trouve en général dans son état liquide et possède à température ambiante des propriétés uniques : c'est notamment un solvant efficace pour beaucoup de corps solides trouvés sur Terre.

1) Composition chimique :

La molécule d'eau, de formule H_2O , est le constituant essentiel de l'eau pure. Celle-ci contient également des ions résultants de l'autoprotolyse de l'eau selon l'équation d'équilibre :



2) Propriétés physico-chimiques :



Formule : H_2O

Point d'ébullition : $99,98\text{ }^\circ\text{C}$

Masse molaire : $18,01528\text{ g/mol}$

Densité : $1000,00\text{ kg/m}^3$

CHAPITRE 2 : CONTROLE DE QUALITE DES EAUX POTABLE

○ Introduction:

Une eau dite potable quand elle satisfait à un certain nombre de caractéristique la rendant propre à la consommation humaine ; la qualité des eaux distribuées est définie par des normes. Ces normes précisent les références de la qualité à respecter pour un certain nombre de paramètre. Ces paramètres de qualité sont regroupés en 3 catégories :

- ♥ Paramètres Organoleptiques
- ♥ Paramètres Physico-chimiques
- ♥ Paramètres Bactériologiques

○ Échantillonnage:

Les échantillons sont prélevés dans des bouteilles en polyéthylène ou en verre, les analyses doivent être faite dès que possible au maximum **24H** après la prise d'échantillon et **conservés** entre **2 et 5°C** jusqu'au analyse.

Paramètres physico-chimiques	Paramètres microbiologiques
<ul style="list-style-type: none">• Les échantillons d'eau doivent être prélevés dans des récipients propres, rincés plusieurs fois avec l'eau à analyser, et fermés hermétiquement sans laisser de bulles d'air dans les flacons.• Les paramètres physiques (pH et Conductivité) sont mesurés à des températures entre 20°C et 25°C.	<ul style="list-style-type: none">• Les échantillons pour les analyses bactériologiques sont conservés dans des flacons stériles.• Une fois les prélèvements effectués, les flacons sont étiquetés et placés dans une glacière à l'abri de la lumière et à une température de 4°C.• L'objectif est d'obtenir un échantillon aussi représentatif que possible de l'eau à examiner, sans contaminer ni modifier l'échantillon.

→ Avant de procéder au prélèvement de l'eau, il faut laver les mains soigneusement et les rincer avec de l'alcool et flamber le robinet par une lampe à souder portative au gaz. En suit le flacon est rempli d'eau tout en laissant la lampe près du robinet.

Il y a des types d'analyses physico-chimiques déterminées par la norme marocaine selon l'endroit d'où on prélève les échantillons :

- T₁C et T₁R sont réalisées sur les échantillons prélevés de l'intérieur du système (réseau de distribution de l'eau potable).
- T₂C et T₂R sont réalisées sur les échantillons prélevés de l'entrée du système (réservoir).

T ₁ R et T ₂ R	Température, pH, Conductivité, Turbidité.
T ₁ C	Température, pH, Conductivité, Turbidité, Nitrates, Nitrites, Ammonium.
T ₂ C	T ₁ C plus le dosage des sulfates et des chlorures.

1) Analyses organoleptiques :

Les paramètres organoleptiques sont les propriétés de l'eau telles que couleur, odeur, et le gout qui sont perceptibles par les organes sensoriels. Ces critères n'ont pas de valeur sanitaire directe.

1-1) Le gout :

Le gout peut être défini comme l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçue par les organes gustatifs lorsqu'ils sont en contact avec l'eau à tester.

❖ Principe

L'eau à examiner est diluée par une eau sans gout "dite eau de référence" jusqu'à ce qu'elle ne présente plus de gout perceptible.

❖ Réactif

Eau de référence : eau préparée en faisant passer de l'eau potable ou de minéralisation voisine de celle à tester, sur charbon actif en grains à un débit maximale de 10 l/h. Cette eau doit être préparée extemporanément.

1-2) L'odeur:

❖ Définition :

L'Odeur peut être définie comme :

- L'ensemble des sensations perçues par l'organe olfactif en flairant certaines substances volatiles.
- La qualité de cette sensation particulière provoquée par chacune de ces substances.

❖ Principe :

L'eau à examiner est diluée jusqu'à ce qu'elle ne présente plus d'odeur perceptible.

❖ Réactif :

Eau désodorisée : préparé en faisant passer de l'eau potable sur une colonne de charbon actif en grains, non saturé à un débit maximum de 10 L/h, cette eau doit être préparé quotidiennement.

1-3) La couleur:

❖ Définition :

- Couleur réelle : C'est la couleur due aux substances en solution dans l'eau.
- Couleur apparente : C'est la couleur due aux substances en solution et aux substances en suspension dans l'eau.

❖ Principe :

Comparaison visuelle de la coloration d'un échantillon à celle de témoins, et expression des résultats en unités de coloration HAZEN.

2) Analyses physiques :

2-1) Température :

La température influe sur la solubilité et l'ionisation des substances coagulantes, sur le changement du pH et de conductivité, et permet aussi la connaissance de l'origine des eaux, après le prélèvement de l'eau la mesure de la température s'effectue sur le terrain à l'aide d'un thermomètre.

Les paramètres physiques étudiés au laboratoire sont : le pH, la conductivité et la turbidité.

-Le **pH** et la **Conductivité** sont généralement mesurés à des températures entre 20 et 25°C.



Thermomètre

2-2) Potentiel hydrogène pH:

Le terme pH est la concentration d'ions hydrogène dans une solution, c'est un facteur d'investigation de l'acidité ou de l'alcalinité d'une eau.

La mesure de pH se fait par pH-mètre étalonner, cette mesure basée sur la détermination de l'activité des ions hydrogène en utilisant deux électrodes ; une électrode hydrogène et une électrode de référence.

