

Liste des abréviations :

pH : Potentiel d'hydrogène.

MES : Les matières en suspension.

DBO : Demande biochimique en oxygène.

DCO : Demande chimique en oxygène.

DTO : Demande totale d'oxygène.

MO : Les matières oxydables.

COT : Le carbone organique total.

TH : Titre Hydrotimétrique.

TA : Titre Alcalimétrique.

TAC : Titre Alcalimétrique Complet.

NTU : Unité néphélométrique de turbidité.

OMS : Organisation mondiale de la santé.

ADE : Algérienne des eaux.

DVB : Divinylbenzène.

$\mu\text{s/cm}$: Micro-siemens par centimètre.

l/h : litre par heure.

T : température.

R : rendement.

TABLE DES MATIERES

Introduction générale	1
------------------------------	---

A.Partie théorique

Chapitre I : généralité sur les eaux

I. Introduction	3
II. Les types d'eau	3
II.1. Eaux naturelles	5
II.2. Eaux de consommation	5
II.2.1. Paramètres organoleptiques	6
II.2.2. Les paramètres physico-chimiques	6
II.2.3. Paramètres microbiologiques	7
II.3. Eaux usées	7
II.3.1. Définition	7
II.3.2. Origine et composition des eaux usées	7
II.3.2.1. Les eaux usées domestiques	8
II.3.2.2. Les eaux industrielles	8
II.3.2.3. Les eaux agricoles	8
II.3.2.4. Les eaux pluviales	8
II.3.3. Caractéristiques des eaux usées	8
II.3.3.1. Les paramètres physico-chimiques	8
II.3.3.2. Les paramètres bactériologiques	16
III. Les normes de qualité de l'eau potable	21
IV. Les normes de rejet	26
IV.1. Les normes internationales	26
IV.2. Les valeurs limitent des substances nocives dans les eaux industrielles	26
IV.3. Les substances et solvants organiques, graisses	27
Conclusion.	28

Chapitre II : généralité sur l'épuration

I. Introduction	29
II. Objectifs de l'épuration	29
III. Les procédés d'épuration des eaux usées	29
III.1. Prétraitement	29
III.1.1. Le dégrillage	30
III.1.2. Dessablage	30
III.1.3. Déshuilage– dégraissage	31

III.2.Le traitement primaire	31
III.2.1. Décantation primaire	32
III.3.Le traitement secondaire	33
III.3.1.Disque biologique	33
III.3.2.les lits bactériens	34
III.3.3.Les boues activées	36
III.3.4.Lagunage	37
III.4.Traitement tertiaires	40
III.4.1.Mode d'élimination de l'azote et du phosphore	40
III.4.2.La désinfection	42
IV. Traitement des boues	42
IV.1.les procédés de concentration	42
IV.2. Les procédés de stabilisation	43
IV.3.Lits de séchage plantés de roseaux	43
V. La réutilisation des eaux usées	44
V.1.la réutilisation en irrigation	44
V.2. Réutilisation industrielle	44
V.3. Réutilisation en zone urbaine	44
V.4. Production de l'eau potable	45
Conclusion	45

Chapitre III : la technique d'échange d'ion

I. Introduction	46
II. Historique	46
III. Principe	46
IV. Support	47
V. Les types de résine	48
V.1.Résines Inertes	48
V.1.1.Les types de résines inertes	49
V.2.Résine fonctionnalisée	49
V.2.1.Les échangeurs cationiques	50
V.2.2.Les échangeurs anioniques	52
VI. Les caractéristiques de l'échangeur d'ions	53
VI.1. La capacité	53
VI.1.1.Capacité totale	54
VI.1.2.Capacité utile	54
VI.2.Le gonflement	54
VI.2.1.Le gonflement dans l'eau pure	54
VI.2.2.Le gonflement dans les solvants	54
VI.3.La densité	54
VI.4.La granulométrie	55
VI.5.Taux de Réticulation	55

VI.6.Stabilité	55
VI.6.1.stabilité chimique du squelette	55
VI.6.2.stabilité des groupes actifs	56
VI.6.3. stabilité mécanique	56
VI.7.Porosité du squelette	56
VI.8.Rétention d'humidité	56
VI.8.1. Humidité élevée	56
VI.8.2. Humidité basse	57
VI.9.Matières sèches	57
VII. Propriétés des échangeurs anioniques et cationiques	57
VIII. Les avantages et les inconvénients des différentes résines	58
IX. La régénération	58
IX.1.régénération à co-courant	58
IX.2.régénération à contre-courant	59
X. Les applications des résines d'échangeuses d'ion	60
X.1.La déminéralisation	60
X.2.L'adoucissement	61
X.2.1.Quelques définitions préalables	62
X.3.Autres applications	62
X.3.1.Procédés pharmaceutiques	62
X.3.2.Raffinage du sucre	62
X.3.3.applications dans l'industrie alimentaire	62
X.3.3.1.Déminéralisation de lactosérum	62
X.3.3.2.Industrie des boissons	62
X.4.Applications dans l'industrie chimique	63
X.4.1.Récupération ou élimination de métaux	63
X.4.2.Production de soude et de chlore	63
Conclusion.	63

B. Partie pratique

Chapitre IV : description du pilote et des appareillages

I. Introduction	64
II. Construction	66
III. Instrumentation	68
IV. manipulation	68
IV.1. Présentation du pilote	69
IV.2. Fonctionnement rapide du pilote	69
IV.2.1. Alimentation par le haut	69
IV.2.2. Alimentation par le bas	69
V. Procédure de mise en service du pilote	70
V.1. Présentation de la manipulation	72

V.2. Préliminaire	72
V.2.1. Régénération et lavage des résines	73
VI. Les analyses physico-chimiques	75
VI.1. Mesure de la conductivité	75
VI.2. Mesure de pH et température	75
VI.3. Mesure de la turbidité	76
VI.4. La mesure des MES	77

Chapitre V : résultats et interprétations

I. Introduction	78
II. Étude 1 : l'influence de la décantation sur la qualité physico-chimique de l'eau	78
II.1. analyses et interprétations	78
III. Etude 2 : influence de la dilution sur la qualité physico-chimique de l'eau	80
III.1.type 1 de résine	81
III.1.1.Dilution de l'eau épurée au 1/10	81
III.1.2.Dilution de l'eau épurée au 1/5	85
III.1.3.Dilution de l'eau épurée au 1/3	90
III.1.3.Dilution de l'eau épurée au 1/2	94
III.2.Type 2 de résine	98
III.2.1. Dilution de l'eau épurée au 1/10	98
III.2.2. Dilution de l'eau épurée au 1/5	101
III.2.3. Dilution de l'eau épurée au 1/3	104
III.2.4. Dilution de l'eau épurée au 1/2	108
III.3.Type 3 de résine	112
III.3.1. Dilution de l'eau épurée au 1/10	112
III.3.2. Dilution de l'eau épurée au 1/5	116
III.3.3. Dilution de l'eau épurée au 1/3	120
III.3.4. Dilution de l'eau épurée au 1/2	124
IV. La comparaison entre les types de résines	128
V. Les analyses de physico-chimiques et bactériologique (au niveau de laboratoire d'ADE)	131
V.1. Les analyses physico-chimiques (ADE)	131
V.1.1. Le mode opératoire	131
V.2. Les analyses bactériologiques	133
V.2.1.La recherche des clostredium	133
V.2.2. La recherche des germes totaux	133
V.2.3. La recherche des streptocoques	135
Conclusion générale.	136

INTRODUCTION

GÉNÉRALE

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est l'origine de la vie de la terre. Il y a beaucoup d'années, elle a fait naître la vie sur Terre. C'est un élément qui reste, de nos jours, quelque chose de vital pour l'existence de tous les êtres de la terre.

L'eau est une donnée de l'univers sans laquelle la vie n'aurait pas existé. Les gens ont besoin de l'eau constamment, pour vivre, se laver, pour l'industrie, mais l'eau représente aussi un mystère doux qui s'entrelace avec les hommes dans une osmose indestructible [1].

Bien qu'apparemment inépuisable ; l'eau est très inégalement répartie dans le monde. Au vu du développement industriel et de la demande de plus en plus croissante ; tous les pays auront ; plus ou moins à brève échéance ; à faire face au problème de son manque.

Sans l'eau, la terre ne serait qu'un astre mort et aucune vie humaine ou animale n'existerait [2].

L'Algérie est un pays riche en ressources naturelles tels que les ressources fossiles et les minerais de phosphates et de fer. Cependant, elle accuse un important déficit en ressources hydriques [3].

En effet, avec l'expansion des villes, l'industrialisation et l'évolution des modes de consommation, en sus, d'un climat de plus en plus aride que connaît le pays, les eaux potables s'épuisent plus rapidement, augmentant le volume des eaux usées collectées. Actuellement, les eaux usées ne sont épurées qu'à 40 % et rejetées, le plus souvent, sans traitements et de façon directe en milieu naturel [3].

L'épuration consiste à éliminer les plus gros débris organiques ou minéraux, retirer les MES de densité suffisamment différente de l'eau tels que les grains de sables et les particules minérales, comme elle consiste éventuellement à éliminer les pollutions résiduelles qui pourraient être gênantes en aval (germes pathogènes, azote, phosphore....etc.) [4].

Une quarantaine de nouvelles stations de traitement des eaux usées sera réalisée à l'horizon 2014, a annoncé le directeur de l'assainissement au ministère des Ressources en eau. Les stations tournent à 50% de leurs capacités. Nous traitons annuellement entre 200 et 300 millions de mètres cubes d'eaux usées. Cette quantité est utilisée pour l'irrigation, précise le même responsable sur les ondes télévisuelles. L'Algérie produit annuellement 750 millions de mètres cubes d'eaux usées [5].

L'échange d'ions est une technologie puissante, bien que peu connue du grand public [6].

INTRODUCTION GENERALE

Le but de ce travail consiste à faire une étude sur l'influence de la technique d'échange d'ion sur l'amélioration de la qualité des eaux épurée à l'aide du pilote TE100 et des analyses physico-chimique et bactériologique.

Pour ce faire, ce présent travail est subdivisé principalement en deux parties :

- ✓ Une partie théorique comporte trois grands chapitres:

Chapitre I : généralité sur les eaux.

Chapitre II : généralité sur l'épuration.

Chapitre III : la technique d'échange d'ion.

- ✓ Partie pratique subdivisé à son tour en deux parties:

Chapitre IV : présentation du pilote et des appareillages

Chapitre V : résultats et interprétations de cette étude.

PARTIE

THÉORIQUE

CHAPITRE I :
GÉNÉRALITÉS SUR
LES EAUX

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES EAUX

I. Introduction :

L'eau est une des ressources les plus importantes de la planète. Par contre, l'alimentation en eau peut être limitée en quantité et/ou en qualité [6]. Selon qu'elles soient utilisées en tant que source de purification rituelle ou destinées pour une utilisation ordinaire quotidienne, les eaux sont classées comme suit [7]:

II. Les types d'eau :

La classification des eaux diffère d'une référence à une autre, quelques-unes les classifient suivant l'origine ; quelques auteurs parlent même des eaux de pluies, d'autres s'intéressent à l'utilisation des eaux [8].

II.1. Eaux naturelles :

i. eaux de pluie :

Les eaux de pluie sont des eaux de bonne qualité pour l'alimentation humaine. Elles sont saturées d'oxygène et d'azote et ne contiennent aucun sel dissous, comme les sels de magnésium et de calcium ; elles sont donc très douces. Dans les régions industrialisées, les eaux de pluie peuvent être contaminées par des poussières atmosphériques. La distribution des pluies dans le temps ainsi que les difficultés de captage font que peu de municipalités utilisent cette source d'eau [8].

ii. Eaux souterraines :

Les eaux souterraines constituent 22% des réserves d'eau douce soit environ 1000 milliard de m³. Leur origine est due à l'accumulation des infiltrations dans le sol qui varient en fonction de sa porosité et de sa structure géologique [9].

De point de vue hydrogéologique, les couches aquifères se divisent en :

- ❖ Nappes phréatiques ou alluviales : Peu profondes et alimentées directement par les précipitations pluvieuses ou les écoulements d'eau en dessus,
- ❖ Nappes captives : Plus profondes que les premières et séparées de la surface par une couche imperméable, l'alimentation de ces nappes est assurée par l'infiltration sur leurs bordures [10].
- ❖ Les eaux souterraines sont généralement d'excellente qualité physico-chimique et bactériologique. Néanmoins, les terrains en influencent fortement la minéralisation. Celle-ci est faible dans les terrains anciens de type granite et schiste, et élevée dans les terrains sédimentaires comme les calcaires. Elles sont pauvres en O₂ dissous et exemptes de matières organiques sauf en cas de pollution [11].

iii. Eaux de surface :

Ce type des eaux englobe toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents (rivières, lacs, étangs, barrages,...). La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par ces eaux durant leurs parcours dans l'ensemble des bassins versants. Ces eaux sont le siège, dans la plupart des cas, d'un développement d'une vie microbienne à cause des déchets rejetés dedans et de

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES EAUX

l'importante surface de contact avec le milieu extérieur. C'est à cause de ça que ces eaux sont rarement potables sans aucun traitement [12].

iv. Eaux des mers et océans :

L'océan mondial recouvre plus de 70% de la surface de la planète Terre et contient comptent environ 97 % de ces réserves en eau. Une douzaine d'espèces ioniques majeures sont présentes dans l'eau de mer. Leur masse totale peut varier d'une eau de mer à l'autre mais leurs proportions relatives restent constantes. On peut ainsi caractériser sans ambiguïté les eaux de mer par leur salinité [12].

La salinité de la plupart des eaux de mer varie de 33000 à 37000 mg/ [9].

L'eau de mer constitue un milieu physique parfaitement défini par trois variables d'état : salinité, température et pression [12].

Le chlorure de sodium représente 78% de cette salinité soit : en moyenne 27 grammes par litre (g/l) d'eau de mer.

Le chlorure de sodium (Na Cl) n'est qu'un des nombreux sels composant l'eau de mer.

- Les autres constituants en quantité notable sont les suivants [13]:
 - ✓ Chlorure de magnésium (env. 3,8g/l)
 - ✓ Sulfate de magnésium (env.1, 7g/l)
 - ✓ Sulfate de calcium (env. 1,3g/l)
 - ✓ Sulfate de potassium (env. 0,9g/l)

- On trouve également des éléments mineurs [13]:
 - ✓ Bicarbonates
 - ✓ Borates
 - ✓ Bromures
 - ✓ Fluorures
 - ✓ Strontium

- et des ions minéraux à l'état de traces [13]:
 - ✓ Manganèse
 - ✓ Cuivre
 - ✓ Cobalt
 - ✓ Aluminium
 - ✓ Baryum
 - ✓ Molybdène
 - ✓ Fer
 - ✓ Iode
 - ✓ Phosphore
 - ✓ Sélénium
 - ✓ Silicium
 - ✓ Zinc
 - ✓ Argent

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES EAUX

- ✓ Nickel
- ✓ Chrome

83 éléments disponibles sont présents dans l'eau de mer à température ambiante.

II.2. Eaux de consommation :

Elles peuvent provenir de sources, de nappes souterraines ou de rivières. Cette eau doit répondre à des critères réglementaires stricts. Claire, sans odeur ni saveur, elle ne doit contenir aucun microbe, germe ou parasite, ni aucune substance à des concentrations toxiques (nitrate, plomb, arsenic, cyanure, hydrocarbures, pesticides etc...). Sa composition en sels minéraux est extrêmement variable d'une région à l'autre, mais il est possible de la connaître en s'adressant aux mairies ou préfectures. Souvent polluée au départ, cette eau doit être traitée pour devenir potable. Si les traitements qu'elle subit (filtration, désodorisation, chloration...) sont efficaces du point de vue de la sécurité alimentaire, ils confèrent souvent à l'eau du robinet un goût désagréable et il est impossible de choisir sa qualité minérale [14].

II.2.1. Paramètres organoleptiques :

Ces paramètres sont importants dans la mesure où ils sont directement appréhendés par les usagers. Pour certains d'entre eux, tels la saveur et l'odeur, leur détermination reste subjective [15].

❖ Couleur :

La couleur d'une eau liée à la présence de matières organiques dissoutes et de la matière en suspension [15].

Elle est évaluée par comparaison optique avec une gamme étalon préparée à partir d'une solution contenant du platine et du cobalt.

L'eau ne doit pas présenter une coloration dépassant 15 mg de platine en référence à l'échelle platine-cobalt [15].

❖ Turbidité

Suivant qu'une eau contient plus ou moins de matières en suspension, elle sera plus ou moins limpide. Ce caractère est apprécié par la notion de turbidité qui est l'inverse de la limpidité [15].

La turbidité est mesurée par la diffusion d'un faisceau lumineux traversant l'eau. La valeur acceptable est de 0.5 NTU (unité de turbidité) à la distribution et 2 NTU au robinet [15].

❖ Odeur et saveur

L'odeur et la saveur d'une eau sont imputables à la présence de certains éléments organiques ou minéraux.

Ces paramètres sont appréciés quantitativement en diluant l'échantillon jusqu'à ce que le goût ou l'odeur, initialement présents, soient amenés au seuil de perceptibilité. Suivant le taux de dilution, on détermine le seuil d'une eau.

Les eaux potables ne doivent présenter ni odeur, ni saveur perceptibles. [15]

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES EAUX

II.2.2. Les paramètres physico-chimiques :

Ces paramètres sont des indicateurs des eaux naturelles. Leur valeur dépend en particulier de la nature des sols en contact avec l'eau.

❖ **Température :**

La température de l'eau joue un rôle important par exemple en ce qui concerne la solubilité des sels et des gaz dont, entre autres, l'oxygène nécessaire à l'équilibre de la vie aquatique. Par ailleurs, la température accroît les vitesses des réactions chimiques et biochimiques d'un facteur 2 à 3 pour une augmentation de température de 10 degrés Celsius (°C). L'activité métabolique des organismes aquatiques est donc également accélérée lorsque la température de l'eau s'accroît [16].

La valeur de ce paramètre est influencée par la température ambiante mais également par d'éventuels rejets d'eaux résiduelles chaudes. Des changements brusques de température de plus de 3° C s'avèrent souvent néfastes [16].

❖ **Minéralisation et conductivité (ou résistivité)**

La minéralisation de l'eau est la mesure de la concentration en sels dissous principalement le calcium, le magnésium, le sodium. [15].

La conductivité, ou son inverse la résistivité, sont des paramètres dont la valeur est fonction de la teneur en ions dans l'eau. Il s'agit d'une mesure électrique simple qui permet une bonne appréciation de la minéralisation [15].

La conductivité s'exprime en micro siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$) et la résistivité en ohms par cm (Ω/cm) [15].

En principe, la conductivité d'une eau potable doit être comprise entre 180 et 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 20°C [15].

❖ **Dureté :**

La dureté d'une eau est caractérisée par sa concentration en sels de calcium et de magnésium. La mesure de la dureté de l'eau porte le nom de titre hydrotimétrique. On l'exprime en degré français sachant qu'un degré équivaut à 10mg de carbonate de calcium par litre d'eau [12].

On distingue [12]:

- Le titre hydrotimétrique total (T.H.T) représentant la teneur totale en calcium et magnésium ; cette mesure se fait sur de l'eau brute.
- Le titre hydrotimétrique permanent (teneur en chlorures et sulfates de calcium et de magnésium), on le mesure après ébullition de l'eau.
- Le titre hydrotimétrique temporaire (différence entre la dureté totale et la dureté permanente). C'est la teneur en carbonate de calcium et de magnésium.

Le titre alcalimétrique complet ou TAC représente la concentration en carbonates et bicarbonates de calcium et de magnésium de l'eau. Pour les eaux naturelles, le TAC est égal à la dureté temporaire appelée également dureté carbonatée [12].

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES EAUX

❖ Le PH:

Le pH caractérise la notion d'acidité ou de basicité d'une eau. Ce paramètre est important dans la mesure où il détermine les caractères entartrant, agressif ou corrosif d'une eau [17].

La concentration en ions hydrogène pH des eaux potables doit être comprise entre 6,5 et 8,5 [15].

II.2.3. Paramètres microbiologiques :

L'eau doit être exempte de bactéries et de virus pathogènes. Elle ne doit pas contenir non plus de germes tests de contamination, c'est-à-dire de germes inoffensifs par eux-mêmes, mais dont la présence peut signaler celle de germes pathogènes plus difficiles à détecter. En revanche, la présence en petite quantité de germes banals est admise : l'eau est un milieu vivant : une vie bactérienne limitée est même souhaitable [18].

Tableau 1 : les paramètres biologiques [15].

Paramètres	Limites de qualité
<i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>)	0 par 100ml
<i>Entérocoques</i>	0 par 100ml
Les eaux vendues en bouteille ou en conteneurs doivent respecter des valeurs inférieures ou égales aux limites suivantes :	
<i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>)	0 par 250ml
<i>Entérocoques</i>	0 par 250ml
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> *	0 par 250ml
Numération de germes aérobies revivifiables à 22°C**	100 par ml
Numération de germes aérobies revivifiables à 37°C**	20 par ml
Bactéries sulfito-réductrices, y compris les spores	0 par 50 ml
* les analyses doivent être commencées au moins 3 jours après le conditionnement	
** les analyses doivent être commencées dans les 12 heures suivant le conditionnement	

II.3. Eaux usées :

II.3.1. Définition :

Les eaux usées sont toutes les eaux qui parviennent dans les canalisations d'eaux usées dont les propriétés naturelles sont transformées par les utilisations domestiques, les entreprises industrielles, agricoles et autres. On englobe, aussi, les eaux de pluie qui s'écoulent dans ces canalisations [3].

II.3.2. Origine et composition des eaux usées :

Suivant l'origine des substances polluantes, on distingue quatre catégories d'eaux usées :

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES EAUX

II.3.2.1. Les eaux usées domestiques :

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau. Elles sont essentiellement porteuses de pollution organique. Elles se répartissent en eaux ménagères, qui ont pour origine les salles de bains et les cuisines et sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques, ...etc. Les eaux de vannes sont les rejets des toilettes, chargés de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux [19].

II.3.2.2. Les eaux industrielles :

Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus des matières organiques azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques ou des hydrocarbures [20].

II.3.2.3. Les eaux agricoles :

L'agriculture est une source de pollution des eaux qui n'est pas du tout négligeable car elle apporte les engrais et les pesticides. Elle est la cause essentielle des pollutions diffuses [21].