- ♥ La valeur du **pH** doit être acceptable et comprise entre **6,5 < pH < 8,5**.



pH-mètre

2-3) Conductivité;

La conductivité électrique de l'eau représente la propriété d'une solution de conduire le courant électrique, en fonction de la quantité des ions présents dans l'eau.

La conductivité de l'eau est un test facile à réaliser, qui informe sur la qualité de l'eau ; ce test est une manière de suivre les changements de la composition d'ions dans une eau potable, en utilisant un conductimètre. Les valeurs de la conductivité sont mesurées en Micro Siemens par Cm ($\mu\text{S}/\text{Cm}$).

→ En générale la conductivité ne doit pas dépasser **2700 $\mu\text{S}/\text{cm}$**



-Conductimètre

2-4) Turbidité :

Principe : méthode néphélométrique, le faisceau lumineux traverse horizontalement la cuvette contenant l'échantillon, une partie de cette lumière est diffusé par effet Tyndall grâce aux particules en suspension.

La turbidité indique la présence de matières en suspension dans l'eau, qui peuvent véhiculer des substances indésirables adsorbées sur les particules. Des événements comme les forages ou la fonte des neiges peuvent fortement augmenter la turbidité de l'eau brute.

♥ Son taux normal est fixé à **5 NTU** selon **OMS (organisation mondial de santé)**.



Turbidimètre

3) Analyses chimiques :

→ La chloration :

La chloration c'est une étape primordiale dans la production de l'eau potable avant sa distribution, elle permet de détruire les microorganismes pathogènes présents dans l'eau et de garantir aussi l'absence de tout germe infectieux dans l'eau.

Le traitement par le chlore (eau de javel) consiste à injecter une dose bien déterminée de chlore dans l'eau et à laisser agir pendant un temps donné.

3-1) Demande en chlore :

Lorsque le chlore est introduit dans l'eau, une première réaction instantanée se produit entre l'acide hypochloreux HOCl et la matière organique présent dans l'eau pour donner des chloramines :



❖ Break point ou point de rupture :

C'est le « point bas » de la courbe (figure 1) obtenue en portant en ordonnées les teneurs résiduelles du chlore total et en abscisses les quantités de chlore ajouté, point à partir du quel apparaît une teneur résiduelle en « chlore libre ».

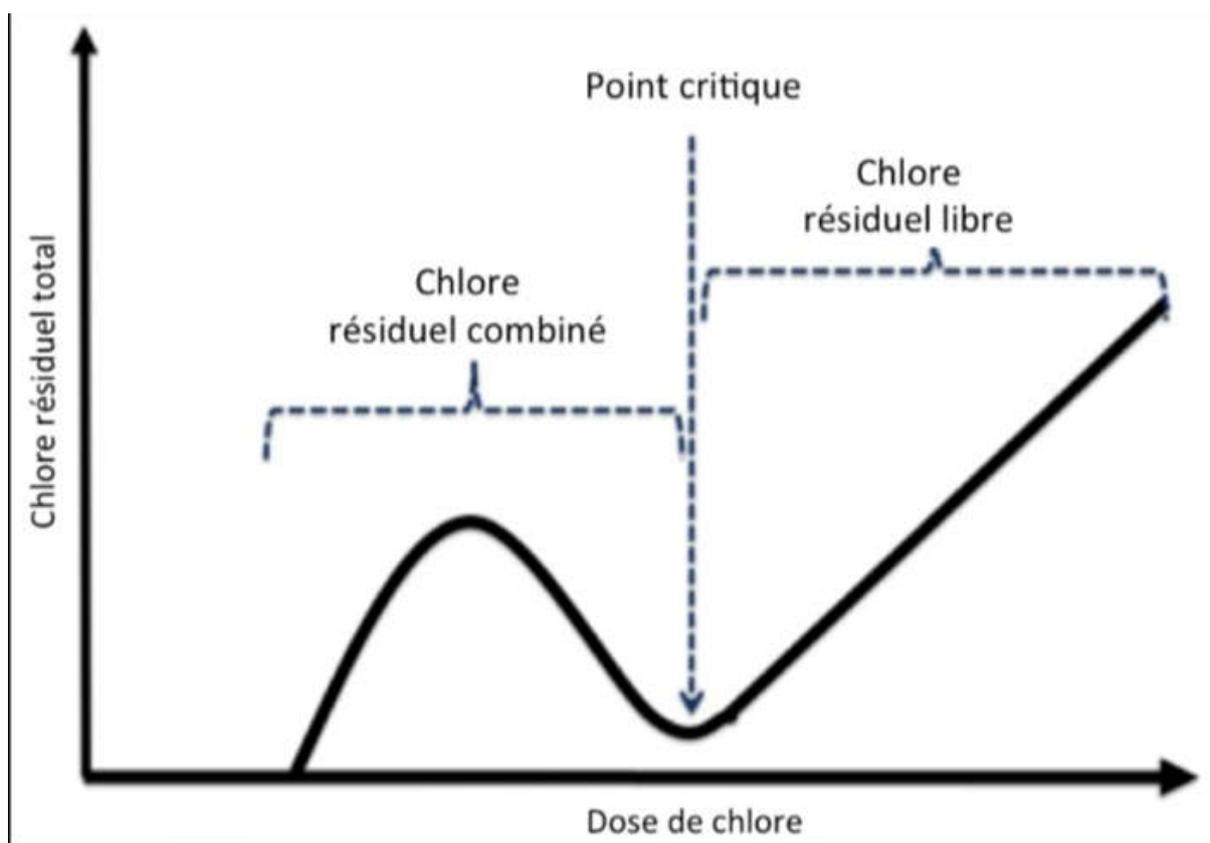


Figure 1 : demande en chlore

Interprétation de la courbe :

La première partie de la courbe correspond à la formation de mono, di et Trichloramine.

Leur destruction par le chlore ajouté apporte un affaiblissement de la teneur en chlore totale, d'où diminution de la pente jusqu'au point de rupture, à partir duquel tout chlore ajouté se transforme en chlore libre, disponible pour la désinfection. L'écart entre la droite des abscisses et le point de rupture correspond à la présence de Trichloramine non réductible par le chlore. Un excès témoigne d'une très mauvaise qualité de l'eau brute. Le point de rupture est donc d'autant plus bas que les impuretés de l'eau ont été oxydées par le chlore. Cette courbe montre qu'il faut bien ajouter du chlore pour faire baisser la teneur en chloramine.

3-2) Détermination du degré chlorométrique d'eau de javel :

Pour la désinfection de la matière organique présente dans un réservoir on détermine la quantité nécessaire d'eau de Javel qu'il faut ajouter c'est dans ce but qu'on doit connaître tout d'abord son degré chlorométrique.

❖ Définitions :

- Le degré chlorométrique est la quantité de chlore actif présent dans 1L d'eau de Javel.
- L'eau de Javel : est une solution aqueuse et alcaline d'hypochlorite de sodium NaClO.
- Chlore actif : c'est le chlore qui a donné naissance à l'hypochlorite NaClO, à raison d'une molécule de chlore pour une molécule de NaClO.

Remarque : en milieu acide l'eau de javel subit une transformation complète représentée par la réaction suivante :



❖ Principe :

En milieu carbonaté (pH=8) et en présence d'hypochlorite ClO^- , l'iodure de potassium KI se transforme en iodate I^- lorsque tout le chlore est combiné, une goutte de KI en excès réagit sur l'iodate avec libération d'iode I_2 .

❖ Réactifs :

- ✓ Solution de KI
- ✓ Bicarbonate de sodium NaHCO_3
- ✓ Empois d'amidon comme indicateur coloré

3-3) Dosage des ions :

a) Chlorure :

▪ Principe :

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium K_2CrO_4 , la fin de la réaction est indiquée par l'apparition du teint rouge caractéristique du chromate d'argent (Ag_2CrO_4).

▪ Réactifs :

- ✓ Solution de chromate de potassium à 10%.
- ✓ Solution de nitrate d'argent N/10.

▪ Réactions de dosage :

Les ions Cl^- présent dans l'échantillon forment un précipité d' $AgCl$ (les ions Ag^+ sont issus d'une solution d' $AgNO_3$)



Lorsque le milieu est épuisé en Cl^- , les ions Ag^+ réagissent avec CrO_4^{2-} pour donner un complexe coloré (**rouge brique**) qui caractérise la formation de chromate d'argent qui nous indique le point d'équivalence, selon la réaction :



b) Nitrites (NO₂⁻) :

▪ Définition :

Les nitrites (NO₂⁻) représentent une forme oxygénée de l'azote. Cet anion est instable et s'insère dans le cycle de l'azote entre l'ion ammonium (NH₄⁺) et l'ion nitrate (NO₃⁻). On peut trouver des nitrites par défaut d'oxygène dissous dans le milieu.

La présence de nitrites d'origine naturelle est rare.

▪ Principe :

La diazotation de l'4-amino-2-naphtylsulfonamide par les nitrites en milieu acide et sa copulation avec le dichlorure de N-(1-naphtyle) diamino-1,2 éthane donne un complexe coloré susceptible d'un dosage colorimétrique.

▪ Réactifs :

Au cours de l'analyse, utiliser uniquement des réactifs de qualité analytique reconnus, et de l'eau distillée ou de pureté équivalente :

→ Acide ortho phosphorique H₃PO₄

→ Réactif coloré :

- 40g d'4-amino-2-naphtylsulfonamide
- 100g d'acide ortho phosphorique
- 500 ml d'eau dans un bécher
- 2g de dichlorure de N-(1-naphtyle) diamino-1,2 éthane

Transférer dans une fiole jaugée de 100ml et compléter avec de l'eau distillée.

c) Nitrates NO_3^- (Méthode au salicylate de sodium) :

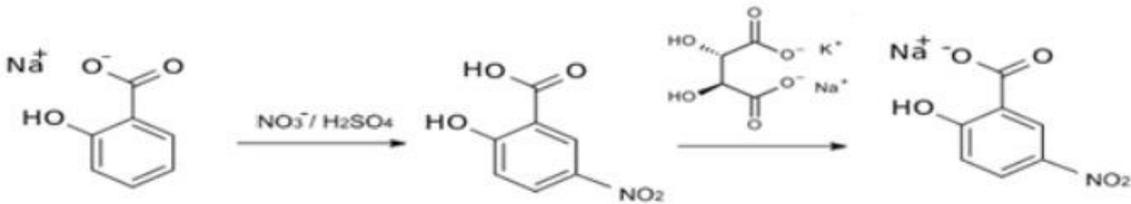
▪ **Principe :**

En présence de salicylate de sodium, les nitrates NO_3^- donnent de paranitrosalicylate de sodium, coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique.

▪ **Réactifs :**

- Salicylate de sodium à 0,5% $\text{C}_7\text{H}_5\text{NaO}_3$ (solution renouveler chaque 24h).
- L'acide sulfurique H_2SO_4 concentré.
- Tartrate double de sodium et de potassium $\text{C}_4\text{H}_4\text{KNaO}_6, 4\text{H}_2\text{O}$.
- Eau distillée.

• **Réaction mise en jeu :**



d) Ammonium NH_4^+ :

▪ **Principe :**

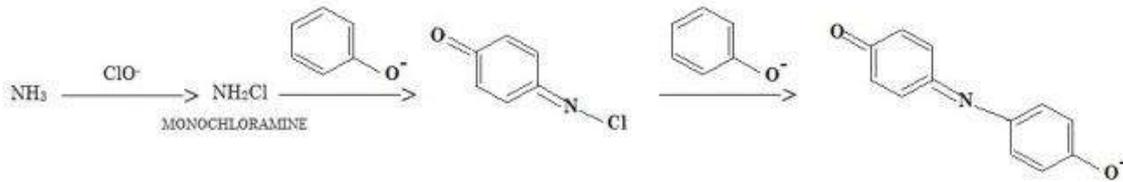
En milieu alcalin et en présence de nitroprusiate qui agit comme catalyseur, les ions NH_4^+ traités par une solution du chlore et de phénol donnent de bleu d'indophénol susceptible d'un dosage colorimétrique à 630nm.