Les épandages d'engrais nitrates et phosphates, sous une forme ou en quantité, telle qu'ils ne seraient pas finalement retenus par le sol et assimilés par les plantes, conduisent à un enrichissement en matières azotées ou phosphatées des nappes les plus superficielles et des eaux des cours d'eau ou des retenues. Parmi les polluants d'origine agricole, il faut tenir compte aussi des détergents se dispersant lors des applications de traitement des cultures [22].

II.3.2.4. Les eaux pluviales :

Elles peuvent, elles aussi, constituer une source de pollution importante des cours d'eau, notamment pendant les périodes orageuses. L'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air (fumées industrielles), puis, en ruisselant, des résidus déposés sur les toits et les chaussées des villes (huiles de vidange, carburants, résidus de pneus et métaux lourds...) [21].

II.3.3. Caractéristiques des eaux usées :

II.3.3.1. Les paramètres physico-chimiques :

❖ La température :

La température est un facteur écologique important du milieu. Son élévation peut perturber fortement la vie aquatique (pollution thermique). Certains rejets présentent des écarts de température importants avec le milieu récepteur : ce sont par exemple, les eaux de refroidissement des centrales nucléaires thermiques induisant ainsi une forte perturbation du milieu. La température est mesurée par thermosonde (ou par thermomètre) [23].

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES EAUX

Il est important de connaître la température de l'eau avec précision. En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels, etc. [24].

❖ **Le potentiel d'Hydrogène (pH) :**

Le pH est un paramètre qui permet de mesurer l'acidité, l'alcalinité ou la basicité d'une eau. Sa mesure doit s'effectuer sur place de préférence par la méthode potentiométrique. La mesure électrique, quoique délicate, peut seule donner une valeur exacte, car elle est indépendante du potentiel d'oxydoréduction, de la couleur du milieu, ou de la turbidité et des matières colloïdales [22].

En milieu côtier et estuarien, certains rejets industriels où les apports d'eaux de ruissellement sont la cause de variation du pH qui s'avère être, dans ce cas, un indice de pollution [24].

❖ **Conductivité :**

La conductivité correspond à la capacité de l'eau de conduire l'électricité. Elle dépend de leur concentration en ions (atomes ou groupes d'atomes avec une charge électrique non-nulle) et de la température. Elle donne une bonne indication des changements de la composition des eaux et spécialement de leur concentration en minéraux [25].

❖ **Les MES :**

a- Définition :

Ce sont des particules solides très fines et généralement visibles à l'œil nu, théoriquement, elles ne sont ni solubilisées, ni à l'état colloïdale. Elles déterminent la turbidité de l'eau. Elles limitent la pénétration de la lumière dans l'eau, diminuent la teneur en oxygène dissous et nuisent au développement de la vie aquatique [26].

Ces matières sont en relation avec la turbidité, leur mesure donne une première indication sur la teneur en matière colloïdale d'origine minérale ou organique [26].

En fait, les limites séparant les trois états ne sont pas distinctes et seule la normalisation de la méthode d'analyse permet de faire une distinction précise mais conventionnelle. Les matières en suspension comportent des matières organiques et des matières minérales. Toutes les matières en suspension ne sont pas décantables, en particulier les colloïdes retenus par la filtration [26].

Deux techniques sont actuellement utilisées pour la détermination des matières en suspension; elles font appel à la séparation par filtration directe ou centrifugation. On réserve cette dernière méthode au cas où la durée de la filtration dépasse une heure environ [26].

Les causes de la variabilité de la mesure sont nombreuses (volume de la prise d'essai, teneur en MES de l'échantillon, séchage à 105 °C jusqu'à poids constant). La précision reste cependant très acceptable [26].

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES EAUX

Dans une eau usée urbaine, près de 50 % de la pollution organique se trouve sous forme de MES. Les résultats pour les eaux usées industrielles sont très variables, il est de même pour les eaux naturelles où la nature des MES est souvent minérale et leur taux est relativement bas, sauf en période de crue des cours d'eau [3].

❖ DBO :

Elle représente la quantité d'oxygène consommée par l'eau usée pendant une certaine durée. Elle correspond à la quantité d'oxygène nécessaire pour décomposer par oxydation, et avec l'intervention des bactéries, les matières organiques de l'eau usée [27].

La DBO est un phénomène évolutif dans la mesure où elle permet d'étudier le comportement d'une charge organique (et plus généralement celui d'un échantillon), il est évident qu'il ne peut y avoir de détermination de DBO que lorsque les micro-organismes présents sont capables d'assimiler les matières organiques de l'échantillon [27].

L'évolution d'un échantillon montre pour les eaux urbaines, une représentation toujours identique des matières organiques, en deux stades successifs :

- Le premier stade se rapporte aux composés carbonés, débute rapidement, et s'achève en 20 jours, en travaillant à une température de 20°C.
- Le deuxième stade correspond à l'oxydation des composés azotés qui ne s'amorce qu'au bout du deuxième jour.

En fait, des travaux ont abouti à une loi mathématique d'évolution de la DBO telle que [27] :

$$DBO_t = DBO_{\infty} (1 - e^{-kt}) \quad (I-1)$$

La demande biochimique en oxygène pendant cinq jours, ou DBO_5 , est l'un des paramètres de la qualité d'une eau [28].

Cette DBO_5 mesure la quantité de matière organique biodégradable contenue dans une eau. Cette matière organique biodégradable est évaluée par l'intermédiaire de l'oxygène consommé par les micro-organismes impliqués dans les mécanismes d'épuration naturelle [28].

Ce paramètre est exprimé en milligramme d'oxygène nécessaire pendant cinq jours pour dégrader la matière organique contenue dans un litre d'eau [28].

❖ DCO :

Elle traduit la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder chimiquement les matières organiques contenues dans l'effluent. La mesure de la DCO se fait à l'aide d'une oxydante énergétique comme le dichromate de potassium, en milieu acide et à chaud pendant deux heures. On estime que cette oxydation détruit à 90-95% les composés. Cependant, elle s'applique à des composés qui ne jouent aucun rôle dans le déficit en oxygène d'une cours d'eau [27].

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES EAUX

❖ DTO :

Le gaz et la vapeur produits par la combustion catalytique de l'échantillon sont piégés, et la quantité d'oxygène consommée est mesurée par l'intermédiaire d'une cellule galvanique [27].

❖ Le carbone organique :

Le principe de mesure le plus répandu consiste à brûler l'échantillon en atmosphère d'oxygène pur, puis à envoyer les gaz de combustion dans un analyseur relié à un enregistreur, dont la réponse obtenue est proportionnelle à la quantité de carbone organique présent.

Le principal gaz de combustion est le CO₂. Il est formé par la combustion de produits organiques, après passage dans un four tubulaire de 800-900°C [27].

❖ MO :

C'est un paramètre utilisé par les agences de l'eau pour caractériser la pollution organique de l'eau, il se définit à partir de la DBO₅ et de la DCO selon la formule suivante [29].

$$MO = (2 \times DBO_5 + DCO) / 3 \quad (I-2)$$

❖ COT :

Le carbone organique est constitué d'une grande diversité de composés organiques à plusieurs états d'oxydation, dont certains sont susceptibles d'être oxydés par des procédés chimiques ou biologiques. Ces fractions sont caractérisées par la demande chimique en oxygène (DCO) et la demande biologique en oxygène (DBO) [3].

Certaines matières organiques échappent à ces mesures ; dans ce cas, le dosage du COT est mieux adapté. Il est indépendant de l'état d'oxydation de la matière organique et ne mesure pas les éléments inorganiques tels que l'azote et l'hydrogène qui peuvent être pris en compte par la DCO et la DBO [3].

La détermination porte sur les composés organiques fixés ou volatils, naturels ou synthétiques, présents dans les eaux résiduaires (cellulose, sucres, huiles, etc.). Suivant que l'eau ait été préalablement filtrée ou non, on obtiendra le carbone dissous (COD) ou le carbone total (COT). Cette mesure permet de faciliter l'estimation de la demande en oxygène liée aux rejets, et d'établir éventuellement une corrélation avec la DBO et la DCO [3].

Les méthodes de dosage du carbone organique utilisent toutes le même principe, qui consiste à oxyder le carbone organique en dioxyde de carbone. Cette oxydation peut être obtenue par combustion, irradiation UV, oxydation chimique ou par tous autres procédés appropriés. Le dioxyde de carbone est ensuite mesuré, soit directement, par un analyseur infrarouge ou par toutes méthodes convenant à son dosage, soit réduit en méthane et analysé par un chromatographe à ionisation de flamme [3].

❖ L'azote:

L'azote présent dans les eaux résiduaires provient principalement des déjections humaines. Les urines contribuent largement à cet apport essentiellement sous forme d'urée, d'acide urique et d'ammoniaque. Par ailleurs, les eaux de cuisine véhiculent des



CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES EAUX

protéines comportant des acides aminés et certains agents de surface (assouplissant,...) qui incluent dans leurs molécules des radicaux azotés [30].

L'azote des eaux usées est essentiellement constitué d'azote organique ammonifiable ou réfractaire (sous forme soluble et particulaire) et d'azote ammoniacal. L'azote KJELDAHL (NK), du nom du chimiste qui a mis au point le dosage, représente la somme de l'azote organique et de l'azote ammoniacal [30].

L'azote organique est dit ammonifiable lorsqu'il peut être transformé par hydrolyse enzymatique en azote ammoniacal. L'azote réfractaire est également appelé azote dur. L'azote pouvant subir différentes transformations au cours d'un traitement biologique (passage de la forme ammoniacale à la forme nitreuse puis nitrique et retour à la forme gazeuse) et chacun des composés formés au cours de ces différentes étapes ayant un poids moléculaire différent, le suivi de son évolution au cours du traitement ne peut être effectué qu'à partir d'une base commune : le nombre de moles d'azote ou (ce qui revient au même) les masses d'azote mises en jeu [30].

C'est la raison pour laquelle les charges et les concentrations de NH_4^+ , NO_2^- et NO_3^- sont exprimées en unités de N (d'où la formulation N-N...) [30].

$$\text{Azote Kjeldahl} = \text{Azote ammoniacal} + \text{Azote organique} \quad (\text{I-3})$$

a) Nitrates-nitrites (NO_3^- , NO_2^-):

Les nitrates sont les principales formes d'azote retrouvées dans l'eau. Les nitrites s'oxydent facilement en nitrates, de sorte qu'on en retrouve rarement en grande concentration dans les eaux naturelles. Ils proviennent surtout des effluents industriels, municipaux et du lessivage des terres agricoles. Des concentrations trop élevées peuvent être toxiques pour la faune aquatique et provoquer une maladie infantile (méthémoglobinémie) [25].

❖ Phosphore total:

Le phosphore est un élément essentiel à la croissance des plantes. Il provient principalement des effluents municipaux, du ruissellement et du lessivage des terres agricoles fertilisées et des effluents de certaines industries (agro-alimentaires et papetières). En concentrations excessives, il peut causer une croissance excessive des algues et plantes aquatiques [31].

❖ Les métaux lourds:

a- Généralités :

On appelle métaux lourds les éléments métalliques naturels dont la masse volumique dépasse 5g/cm^3 . Ceux-ci sont présents le plus souvent dans l'environnement sous forme de traces : mercure, plomb, cadmium, cuivre, arsenic, nickel, zinc, cobalt, manganèse. Les plus toxiques d'entre eux sont le plomb, le cadmium et le mercure [32], [33].

b- Sources de métaux lourds :

Les métaux lourds qui entrent dans l'environnement aquatique proviennent de sources naturelles et de sources anthropogènes [34].

Les sources anthropogènes sont les suivantes [34]:

- Effluents d'extractions minières
- Effluents industriels

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES EAUX

- Effluents domestiques et ruissellements orageux urbains
- Lessivage de métaux provenant de décharges d'ordures ménagères et de résidus solides
- Apports de métaux provenant de zones rurales, par exemple métaux contenus dans les pesticides
- Sources atmosphériques, par exemple combustion de carburants fossiles, incinération des déchets et émissions industrielles
- Activités pétrochimiques

Tableau 2 : Sources industrielles et agricoles des métaux présents dans l'environnement [34].

Utilisations	Métaux
Batteries et autres appareils électriques.	Cd, Hg, Pb, Zn, Mn, Ni,
Pigments et peintures.	Ti, Cd, Hg, Pb, Zn, Mn, Sn, Cr, Al, As, Cu, Fe
Alliages et soudures.	Cd, As, Pb, Zn, Mn, Sn, Ni, Cu
Biocides (pesticides, herbicides, conservateurs).	As, Hg, Pb, Cu, Sn, Zn, Mn
Agents de catalyse.	Ni, Hg, Pb, Cu, Sn
Verre.	As, Sn, Mn
Engrais.	Cd, Hg, Pb, Al, As, Cr, Cu, Mn, Ni, Zn
Matières plastiques.	Cd, Sn, Pb
Produits dentaires et cosmétiques.	Sn, Hg
Textiles.	Cr, Fe, Al
Raffineries.	Ni, V, Pb, Fe, Mn, Zn
Carburants.	Ni, Hg, Cu, Fe, Mn, Pb, Cd

c- Les différents métaux lourds:

❖ Mercure :

Les recherches de ces 10 dernières années montrent que la toxicité au mercure pourrait expliquer pourquoi de nombreux problèmes de santé sont en augmentation dans les pays développés depuis 50 ans [35].

Les faits aujourd'hui démontrés scientifiquement sont que [35]:

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES EAUX

- Les amalgames dentaires au mercure laissent s'échapper des vapeurs de mercure : 87% du mercure qui s'accumule dans l'organisme provient des amalgames dentaires.
- L'exposition aux vapeurs de mercure augmente le risque d'Alzheimer, des maladies des reins, des arthrites.

Le mercure se trouve également dans [35]:

- les poissons les plus "hauts" dans la chaîne alimentaire : thons, espadons en particulier ;
- les anciennes peintures au mercure (aujourd'hui interdites) ;
- les thermomètres et thermostats au mercure ;
- le mercurochrome, le merthiolate ou thimérosal (antiseptique sous forme de solutions, émulsions, pommades, crèmes, ovules, collyres) ;
- des algicides (substances inhibant la croissance des algues).

Le mercure est entre autres mesuré par l'urine, les cheveux, le sang (selon le type de mercure, métal ou inorganique) [35].

❖ **Plomb :**

Le plomb est le métal qui cause le plus d'empoisonnements. Les symptômes de toxicité sont nombreux : douleurs abdominales, hypertension, problèmes rénaux, perte d'appétit, fatigue, insomnies, hallucinations, migraines, tremblements, arthrite, vertiges, retards mentaux, autisme, psychoses, allergies, dyslexie, hyperactivité, faiblesse musculaire, paralysies... Les enfants sont particulièrement sensibles au plomb [35].

Le plomb est présent dans de très nombreuses sources [35]:

- vieilles canalisations (donc eau courante dans ce cas) ;
- anciennes peintures ;
- batteries au plomb ;
- câblages, plombages, munitions ;
- anciennement essence ;
- plastiques PVC ;
- stylos ;
- pesticides ;
- encre d'imprimerie ;
- engrais ;
- cosmétiques, colorants de cheveux.

❖ **Aluminium:**

On trouve de l'Aluminium dans des additifs alimentaires, certains anthracides comme l'algedrate (hydroxyde d'aluminium), l'aspirine tamponnée, des sprays nasals, déodorants, l'eau courante, les gaz d'échappement, la fumée du tabac, le papier aluminium, les ustensiles de cuisine en aluminium, les pétards, certaines céramiques.

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES EAUX

L'eau courante contient des traces d'aluminium car il est utilisé dans les coagulants qui servent à la purification des eaux usées [35].

❖ Arsenic :

Les sources d'arsenic dans notre environnement sont nombreuses : processus industriels, pesticides, eau courante, poissons, peintures, poisons pour rats, fongicides, produits de protection du bois...

Les symptômes d'une exposition chronique sont : modifications nerveuses et sensorielles (engourdissements, fourmillements), sensations de brûlure dans les mains et les pieds, Neuropathie (perte du fonctionnement des nerfs) progressive...

Pour la mesure de l'exposition à long terme, le niveau d'Arsenic dans le corps peut être mesuré par les cheveux et les ongles. Le test sanguin ou d'urine mesure l'exposition à court terme [35].

❖ Cadmium :

L'exposition chronique au Cadmium conduit à des maladies d'obstruction des poumons, des maladies rénales et des os fragiles. Autres conséquences possibles : chute partielle ou totale des poils et cheveux, anémie, arthrite, difficultés d'apprentissage, migraines, retards de croissance, ostéoporose, emphysème, perte du goût, de l'odorat, de l'appétit, maladies cardio-vasculaires [36].

Le Cadmium est utilisé dans [36]:

- les batteries au Nickel-Cadmium ;
- les plastiques PVC ;
- les pigments de peintures ;
- les cigarettes ;
- des alliages dentaires, la galvanoplastie ;
- certains insecticides, fongicides, boues utilisées en agriculture, ce qui fait que de nombreux sols sont contaminés ;
- l'huile de moteur, les fumées d'échappement.

b- Toxicité des métaux lourds :

La toxicité des métaux lourds n'est plus à démontrer. La plupart du temps, les effets toxiques des métaux lourds concernent le système nerveux, le sang ou la moelle osseuse. Ils sont généralement cancérigènes. Pour plus d'informations spécifiques sur chaque métal, reportez-vous au tableau ci-dessous [37]:

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES EAUX

Tableau 3 : la solution de traitement des métaux lourds [37].

Les métaux lourds	Les solutions de traitement
Arsenic - As Mercure - Hg Plomb - Pb Zinc - Zn Vanadium - V Argent - Ag Nickel - Ni Chrome III - Cr III Chrome VI - Cr VI	Coagulation Filtres à sable Filtration sur Charbon Actif Filtration sur Charbon Actif Pré-chloration Electrodialyse Echangeurs d'ions Osmose inverse

II.3.3.2. Les paramètres bactériologiques :

Dans les écosystèmes aquatiques, les organismes les plus nombreux sont les microorganismes, les bactéries formant la composante majoritaire. Leur rôle est fondamental dans l'équilibre écologique des milieux aquatiques, principalement par la régulation des cycles biogéochimique et énergétique [38].

Les bactéries marines diffèrent physiologiquement de celles qui ont des habitats non marins ; elles sont très adaptées aux conditions très spéciales offertes par le milieu marin (salinité, pH, oxygénation réduite, basses températures et des pressions souvent considérables) [38].

Certaines bactéries ont la capacité de concentrer des polluants tels que les métaux lourds (mercure) ; leur consommation par des mollusques filtreurs ou des vers peut contaminer la chaîne alimentaire [39].

Les espèces prédominantes appartiennent aux genres suivants : *Pseudomonas*, *Vibrio*, *Spirillum*, *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Bacillus*.etc. [40].

A côté de cette flore autochtone adaptée rigoureusement aux conditions de la vie marine, une flore accidentelle se rencontre le long des côtes, des baies ou d'estuaires et à proximité des villes introduites soit par ruissellement ou par les égouts domestiques. Les principales espèces rencontrées sont d'origines fécales appartenant au groupe des entérobactéries telles que : les coliformes, les salmonelles et les streptocoques [41].

a. Les formes de résistance :

Certaines bactéries vivent dans un habitat relativement stable qui n'est pas soumis à des modifications physico-chimiques profondes, tel est le cas des bactéries pathogènes, parasites ou saprophytes de l'organisme hôte. D'autres organismes au contraire doivent s'adapter à des habitats contrastés et survivre dans un milieu hostile à des variations de température, de pH. Les bactéries doivent s'adapter pour survivre [42]:

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES EAUX

- ❖ **Les spores :** sont l'une des formes de résistance et d'évolution que prennent certaines bactéries pour survivre dans des conditions hostiles et attendre des conditions plus propices afin qu'elles puissent germer et donner de nouvelles cellules végétatives identiques aux cellules originelles [42].
- ❖ **Les formes L :** représentent des états par lesquels toutes les bactéries peuvent passer à un moment de leur existence. Ce sont en fait des « façons d'être », des instantanés de la vie microbienne, fonctions de l'environnement. Des *Salmonella*, des *Escherichia*, prennent par exemple des formes inhabituelles de serpents, de poires, dès qu'elles séjournent dans une eau de mer légèrement enrichie en matière organique. Le passage des bactéries à ces états de résistance, a été retrouvé dans les eaux d'égouts et de rivières et chez les mollusques. Ils restent le plus souvent inaperçus faute de mise en œuvre des techniques appropriées [42].
- ❖ **Les kystes :** comme les spores ; appartiennent aux formes de résistances ; mais qui sont spécifique aux parasites. C'est le cas des amibes par exemple [42].

b. Paramètres d'analyse bactériologique :

• Généralités :

La charge bactérienne des eaux usées domestiques, qui représente la principale source de micro-organismes pathogènes pour l'homme en milieu marin, est très élevée, soit 10^9 à 10^{10} germes/litre. Nous éliminons environ 1 kg d'excrétions (solides ou liquides) soit 70 g de matières [43].

Les espèces considérées comme pathogènes à transmission hydrique sont réparties au sein de quatre genres : *Salmonella* (bacilles de la typhoïde, des paratyphoïdes A et B et de diverses gastro-entérites), *Shigella* (bacilles dysentérique), *Escherichia* (essentiellement *E. coli* ou colibacille) parmi les Entérobactéries, et *Vibron* (vibron du choléra) parmi les Vibrionacées [44].

Le degré de pollution des eaux de mer est cependant, comme pour les eaux douces, évalué par le dénombrement d'autres bactéries entériques, appelés « indicateurs de contamination fécale », en général, les coliformes fécaux et les streptocoques fécaux (groupe D), qui sont en grande partie dénués de pathogénicité pour l'homme, mais sont très abondants dans les eaux usées. La raison de ce choix tient essentiellement au fait que la numération de ces bactéries est beaucoup plus simple et rapide (24 à 48 heures) que celle des espèces véritablement pathogènes (généralement quelques jours, avec souvent nécessité d'identification sérologique) [43].

Si la présence des espèces indicatrices ne confirme pas celle des espèces pathogènes dans les eaux analysées, elle la laisse supposer, car une certaine relation quantitative existe entre les deux groupes de bactéries [43]. En effet, La présence simultanée des coliformes et des entérocoques suffit à confirmer qu'il y a pollution [42].