▪ **Réactifs :**

- Solution chlorée :
 - Hydroxyde de sodium NaOH.
 - Citrate tri sodique $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$.
 - Acide dichlorocyanurique $\text{C}_3\text{HCl}_2\text{N}_3\text{O}_3$.
 - Eau distillée.
- Solution de nitroprusiate de sodium et de phénol :
 - Phénol
 - Nitroprusiate de sodium
 - Eau distillée

Les solutions sont transvasées dans des flacons bruns.

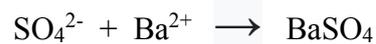
- **Réaction mise en jeu :**



e) Sulfate :

- **Principe :**

Les sulfates sont précipités en milieu chlorhydrique à l'état de sulfate de baryum (BaSO_4)



Le précipité ainsi obtenu est stabilisé à l'aide d'une solution de **TWEN 20**.

- **Réactifs :**

- Solution d'acide chlorhydrique à 10%.
- Agent stabilisant : solution TWEN 20 à 25%.
- Solution de chlorure de baryum stabilisé :
 - Chlorure de baryum ($\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
 - TWEN
 - Eau distillée

→ **Normes des paramètres physico-chimiques :**

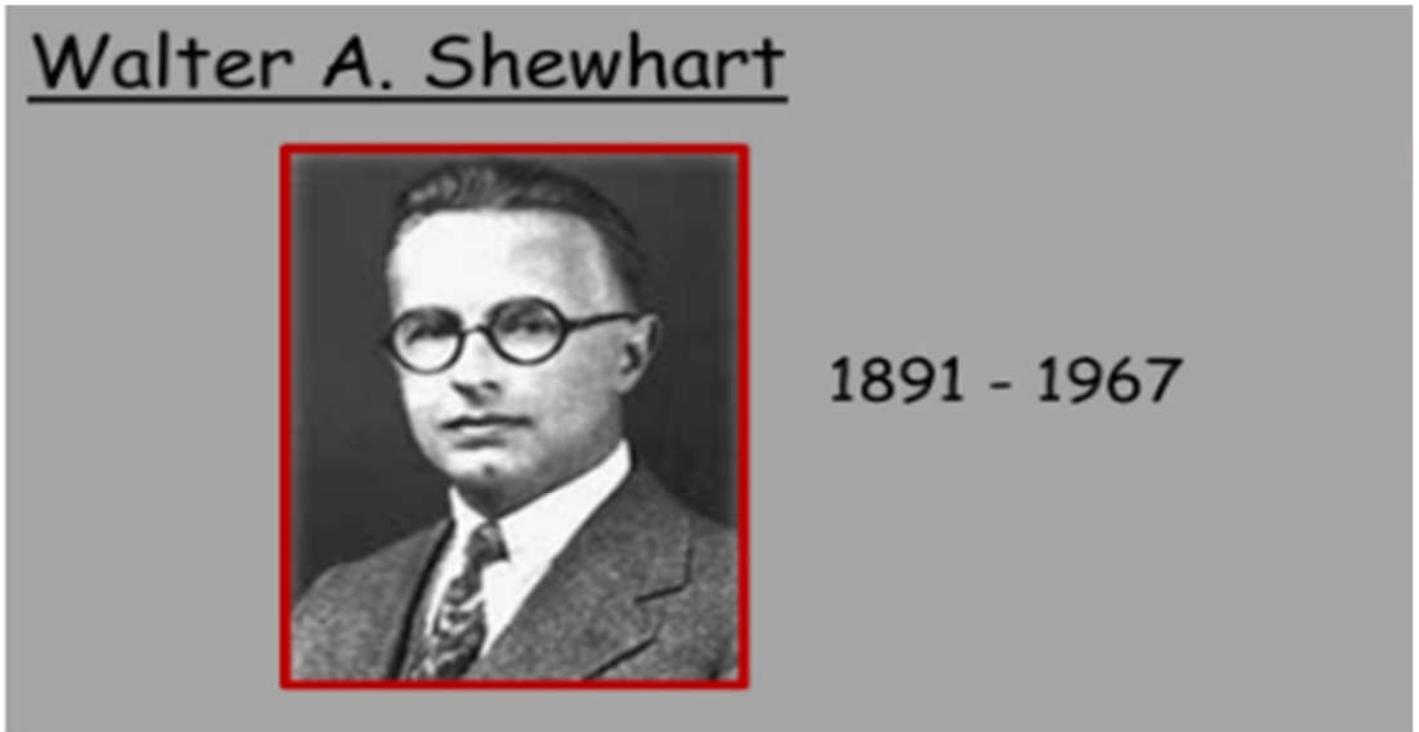
Le tableau suivant présente les spécifications des paramètres physico-chimiques selon la norme marocaine 03-7 -059.

Paramètre	Expression des résultats	Valeur maximale admissible
Odeur	Seuil de perception à 25°C	3
Saveur	Seuil de perception à 25°C	3
Couleur réelle	Unité Pt mg/l	20
Turbidité	Unité de turbidité néphalométrique (NTU)	5
Conductivité	µs/cm à 20°C	2700
pH	Unité pH	6,5 < pH < 8,5
Chlorures	mg/l	750
Nitrates	mg/l	50
Nitrites	mg/l	0,5
Sulfates	mg/l	400
Ammonium	mg/l	0,5

Tableau : Normes physico-chimiques selon la norme marocaine 03-7- 059.

CHAPITRE III : LES CARTES DE CONTROLES pH ET CONDUCTIVITE

1) Généralité :



Le créateur de la carte de contrôle est Walter A. Shewhart qui travailla au Bell Téléphone Laboratory de la Western Electric. Shewhart publia en 1931 les principes de la variabilité d'un procédé en distinguant la variabilité aléatoire naturelle et la variabilité accidentelle. La variabilité naturelle est issue de causes communes de dispersion ou perturbations normales intégrées dans le processus de fabrication sous contrôle. La variabilité accidentelle est due à des causes spéciales occasionnelles et incontrôlées (matières premières aux caractéristiques fluctuantes, machines mal réglées, horaires de travail différents, qualification de la main-d'œuvre, changements de température ou de pression, mauvaise lubrification ...).

1-1) Définition :

Une carte de contrôle est un outil permettant de déterminer le moment où apparaît une cause assignable entraînant une dérive du processus de fabrication. Ainsi, le processus sera arrêté au bon moment, c'est-à-dire avant qu'il ne produise des pièces non conformes (hors de l'intervalle de tolérance).

Les carte de contrôle visent à :

- Evaluer et assurer la stabilité du procédé.
- Limiter la proportion des produits non conforme.
- Signaler les causes spéciales.

1-2) Objectif :

Le but de cet outil est de visualiser l'évolution des caractéristiques mesurées. Chaque graphique comporte une suite de points qui représente les valeurs de la moyenne et de l'écart sur des échantillons prélevés à intervalles réguliers.

1-3) Nature des cartes de contrôle :

Il existe deux grands types de carte de contrôle :

- ❖ **Les cartes de contrôle aux mesures :** sont utilisées lorsque la caractéristique suivie est mesurable (longueur, densité, dureté).
- ❖ **Les cartes de contrôle aux attributs :** sont utilisés pour suivre la qualité des unités produites selon un jugement binaire : conforme, non-conforme.

Remarque : la suite traite seulement les cartes de contrôle aux mesures moyennes et étendues

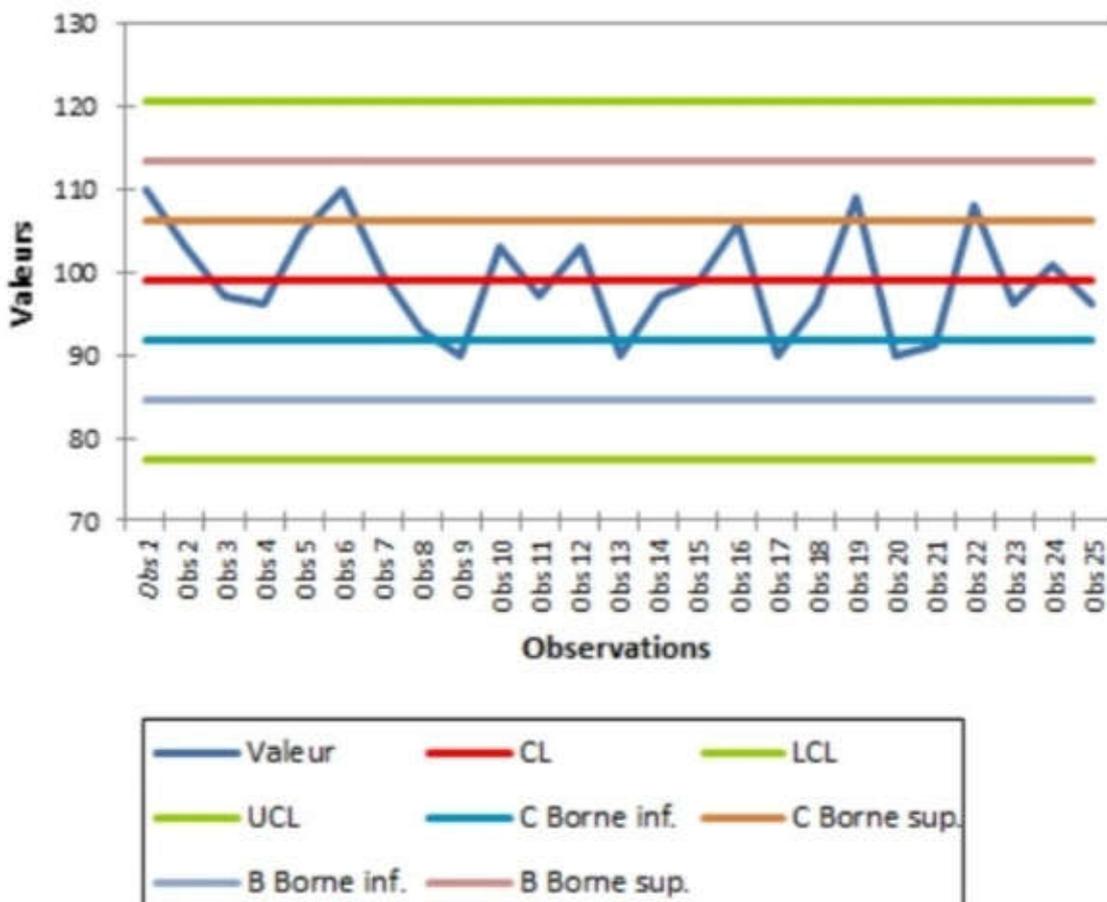
Les cartes de contrôle sont établies à partir des données recueillies par échantillonnage.

La visualisation de l'évolution du procédé nécessite de prélever consécutivement et à intervalles réguliers des échantillons.