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES EAUX

c. Les indicateurs microbiens :

On présente ci-dessous les germes indicateurs principaux, à savoir, les coliformes, les streptocoques fécaux et les clostridiums (sulfito-réducteurs) :

- **Les coliformes totaux:**

Les coliformes sont des bâtonnets (figure01), anaérobie facultatif, gram (-) non sporulant. Ils sont capables de croître en présence de sels biliaires et fermentent le lactose en produisant de l'acide et du gaz en 48 heures à des températures de 35 à 37° C. Ils regroupent les genres *Escherichia*, *Citrobacter*, *Entérobactérie*, *Klébsiella*, *Yersinia*, *Serratia*, *Rahnella*, et *Buttiauxella*. La recherche et le dénombrement de l'ensemble des coliformes (coliformes totaux), sans préjuger de leur appartenance taxonomique et de leur origine, est capital pour la vérification de l'efficacité d'un traitement d'un désinfectant mais il est d'un intérêt nuancé pour déceler une contamination d'origine fécale [45].

- **Les coliformes fécaux :**

Ce sont des bâtonnets Gram (-), aérobies et facultativement anaérobies ; non sporulant, capables de fermenter le lactose avec production de l'acide et de gaz à 36 et 44°C en moins de 24 heures. Ceux qui produisent de l'indole dans l'eau peptonée contenant du tryptophane à 44°C, sont souvent désignés sous le nom d'*Escherichia Coli* bien que le groupe comporte plusieurs souches différentes (*Nitrobacter freundii*, *Entérobactérie aérogènes*, *Klebsiella pneumonie...etc.*) [45].



Figure 1: Coliformes fécaux [46].

Les coliformes fécaux thermotolérants (44°C) sont considérés d'origine humaine et en voici quelques concentrations [45]:

- ✓ excréments humains 10^9 /gramme de matière fécale;
- ✓ eaux usées non traitées 10^6 à 10^8 / 100ml.

Lorsqu'on les trouve ; ils dénotent normalement une pollution fécale récente car ils ne se propagent pas dans le milieu marin. Il a été signalé des taux de disparition correspondant à une réduction de 90 % du nombre de CF d'une à trois heures qui dépendent de la salinité, de la température et des rayonnements solaires [47].

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES EAUX

Les coliformes fécaux répondent aux critères de bons indicateurs, la principale difficulté qui s'attache à leur emploi, est leur survie relativement courte en eau de mer, ce qui peut exiger un recours à des indicateurs supplémentaires [47].

- **Les streptocoques fécaux :**

Ces bactéries appartiennent à la famille de *Streptococcaceae*, au genre *Streptococcus* et au groupe sérologique D de LanceField. Ils sont définis comme étant des cocci sphériques légèrement ovales, gram positifs. Ils se disposent le plus souvent en diplocoques ou en chaînettes, se développent le mieux à 37°C et ils possèdent le caractère homoférentaire avec production de l'acide lactique sans gaz [47].

Il y a 5 espèces reconnues parmi les SF : *S. bovis*, *S. equinus*, *S. avium*, *S. faecalis* et *S. faecium* [48].



Figure2 : Streptocoques fécaux [49].

Ils sont des témoins de contamination fécale assez résistants y compris dans les milieux salés. Ils peuvent aussi se multiplier dans les milieux présentant des pH allant jusqu'à 9.6, on peut par conséquent les utiliser comme indicateurs d'organismes pathogènes qui ont une résistance similaire au pH élevé [47].

- **La flore mésophile aérobie totale :**

La flore mésophile aérobie totale (FMAT) est utilisée comme un indicateur de pollution global. Elle englobe l'ensemble de microorganismes capables de se multiplier à l'air aux températures moyennes, surtout à une température optimale de croissance située entre 25 et 40°C [47].

d. Les germes pathogènes :

Ces germes proviennent le plus souvent des côtes polluées par les égouts, les effluents et d'autres sources de pollution. Ils peuvent également être natifs du milieu marin [47].

On présente ci-dessous, les salmonelles et les staphylocoques :

- **Les Salmonelles :**

Elles appartiennent à la famille des entérobactériacées et sont des bâtonnets mobiles (figure 02), Gram (-), aérobies et facultativement anaérobies. Elles fermentent le glucose, le maltose et le mannitol, avec production de gaz, mais elles ne fermentent pas le saccharose. Elles réduisent le sulfite en sulfure et décarboxylent la lysine [47].

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES EAUX



Figure3 : les Salmonelles [50], [51]

Elles sont retrouvées dans les excréments de porteurs sains et malades d'animaux ou d'Hommes .Elles sont peut être la cause la plus fréquente d'infections des êtres humains par des organismes pathogènes à hôte animal [47].

Dans le milieu marin, les exutoires d'eaux usées constituent la principale source de pollution par les salmonelles [48].

- **Les Staphylocoques :**

Les staphylocoques sont des cellules sphérique de 0.5 à 25 Um généralement regroupées en amas, ils sont immobiles et ne forment pas de spores ; ils sont aérobies ou anaérobies facultatifs, Gram (+), catalase (+), fermentent les sucres en produisant de l'acide lactique [47].

L'espèce *Staphylococcus aureus* ou « staphylocoque doré » possède toutes ces caractéristiques, ajoutant à cela qu'elle est coagulasse (+), il est à noter que les staphylocoques sont ubiquistes, très largement distribués dans l'environnement [47].

Cette famille comprend les genres suivants : *Planococcus*, *Micrococcus* et *Staphylococcus*. ont pu identifier 11 espèces au sein du genre *Staphylococcus*, en 1984, ils ont pu distinguer 19 espèces [47].

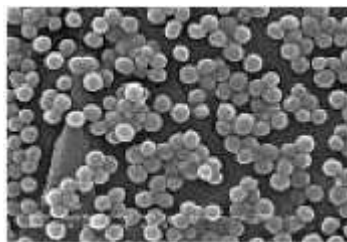


Figure4 : Staphylocoques [52].

Parmi ces espèces, *S. aureus* revêt plus d'intérêt quant à la pollution de eaux littorales et des fruits de mer. Deux autres espèces (*S. epidermidis* et *S. saprophyticus*) sont assez fréquemment rencontrées dans l'eau, mais leur pouvoir pathogène est moins important [45].

La recherche des staphylocoques présente un intérêt pratique surtout dans les eaux destinées à la baignade [45].

- **Les Clostridiums sulfito-réducteurs :**

Ils peuvent être considérés comme des germes fécaux, ce sont aussi des germes telluriques et de ce fait aucune spécificité d'origine fécale ne peut être attribuée à leur mise en évidence . Dans une telle optique d'interprétation, il y a intérêt à ne chercher que

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES EAUX

les espèces les plus susceptibles d'être d'origine fécale, c'est le cas en particulier de *Clostridium perfringens* (RODIER et al, 1996). Les *Clostridium perfringens* sont des bâtonnets anaérobies, gram (+), sporulant et qui réduisent les sulfites en sulfures en 24 à 48heures [47].



Figure5 : Clostridium perfringens [52]

Ils sont excrétés par l'homme et les animaux, on les trouve régulièrement dans les matières fécales humaines, leur densité est la suivante [47]:

- ✓ excréments humains 10^6 à 10^8 / g;
- ✓ eaux usées non traitées 10^3 / ml.

Elles sont employées comme indicateurs dans l'étude des pollutions littorales pour un certain nombre de raisons [47]:

- ✓ elles se trouvent en abondance dans les eaux usées qui sont principalement d'origine humaine;
- ✓ elles ne se multiplient pas dans les sédiments;
- ✓ elles survivent dans les sédiments, ce qui permet de déceler une pollution ancienne ou intermittente.

III. Les normes de qualité de l'eau potable:

Il est à noter que beaucoup de pays ont leurs propres normes. Les pays européens ont chacun des normes et il existe des normes de la communauté européenne. Lorsqu'il n'existe pas de normes nationales, on adopte les normes de l'Organisation Mondiale de la Santé (O.M.S) en général. Les normes de l'O.M.S sont assez tolérantes pour certains critères (ex : turbidité), pour tenir compte des moyens limités de certains pays en voie de développement [53].

Les normes résultants des règlements sont données dans les tableaux 4, 5, 6, 7, 8.

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES EAUX

Tableau 4: psubstances dont la concentration dans l'eau de besoin devrait, de préférence, être contrôlée (norme européennes applicables à l'eau de boisson) [53].

Substance	Nature des effets possibles	Concentration approximative au-delà de laquelle les effets risquent de se produire
Détersifs anioniques Ammoniaque (en NH)	Gout désagréables et formation de mousse Prolifération d'organismes risque de corrosion des canalisations difficultés de chloration	0,2mg/l 0,06 mg/l
Anhydride carbonique libre (en CO ₂)	Dégâts aux canalisations danger de dissolution de métaux	Pour l'anhydride carbonique agressif zéro
Oxygène dissous	Gout et odeur désagréables corrosion prolifération d'organismes si la concentration d'oxygène dissous est inférieure à 5mg/l, la formation d'un dépôt protecteur dans les canalisations sera entravée et tout l'anhydride carbonique libre d'une eau non agressive sera susceptible de corroder les conduites de fonte d'acier	De préférence un minimum de 5mg/l
Dureté totale	Dépôt calcaire excessif danger de dissolution des métaux lourds si le degré de dureté est inférieur à la limite recommandée	Entre 2et 10 m Eg/l (100 à 500 mg/l de CaCO ₂)

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES EAUX

Tableau 5 : élément toxique ou indésirable dans l'eau potable

Concentrations maximales admissibles selon la directive européenne [48].

Eléments	Eléments dosés	Concentrations maximales admissibles mg/l
Aluminium	Al	0,200
Argent	Ar	0,010
Arsenic	As	0,050
Cadmium	Cd	0,005
Cyanures	CN	0,050
Chrome	Cr	0,050
Cuivre	Cu	0,050
Fluo	F	1,500
Fer	Fe	0,200
Mercure	Hg	0,001
Manganèse	Mn	0,050
Nickel	Ni	0,050
Phosphore	P	2,000
Plomb	Pb	0,050
Antimoine	Sb	0,010
Sélénium	Se	0,010
Zinc	Zn	0,100

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES EAUX

Tableau 6: substances dont la présence en quantités excessive dans l'eau de boisson peut présenter des inconvénients [53].

Substance	Nature des effets possibles	Concentration approximative au-delà de laquelle les effets risquent de se produire
Composés phénoliques (en phénol)	Goute désagréable, notamment dans les eaux chlorée	Moins de 0,001/mg/l
Fluorures (F)	Fluorose	1,500 mg/l
Nitrates (en NO ₃)	Danger de méthémoglobinémie infantile si l'eau est consommée par des nourrissons	Recommandée : moins de 50mg/l Acceptable : de 50 à 100mg/l Déconseillée plus de 100mg/l
Cuivre (en Cu)	Saveur astringente coloration parasite corrosion des canalisations, des joints et des ustensiles	0,05mg/l à la station de pompage : 3,0mg/l après 16heures de contact avec des canalisations neuves
Fer (total, en Fer)	Goute désagréable coloration parasite dépôts et prolifération des Ferro turbidité	0,1mg/l à l'entrée de l'eau dans le réseau
Manganèse (en Mn)	Saveur astringente Opalescence et dépôts granuleux dans les canalisations.	5,0mg/l
Zinc	Dureté gout désagréable	Pas plus de 30mg/l si l'eau contient 250mg/l de sulfate ; s'il y a moins de sulfate, la tolérance pour Mg peut atteindre 125 mg/l
Magnésium (Mg)	Irritation gastro-intestinale s'il y a association avec le magnésium ou le sodium	250mg/l
Sulfates (en SO ₂)	Goute et odeur désagréables	250mg/l
Hydrogène sulfure (H ₂ S)	Goute désagréable corrosion des canalisations d'eau chaude	200mg/l cette limite peut être dépassée dans certaines conditions mais ne devra en aucun cas être supérieure à 600mg/l

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES EAUX

Tableau 7 : Normes algériennes d'une eau potable [54].

Caractéristiques	Unité	Concentration
Couleur	Couleur	Couleur
Odeur (seuil de perception à 25°C)	Mg/l de platine	Au maximum 25
Saveur (seuil de perception à 25°C)		Au maximum 4
Turbidité	NTU	Au maximum 4
Caractéristiques physico chimiques.		
pH	Unité PH	6.5 à 8.5
Conductivité (à 20°C)	Us/cm	Au maximum 2.800
Dureté	mg/l de CaCO ₃	100 à 500
Chlorures	mg/l	200 à 500
Sulfates	mg/l	200 à 400
Calcium	mg/l	75 à 200
Magnésium	mg/l	150
Sodium	mg/l	200
Potassium	mg/l	20
Aluminium	mg/l	0.2
Oxydabilité aux permanganates de potassium	mg/l en oxygène	Au maximum 3
Résidus secs après dessiccation à 180°C	mg/l	1.5 à 2
Caractéristiques concernant les substances indésirables.		
Nitrate	mg/l	Au maximum 50
Nitrites	mg/l	Au maximum 0.1
Ammonium	mg/l	Au maximum 0.5
Azote	mg/l	Au maximum 1
Fluor	mg/l	0.2 à 2
Hydrogène sulfuré	mg/l	Peut-être décelable orgaleptiquement
Fer	mg/l	Au maximum 0.3
Manganèse	mg/l	Au maximum 0.5
Cuivre	mg/l	Au maximum 1.5
Zinc	mg/l	Au maximum 5
Argent	mg/l	Au maximum 0.05
Caractéristiques concernant les substances toxiques		
Arsenic	mg/l	Au maximum 0.05
Cadmium	mg/l	Au maximum 0.01
Cyanure	mg/l	Au maximum 0.05
Chrome	mg/l	Au maximum 0.05
Mercure	mg/l	Au maximum 0.01
Plomb	mg/l	Au maximum 0.05
Sélénium	mg/l	Au maximum 0.01

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES EAUX

IV. Les normes de rejet :

Les bactéries sont couramment recherchées dans l'eau, principalement comme témoins de contamination fécale [3].

L'OMS (1979) a choisi plusieurs témoins répondant à certaines exigences ; il s'agit des coliformes, des streptocoques fécaux, et parfois les *Clostridium perfringens* [3].

IV.1. Les normes internationale :

La norme est représentée par un chiffre qui fixe une limite supérieure à ne pas dépasser ou une limite inférieure à respecter. Un critère donné est rempli lorsque la norme est respectée pour un paramètre donné Une norme est fixée par une loi, une directive, un décret-loi [55].

Les normes internationales selon l'organisation mondiale de la santé respective pour les eaux usées [55].

Tableau 8 : norme internationale des eaux usées [55].

Caractéristiques	Normes utilisées (OMS)
PH	6,5-8,5
DBO5	<30 mg/l
DCO	<90 mg/l
MES	<20 mg/l
NH ⁺⁴	<0,5 mg/l
NO ₂	1 mg/l
NO ₃	<1 mg/l
P ₂ O ₅	<2 mg/l
Température	<30°C
Couleur	Incolore
Odeur	Inodore

IV.2. Les valeurs limitent des substances nocives dans les eaux industrielles :

La teneur des eaux industrielles et substances nocives ne peut, en aucun cas, au moment de leurs rejets dans les égouts publics, dépasser pour les corps chimiques énumérés ci-après, les valeurs suivantes conformément aux normes en vigueur :

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES EAUX

Tableau 9 : les normes internationales des eaux usées industrielles [55].

Fer	Fe	10 mg/l
Aluminium	Al	10 mg/l
Magnésie	Mg (OH) ²	300mg/l
Cadmium	Cd	0,5mg/l
Sulfate	SO ₄	600mg/l
Chrome	Cr	2mg/l trivalent
		0,1mg/l tétravalent
Cuivre	Cu	2mg/l
Cobalts	Co	5mg/l
Zinc	Zn	20mg/l
Mercure	Hg	0,1mg/l
Plomb	Pd	2 mg/l
Nickel	Ni	3 mg/l
Argent	Ag	1 mg/l
Chlore libre	Cl ⁻	3 mg/l
Arsenic	As	1 mg/l
Sulfures	S	3 mg/l
Chromates	Cr O ₃	2 mg/l
Fluorures	F	15 mg/l
Fluor	F	60 mg/l
Nitrites	NO ₂	100 mg/l
Cyanure	Cn	1 mg/l
Phénol	C ₆ H ₅	5 mg/l
Etain	Sn	5 mg/l
Sélénium	Se	1 mg/l
Baryum	Ba	0,1 mg/l
Métaux totaux		15 mg/l

IV.3. Les substances et solvants organiques, graisses :

Tableau 10: Substances et solvants organiques, graisses [56]. .

Huiles et graisses saponifiables	100 mg/l
Hydrocarbures	20 mg/l
Hydrocarbures halogènes	5 mg/l
Détergents anioniques	5 mg/l
Solvants chlorés	0.1 mg/l
SEC (Substances Extractibles au Chloroforme)	25 mg/l

Cette liste n'est pas limitative.

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES EAUX

Conclusion :

Ce chapitre a permis de faire connaître et détailler les caractéristiques des différents types d'eau : les eaux souterraines, les eaux de surface, les eaux de mer et les eaux usées.

Il a permis aussi de présenter les normes de potabilité et les normes de rejet des eaux.

CHAPITRE II :
GÉNÉRALITÉS SUR
L'ÉPURATION

Chapitre II : généralité sur l'épuration

I. Introduction :

Une fois qu'une eau est utilisée par l'habitant ou par l'industrie, elle est rejetée dans le milieu naturel, on parle alors d'une eau usée, dans les deux cas, cette eau doit être traitée avant de la rejeter dans le milieu récepteur [57].

Une station d'épuration est installée généralement à l'extrémité d'un réseau de collecte, sur l'émissaire principal, juste en amont de la sortie des eaux vers le milieu naturel [27].

Elle rassemble une succession de dispositifs, empruntés tour à tour par les eaux usées. Chaque dispositif est conçu pour extraire au fur et à mesure les différents polluants contenus dans les eaux. La succession des dispositifs est bien entendu calculée en fonction de la nature des eaux usées recueillies sur le réseau et des types de pollutions à traiter [27].

II. Objectifs de l'épuration:

L'épuration des eaux usées a pour but de permettre le rejet des eaux sans risque majeur pour le milieu récepteur. Les objectifs essentiels de l'épuration sont [58]:

- ✓ la préservation et l'amélioration de la santé.
- ✓ la protection de l'environnement.

III. Les procédés d'épuration des eaux usées :

La dépollution des eaux usées nécessite une succession d'étapes faisant appel à des traitements physiques, physico-chimiques et biologiques. En dehors des plus gros déchets présents dans les eaux usées, l'épuration doit permettre, au minimum, d'éliminer la majeure partie de la pollution carbonée [58].

III.1.Prétraitement :

Les collecteurs des eaux usées véhiculent des matières très hétérogènes et souvent volumineuses, spécialement dans les réseaux unitaires. A l'arrivée à la station d'épuration, les eaux usées brutes doivent subir, avant leur traitement proprement dit, des traitements préalables purement physiques ou mécaniques nommés prétraitements et destinés à extraire de l'effluent, la plus grande quantité possible des matières dont la nature ou la dimension constituerait une gêne pour les traitements ultérieurs.

Les traitements sont constitués de trois opérations essentielles, à savoir [59]:

- ❖ Dégrillage
- ❖ Dessablage - Dégraissage
- ❖ Déshuilage.

Chapitre II : généralité sur l'épuration

III.1.1. Le dégrillage :

a. Principe :

Le dégrillage, premier post de traitement indispensable sur les eaux usées de surface et les eaux résiduaires. Les dégrilleurs assurent la protection des équipements électromécaniques et réduisent les risques de colmatage des conduites mises en place dans la station d'épuration. Le plus souvent il s'agit de grilles qui récupèrent les déchets plus ou moins volumineux entraînés par les eaux s'écoulant dans les canalisations d'assainissement. Une grande diversité de grilles est disponible sur le marché (droite, courbe, nettoyage amont, aval, ...) [53].

On distingue :

- ❖ Un pré dégrillage pour un écartement de 30 à 100 mm
- ❖ Dégrillage moyen pour un écartement de 10 à mm
- ❖ Dégrillage fin pour un écartement de 3 à 10 mm

b. Les types de grilles :

➤ Les grilles manuelles :

Elles sont constituées de barreaux droits en acier. Ces grilles sont le plus souvent inclinées de 60 à 80° sur l'horizontale. Le nettoyage est effectué à l'aide des râtaux [53].

➤ Les grilles mécaniques : se classent en deux catégories :

- ❖ Les grilles droites : elles sont inclinées à 80° sur l'horizontale. Le nettoyage se fait à l'aide des râtaux ou des peignes, des brosses ou des grappins [53].
- ❖ Les grilles courbes : elles sont généralement utilisées pour les stations d'épuration des eaux industrielles [53].



Figure 6: les grilles mécaniques [60].

III.1.2. Dessablage:

a. Principe :

L'objectif essentiel du dessablage est de retenir les particules sédimentables afin de protéger les installations de l'aval, les dépôts de sables réduisant en outre la débitance des conduites. Le dessableur est un ouvrage dans lequel les particules denses, dont la vitesse est inférieure à 0,3 m/s, vont pouvoir se déposer. Il s'agit principalement des sables. Il est en effet souhaitable de les récupérer en amont de la station plutôt que de les laisser s'accumuler en certains points (bassin d'aération, ...)

Chapitre II : généralité sur l'épuration

où ils engendrent des désordres divers. Par ailleurs, ils limitent la durée de vie des pièces métalliques des corps de pompe ou d'autres appareillages (effet abrasif, ...) [61].



Figure 7: bassin de dessablage [62].

III.1.3. Déshuilage– dégraissage :

a. Principe :

L'objectif du déshuilage est de retenir les graisses et les huiles (particules de densité plus faible que l'eau) afin de protéger le milieu naturel. En effet, ces éléments peuvent former en zone calme une couche fine (souvent irisée) en surface qui réduit les échanges gazeux eau-atmosphère. Cette opération de séparation est également essentielle pour protéger les installations sensibles situées à l'aval (dans les stations d'épuration, les corps gras peuvent former des émulsions perturbant notamment les écoulements) [61].

Le dégraisseur a pour objet la rétention des graisses par flottation naturelle ou accélérée par injection de fines bulles [61].