1-4) Construction d'une carte de contrôle :

a) Principe :

- La carte montre le graphique des valeurs au fil du temps (échantillon par échantillon) pour chaque carte, on calcule des limites supérieures et inférieures (à l'intérieur des tolérances).
- On analyse le comportement des valeurs (la manière dont elles évoluent)
- On en tire des conclusions sur l'efficacité du procédé d'analyse utilisé s'il est sous contrôle ou non.



b) Modalité de prélèvement des échantillons :

- Taille de l'échantillon (n) : 4 unités par prélèvement
- Fréquence de contrôle : 25 jours consécutifs

c) Calcul des moyennes et étendues :

- **La moyenne \bar{X}** : dans le cas où une analyse sur un échantillon est répétée un certain nombre de fois (n fois), la valeur moyenne de ces mesures est un nombre important. Elle se calcule en faisant la somme des valeurs trouvées par les mesures et en divisant cette somme par le nombre de mesures :

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$$

- **La moyenne des moyennes** : représente la sommation des moyennes des échantillons divisés par le nombre de moyenne, sa formule est exprimée comme suit :

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum \bar{X}}{n}$$

- **L'étendue** : la différence entre la valeur maximale et la valeur minimale de l'échantillon :

$$R = X_{max} - X_{min}$$

- \bar{R} est l'étendue moyenne de l'échantillon ; elle est égale à la moyenne des étendues :

$$\bar{R} = \frac{\sum R}{n}$$

d) Calcul des limites de contrôle :

Les limites de contrôle : l'intervalle où les mesures varient avec un niveau de confiance de 99,8%. Lorsqu'un point est en dehors de ces limites, il est considéré comme "anormal", il faut mettre en œuvre une action corrective.

→ De la moyenne :

- La limite de contrôle supérieure (LCS) : $LCS = \bar{\bar{x}} + A_2 \times \bar{R}$

- La limite de contrôle inférieure (LCI) : $LCI = \bar{\bar{x}} - A_2 \times \bar{R}$

- la limite centrale (LC) : $LC = \bar{\bar{x}}$

→ De l'étendue :

- $LCS = D_4 \times \bar{R}$

- $LCI = D_3 \times \bar{R}$

- $LC = \bar{R}$

→ Pour calculer les limites nous aurons besoin des coefficients A_2 , D_3 et D_4 .

Taille de l'échantillon	2	3	4	5	6	7
A_2	1,880	1,023	0,729	0,577	0,483	0,419
D_3	0	0	0	0	0	0,076
D_4	3,267	2,575	2,282	2,115	2,004	1,924

2) Etablissement des cartes de contrôle des paramètres Conductivité et PH :

→ Etude expérimentale :

a) Conductivité :

Le tableau ci-dessous représente les mesures de la conductivité de réservoir nord pendant 25 jours :

jours	ECH 1	ECH 2	ECH 3	ECH 4	\bar{X}	R
1/04/2021	836	1063	817	953	917,25	246
3/04/2021	768	763	997	868	849	243
5/04/2021	870	881	882	636	817,25	246
7/04/2021	817	755	720	711	750,75	106
10/04/2021	788	874	726	730	779,5	148
12/04/2021	1000	996	804	760	890	240
13/04/2021	952	922	715	703	823	249
17/04/2021	702	770	922	884	819,5	220
19/04/2021	770	734	760	796	765	62
21/04/2021	789	580	797	817	745,75	237
27/04/2021	736	887	734	988	836,25	254
30/04/2021	890	713	714	753	767,5	177
1/05/2021	749	993	775	745	815,5	248
3/05/2021	833	726	888	740	796,75	162
5/05/2021	1000	777	1020	1031	838	254
10/05/2021	761	765	813	609	737	204
13/05/2021	871	992	879	731	868,25	261
15/05/2021	744	875	972	807	849,5	228
17/05/2021	939	962	783	909	898,25	179
18/05/2021	763	936	957	822	869,5	194
21/05/2021	1011	873	965	862	927,75	149
23/05/2021	989	1034	667	1100	870,75	433
26/05/2021	762	759	873	875	817,25	116
28/05/2021	903	809	915	1019	911,5	210
					$\bar{X} = 833,17$	$R = 213,64$

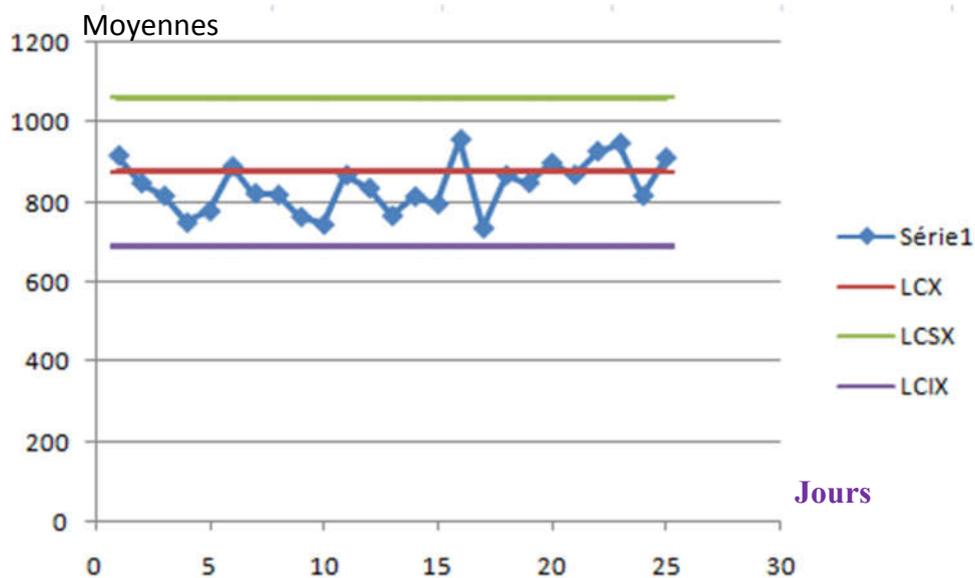
❖ **Carte de contrôle des moyennes :**

$$LC = \bar{\bar{x}} = 833,17$$

$$LCS_x = \bar{\bar{x}} + A_2 * \bar{R} = 833,17 + 0,729 \times 213,6 = 987,4264$$

$$LCI_x = \bar{\bar{x}} - A_2 * \bar{R} = 678,9136$$

Carte de contrôle du conductimètre



→ **Interprétation de la courbe des moyennes :**

- D'après les courbes de la conductivité, on observe que la dispersion des valeurs ainsi que les points ne dépassent pas les limites de contrôle. Donc, on peut dire que le processus est sous contrôle statique.