Les teneurs en graisses sont appréciées analytiquement par la mesure des MEH (Matières Extractibles à l'Hexane). Ces matières grasses sont susceptibles de nuire à la phase biologique du traitement (mousses, ...) [61].

III.2. Le traitement primaire :

Après les prétraitements, les effluents conservent une charge polluante dissoute et des matières en suspension. Les procédés de traitement primaire sont physiques, comme la décantation, ou physico-chimique telle que la coagulation – floculation [61].

Chapitre II : généralité sur l'épuration



Figure 8 : Décantation primaire et flottation [62].

III.2.1. Décantation primaire :

La décantation est un procédé qu'on utilise dans, pratiquement, toutes les usines d'épuration et de traitement des eaux [63]. Son objectif est d'éliminer les particules dont la densité est supérieure à celle de l'eau par gravité. La vitesse de décantation est en fonction de la vitesse de chute des particules, qui elle-même est en fonction de divers autres paramètres parmi lesquels : grosseur et densité des particules [64].

Les matières solides se déposent au fond d'un ouvrage appelé "décanteur" pour former les boues "primaires". Ces dernières sont récupérées au moyen de systèmes de raclage. L'utilisation d'un décanteur lamellaire permet d'accroître le rendement de la décantation. Ce type d'ouvrage comporte des lamelles parallèles inclinées, ce qui multiplie la surface de décantation et accélère donc le processus de dépôt des particules. La décantation est encore plus performante lorsqu'elle s'accompagne d'une floculation préalable [65].



Figure 9: Décanteur primaire avec pont racléur à entraînement périphérique [66].

Chapitre II : généralité sur l'épuration

Les procédés physico-chimiques de décantation consistent à alourdir les particules en suspension. Ils font appel aux techniques de coagulation ou de floculation-clarification [63].

Les processus de coagulation et de floculation sont employés pour séparer les solides en suspension de l'eau lorsque la vitesse de décantation naturelle est trop lente pour obtenir une clarification efficace [63].

Les réactifs employés sont d'origine minérale (sulfate d'alumine, chlorure ferrique, chaux) ou organique et libèrent des ions positifs qui neutralisent le colloïde et précipitent en formant des flocons : c'est la floculation [63].

Les procédés physico-chimiques présentent l'avantage d'une mise en route rapide (10 heures environ) et d'une adaptation immédiate aux variations de débit de la charge des effluents à traiter [63].

III.3.Le traitement secondaire :

Les prétraitements physiques permettent d'éliminer les fractions solides grossières des eaux usées, sans action sur la partie non décantable. Les traitements physicochimiques permettent, en plus, d'éliminer une partie de la fraction soluble. Mais seuls les traitements biologiques permettent, de façon acceptable sur le plan technico-économique, d'éliminer de façon très poussée la fraction soluble et organique de la pollution [67].

Le traitement biologique a pour but d'éliminer le plus possible des polluants biodégradables contenus dans l'eau usée [68].

Les agents actifs dans le traitement sont des micro-organismes, en particulier les bactéries aérobies qui digèrent les matières organiques en présence d'oxygène.

On peut citer différents procédés telles que [68] :

- les cultures fixes (lits bactériens, et les disques biologiques)
- les cultures libres (les boues activées, les lagunages).

III.3.1.Disque biologique :

Les disques biologiques utilisés pour le traitement des eaux usées domestiques sont généralement précédés d'un dégrillage, d'un système de traitement primaire. Cette filière est adaptée pour les petites et moyennes collectivités avec des capacités de traitement comprises entre 300 et 2000 Kg DBO₅/j. (Equivalent Habitants) [69].

a. Principe :

L'unité de disques biologiques est constituée de disques en plastique rotatifs montés sur un arbre dans un bassin ouvert rempli d'eaux usées [69].

Les disques tournent lentement dans le bassin et lorsqu'ils passent dans les eaux usées, les matières organiques sont absorbées par le biofilm fixé sur le disque rotatif. L'accumulation de matières biologiques sur les disques en augmente l'épaisseur et forme une couche de boues. Lorsque les disques passent à l'air libre, l'oxygène est absorbé, ce qui favorise la croissance de cette biomasse. Quand cette

Chapitre II : généralité sur l'épuration

dernière est suffisamment épaisse (environ 5 mm) une certaine quantité se détache et se dépose au fond de l'unité [69].

L'alternance de phases de contact avec l'air et l'effluent à traiter, consécutive à la rotation du support permet l'oxygénation du système et le développement de la culture bactérienne [69].

Lors de la phase immergée, la biomasse absorbe la matière organique qu'elle dégrade par fermentation aérobie grâce à l'oxygène atmosphérique de la phase émergée [69].

Les matériaux utilisés sont de plus en plus légers (en général du polystyrène expansé) et la surface réelle développée de plus en plus grande (disque plat ou alvéolaire) [69].



Figure 10: Synoptique d'une station d'épuration comportant un disque biologique [70].

III.3.2.les lits bactériens :

a. Principe :

Leur principe consiste en un ruissellement d'eau continu à travers des masses de matériaux contenus dans des tours où un contre-courant d'air circule par tirage naturel. Le matériau doit avoir une grande surface spécifique et résister à l'écrasement. Il supporte un film épais de micro-organismes beaucoup plus variés qu'en boues activées. Avec une masse principale de cellules bactériennes hétérotrophes monocellulaires communes au BA, coexistent des micro-organismes aérobies facultatifs ou anaérobies et des organismes plus développés, champignons, algues vertes, protozoaires. Au mécanisme d'épuration aérobie s'ajoutent donc en profondeur du film, un mécanisme anaérobie de destruction des cellules formées par voie aérobie. Ceci explique la production très faible de boues par ces lits qui en relâchent sporadiquement de petites quantités [71].

Chapitre II : généralité sur l'épuration

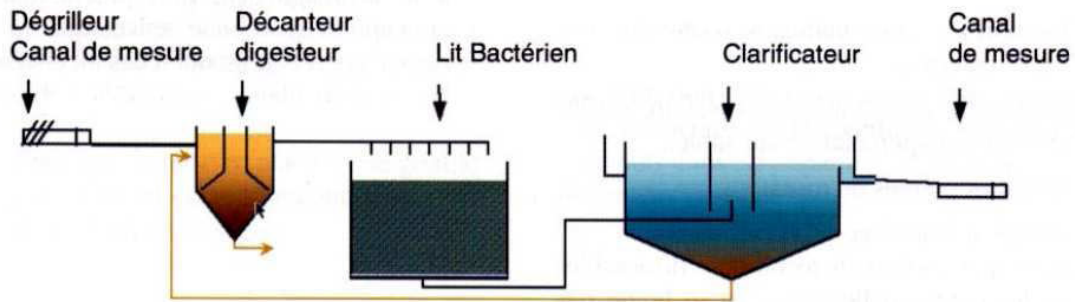


Figure 11 : schéma d'une station d'épuration à lit bactérien [72].

Le décanteur-digesteur assure [73]:

- ✓ le dépôt des particules en suspension contenues dans les eaux usées préalablement prétraitées par simple séparation gravitaire,
- ✓ la digestion anaérobie de la fraction organique de ces dépôts progressivement accumulée.



Figure 12 : le lit bactérien [72].

Chapitre II : généralité sur l'épuration

b. Avantages et inconvénients de la filière :

Tableau 11 : les avantages et inconvénients du lit bactérien [74].

Avantages	inconvénients
<ul style="list-style-type: none">-Entretien simple mais régulier- Bonne résistance aux surcharges hydrauliques organiques passagères,- Consommation énergétique modérée (de l'ordre de 0,6 kWh/kg de DBO5 éliminée),- Boues bien épaissies par décanteur - digesteur.	<ul style="list-style-type: none">- Procédé souvent considéré comme désuet, n'ayant pas bénéficié d'un effort de recherche et d'améliorations technologiques comparables à celui pour les boues activées en aération prolongée,- Risques d'odeurs pouvant provenir du digesteur et d'un défaut d'aération du lit dans certaines conditions météorologiques.- Sensibilité au froid et au colmatage,- Abattement limité de l'azote et du phosphore,- Source de développement d'insectes.

III.3.3. Les boues activées :

a. Le principe :

Les boues activées sont des systèmes qui fonctionnent biologiquement, avec une aération artificielle. L'épuration par boues activées consiste à mettre en contact les eaux usées avec un mélange riche en bactéries par brassage pour dégrader la matière organique en suspension ou dissoute. Il y a une aération importante pour permettre l'activité des bactéries et la dégradation de ces matières, suivie d'une décantation à partir de laquelle on renvoie les boues riches en bactéries vers le bassin d'aération [27].

Une bonne gestion de l'aération permet également d'assurer les réactions de nitrification et de dénitrification [75].

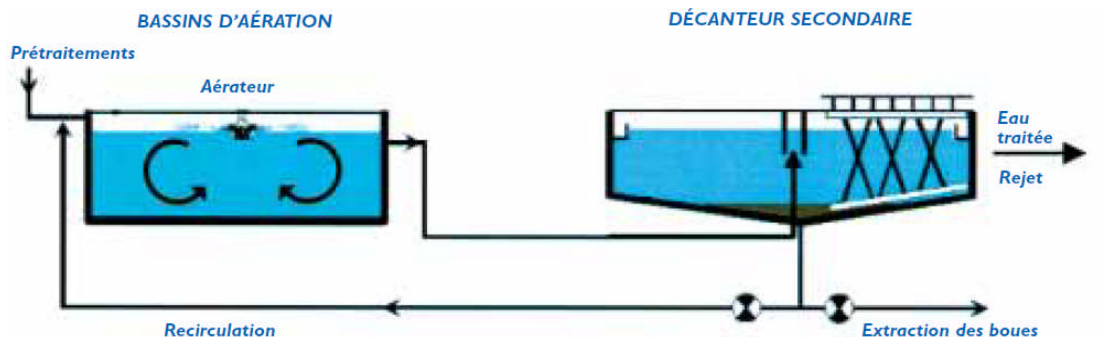


Figure 13: Le principe des boues activées [76].

Chapitre II : généralité sur l'épuration

Le système fait intervenir deux phases : l'aération et la décantation [77].

Il utilise une population variée (bactéries, champignons, protozoaires, rotifères, nématodes, etc.) [77].

La composition qualitative et quantitative de cette population dépend d'une multitude de facteurs, dont [77]:

- ❖ l'alimentation, variable en quantité et en qualité ;
- ❖ la teneur en oxygène des bassins ;
- ❖ le pH et la température ;
- ❖ les interactions entre espèces (compétition, prédation, synergisme).

b. Avantages et inconvénients de la filière [74]:

Tableau 12 : les avantages et les inconvénients des boues activées [74].

avantages	inconvénients
<ul style="list-style-type: none">- Procédé éprouvé permettant d'obtenir les performances de traitement les plus élevées,- Procédé adapté aux charges organiques importantes,- Procédé adapté au traitement poussé du phosphore,- Procédé adapté pour les réseaux séparatifs ou unitaires associés à un bassin.	<ul style="list-style-type: none">Exploitation rigoureuse (suivi électromécanique),- Coût d'exploitation élevé en particulier pour les petites installations, annuellement de 4 à 8 % du coût d'investissement,- Formation du personnel pour l'exploitation,- Production de boues conséquente nécessitant un traitement adapté suivant la capacité des ouvrages,- Coût énergétique plus élevé que pour une filière rustique.

III.3.4. Lagunage :

a. Lagunage naturel :

Le lagunage naturel, encore appelé lagunage aérobie, permet une épuration des eaux usées circulant généralement dans une série de trois bassins en cascade. Ce procédé repose sur les processus naturels de l'auto-épuration grâce à la présence équilibrée d'organismes vivants (bactéries, zooplancton, algues) dans les conditions du milieu. Ces installations sont adaptées aux petites collectivités de 250 à 1500 EH, mais des adaptations techniques à partir de 100 EH peuvent être réalisées [78].

Chapitre II : généralité sur l'épuration

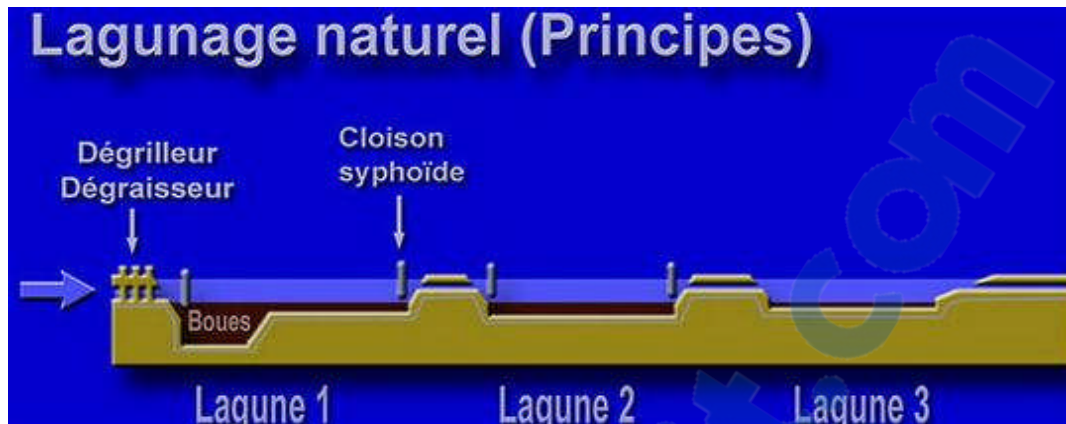


Figure 14: principe de lagunage naturel [79].

b. Les différents types de lagunage naturel :

❖ Le lagunage à macrophytes :

Le lagunage à macrophytes est effectué dans des bassins étanches en séries. Les bassins sont en général totalement couverts de plantes qui maintiennent ainsi des conditions anaérobies de dégradation de la matière organique initiée dans le décanteur-digesteur. Les boues qui remontent sont piégées par les racines des plantes où se développe une intense activité bactérienne. La fourniture d'oxygène au milieu se fait par l'intermédiaire des racines des plantes [58].

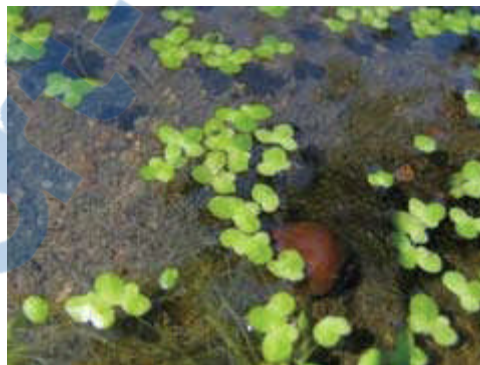


Figure 15: Les macrophytes lentilles d'eau [80].

❖ Le lagunage à microphyte :

Dans ce bassin, on y trouve les bactéries et les algues microscopiques. La minéralisation de la matière organique soluble en suspension est assurée par les bactéries qui la transforment en eau, gaz carbonique, nitrates et phosphates. Ces composés vont être assimilés par les algues qui grâce à la lumière du soleil vont effectuer la photosynthèse pour assurer leur métabolisme et libérer de l'oxygène pour la vie des bactéries. Cette photosynthèse aboutit à la production de biomasse dans laquelle sont captés les composés organiques et les minéraux qui sont en excès dans l'eau. L'eau est ainsi épurée. Les eaux restent environ 50 jours dans ce bassin. Pour que le bassin soit efficace, il faut que les surfaces soient larges et peu profondes [81].

Chapitre II : généralité sur l'épuration

c. Lagunage aéré :

❖ principe :

Le lagunage aéré est une technique d'épuration biologique par culture libre avec un apport artificiel d'oxygène.

En fournissant l'oxygène par un moyen mécanique, on réduit les volumes nécessaires et on peut accroître la profondeur de la lagune. La concentration en bactéries est plus importante qu'en lagunage naturel. Le temps de séjour est de l'ordre de 1 semaine et la profondeur de 1 à 4 m. Le rendement peut être de 80 % et il n'y a pas de recyclage de boues. L'homogénéisation doit être satisfaisante pour éviter les dépôts [82].



Bord d'une lagune aéré



Aérateurs de surface amarrés

Figure 16: Lagunes aérées [82].

d. Le lagunage anaérobie:

Il n'est applicable que sur des effluents très concentrés et, le plus souvent comme prétraitement avant un étage aérobie. La couverture de ces lagunes et le traitement des gaz produits sont nécessaires vu les risques de nuisances élevés (odeurs).

Les temps de séjour sont souvent supérieurs à 50 jours. Les charges organiques appliquées sont de l'ordre de $0.01 \text{ kg}_{\text{DBO}} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{j}^{-1}$. Une profondeur importante (5 à 6 m) est en principe un élément favorable au processus [82].



Figure 17 : Lagune anaérobie [82].

Chapitre II : généralité sur l'épuration

e. Les avantages et les inconvénients du lagunage :

❖ Les avantages :

Le lagunage est un procédé rustique, écologique, fiable et peu onéreux avec des résultats hautement satisfaisants en matière de décontamination [81].

Il présente quatre avantages particuliers : en termes d'économie, d'écologie, d'aménagement du territoire et de pédagogie [81].

D'un point de vue économique, les stations de lagunage coûtent 1/3 moins cher qu'une station classique mais la rentabilité est surtout visible pour l'entretien : moins coûteux, absence de consommation d'énergie et de produits chimiques, ne demandant pas de personnel qualifié [81].

Ecologiquement parlant, les bassins de lagunage développent tout un écosystème : les végétaux aquatiques servent ainsi de support et de nourriture à une faune nombreuse, qui contribue à accroître la biodiversité du secteur [81].

Alors que les communes rurales sont de plus en plus attentives à l'aménagement de leur territoire, ce type d'assainissement assure une intégration parfaite dans le contexte paysager : champs, étang communal, etc. Enfin, un bassin de lagunage peut servir de support à des sujets de pédagogie très diversifiés : l'eau, l'assainissement, la faune et la flore aquatiques [81].

❖ Les inconvénients :

Ce procédé de traitement présente les principaux inconvénients suivants [83] :

- ✓ une emprise au sol importante ;
- ✓ des contraintes de nature de sol et d'étanchéité ;
- ✓ une variation saisonnière de la qualité de l'eau traitée ;
- ✓ Une élimination de l'azote et du phosphore incomplète ;
- ✓ Une difficulté d'extraction des boues.

L'impossibilité d'effectuer des réglages en exploitation [83], impliquant donc que la conception des installations intègre au maximum les contraintes attendues (tels que les points hydrauliques et organiques, les températures minimales) [84].

Par ailleurs, le mauvais fonctionnement et/ou entretien d'un bassin de lagunage peut produire des odeurs et entraîner le rejet d'un effluent mal épuré qui pourra avoir un effet nocif sur la vie aquatique dans le cours d'eau récepteur [85].

III.4. Traitement tertiaires :

III.4.1. Mode d'élimination de l'azote et du phosphore :

Le choix d'une technique donnée ou d'une combinaison de technique dépend de nombreux facteurs parmi lesquels [86]:

- la quantité de nutriments à éliminer.
- l'utilisation finale de l'eau à traiter.
- les conditions économiques.

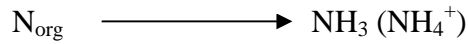


Chapitre II : généralité sur l'épuration

a. L'élimination d'azote :

✓ Procédé biologique :

• Ammonification :



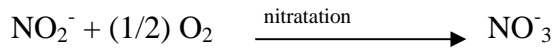
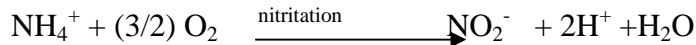
C'est la transformation de l'azote organique en azote ammoniacal [86].

• Assimilation :

C'est l'utilisation d'une partie de l'azote ammoniacale pour la synthèse bactérienne [86]

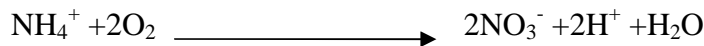
• Nitrification [86]:

Réalisée par les microorganismes autotrophes spécialisés en deux étapes :



Les bactéries responsables de la nitrification appartiennent aux genres nitrosomonas et nitrosococcus et celles de la nitratation, au nitrobacter [86].

D'où la réaction totale :



• Dénitrification :

La dénitrification est le processus par lequel certaines bactéries réduisent les nitrates en azote gazeux.

Ce traitement est nécessaire quand la teneur en ions nitrates du milieu récepteur risque de dépasser les limites supérieures admises par les normes [87].

✓ Traitement physico-chimique :

Les procédés physiques et physico-chimiques d'élimination de l'azote ne sont pas utilisés dans le traitement des eaux, pour des raisons de rendement et de coût [87].

b. Elimination du phosphore (Déphosphatation) :

✓ Provenance de phosphore :

Détergents industriel, produits de nettoyage sous forme de phosphore principalement.

Le principe de déphosphatation est simple, on applique à l'eau des doses réactifs formants des sels insolubles avec les composés du phosphore (chaux, sels de fer ou d'aluminium). On obtient toujours un abattement du phosphore dans les traitements à pH élevés. En particulier lorsque le réactif est la chaux [87].

Ce type de traitement physico-chimique peut se faire juste après le dégraissage et le dessablage « pré-précipitation » ou dans le bassin d'aération, dans ce cas on utilise le

Chapitre II : généralité sur l'épuration

sulfate de fer ou d'aluminium, « Co-précipitation » et enfin dans le clarificateur « post-précipitation » cette technique peut être utilisable à cause des coûts des réactifs très élevés et les quantités considérables des boues supplémentaires produites [87].

III.4.2.La désinfection :

Les traitements primaires et secondaires ne détruisent pas complètement les germes présents dans les rejets domestiques. C'est pourquoi, la désinfection de l'eau s'impose [63].

La désinfection est un traitement qui permet de détruire ou d'éliminer les micro-organismes susceptibles de transmettre des maladies ; ce traitement n'inclut pas nécessairement la stérilisation qui est la destruction de tous les organismes vivants dans un milieu donné [63].

On peut procéder à la désinfection en ajoutant à l'eau une certaine quantité d'un produit chimique, dotée de propriétés germicides. Les produits chimiques les plus utilisés sont : le chlore (Cl_2), le dioxyde de chlore (ClO_2), l'ozone (O_3), le brome (Br_2), l'iode (I_2) et le permanganate de potassium ($KMnO_4$) [63].

On peut également désinfecter l'eau grâce à des moyens physiques : ébullition, ultrasons, ultraviolets (UV) ou rayon gamma [63].

Les ultraviolets sont de plus en plus utilisés, car ils présentent l'avantage de ne pas entraîner l'apparition de sous-produits de désinfection. Cependant, ils nécessitent un investissement important [88].

IV. Traitement des boues :

Le traitement des boues a pour objectifs de [89]:

- ❖ réduire la fraction organique afin de diminuer leur pouvoir fermentescible et les risques de contamination (stabilisation) ;
- ❖ diminuer leur volume total afin de réduire leur coût d'évacuation (déshydratation).

IV.1.Les procédés de concentration :

a. L'épaississement :

L'épaississement constitue en effet, le premier stade de la réduction de volume des boues. Cette étape se situe avant la digestion [89].

Deux techniques sont le plus souvent utilisées pour l'épaississement [89] :

- ✓ La décantation ou sédimentation ;
- ✓ La flottation

Chapitre II : généralité sur l'épuration

b. La déshydratation:

La déshydratation a pour but d'amener les boues aux teneurs en matière sèche désirée pour les traitements ultérieurs. Elle est réalisée par des procédés mécaniques de filtration (par filtres à bande ou filtres presses) ou de centrifugation et/ou thermiques via des fours [90].

IV.2. Les procédés de stabilisation :

a. La stabilisation aérobie :

Ce procédé destiné à la réduction de la teneur en matière organique des boues, est aussi appelé digestion aérobie. Il est réalisé dans des ouvrages appelés digesteurs qui sont alimentés soit en continu, soit par cuvée, c'est à dire par alimentation intermittente. Il consiste, par une aération prolongée des boues, à poursuivre le développement des micro-organismes aérobies au-delà de la période de synthèse des cellules et d'épuisement de substrats jusqu'à réaliser leur auto-oxydation [90].

La stabilisation est réalisée dans un bassin identique au bassin d'aération des boues activées [90].

L'oxygénation assurée par aération de surface ou insufflation d'air, doit permettre de maintenir une concentration d'oxygène dissous d'au moins 2 mg/L [90].

b. La stabilisation anaérobie :

La digestion anaérobie, ou biométhanisation, est un processus biologique naturel de décomposition de la matière organique par des microorganismes (bactéries) qui s'activent dans des conditions anaérobiques, c'est-à-dire sans oxygène. La digestion de la matière organique génère à la fois du biogaz et un résidu solide appelé digestat.

Cette filière de valorisation de la matière organique peut donc produire de l'énergie renouvelable et du compost [91].

IV.3.Lits de séchage plantés de roseaux :

a. Principe :

C'est un procédé de traitement des boues qui permet l'épaississement, la minéralisation et le stockage [92].

Les boues produites par la station d'épuration sont directement extraites du bassin d'aération et alimentent le lit planté de roseaux, les roseaux les plus utilisés sont : *Phragmites communis* [92].

Chapitre II : généralité sur l'épuration



Figure 18: lit de séchage planté de roseaux [92].

L'eau contenu dans les boues s'infiltré à travers le massif filtrant constitué de plusieurs couches de matériaux (sable, gravier, galets ...) et est récupérée ensuite par des drains. La boue est retenue à la surface du massif [93].

V. La réutilisation des eaux usées :

Devant l'augmentation des besoins en eau, la multiplication démographique et l'amélioration du niveau de vie des populations ; la réutilisation des eaux usées est la meilleure solution pour faire face à la pénurie en eau. Cette réutilisation connaît une grande extension dans les pays à climat aride et semi-aride même dans les pays industrialisés (Mara et Cairncross, 1989) (Tableau 1). Les eaux usées sont employées pour des usages agricoles, industriels et urbains au lieu d'être rejetées en rivière [94].

V.1. la réutilisation en irrigation :

La quantité des eaux usées rejetée incite les agriculteurs à utiliser cette source d'eau. Aussi, la richesse en éléments fertilisants tels que l'azote, le phosphore et le potassium, nécessaires pour le développement des plantes et aussi pour la fertilisation du sol, permet d'économiser l'achat des engrais et d'augmenter la production agricole. [95].

V.2. Réutilisation industrielle :

La réutilisation industrielle des eaux usées et le recyclage interne sont désormais une réalité technique et économique. Pour les pays industrialisés, l'eau recyclée fournit 85 % des besoins globaux en eau. Les centrales thermiques et nucléaires (eau de refroidissement) sont parmi les secteurs qui utilisent les eaux usées en grande quantité. La qualité de l'eau réutilisée dépend de l'industrie ou de la production industrielle [95].

V.3. Réutilisation en zone urbaine :

En zone urbaine et périurbaine, la réutilisation des eaux usées est une source importante. Les usages les plus courants sont l'irrigation d'espaces verts (parcs, golfs, terrains sportifs), l'aménagement paysager (cascades, fontaines, plans d'eau), le lavage des rues ou des véhicules et la protection contre l'incendie. Une autre application

Chapitre II : généralité sur l'épuration

importante est le recyclage en immeuble, par exemple l'utilisation de l'eau ménagère traitée pour le lavage [96].

V.4. Production de l'eau potable :

Pour la production de l'eau potable, plusieurs pays exigent des normes très sévères dont l'élimination totale des virus (l'Afrique du Sud et l'Australie).

Le progrès technologique du métier de l'eau permet de produire une eau de très bonne qualité, même à partir des eaux usées. De nombreuses études permettent l'utilisation des eaux usées d'une manière correcte, si les procédures suivies dans le traitement peuvent éliminer tous les éléments pathogènes [97].

Conclusion :

L'épuration consiste à éliminer les plus gros débris organiques ou minéraux, retirer les MES de densité suffisamment différente de l'eau tels que les grains de sables et les particules minérales, comme elle consiste éventuellement à éliminer les pollutions résiduelles qui pourraient être gênantes en aval (germes pathogènes, azote, phosphore...).

Les traitements secondaires biologiques, boues activées, lagunage naturel et aéré sont les traitements les plus fréquemment utilisés en Algérie.

Le recours aux traitements tertiaires reste minoritaire et réservé aux traitements poussés des effluents, du fait qu'ils présentent de nombreux inconvénients.

Et enfin La réutilisation des eaux usées est une technique en pleine expansion principalement associée à l'agriculture, cette réutilisation a pour objectif principal la production des quantités complémentaires en eau pour différents usages afin de combler des déficits hydriques et de trouver des sources d'eau alternatives pour l'irrigation vu la rareté croissante de l'eau.

CHAPITRE III :

LA TECHNIQUE

D'ÉCHANGE D'ION

CHAPITRE III : LA TECHNIQUE D'ÉCHANGE D'ION

I. Introduction :

L'échange d'ions est une technologie extrêmement efficace pour adoucir et déminéraliser l'eau jusqu'à atteindre une grande pureté. Cette technique, qui s'est initialement développée dans les années 1950, est arrivée à pleine maturité et reste la meilleure pour produire de l'eau ultra-pure, c'est à dire pour éliminer toutes traces de contaminants [98].

II. Historique :

L'invention des résines date du XIXe siècle après la découverte du procédé d'échange ionique, Thompson et Way remarquèrent que le sulfate d'ammonium se transforme en sulfate de calcium après percolation à travers un tube rempli de terre. En 1909, en Allemagne, Gans adoucit l'eau pour la première fois en la faisant passer sur un aluminosilicate de sodium. En 1935, Liebknecht et Smit découvrirent que certains charbons pouvaient être sulfonés pour donner un échangeur de cations. La première installation industrielle de déminéralisation d'eaux naturelles à utiliser ces composés fut inaugurée en Grande-Bretagne en 1937 [99].

Aujourd'hui, la technologie de fabrication des résines atteints une certaine maturité, l'effort des fabricants porte d'avantage sur la stabilité des résines et sur leur distribution granulométriques que sur la recherche de nouveaux polymères [99].

Une grande étape dans le domaine des échangeurs d'ions fut celle de 1942 avec la synthèse, aux États-Unis, par G. F. D'Alelio, des résines de polystyrène sulfoné échangeuses de cations, bientôt suivie, en 1949, de la synthèse des résines échangeuses d'anions à réseau polystyrénique par McBurney. Ces hauts polymères synthétiques possèdent de remarquables propriétés de résistance à l'action aussi bien des acides et des bases que des oxydants et des réducteurs, et ont conduit à la fabrication de ce que l'on appelle les «résines échangeuses d'ions», dont les caractéristiques reproductibles ont permis d'atteindre une connaissance précise des phénomènes mis en jeu au cours des échanges, en même temps qu'un développement considérable était donné aux applications [99].

III. Principe :

L'échange d'ions est un procédé dans lequel les ions d'une certaine charge contenus dans une solution (ex : cations) sont éliminés de cette solution par adsorption sur un matériau solide (l'échangeur d'ions), pour être remplacés par une quantité équivalente d'autres ions de même charge émis par le solide. Les ions de charge opposée ne sont pas affectés [100]. Les réactions d'échange d'ions sont réversibles et sélectives : avec R le squelette de la résine :



CHAPITRE III : LA TECHNIQUE D'ÉCHANGE D'ION

Les réactions d'échange d'ions sont régies par la loi des équilibres chimiques c'est à dire qu'elles se déroulent jusqu'à ce que les concentrations des divers ions atteignent certaines proportions précises [101].

L'échange d'ions est réalisé sans [98]:

- détérioration ou solubilisation ;
- modifier le nombre total d'ions dans le liquide avant l'échange.

Il est constitué [102]:

- d'un squelette de base : matrice ou support ;
- de groupes fonctionnels ionisables au niveau desquels se fait l'échange d'ions ; cet échange est réversible et quantitatif avec les ions provenant d'une solution avec lesquels on les met en contact.

L'échangeur est dit monofonctionnel s'il y a seulement une variété de groupement fonctionnel et est dit polyfonctionnel si la molécule contient différents types de groupements fonctionnels [103].

IV. Support :

La constitution conditionne les propriétés mécaniques et chimiques de l'échangeur d'ions. D'autre part, sa porosité détermine l'accessibilité des solutés de l'échantillon aux groupes fonctionnels [102].

Sa nature peut être [102]:

- minérale : zéolithes, silices greffées ...
- organique : copolymères de synthèse.

On utilise principalement des copolymères réticulés polystyrène /divinylbenzène, capables de résister à l'écrasement dans la colonne et se présentant sous forme de petites billes sphériques d'un diamètre de quelques micromètres [102].

CHAPITRE III : LA TECHNIQUE D'ÉCHANGE D'ION

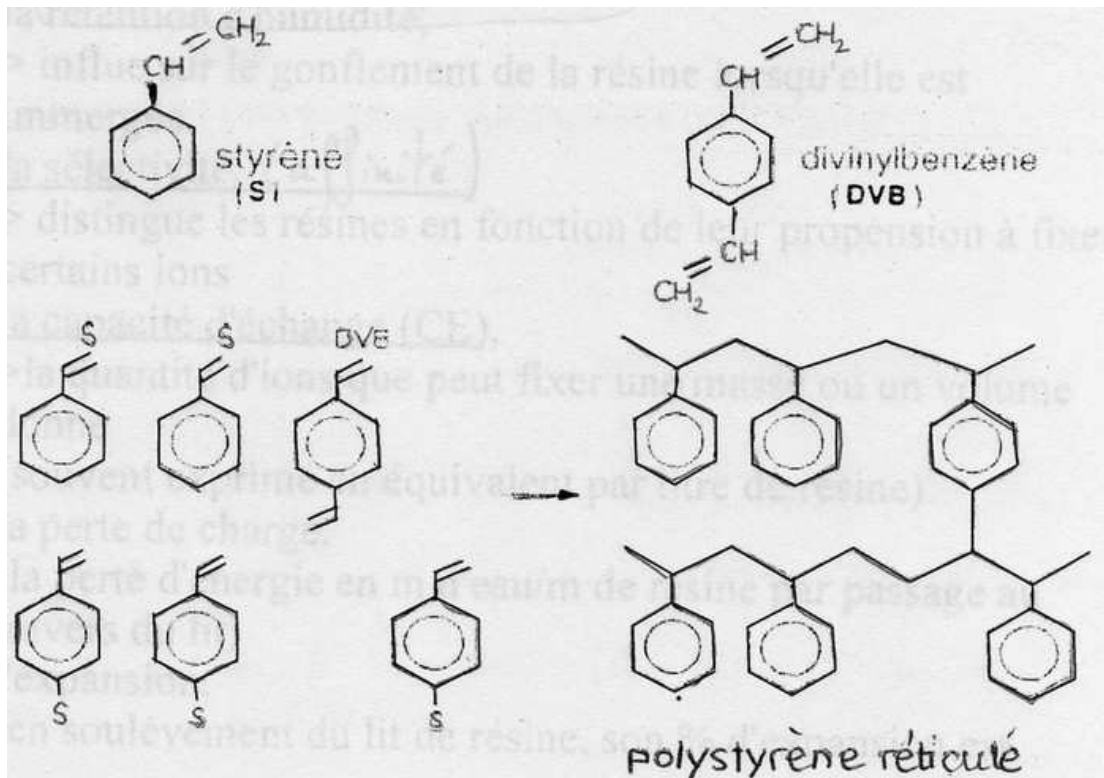


Figure 19 : les principaux supports d'un échangeur d'ion [104].

Monomères et autres substances de départ [104]:

- Acide acrylique, n-butyl ester ;
- Acide acrylique, ester de d'éthyle ;
- Acide acrylique, ester de méthyle ;
- Acrylonitrile ;
- Formaldéhyde ;
- Acide méthacrylique, ester de méthyle ;
- Méthanol ;
- Acide méthacrylique ;
- Diester avec éthylène glycol ;
- Acide méthacrylique, 2,3-époxypropyl ;
- Ester (comme Fépoxy) ;
- acide méthacrylique.

V. Les types de résine :

Suivant leurs activités chimiques, les résines sont divisées en deux grandes classes: résines inertes et résines fonctionnalisées [105].

V.1. Résines Inertes :

Les résines inertes correspondent à une gamme assez importante de polymères ne possédant pas de sites acides ou basiques (sans groupements actifs) et qui présentent des degrés de porosité et de polarité importante. Les propriétés structurales (porosité, surface spécifique) et les propriétés superficielles (fonctions chimiques) dépendent du

CHAPITRE III : LA TECHNIQUE D'ÉCHANGE D'ION

monomère utilisé. Ces paramètres ont le rôle prédominant sur les paramètres d'adsorption [105].

V.1.1. Les types de résines inertes :

Parmi les résines commerciales inertes, on distingue deux catégories, résines type gel et résines type macroporeux (macro-réticulées). Les deux formes possèdent une structure macromoléculaire obtenue par polymérisation ou copolymérisation, par exemple du styrène et/ou du divinylbenzène et ne peuvent être différenciées que par leurs porosités [105].

a) Résine type gel :

Ce sont des résines avec une porosité naturelle issue de la polymérisation. Cette porosité est fonction uniquement des distances intermoléculaires (inter monomère). Ce sont des résines de type microporeuses [105].

b) Résine type macroporeux :

Ce sont des résines qui comportent en plus de la porosité naturelle, une porosité artificielle obtenue par l'addition d'une substance porogène pour créer dans la matrice un réseau de canaux de taille supérieure. Ce sont des résines de type macroporeuses [105].

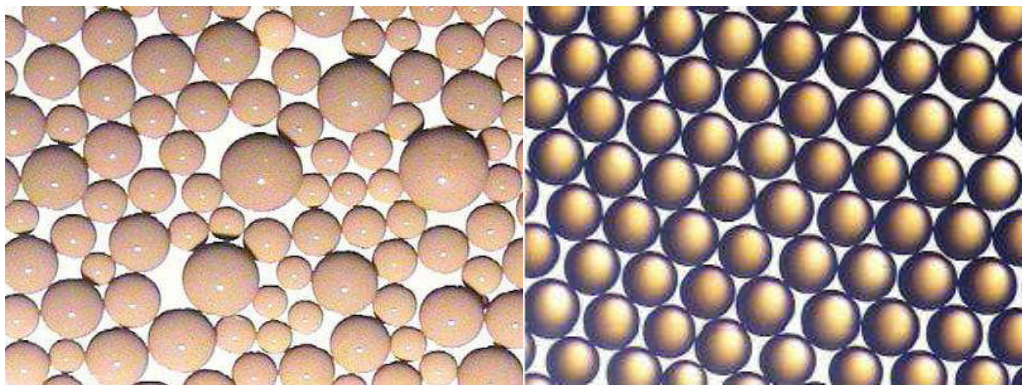


Figure 20 : Photographie d'une coupe d'un lit de billes de résine de type gel calibré IRN 97H (à gauche) et de résine de type macroporeuse ARC 9654

V.2. Résine fonctionnalisée :

Adams et Holmes ont synthétisé les premiers échangeurs d'ions artificiels. La première résine échangeuse d'ions à base de polystyrène fut trouvée en 1944 par Alelio. Les résines échangeuses d'ions à squelette polyacrylique ne furent connues que dans les années 1970-1972. Certaines résines synthétiques sont utilisées comme, échangeuses d'anions (résines dites anioniques), tandis que d'autres sont employées comme échangeuses de cations (résines dites cationiques). Elles sont régénérables : c'est-à-dire qu'elles peuvent être remises sous leurs formes initiales par un lavage adéquat [106].

Actuellement, les résines échangeuses d'ions sont utilisées dans le traitement des eaux industrielles et domestiques, la production d'eau ultra pure très demandée par l'industrie électronique et pharmaceutique. Des résines sont aussi utilisées comme



CHAPITRE III : LA TECHNIQUE D'ÉCHANGE D'ION

catalyseurs dans plusieurs procédés industriels. Les résines échangeuses d'ions se présentent sous forme de petites billes [106].

La plus part des résines échangeuses d'ions sont des polymères constitués d'un squelette hydrocarboné sur lesquels sont fixés : les groupes actifs qui assurent la permutation des ions, le groupe actif défini alors le type de résine, ce qui permet de définir les résines cationiques et les résines anioniques [107].

V.2.1. Les échangeurs cationiques [107]:

- ✓ Echangeurs minéraux et charbons sulfonés : ces produits ne présentent plus qu'un intérêt historique.
- ✓ Echangeurs synthétiques, ils peuvent se classer en deux groupes :
 - ❖ Les échangeurs de cations fortement acides.
 - ❖ Les échangeurs de cations faiblement acides.

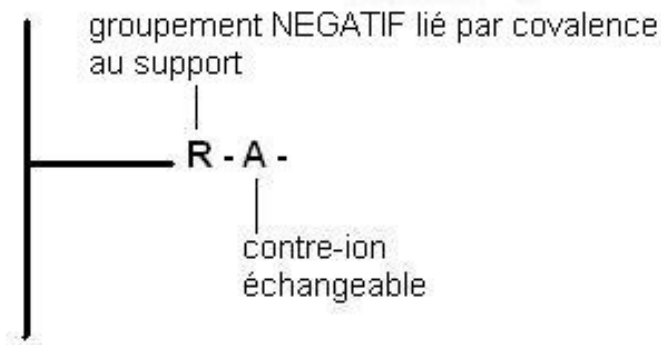
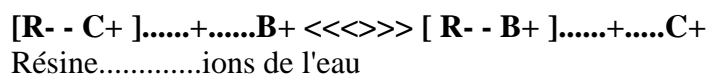


Figure 21: résine échangeuse cationique [104]



Dans les résines échangeuses de cations, les groupements fonctionnels ionisés sont des anions [99]:

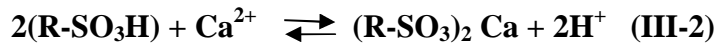
- ❖ sulfonate $-\text{SO}_3^-$
- ❖ carboxylate $-\text{CO}_2^-$
- ❖ aminodiacétate $-\text{N}(\text{CH}_2\text{CO}_2^-)_2$
- ❖ phosphonate $-\text{PO}_3^{2-}$
- ❖ amidoxine $-\text{C}(\text{NH}_2)(\text{NOH})$
- ❖ aminophosphonate $-\text{CH}_2-\text{NH}-\text{CH}_2-\text{PO}_3^{2-}$
- ❖ thiol $-\text{SH}$

a) Les résines cationiques fortement acides [108]:

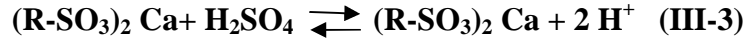
Ces résines se présentent sous forme de billes plus ou moins sphériques de couleur jaune et se caractérisent par une capacité d'échange et une activité élevée et un coefficient d'uniformité élevé. Elles présentent également une résistance physico-chimique. Elles peuvent briser les liaisons des sels neutres et en libérer les acides dissociés [108].

L'équation (1-1) représente une réaction typique observée de l'utilisation d'un échangeur de cation fortement acide.

CHAPITRE III : LA TECHNIQUE D'ÉCHANGE D'ION



Cette équation décrit une réaction au cycle de l'hydrogène, réaction qui, lors d'une utilisation normale, a lieu de gauche à droite. Lorsque la résine est saturée d'ions, on doit la régénérer à l'aide d'une solution de HCl ou de H₂SO₄. On a alors la réaction de régénération suivante [108]:

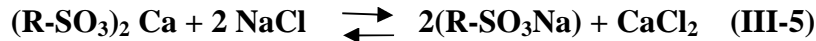


L'efficacité de la régénération de ces résines est d'environ 30 à 50 %. Rappelons que le CaSO₄ est relativement insoluble et qu'il risque de précipiter dans l'échangeur ; il est donc courant d'effectuer d'abord une première régénération avec du NaCl. On peut également surmonter cette difficulté en utilisant du HCl [108].

On peut par ailleurs utiliser une résine qui réagit au cycle du sodium ; on a alors :



Lorsque cette résine est saturée, on doit la régénérer à l'aide d'une solution concentrée de NaCl. L'équation de régénération est alors la suivante [108]:



b) les résines cationiques faiblement acides:

Elles ne peuvent fixer que des cations associés à des anions faiblement basiques, tels que bicarbonate, acétate, etc. [108].

Le groupement fonctionnel des résines faiblement acides a un radical carboxylique COOH. Il est pratiquement toujours obtenu à partir d'un polyacrylate de méthyle ou de polyacrylonitrile. De nouvelles résines échangeuses d'ions sont apparues récemment de type carboxylique dans laquelle l'acrylonitrile n'intervient pas dans la composition [109].