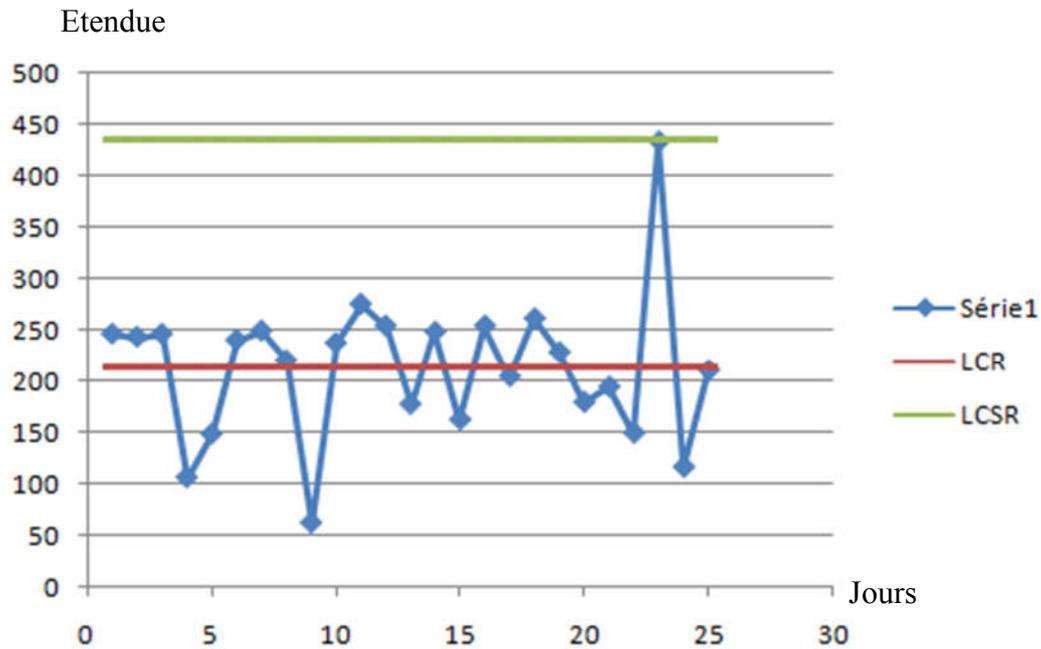
❖ **Carte de contrôle des étendues :**

$$LC = \bar{\bar{R}} = 213,64$$

$$LCS_R = D_4 * \bar{R} = 2,282 * 213,64 = 485,4004$$

$$LCI_R = D_3 * \bar{R} = 0$$

Carte de contrôle du conductimètre



→ **Interprétation de la courbe des étendues :**

- La courbe des étendus de la conductivité présente un point qui dépasse la limite supérieure et d'après les causes qui peuvent se conduire dans notre cas une mauvaise manipulation ou un problème d'étalonnage, en générale, la carte de contrôle montre qu'il y a une erreur qu'il faut la corriger.

b) Potentiel d'hydrogène pH :

Le tableau ci-dessous représente les mesures du pH :

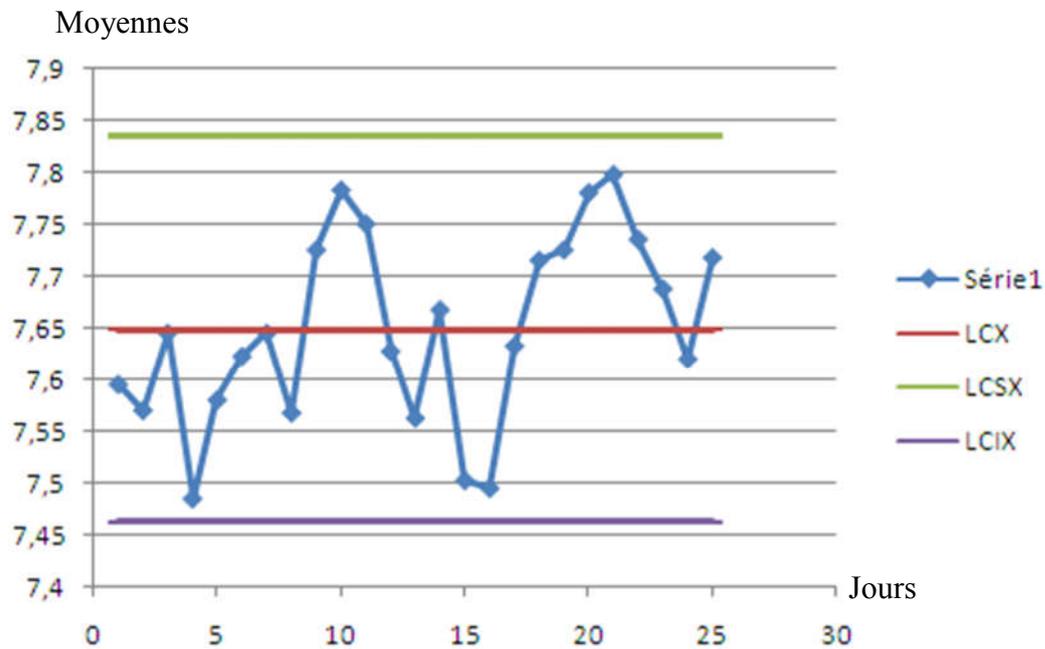
Jours	Ech 1	Ech 2	Ech 3	Ech 4	\bar{X}	R
1/04/2021	7,62	7,5	7,6	7,66	7,595	0,16
3/04/2021	7,43	7,43	7,72	7,7	7,57	0,29
5/04/2021	7,67	7,67	7,54	7,7	7,645	0,16
7/04/2021	7,5	7,54	7,4	7,5	7,485	0,14
10/04/2021	7,62	7,64	7,69	7,37	7,58	0,32
12/04/2021	7,68	7,78	7,68	7,49	7,6225	0,43
13/04/2021	7,49	7,84	7,61	7,64	7,645	0,35
17/04/2021	7,69	7,58	7,51	7,49	7,5675	0,2
19/04/2021	7,64	7,74	7,76	7,76	7,725	0,12
21/04/2021	7,77	7,77	7,78	7,81	7,7825	0,04
24/04/2021	7,78	7,78	7,72	7,72	7,75	0,06
27/04/2021	7,54	7,76	7,59	7,62	7,6275	0,22
30/04/2021	7,4	7,67	7,56	7,62	7,5625	0,27
1/05/2021	7,72	7,69	7,67	7,59	7,6675	0,13
3/05/2021	7,71	7,39	7,62	7,29	7,5025	0,42
5/05/2021	7,6	7,39	7,45	7,54	7,495	0,21
10/05/2021	7,55	7,63	7,7	7,65	7,6325	0,15
13/05/2021	7,97	7,85	7,6	7,44	7,715	0,53
15/05/2021	7,84	7,78	7,65	7,63	7,725	0,21
17/05/2021	7,78	7,95	7,69	7,70	7,78	0,26
18/05/2021	7,44	7,95	7,69	7,40	7,7975	0,14
21/05/2021	7,87	7,73	7,84	7,75	7,735	0,33
23/05/2021	7,86	7,89	7,63	7,56	7,6875	0,2
26/05/2021	7,77	7,57	7,68	7,73	7,62	0,55
28/05/2021	7,71	7,40	7,91	7,85	7,7175	0,51
					$\bar{\bar{X}} = 7,649$	$\bar{R} = 0,256$