Ces résines peuvent attirer les cations associés à l'alcalinité de l'eau et libérer de l'acide carbonique [109].

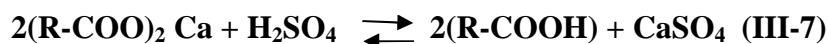
Ils sont différents des échangeurs fortement acides sur deux points [110]:

- ✓ Ils fixent seulement les cations liés aux bicarbonates mais ils ne peuvent échanger les cations en équilibre avec des anions forts.
- ✓ Ils sont régénérés plus facilement.

L'équation (2-1) représente une réaction typique observée lors de l'utilisation d'un échangeur de cations faiblement acides.



Lorsque cette résine est saturée, on peut la régénérer à l'aide d'une solution concentrée de HCl ou de H₂SO₄ ; on a alors :

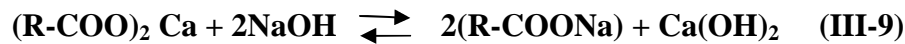


On peut également utiliser une réaction qui réagit au cycle du sodium ; dans ce cas on a :



CHAPITRE III : LA TECHNIQUE D'ÉCHANGE D'ION

On peut alors régénérer cette résine à l'aide de NaOH, la réaction étant la suivante:



L'efficacité de la régénération d'une résine faiblement acide est d'environ 100% ; son utilisation est cependant limitée aux eaux dont le pH est supérieur à 7,0 et dont l'alcalinité est élevée [63].

Ces résines peuvent être associées à l'alcalinité de l'eau et libérer de l'acide carbonique, elles se caractérisent par une bonne sélectivité, une très haute capacité d'échange et une bonne résistance physico-chimique. L'efficacité de la régénération de résines faiblement acides est très élevée [111].

V.2.2. Les échangeurs anioniques :

Les résines anioniques sont généralement à base de polystyrène, mais entre 1970 et 1972 un nouveau type de résines échangeuse d'ions à squelette polyacrylique selon le degré de basicité des résines anioniques, il apparaît deux groupes : échangeurs fortement basique et faiblement basique [111].

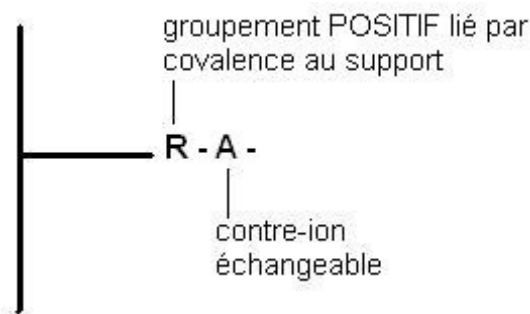
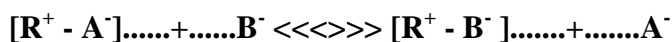


Figure 22: résine échangeuse d'anions



Résine.....ions de l'eau

Dans les résines échangeuses d'anions, ce sont des cations [99]:

- ❖ triméthylammonium $-\text{N}(\text{CH}_3)_3^+$
- ❖ diméthylhydroxyéthylammonium $-\text{N}(\text{C}_2\text{H}_4\text{OH})(\text{CH}_3)_2^+$
- ❖ amines tertiaire et secondaire (qui ne sont ionisées qu'en milieu acide).

a) les résines anioniques fortement basiques :

Les résines anioniques fortement basiques fixent les acides faibles comme l'acide carbonique ou la silice, elles peuvent également libérer les bases et leurs sels. Les résines se caractérisent par la présence de radicaux ammonium quaternaires ou alcoyles [108].

Les résines caractérisées par des radicaux ammonium simples, sont fortement basiques, leur capacité d'échange est faible et leur régénération est médiocre ; les réactions sont alors les suivantes [108]:

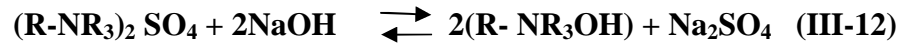


CHAPITRE III : LA TECHNIQUE D'ÉCHANGE D'ION

Ou:



On peut régénérer ces résines à l'aide d'une solution de NaOH; on a alors



Ou:



D'autres résines réagissent au cycle de l'ion chlorure ; ainsi :



On peut régénérer ces résines à l'aide d'une solution concentrée de NaCl ou de HCl ; on a alors



L'efficacité de la régénération de ces résines est de 30 à 50%.

b) Les résines anioniques faiblement basiques :

Les résines faiblement basiques sont en général du type polyamide aromatique et retiennent exclusivement les acides forts à condition que ceux-ci soient libres. Dans la solution mise en contact avec l'échangeur [108].

La capacité d'échange de ces résines dépend du nombre de fonctions introduites au cours de la condensation. Elle présente en revanche une grande stabilité. Certaines résines faiblement basiques réagissent au cycle de l'ion hydroxyle ; ainsi [108]:



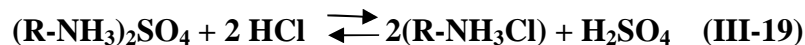
On peut régénérer ces résines à l'aide d'une solution concentrée de NaOH, de Na₂CO₃ ; on a alors :



D'autres résines réagissent au cycle de l'ion chlorure; dans ce cas, on a [108]:



On peut régénérer ces résines à l'aide de HCl; ainsi



Pour la régénération de ces résines, il faut recourir à des pH>11 [108].

VI. Les caractéristiques de l'échangeur d'ions :

VI.1. La capacité :

C'est la masse des ions susceptible d'être fixés par l'unité de volume (exceptionnellement de masse) de l'échange considéré. On distingue :

CHAPITRE III : LA TECHNIQUE D'ÉCHANGE D'ION

VI.1.1.Capacité totale :

C'est le nombre d'ions théoriquement échangeables qui caractérise une résine donnée. Elle est donnée par le fabricant [108].

VI.1.2.Capacité utile :

C'est le nombre d'ions susceptibles d'être fixés par unité de volume de résine. Elle est exprimée en équivalent ou en milliéquivalent par litre : en général, elle est égale à la moitié de la capacité totale théorique donnée par le fabricant [108].

VI.2.Le gonflement :

Le gonflement d'une résine séchée, plongée dans une solution, est dû à la pénétration des molécules de solvant à l'intérieur de la résine, il en découle une variation de volume de la résine humide [111].

La résine est insoluble dans l'eau, mais l'eau peut pénétrer entre les mailles du réseau macromoléculaire donc la résine gonfle [112].

Si le réseau macromoléculaire moins serré donc le gonflement est plus important, de plus, les groupements fonctionnels sont des acides forts, complètement ionisés en SO_3^- et H^+ , ils sont solvatés par des molécules d'eau [112].

Le gonflement est lié à la nature du solvant selon que ce soit de l'eau pure, un solvant pur ou un mélange de solvant [112].

VI.2.1.Le gonflement dans l'eau pure :

Le gonflement dans l'eau pure dépend de plusieurs facteurs : le taux de pontage, la nature de groupes actifs et la capacité d'échange [113].

En effet, le gonflement est d'autant plus important que les ions de la résine soient fortement hydratés et que la capacité d'échange est élevée [113].

VI.2.2.Le gonflement dans les solvants :

La résine subit une variation de volume, cette variation est liée à l'affinité entre les molécules de solvant et celle des radicaux fonctionnels ou des ions échangeables, plus le nombre de molécules susceptibles de se lier à l'ion échangeable est grand, plus la résine gonfle [113].

Lorsqu'un échangeur d'ions est placé dans une solution concentrée en sel, il y a une compétition entre la résine et la solution pour l'eau. Si la concentration de la solution est élevée, le sel va désorber de l'eau de la résine et l'échangeur d'ions va dégonfler. Ce phénomène se produit pendant l'utilisation normale en cycle et est souvent appelé « choc osmotique » dans l'industrie de traitement d'eau. [113].

VI.3.La densité :

La densité est un paramètre important car elle conditionne le comportement hydraulique de la résine dans la colonne [113].

La densité de chaque résine, s'inscrit dans les fourchettes suivantes [111]:

Echangeur de cations fortement acides 1.18-1.38

CHAPITRE III : LA TECHNIQUE D'ÉCHANGE D'ION

Echangeur de cations faiblement acides 1.13-1.20

Echangeur d'anions fortement basiques 1.07-1.12

Echangeur d'anions faiblement basiques 1.02-1.10

VI.4. La granulométrie :

La granulométrie d'une résine est une grandeur importante à connaître pour calculer ou maintenir les caractéristiques hydrodynamiques d'une installation [98].

La distribution granulométrique d'une résine était mesurée à l'aide d'un jeu de tamis. On mesurait le volume de la fraction de résine demeurant sur le tamis dans un cylindre gradué. Pour des raisons pratiques, on exprime les résultats en pourcentage cumulé de la résine passant à travers un tamis de taille donnée [98].

Les résines de conception classique ont un étalement granulométrie entre 0,3 et 1,2 mm [98].

VI.5. Taux de Réticulation :

En augmentant le taux de réticulation, nous obtenons des résines de plus en plus dures mais de moins en moins élastiques. Les résines plus réticulées résistent mieux aux milieux oxydants qui ont tendance à dérétyculer le polymère. Le taux de réticulation ne doit pas dépasser le seuil de 10-12 % car à partir de ce taux la résine devient trop rigide et dense et l'échange d'ions perd de son efficacité. Le taux de réticulation influe aussi sur l'affinité de la résine par un ion concret. Une croissance du taux de réticulation provoque une réduction de la mobilité des ions dans la structure, donc la différence d'affinité de la résine par deux ions de la même charge sera plus faible [113].

En traitement des eaux, sont employées des résines avec un taux de réticulation situé aux alentours de 8 % [113].

VI.6. Stabilité :

Les résines doivent assurer une longue période de service. Il existe plusieurs mécanismes qui peuvent dégrader les résines [113]:

- ✓ Oxydation du milieu ;
- ✓ Température ;
- ✓ Sollicitations mécaniques ;
- ✓ Tensions induites par la différence de taille entre les ions échangés.

La stabilité des résines tant celle du squelette que du groupe actif.

VI.6.1. stabilité chimique du squelette :

Les résines disponibles dans l'industrie ont un taux de réticulation suffisant. Pour assurer leur parfaite insolubilité, lorsqu'une résine est neuve, elle libère, dans la solution, d'infimes quantités de bas polymères ou d'autres substances solubles, mais ce phénomène disparaît rapidement, il s'agit d'ailleurs plus de dégrassement que d'une

CHAPITRE III : LA TECHNIQUE D'ÉCHANGE D'ION

dissolution de la résine. Par contre, des conditions très oxydantes peuvent éventuellement attaquer le squelette de la résine et le réticuler [106].

Toutefois dans les conditions habituelles du traitement de l'eau, les résines peuvent fonctionner en permanence durant des années sans perdre leurs propriétés physico-chimiques [106].

VI.6.2. stabilité des groupes actifs :

Dans le cas des résines cationiques, le groupe sulfonique est extrêmement stable alors que les résines anioniques sont assez sensibles à la température, sous l'effet de la chaleur et en milieu alcalin [106].

La réaction dite d'Hoffman peut transformer les ammoniums quaternaires (bases fortes) en amines tertiaires (base faible), ou même dégrader le groupe actif [106].

VI.6.3. stabilité mécanique :

La résistance mécanique peut varier considérablement d'un produit à un autre, les résines anioniques sont peu résistantes en particulier aux forces de compression [106].

Les résines acryliques que les polysémiques sont plus résistantes et peuvent en général supporter presque toutes les contraintes mécaniques [106].

VI.7. Porosité du squelette:

Indique l'existence de canaux et/ou de pores de tailles définies variables suivant leur type. La porosité d'une résine est équivalente au volume d'eau que peut contenir la résine (à l'intérieur du squelette) [106].

VI.8. Rétention d'humidité :

L'humidité d'une résine (rétention d'eau) est liée à sa porosité, et à sa forme ionique. La rétention d'humidité est exprimée comme pourcentage de la masse d'une résine sous une forme ionique donnée. Ci-dessous l'influence de la porosité sur les performances d'une résine [105]:

VI.8.1. Humidité élevée :

- ✓ échange rapide ;
- ✓ bonne capacité d'adsorption ;
- ✓ capacité totale faible.

VI.8.2. Humidité basse :

- ✓ capacité totale élevée ;
- ✓ difficile à régénérer ;
- ✓ pas d'élimination d'ions volumineux ;
- ✓ tendance à l'empoisonnement (fouling).

Environ la moitié de la masse d'une résine est constituée d'eau, à moins que la résine ait été séchée ou que l'eau ait été remplacée par un solvant organique. L'eau entoure les groupes fonctionnels (hydratation des ions) et remplit les vides du squelette de la résine.

CHAPITRE III : LA TECHNIQUE D'ÉCHANGE D'ION

Il est clair qu'une résine ayant une forte humidité à moins de matière sèche, donc moins de groupes fonctionnels et moins de capacité, mais d'un autre côté une résine très poreuse offre un accès plus facile aux ions de grande taille [109].

Pour les résines de type gel, l'humidité est en relation inverse au taux de croisement du squelette. Ceci n'est pas vrai pour les résines macroporeuses, car leur porosité artificielle peut être ajustée indépendamment du taux de réticulation. En général, les résines de faible humidité ont une cinétique plus lente et sont plus susceptibles à l'empoisonnement [109].

VI.9. Matières sèches :

Le taux de matières sèches est calculé :

- soit comme le complément de la rétention d'humidité (en %);
- soit comme la masse de résine sèche par litre de résine humide (en g/L).

La matière sèche en kg/L est numériquement égale à la capacité volume (en eq/L) divisée par la capacité poids (en eq/kg).

La matière sèche était autrefois utilisée à la place de la rétention d'humidité par certains fabricants. Aujourd'hui, le concept de matière sèche n'est guère plus en usage [109].

VII. Propriétés des échangeurs anioniques et cationiques :

Tableau 13: propriétés des échangeurs d'ions cationiques [114].

Résines cationiques	groupes actifs	Réactifs de régénération	Domaine de PH	Capacité d'échange (ég.g/l de résine) Gel macroporeux	
Fortement acides	-SO ₃ -H (groupes sulfoniques)	HCl ou H ₂ SO ₄	1-13	1,4-2,2	1,7-1,9
Faiblement acides	-COO-H	HCl ou H ₂ SO ₄ pas d'excès	4-13	3,5-4,2	2,7-4,8

Tableau 14: propriétés des échangeurs d'ions anioniques [114].

Résines anioniques	groupes actifs	Réactifs de régénération	Domaine de PH	Capacité d'échange (ég.g/l de résine) Gel macroporeux	
Fortement basiques	-N(CH ₃) ₃ ⁺ (groupes ammonium quaternaire)	Lessive de soude	1-12	1,2-1,4	1-1,1
Faiblement basiques	N (amines tertiaires)	Lessive de soude	1-4	1,4-2	1,2-1,5

CHAPITRE III : LA TECHNIQUE D'ÉCHANGE D'ION

VIII. Les avantages et les inconvénients des différentes résines [114]:

Tableau 15: Les avantages et les inconvénients des différentes résines [114].

Type de résine	avantages	inconvénients
Résines cationiques fortement acide	<ul style="list-style-type: none"> -convient pour tous les types d'eau -élimination complète des cations -capacité variable -bonne stabilité physique -bonne stabilité à l'oxydation -coût initial faible 	<ul style="list-style-type: none"> -efficacité de fonctionnement
Résines cationiques faiblement acide	<ul style="list-style-type: none"> -très grande capacité -très grande efficacité de fonctionnement 	<ul style="list-style-type: none"> -élimination partielle des cations -utilisable seulement avec des eaux spécifiques -capacité de fonctionnement fixe -faible stabilité physique -coût initial élevé -cinétiques faibles
Résines anioniques fortement basique	<ul style="list-style-type: none"> -élimination complète des anions (incluant la silice et CO₂) -coût initial faible -efficacité et qualité variables -cinétiques excellentes -rinçage court 	<ul style="list-style-type: none"> -résistance faible aux polluants organiques -vie limitée -instable thermodynamiquement
Résines anioniques faiblement basique	<ul style="list-style-type: none"> -grande capacité d'élimination -grande efficacité de régénération -excellente résistance aux polluants organiques -bonne stabilité thermique -bonne stabilité à l'oxydation 	<ul style="list-style-type: none"> -élimination partielle des anions -n'élimine ni la silice ni le CO₂ -rinçage long -cinétique faible

IX. La régénération :

L'échangeur d'ions est pratiquement saturé en ions et est en équilibre avec la concentration de ces ions dans la solution influente.

La régénération est effectuée par percolation d'une solution concentrée des autres ions soit dans le même sens de saturation (régénération à co-courant), soit en sens contraire (régénération à contre-courant) [88].

IX.1.régénération à co-courant :

au cours de cette opération, la solution concentrée d'ions A' est d'abord mis au contact de couches d'échangeur d'ions saturé en B', qui vont être chassés de la résine ; ces ions B' sont ensuite transportés vers des couches d'échangeurs d'ions qui sont dans

CHAPITRE III : LA TECHNIQUE D'ÉCHANGE D'ION

un état de moindre saturation et ils retrouvent alors des conditions favorables à leur fixation ; ce sont donc principalement des ions A' restant dans les couches basses de la colonne qui sont élués au début de la régénération [88].

Enfin, si la quantité de régénération est limitée, les ions B' ne sont pas totalement élués de l'échangeur d'ions et les couches inférieures ne sont pas parfaitement régénérées [88].

Il apparaît donc que, pour une bonne régénération de l'échangeur d'ions, il est pratiquement nécessaire de faire intervenir une quantité de régénérant A' double du rapport stœchiométrique A'/B' [88].

IX.2.régénération à contre-courant :

Les phénomènes sont différents lorsqu'on injecte les réactifs de régénération de bas en haut ; en effet, dans ce cas, les ions A' concentrent d'abord des couches de résine peu concentrées en ions B' dont l'éluion se fait donc dans de bonnes conditions ; de plus, dans les couches supérieures saturées, les ions B' ne peuvent pas se fixer [88].

Deux avantages importants du principe de régénération à contre-courant doivent être soulignés [88]:

- ✓ amélioration du rendement et par conséquent diminution des consommations de réactifs à capacité utile égale ;
- ✓ amélioration de la qualité de l'eau traitée, les couches de sortie étant régénérées avec un fort excès de réactif.

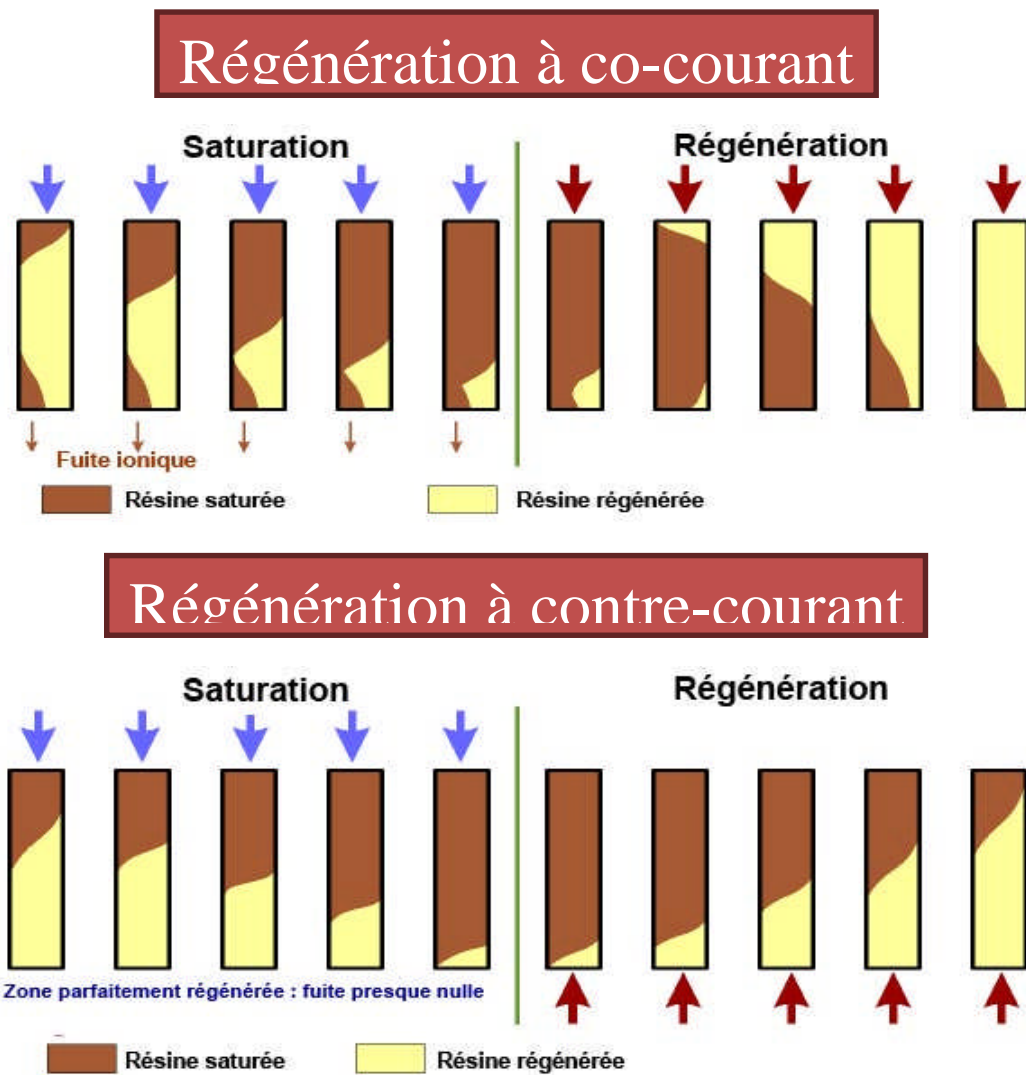


Figure 23 : la régénération à co-courant et à contre-courant [115].

X. Les applications des résines d'échangeuses d'ion :

X.1. La déminéralisation :

Les eaux très chargées en sels minéraux dissous peuvent présenter des inconvénients dans certains usages. Ainsi, on est souvent appelé à éliminer totalement ou partiellement certains ions gênants Ca^{2+} et Mg^{2+} (dureté) : CO_3^{2-} et HCO_3^- (alcalinité) ou SO_4^{2-} (agressivité) [53].

L'échange d'ions est également utilisé pour épurer certains effluents,

Trois procédés d'élimination partielle ou totale des sels dans l'eau.