❖ **Carte de contrôle des moyennes :**

- $LC_X = \bar{\bar{x}} = 7,649$

- $LCS_X = \bar{\bar{x}} + A_2 * \bar{R} = 7,649 + 0,729 * 0,256 = 7,8356$

- $LCI_X = \bar{\bar{x}} - A_2 * \bar{R} = 7,649 - 0,729 * 0,256 = 7,4623$



→ **Interprétation de la courbe des moyennes :**

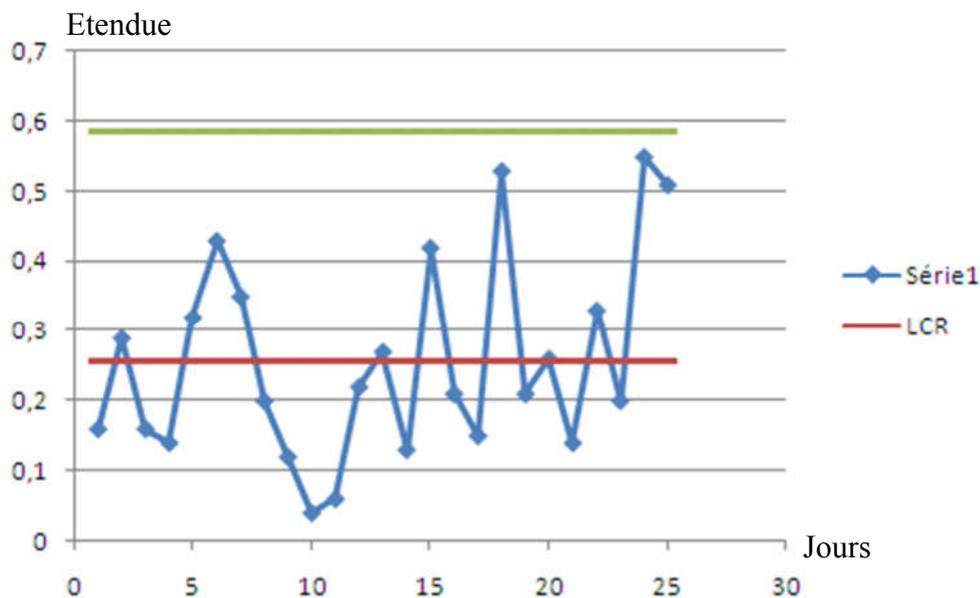
La courbe des moyennes, construit à partir des valeurs du tableau du pH, présente une situation sous contrôle statistique car les points ne dépassent pas les limites de contrôle.

❖ **Carte de contrôle des étendues :**

- $LCR = \bar{R} = 0,256$

- $LCS_R = \bar{R} * D_4 = 0,5841$

- $LCI_R = \bar{R} * D_3 = 0$



→ **Interprétation de la courbe des étendues :**

D'après la courbe des étendues du pH, on observe que la dispersion des points autour de la valeur centrale sont statistiquement variable dans le temps et cela peut être due à l'utilisation des échantillons de différents points, mais ne dépasse pas les limites donc on peut dire que le procédé est stable et sous contrôle statique.

CONCLUSION

En conclusion, le traitement de la qualité de l'eau est une nécessité primordiale pour alimenter une population en eau potable. Pour cela, il faut disposer d'effectif humain et du matériel pour la réalisation de ce projet.

Cette eau traitée est destinée à la consommation, elle doit être soumise à des contrôles très sévères avant toute utilisation dans le but de lutter contre des risques sanitaires.

Il a été question dans ce projet de faire le suivi chronologique des mesures de pH et de conductivité du réservoir nord et l'établissement des cartes de contrôle de ces deux paramètres.

Les interprétations de ces cartes ont montré que le pH du réservoir nord ne présente aucune anomalie, par contre la carte de conductivité présente des anomalies qui sont due soit à la variété des forages qui alimentent le réservoir soit à des erreurs d'étalonnage.

Ce stage constitue certainement une étape importante dans le parcours de notre formation professionnelle. Il nous offre l'accès au monde professionnel pour renforcer notre formation et développer notre sens d'initiative.

○ **LES REFERENCES :**

- Les rapports de la société (RADEEF).
- Les registres des analyses du laboratoire de contrôle de qualité.
- <https://www.techno-science.net>