✓ **Procédé A :** déminéralisation partielle.

Ce traitement s'effectue à l'aide de résines cationiques fortes et anioniques faibles disposées en lits séparés, c'est-à-dire dans un appareil à double colonne. Ce procédé a

CHAPITRE III : LA TECHNIQUE D'ÉCHANGE D'ION

l'inconvénient de laisser dans l'eau traitée (après passage sur les deux colonnes) des acides carboniques et silicique [116].

- ✓ **Procédé B:** déminéralisation totale.

Ce traitement s'effectue cette fois à l'aide de résines cationiques fortes et anioniques fortes disposées en lits séparés (double colonne). La première colonne étant garnie de résines cationiques fortes (régénération à l'acide-cycle H), l'autre colonne recevant les résines anioniques fortes (régénération à la soude-cycle OH). Lors du passage de l'eau brute sur les résines cationiques fortes, les cations sont retenus et il ne subsiste plus dans l'eau percolée que les acides et les sels présents initialement. L'eau traversant les résines anioniques fortes, il est retenu à la fois les anions forts et les anions faibles, y compris l'acide carbonique et la silice. Ce procédé retenant tous les sels donne une eau totalement déminéralisée [116].

- ✓ **Procédé C :** déminéralisation totale (à lits mélangés)

Ce procédé diffère essentiellement du procédé B (lits séparés) du fait qu'il se compose d'une seule colonne garnie de résines cationiques fortes et anioniques fortes, mélangées dans des proportions appropriées au traitement ou à la minéralisation de l'eau à traiter. On obtient par ce procédé une eau de très grande pureté [116].

X.2.L'adoucissement :

La dureté de l'eau provient de certains sels. Elle est principalement due aux ions Calcium (Ca^{2+}), Magnésium (Mg^{2+}) et Bicarbonate (HCO_3^-). Ces ions ou minéraux peuvent poser des problèmes d'entartrage dans les canalisations d'eau chaude, les appareillages d'eau potable et les systèmes de traitement d'eau. Les adoucisseurs offrent une solution de purification d'eau pour la dureté de l'eau et la suppression du calcaire [116].

X.1.Quelques définitions préalables [117]:

- ✓ TH : caractérise la dureté (concentration en ions alcalinoterreux dans l'eau). On distingue le TH total, teneur en Ca^{2+} et Mg^{2+} , du TH calcique, teneur en Ca^{2+} .
- ✓ Dureté carbonatée et non carbonatée : la dureté carbonatée correspond à la partie de la dureté totale chimiquement équivalente à la quantité des carbonates (CO_3^{2-}) et des bicarbonates (HCO_3^-). La dureté non carbonatée (dureté permanente), correspond la somme des ions calcium et magnésium liés aux sulfates, aux chlorures et aux nitrates.
- ✓ TA: détermine la teneur en hydroxydes (OH^-) et la moitié de celle en carbonates.
- ✓ TAC: détermine la teneur en carbonates, bicarbonates et hydroxydes.

L'ensemble de ces paramètres s'exprime en degré français ($^{\circ}\text{F}$), en milliéquivalent par litre (meq/l) ou en mg CaCO_3/l , avec les correspondances suivantes : $1^{\circ}\text{F} = 10 \text{ mg CaCO}_3/\text{l} = 0,2 \text{ meq/l}$

CHAPITRE III : LA TECHNIQUE D'ÉCHANGE D'ION

La technique d'échange d'ions s'emploie pour éliminer les duretés des eaux potables et industrielles ; lorsque leur utilisation conduit à un entartrage ou des dépôts gênants [117].

Les échangeurs d'ions ne doivent pas être utilisés si la quantité de sodium présent à l'effluent de l'échangeur excède 200 mg/L. La présence de fer et de manganèse doit être surveillée avec attention. Quand l'eau à adoucir contient du chlore résiduel, les résines devront être résistantes à l'action du chlore. Les résines à base phénolique ne doivent pas être utilisées [117].

X.3. Autres applications :

X.3.1. Procédés pharmaceutiques :

Les résines échangeuses d'ions sont utilisées dans les procédés industriels permettant l'isolation et la concentration des antibiotiques, des aminoacides, des pesticides, des hormones, des protéines. Ces résines peuvent également servir pour la décoloration, la déminéralisation et la purification [118].

X.3.2. Raffinage du sucre :

L'utilisation des résines échangeuses d'ions permet de réduire la présence des sels et des composants organiques (sans sucre) dans les solutions sucrées. Elle accroît la concentration avec une augmentation du saccharose et la réduction de la quantité de mélasse produite [118].

- Production des colloïdes :

Appliquées à la méthode générale de préparation des sels organiques, les résines échangeuses d'ions fournissent l'avantage que le sel obtenu ne contient pas de relargages d'électrolytes [118].

X.3.3. applications dans l'industrie alimentaire :

X.3.3.1. Déminéralisation de lactosérum :

Le lactosérum, ou petit-lait, obtenu lors de la fabrication du fromage, est riche en protéines et trouve des emplois dans l'industrie alimentaire. On le déminéralise pour en augmenter la pureté. Le principe est le même que celui de la déminéralisation d'eau ou de jus sucrés [118].

X.3.3.2. Industrie des boissons :

Il y a plusieurs applications dans ce secteur [118]:

- Éliminer la couleur des jus de canne pour produire du sucre blanc ;
- Traitement de l'eau destinée à la bière ou aux sodas (voir chapitre 1) ;
- Désacidification avec Amberlite FPA51 (résine faiblement basique) ;
- Élimination de métaux ;
- Élimination d'odeurs ou de goûts indésirables ;
- Élimination de couleur et de turbidité à l'aide de résines adsorbants non ioniques.

CHAPITRE III : LA TECHNIQUE D'ÉCHANGE D'ION

X.4.applications dans l'industrie chimique :

X.4.1.Récupération ou élimination de métaux :

Dans les ateliers de traitement de surface et de placage, on peut éliminer ou récupérer les métaux en solution [119]:

- Récupération d'or dans les ateliers de joaillerie industrielle sous forme de complexes cyanurés sur Amberlite IRA402
- Recyclage des eaux de rinçage en galvanoplastie avec les Amberlite 252 (pour éliminer les cations), IRA96 (pour éliminer le chromate) et IRA410 (pour éliminer le cyanure)
- Élimination de cuivre et de fer dans les ateliers de chromage avec l'Amberlyst 15Wet
- Récupération d'acide chromique dans les ateliers de chromage avec l'Amberlite IR120 et l'Amberlite IRA96
- Élimination de fer dans les bains de galvanisation (zincage) avec l'Amberlite IRC748
- Purification des bains de décapage des métaux par élimination de fer et de zinc sous forme de complexes chlorurés avec l'Amberlite IRA402. L'élution se fait simplement à l'eau.

X.4.2.Production de soude et de chlore :

Ces produits sont obtenus par électrolyse de saumure saturée. Dans ce procédé, la présence de métaux divalents est rédhibitoire. On utilise donc pour les éliminer (principalement le calcium) une résine chélatante sélective. Cette décalcification de la saumure abaisse la concentration initiale de calcium de 10 à 20 mg/L à une valeur très basse, inférieure à 20 µg/L [119].

X.5.Applications diverses :

X.5.1.Immobilisation d'enzymes :

Dans les réactions enzymatiques, il est commode de fixer l'enzyme sur un support plutôt que de l'ajouter au milieu de réaction. Les résines échangeuses d'ions sont tout indiquées pour cette application [119].

X.5.2.Hydroculture :

Des résines échangeuses de cations et d'anions sont utilisées pour fixer les substances fertilisantes nécessaires à la croissance des plantes en culture hydroponique : ammonium, potassium, fer, zinc (cations) et nitrate, phosphate (anions). Des oligo-éléments sont aussi fixés sur les résines. Cette technique permet une diffusion lente des éléments nutritifs [119].

Conclusion :

L'échange d'ions est une technologie puissamment efficace pour l'élimination d'impuretés dans l'eau et dans des solutions diverses.

On trouve aussi de très nombreuses applications dans des domaines autres que le traitement de l'eau, comme indiqué au paragraphe précédent.

PARTIE

PRATIQUE

CHAPITRE IV :

DESCRIPTIONS DU

PILOTE ET DES

I. Introduction :

Les échangeurs d'ions des substances granulaires insolubles appelés « résine » en matière synthétique. Celles-ci comportent dans leurs structures des radicaux acides ou basiques susceptibles d'échanger les ions positifs ou négatifs fixés par les radicaux contre les ions de même signe contenus dans une solution. Ce phénomène d'échange ne modifie pas le nombre total de charge existant dans le liquide [110].

Les deux applications les plus couramment utilisées sont l'adoucissement et la déminéralisation :

L'adoucissement correspond à l'échange des ions Ca^{2+} et Mg^{2+} contenus dans une eau par le sodium avec passage de la solution sur une résine cationique. Cette opération est surtout destinée à traiter les eaux servant aux échanges de chaleur (eaux de chaudière basse pression, échangeurs industriels, etc...) [110].

La déminéralisation consiste à permuter les ions positifs par les protons avec passage de la solution sur une résine cationique et ensuite à permuter les ions négatifs par les hydroxydes avec le passage sur une résine anionique. Les protons réagissent avec les hydroxydes pour donner de l'eau. Une des utilisations consiste à produire de l'eau déminéralisée pour les laboratoires ou pour les chaudières haute pression [110].



Figure 24 : le pilote TE100.

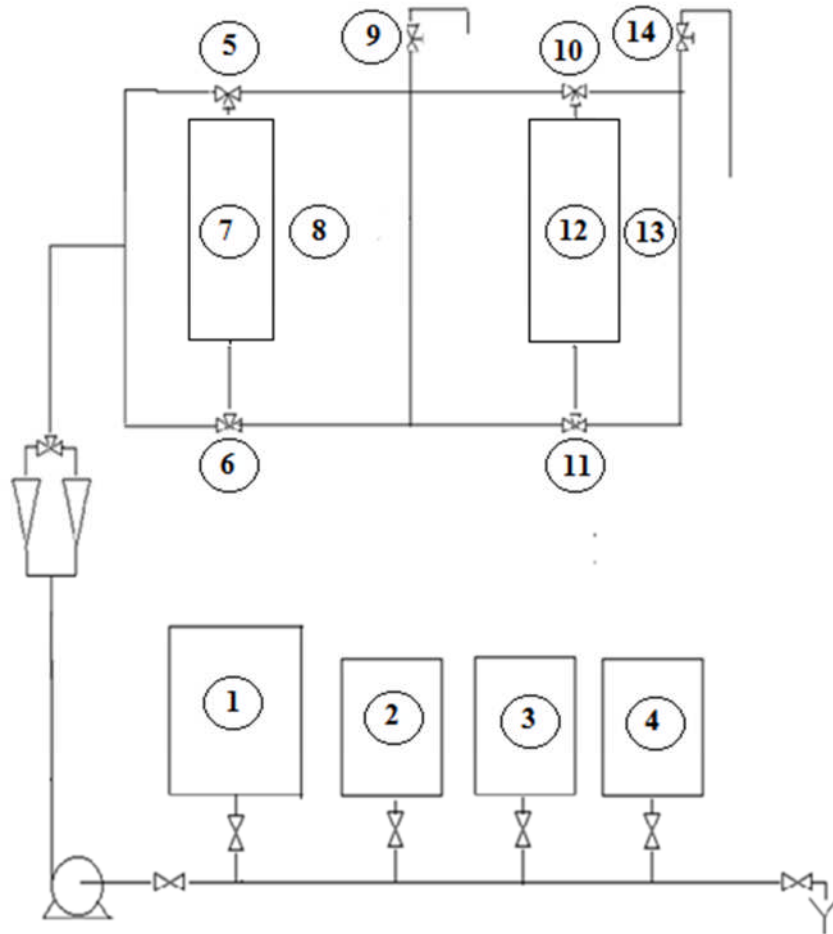


Figure 25: schéma de montage.

II. Construction :

L'appareil consiste essentiellement en deux colonnes contenant chacune un type de résine échangeuse d'ions, montées sur un panneau lui-même supporté par une charpente, ainsi que leurs organes de stockage de contrôle et de mesure.

- 1- Cuve d'alimentation d'eau brute ou de solution à traiter, en PVC transparent, parallélépipédique, capacité utile 100l, avec une vanne d'arrêt et de vidange de type de boisseau sphérique en PVC transparent et joint d'étanchéité en PTFE, DN 10.
- 2- Cuve d'alimentation d'eau déminéralisée de lavage ou de réception d'eau déminéralisée ou décationisée, en PVC transparent, parallélépipédique, capacité utile 50 l, avec une vanne d'arrêt et de vidange de type à boisseau sphérique en PVC et joint d'étanchéité en PTFE, DN 10.
- 3- Cuve d'alimentation de solution acide sulfurique ou de chlorure de sodium de régénération de la résine cationique, en PVC transparent, parallélépipédique, capacité utile 25 l, avec une vanne d'arrêt et de vidange de type à boisseau sphérique en PVC et joint d'étanchéité en PTFE, DN 10.

CHAPITRE VI : DESCRIPTION DE PILOTE ET DES APPAREILLAGES

- 4- Cuve d'alimentation de solution de soude de régénération de la résine anionique, en PVC transparent, parallélépipédique, capacité utile 25 l, avec une d'arrêt et de vidange de type à boisseau sphérique en PVC et joint d'étanchéité en PTFE, DN 10.
- 5- Vanne trois voies de choix d'alimentation ou de sortie haute de la résine échangeuse de cations, de type de boisseau sphérique en PVC et joint d'étanchéité en PTFE, DN 10.
- 6- Vanne trois voies de choix d'alimentation de sortie ou de « by-pass » de la résine échangeuse de cations, de type de boisseau sphérique en L en PVC et joint d'étanchéité en PTFE, DN 10.
- 7- Colonne contenant la résine de type cationique en altuglas ; diamètre inférieur 50 mm, hauteur 450 mm ; grilles de supportage et d'arrêt de la résine en acier inoxydable 304 L, maille 0.5 mm ; volume total de résine utile 0.81.
- 8- Colonne contenant la résine de type cationique en altuglas ; diamètre inférieur 50 mm, hauteur 1250 mm ; grilles de supportage et d'arrêt de la résine en acier inoxydable 304 L, maille 0.5 mm ; volume total de résine utile 0.21.
- 9- Robinet de réglage du débit d'alimentation du circuit de la résine échangeuse de cations de type à membrane, en PVC et membrane en Viton, DN 10.
- 10- Vanne trois voies de choix d'alimentation ou de sortie de la résine échangeuse d'anions, de type à boisseau sphérique en L, en PVC et joint d'étanchéité en PTFE, DN 10.
- 11- Vanne trois voies de choix d'alimentation ou de sortie de la résine échangeuse d'anions, de type à boisseau sphérique en L, en PVC et joint d'étanchéité en PTFE, DN 10.
- 12- Colonne contenant la résine de type anionique en altuglas ; diamètre inférieur 50 mm, hauteur 450 mm ; grille de supportage et d'arrêt de la résine en acier ionoxydable 304 L, maille 0.5 mm ; volume totale de résine utile 0.21.
- 13- Robinet de réglage du débit d'alimentation de circuit des résines échangeuses d'ions de type à membrane, en PVC et membrane en Viton, DN 10.
- 14- Charpente de supportage en tube carrés en acier inoxydable 304 L et plateau support en PVC ; L X P X H : 1.4m X 0.75mX 1.19m.

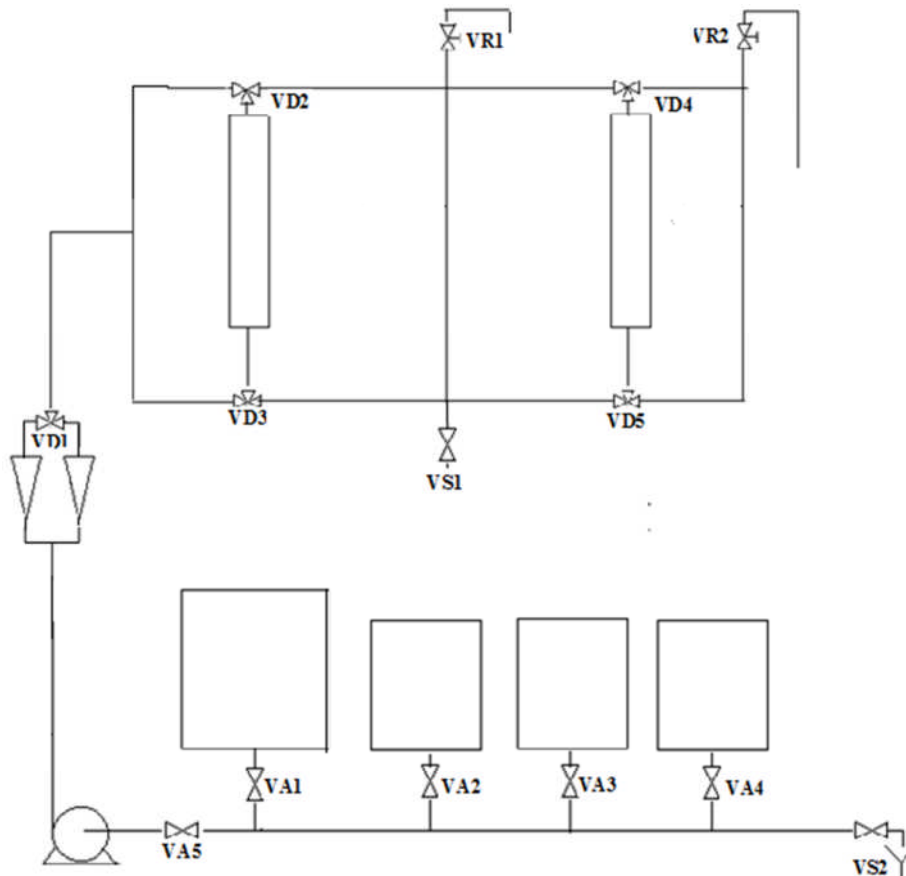


Figure 26: schéma de la liste des vannes.

Liste des vannes :

- VA1 : vanne manuelle d'alimentation eau brute,
- VA2 : vanne manuelle d'alimentation eau déminéralisée,
- VA3 : vanne manuelle d'alimentation régénération acide,
- VA4 : vanne manuelle d'alimentation régénération base,
- VA5 : vanne manuelle d'alimentation générale,
- VD1 : vanne manuelle de distribution débitmètre,
- VD2 : vanne manuelle haute distribution résine cationique,
- VD3 : vanne manuelle basse distribution résine cationique,
- VD4 : vanne manuelle haute distribution résine anionique,
- VD5 : vanne manuelle basse distribution résine anionique,
- VS1 : vanne manuelle sortie canalisation résine,
- VS2 : vanne manuelle sortie canalisation alimentation,
- VR1 : vanne manuelle de réglage débit résine cationique,
- VR2 : vanne manuelle de réglage débit résine anionique.

III. Instrumentation :

A : sonde de mesure de conductivité en plastique ; électrodes de mesure en graphite spécial ; gamme de service 0-100°C ; sonde de correction de température incluse.

CHAPITRE VI : DESCRIPTION DE PILOTE ET DES APPAREILLAGES

B : transmetteurs de conductivité ; gamme de mesure 0-2000 μs ; fréquence de mesure 3 KHz ; écart de mesure +/- 2% ; correction automatique de la température de mesure ; sortie analogique 4-20 mA.

C : débitmètre à flotteur du circuit d'alimentation des résine échangeuses d'ion en PVC transparent, DN 10 ; échelle 5-60 l/h et 2.5-25 l/h ; précision 5%.

D : pompe centrifuge d'alimentation ; corps et aubage en polypropylène ; joint torique d'étanchéité Viton ; 1300 l/s à 3 mcE ; entraînement magnétique ; moteur électrique monophasé, 220 V, 50 Hz, 0.4 A.

E : détecteur de débit d'alimentation, de type détecteur de niveau à flotteur magnétique, en plastique.

F : afficheur digital multivoies de la conductivité de la solution de sortie des résines échangeuses de cations et d'anions ; entrée 4-20 mA ; alimentation électrique monophasé, 220 V, 50 Hz.

G : armoire de contrôle et de commande située sur charpente comprenant :

- Arrêt/marche général ;
- Fusibles de protection de tous les appareils électrique ;
- Arrêt/marche de la pompe d'alimentation avec protection parthermique de sécurité ;
- Alimentation stabilisées 220 V 50 Hz/ 5VDC des transmetteurs de conductivité ;
- Alimentation stabilisées 220 V 50 Hz/ 24VDC des transmetteurs de conductivité ;
- Transmetteurs de conductivité ;
- Afficheur digital de conductivité.

IV. manipulation :

IV.1. Présentation du pilote :

L'unité se compose de deux types de colonnes réalisées en altuglas, de diamètre intérieur 50 mm contenant divers types de résines échangeuse d'ions.

Ces colonnes sont alimentées en fluide par une pompe centrifuge à entraînement magnétique. Une vanne de réglage permet de caler son débit à une valeur déterminée fonction de l'étape considérée. La lecture du débit se fait grâce à un débitmètre à flotteur. Le pilote est fourni avec les bacs d'alimentation en liquide à traiter et en solutions de régénération et de lavage.

On peut suivre l'avancement du procédé grâce à des capteurs de conductivité situés en aval des colonnes.

Les colonnes sont interchangeable pour pouvoir changer la quantité de résine si nécessaire ; les colonnes sont alimentées toujours par le haut ; elles peuvent être régénérées soit par le haut (fonctionnement à co-courant), soit par le bas (fonctionnement à contre-courant), selon le cycle retenu. Les vannes 3 voies permettent une grande souplesse d'utilisation.

CHAPITRE VI : DESCRIPTION DE PILOTE ET DES APPAREILLAGES

IV.2. Fonctionnement rapide du pilote :

IV.2.1. Alimentation par le haut :

Cas du fonctionnement en déminéralisation, décationisation ou en régénération à co-courant :

La solution est alimentée dans chaque colonne par la vanne trois voies hautes (L positionné vers la gauche).

La solution à l'entrée de la colonne traverse un filtre grossier (maille 0.5 mm), avant de pénétrer sur le lit de billes de résines échangeuses d'ions.

A la base de colonnes, des grilles inox (maille 0.5 mm) sont positionnées et permettent de retenir les résines sans toutefois augmenter les pertes de charge.

La solution traverse alors la vanne trois vois inférieures de la colonne (T positionné vers la droite) avant d'atteindre l'électrode de mesure de conductivité ; elle est ensuite évacuée.

IV.2.2. Alimentation par le bas :

Cas du fonctionnement en régénération à contre-courant :

La solution est alimentée dans chaque colonne par la vanne trois voies inférieure (T positionné vers la gauche (résine cationique) ou L positionné vers la gauche (résine anionique)).

En régime normal de fonctionnement, on placera les mêmes grilles que précédemment de manière à éviter les entrainements intempestifs des billes de résine échangeuse d'ions.

La solution traverse alors la vanne trois voies supérieures de la colonne (L positionné vers la droite) ; elle est ensuite évacuée.

La pompe est montée en charge car elle ne doit pas fonctionner à sec. Quatre bacs soudés sur une même plate-forme alimentent le pilote. Ils sont en PVC transparent, ce qui permet de visualiser leur niveau.

Deux sondes sont prévues sur l'unité. Les transmetteurs correspondant sont situés dans le coffret de commande l'unité. La gamme de mesure choisie en standard pour ce procédé est 0-2000 $\mu\text{s/cm}$.

V. Procédure de mise en service du pilote :

- Mettre en marche le pilote ;
- Vidanger si nécessaire les cuves d'alimentation des résines échangeuses d'ions ;
- Il convient alors de nettoyer les cuves d'alimentation de la résine échangeuse de cations ;
- Fermer les vannes d'alimentation des cuves d'alimentation des résines échangeuses d'ions VA1, VA2, VA3, VA4 ;

CHAPITRE VI : DESCRIPTION DE PILOTE ET DES APPAREILLAGES

- Fermer les vannes de sortie des cuves d'alimentation VS2 des résines échangeuses d'ions VS1 ;
- Remplir la cuve d'alimentation de solution à traiter,
- Ouvrir la vanne d'alimentation de la cuve d'eau brute VA1 ;
- Fermer la vanne de réglage de débit VR1 ;
- Mettre en marche la pompe d'alimentation ;
- Ouvrir la vanne d'alimentation générale VA5 ;
- Positionner la vanne trois voies haute de la colonne de résine échangeuse de cations VD2 de manière à ne pas alimenter la colonne (L orienté à droite) ;
- Positionner la vanne trois voies basse de la colonne de résine échangeuse de cations VD3 de manière à ne pas alimenter la colonne (T orienté en position verticale « normale ») ;
- Positionner la vanne trois voies haute de la colonne de résine échangeuse d'anions VD4 de manière à ne pas alimenter la colonne (L orienté à droite) ;
- Positionner la vanne trois voies basse de la colonne de résine échangeuse d'anions VD5 de manière à ne pas alimenter la colonne (L orienté à droite) ;
- Positionner le tuyau de sortie de la colonne résine échangeuse d'anions dans la cuve de la solution à traiter ;
- Alimenter la solution sans passer par les colonnes de résines échangeuses d'ions en ouvrant au maximum la vanne de réglage VR2 de manière à amorcer la pompe d'alimentation ;
- Arrêter la pompe d'alimentation ;
- Lorsque les bulles d'air contenues dans la canalisation d'alimentation sont remontées, mettre en marche la pompe d'alimentation ;
- Recommencer la manipulation jusqu'à ce que la pompe d'alimentation soit amorcée ;
- Fermer la vanne de réglage de débit VR2 ;
- Positionner la vanne trois voies haute de la colonne de résine échangeuse de cations VD2 de manière à alimenter cette colonne par le haut (L orienté à gauche) ;
- Positionner la vanne trois voies basse de la colonne de résine échangeuse de cations VD3 de manière à permettre la sortie du fluide par le bas (T orienté à droite) ;
- Positionner la vanne trois voies haute de la colonne de résine échangeuse d'anions VD4 de manière à alimenter cette colonne par le haut (L orienté à gauche) ;
- Positionner la vanne trois voies basse de la colonne de résine échangeuse d'anions VD5 de manière à permettre la sortie du fluide par le bas (T orienté à droite) ;
- Positionner le tuyau de sortie de la colonne de résine échangeuse d'anions dans la cuve de réception d'eau déminéralisée ;
- Alimenter la solution à traiter dans les colonnes de résine échangeuse d'ions à 30 l/h avec la vanne de réglage VR2 et noter toutes les 15 min les valeurs de la solution sortante de chaque résine sur l'afficheur (C11 et C12) ;
- La conductivité de la solution sortante de la colonne de résine échangeuse de cations va d'abord augmenter jusqu'à atteindre un palier (les ions H^+ permutés sont les plus mobiles donc plus conducteurs de courant électrique que les ions Na^+ , Ca^+ ,...), puis diminuer lorsque la résine commencera à être saturée (on dit que la résine « percé ») ;

CHAPITRE VI : DESCRIPTION DE PILOTE ET DES APPAREILLAGES

- La conductivité de la solution sortante de la colonne de résine échangeuse d'anion va d'abord augmenter jusqu'à atteindre un palier (les molécules d'eau formées sont moins conductrices de courant électrique que les ions permutés de la solution originale), puis augmenter et atteindre un deuxième palier lorsque la résine échangeuse de cations commencera à être saturée (on dit que la résine « perce »), et enfin augmenter régulièrement lorsque la résine échangeuse d'anions sera saturée à son tour ;
- Lorsque la conductivité de la solution sortante augmente régulièrement, les résines sont saturées et la manipulation est finie ;
- Fermer la vanne de réglage de débit VR1 ;
- Arrêter la pompe d'alimentation ;
- Arrêter le pilote.

V.1. Présentation de la manipulation :

L'utilisation du pilote TE100 montre le fonctionnement des résines échangeuses d'ions. Les opérations d'adoucissement et de minéralisation sont suivies en parallèle grâce à la possibilité de mesurer la conductivité en sortie de résine cationique et en sortie de résine anionique.

La durée d'un cycle (régénération des résines, lavage et déminéralisation, les étudiants ne manipuleront que sur la phase de fixation.

V.2. Préliminaire :

La régénération et lavage des résines sont des opérations assez longues qui ne peuvent être faites par les élèves.

N.B : les manipulations décrites ci-dessous ont été effectuées avec les résines échangeuses d'ions de capacité théorique d'échange différentes de celles que vous possédez.

Les volumes des résines mis en jeu étaient également différents.

Le pilote sur lequel ont été effectuées les manipulations était un « prototype ».

Il est donc normal que vous ne retrouviez pas les mêmes résultats expérimentaux que ce donné ci-après. Toutefois la démarche et le principe de la manipulation sont inchangés.

N.B : les résines livrées avec le pilote ne sont pas sous forme active ; il convient donc de les régénérer puis de les laver avant toute manipulation.

V.2.1. Régénération et lavage des résines :

a) résine cationique :

La régénération de cette résine ne peut être faite que par passage de solution d'acide à concentrations progressives.

Pour cette opération, positionner les vannes correctement et noter la conductivité de l'eau de rinçage.

CHAPITRE VI : DESCRIPTION DE PILOTE ET DES APPAREILLAGES

Les conditions sont (débit fixé entre 5 et 10 l/h) :

- Passage de H₂SO₄ à 1% (0.2 mol/l de H⁺) pendant une demi-heure,
- Passage de H₂SO₄ à 2% (0.4 mol/l de H⁺) pendant une demi-heure,
- Passage de H₂SO₄ à 5% (1 mol/l de H⁺) pendant une demi-heure,
- Passage de H₂SO₄ à 10% (2 mol/l de H⁺) pendant une demi-heure,
 - ✓ Pour la régénération à co-courant, le mode opératoire est le suivant :
- Mettre le pilote en marche ;
- Vidanger et nettoyer si nécessaire les cuves d'alimentation des résines échangeuses d'ions ;
- Positionner la vanne VD4 de manière à ne pas alimenter la colonne de résine anionique par le haut (L orienté à droite) ;
- Positionner la vanne VD5 de manière à ne pas alimenter la colonne de résine anionique par le haut (L orienté à droite) ;
- Ouvrir les vannes VA3 qui contient le produit de régénération et VA5 ;
- Ouvrir la vanne VD1 (L orienté à droite) ;
- Ouvrir la vanne VD2 de manière à alimenter la colonne de résine cationique par le haut (L orienté à gauche) ;
- Positionner la vanne VD3 de manière à ne pas alimenter la colonne de résine cationique par le bas (T orienté à droite) ;
- Fermer les vannes VR1, VR2 et ouvrir la vanne VS1 et par ces étapes là la régénération à co-courant ça commence.
 - ✓ Pour la régénération à contre-courant, le mode opératoire est le suivant :
- On refaire les mêmes 5 premières étapes précédentes ;
- Ouvrir la vanne VD2 de manière à ne pas alimenter la colonne de résine cationique par le haut (L orienté à droite) ;
- Positionner la vanne VD3 de manière à alimenter la colonne de résine cationique par le bas (T orienté à gauche) ;
- ouvrir la vanne VR1 ;
- fermer la vanne VR2 et la vanne VS1 ;
- la régénération à contre-courant ça commence.

La résine peut se laver avec de l'eau déminéralisée ou avec de l'eau décationnée. Le mode opératoire est :

- Passage le l'eau à co-courant pendant 5 à 10 minutes (pour éliminer le maximum d'acide sulfurique) ;
- Passage lent de l'eau entre 5 à 10 l/h à contre courant pendant 10 minutes ;
- Passage rapide de l'eau entre 15 à 30 l/h à co-courant ou à contre-courant jusqu'à que la conductivité de l'eau de sortie de résine soit environ la conductivité de l'eau d'entrée à (+) ou (-5) µs ;

b) résine anionique :

Cette résine est régénérée par la soude.

CHAPITRE VI : DESCRIPTION DE PILOTE ET DES APPAREILLAGES

Mesurer la conductivité de l'eau de rinçage, positionner correctement les vannes de pilote.

Passage d'une solution de NaOH à 4 % (1 mol/l) pendant une heure.

✓ Pour la régénération à co-courant, le mode opératoire est le suivant :

- Mettre le pilote en marche ;
- Vidanger et nettoyer si nécessaire les cuves d'alimentation des résines échangeuses d'ions ;
- Positionner la vanne VD2 de manière à ne pas alimenter la colonne de résine cationique par le haut (L orienté à droite) ;
- Positionner la vanne VD3 de manière à ne pas alimenter la colonne de résine cationique par le bas (T orienté à droite) ;
- Ouvrir les vannes VA4 qui contient le produit de régénération et VA5 ;
- Ouvrir la vanne VD1 (L orienté à droite) ;
- Ouvrir la vanne VD4 de manière à alimenter la colonne de résine anionique par le haut (L orienté à gauche) ;
- Positionner la vanne VD5 de manière à ne pas alimenter la colonne de résine anionique par le bas (L orienté à droite) ;
- Fermer les vannes VR1 et VS1;
- Ouvrir la vanne VR2
- la régénération à co-courant ça commence.

✓ Pour la régénération à contre-courant, le mode opératoire est le suivant :

- Refaire les mêmes six premier étapes précédentes ;
- Ouvrir la vanne VD4 de manière à ne pas alimenter la colonne de résine anionique par le haut (L orienté à droite) ;
- Positionner la vanne VD5 de manière à alimenter la colonne de résine anionique par le bas (L orienté à gauche) ;
- Fermer les vannes VR1 et VS1;
- Ouvrir la vanne VR2 ;
- la régénération à contre-courant ça commence.

Le lavage des résines peut se faire suivant ces étapes :

- passage de l'eau pendant 5 à 10 minutes à co-courant entre 5 et 10 l/h (pour éliminer le maximum de soude) ;
 - passage de l'eau pendant 20 minutes ou plus à contre courant à un débit de 10 l/h.
- ✓ dès que la régénération des résines cationique et anionique est faite on termine par les étapes suivantes :
- Fermer la vanne de réglage de débit VR1 et VR2 ;
 - Fermer les vannes VD1, VA4 et VA5;
 - Arrêter la pompe d'alimentation ;
 - Arrêter le pilote.

CHAPITRE VI : DESCRIPTION DE PILOTE ET DES APPAREILLAGES

VI. Les analyses physico-chimiques :

VI.1. Mesure de la conductivité :

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau.

De plus, une correction est appliquée de façon à obtenir la conductivité à 25°C, quelle que soit la température de la solution.

✓ Le mode opératoire :

Le modèle HANNA EC 215 (au laboratoire de sekkak) est très pratique et assure des résultats précis, satisfaisant ainsi l'opérateur le plus exigeant.

- Allumer le conductimètre avec le bouton POWER ;
- Rincer l'électrode de conductivité avec l'eau distillée ;
- Rincer l'électrode avec la solution à mesurer ;
- Immerger l'électrode dans la solution ;
- Mettre en route l'agitation magnétique ;
- Secouer la cellule jusqu'à ce qu'il n'y ait plus aucune bulle visible au niveau d'électrodes ;
- Attendez jusqu'à la stabilisation de conductivité et noter les valeurs.



Figure 27 : le conductimètre.

VI.2. Mesure de pH et température :

Le pH mètre Hanna 211 a été conçu pour être simple sans sacrifier la précision. La mesure de pH mètres est de 0 à 14 et la température est de 0 à 100 avec 0,01 pH et 0,5 ° C de précision. Le grand affichage montre à la fois horizontale pH (ou mV) et de la température en même temps.

✓ Le mode opératoire :

Assurez-vous que le pH-mètre a été étalonné avant de démarrer les mesures.

- Allumez l'instrument par appui sur le bouton ON/OFF ;
- Rincer l'électrode de pH et température avec l'eau distillée ;
- Rincer l'électrode de pH et température avec la solution à mesurer ;

CHAPITRE VI : DESCRIPTION DE PILOTE ET DES APPAREILLAGES

- Plongez les électrodes sur environ 4 cm dans la solution à mesurer et remuez brièvement ;
- Attendez jusqu'à la stabilisation de Ph et température et noter les valeurs.



Figure 28: le Ph mètre.

VI.3. Mesure de la turbidité :

La turbidité est définie comme la « réduction de la transparence d'un liquide par la présence de matières non dissoutes ». Elle est causée par la présence des matières en suspension composées d'argile, de limon, de particules organiques, de plancton et de divers autres organismes microscopiques.

Les unités de mesure sont les UTN (unités de turbidité néphélométriques). La turbidité peut être mesurée par néphélométrie (diffusion à $\theta = 90^\circ$) ou par atténuation d'un rayonnement infrarouge à 860 nm.



Figure 29 : le turbidimètre.

✓ Les étapes d'analyse:

- L'échantillon est bien agité et une partie de ce dernier est transvidée dans un Vial.
- Le Vial est place dans le turbidimètre. Un faisceau de lumière est dirigé vers l'échantillon et la lumière diffuse est mesurée à 90° .
- La valeur mesurée est directement donnée en NTU (unités de turbidité néphélométriques).

CHAPITRE VI : DESCRIPTION DE PILOTE ET DES APPAREILLAGES

VI.4. La mesure des MES:

Le spectrophotomètre modèle DR/2000 HACH (au laboratoire d'ain el Houtz) illustré à la figure 30 est un appareil simple faisceau, commandé par microprocesseur pour l'analyse colorimétrique au laboratoire ou sur le terrain. L'appareil est pré-calibré pour plus de 120 mesures colorimétriques différentes et permet de créer facilement des étalonnages supplémentaires pour des méthodes créées par l'opérateur.

✓ Le mode opératoire :

- L'échantillon est bien agité et une partie de ce dernier est transvidée dans un Vial.
- Le Vial est place dans le spectrophotomètre.
- Le code 630 est inséré pour les MES est réglé à 810.
- La valeur mesurée est directement donnée sur l'appareil.



Figure 30 : Le spectrophotomètre.

CHAPITRE V :
RÉSULTATS ET
INTERPRÉTATIONS

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

I. Introduction :

Le travail par échange d'ion a été effectué sur une eau épurée qui a pris de la step d'Ain el Houtz, Notre travail est partagé en trois parties :

Etude 1 : influence de la décantation sur la qualité physico-chimique de l'eau épurée.

Etude 2 : influence de la dilution sur la qualité physico-chimique de l'eau épurée.

Etude 3 : les analyses physico-chimiques et bactériologiques qui sont faites au niveau de labo de Sekkak et l'ADE d'Abou Tachfin.

Après la première et la deuxième étude L'eau épurée décantée diluée passe à travers les résines d'échangeuses d'ions, en faisant varier le débit et mesurant la conductivité.

II. étude 1 : l'influence de la décantation sur la qualité physico-chimique de l'eau

Cette étude est pratiquée au niveau de laboratoire de la STEP d'Ain El Houtz, elle a porté sur la décantation pour de longs intervalles (généralement une demi-heure) des quatre éprouvettes contenant des solutions différentes suivies par la mesure des paramètres physico-chimiques de ces solutions jusqu'à la stabilité de ces paramètres.

II.1. analyses et interprétations :

Les solutions utilisées sont :

- **Solution 1** : eau épurée.
- **Solution 2** : eau épurée diluée 1/5, on prend 200 ml d'eau épurée et 800 ml d'eau de robinet.
- **Solution 3** : eau épurée diluée 1/10, on prend 100 ml d'eau épurée et 900 ml d'eau de robinet.
- **Solution 4** : solution échantillon (eau épurée).

Les résultats sont obtenus dans les tableaux suivants :

Tableau 16: les résultats de l'étude de décantation de la solution 1.

Temps (min)	PH	Conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Turbidité (NTU)	MES	Oxygène dissous
0	7,2	608	15	14	4,8
30	7,2	608	13	8	4,8
90	7,2	608	13	6	4,8
120	7,2	608	13	6	4,8
150	7,2	608	13	8	4,8
180	7,2	608	13	8	4,8
(en haut) 210 (en bas)	7,2	608	16 19	7 18	4,88

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

D'après le tableau, on remarque que le pH, la conductivité et l'oxygène dissous restent constants car nous avons la même solution, les paramètres changés sont la turbidité et les MES.

En premier temps la turbidité a une valeur max de 15 NTU, la même chose pour les MES qui a une valeur de 14 mg/l, la turbidité se stabilise à partir de 30 min jusqu'à 2h30 puis après 3h elle augmente au haut de l'éprouvette et en bas, on peut analyser que cette augmentation en haut provient de flottation et en bas provient de la décantation.

Tableau 17: les résultats de l'étude de décantation de la solution 2.

Temps (min)	PH	Conductivité (µs/cm)	Turbidité (NTU)	MES	Oxygène dissous
0	7,2	560	6	7	4,63
30	7,2	560	5	3	4,63
90	7,2	560	4	3	4,63
120	7,2	560	4	3	4,63
150	7,2	560	4	2	4,63
180	7,2	560	7	5	4,63
(en haut) 210 (en bas)	7,2	560	7 5	9 16	4,66

Tant que le pH, conductivité et oxygène dissous restent constant, l'effet de décantation exerce sur la turbidité et les MES.

Comme l'eau est diluée 1/5 alors la turbidité va diminuer en premier temps de 15 NTU (solution 1) à 6 pour la deuxième solution, elle diminue et se stabilise de valeur 4 NTU à partir de 30 min jusqu'à 2h, puis elle augmente en haut et en bas de l'éprouvette à cause de flottation et décantation.

La même chose pour les MES car ces dernières ont une relation avec la turbidité.

Tableau 18 : les résultats de l'étude de décantation de la solution 3.

Temps (min)	PH	Conductivité (µs/cm)	Turbidité (NTU)	MES	Oxygène dissous
0	7,2	522	7	5	4,58
30	7,2	522	6	3	4,58
90	7,2	522	5	3	4,58
120	7,2	522	4	3	4,58
150	7,2	522	4	3	4,58
180	7,2	522	4	3	4,58
(en haut) 210 (en bas)	7,2	522	4 7	2 9	4,89

Comme nous l'avons dit précédemment que les paramètres de pH, conductivité et Oxygène dissous ne change pas dans la même solution. L'eau épurée diluée au 1/10 a une valeur faible de turbidité de 7 NTU et 5 mg/l pour les MES. Après un temps de

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

30 min, la turbidité a diminué jusqu'à atteint une valeur de 4 NTU, les MES reste stable de valeur 3 mg/l jusqu'à la 180 min. Mais quand nous avons analysé l'échantillon après 210 minutes en bas nous avons trouvé que les valeurs de turbidité et MES a augmenté en raison de décantation.

Tableau 19: les résultats des paramètres physico-chimiques de la solution 4.

Temps (h)	PH	Conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Turbidité (NTU)	MES	Oxygène dissous
0	7	608	15	14	4,8
1	7	608	13	7	4,8
			13	8	
2	7	608	12	6	4,8
			13	8	
3	7	608	13	4	4,6
			19	17	

Ce tableau indique les résultats des analyses physico-chimiques de la solution 4, cette solution présente les mêmes caractéristiques que la solution 1 sauf les mesures sont mis à jour chaque heure en haut et en bas de l'éprouvette.

Après 2h de décantation les valeurs sont diminués en haut et en bas de 15 à 13 NTU pour la turbidité et de 14 à 8 mg/l pour les MES mais après 3h ces valeurs sont augmentés en bas de l'éprouvette jusqu'à 19 NTU et 17 mg/l et reste stable en haut de l'éprouvette.

De là, nous concluons que la décantation a un facteur important sur la turbidité, et nous avons pris en compte que, à partir de 3 heures l'eau est bien décantée pour faire les étapes ultérieurs.

III. Etude 2: influence de la dilution sur la qualité physico-chimique de l'eau épurée.

Avant que l'eau épurée ne soit passé à travers les résines, elle doit être diluée pour maintenir de bon étapes de ces résines.

Les dilutions étudiées sont : 1/10, 1/5, 1/3, 1/2.

L'étude est faite sur trois types de résines cationiques et deux types des résines anioniques.

Au cours des expériences, nous avons fait passer l'eau épurée diluée à travers les résines cationiques, anioniques, cationiques puis anioniques. Nous avons fait varier pendant une période connue le débit d'alimentation des colonnes des résines pour voir son influence sur la conductivité.

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Les débits étudiés sont : 5l/h, 10 l/h, 20 l/h.

Après chaque manipe nous avons fait un très bon lavage des résines à co-courant et à contre courant pendant une période de 1heure (30 min à co-courant et 30 min à contre courant) pour chaque résine.

III.1.type 1 de résine :

Les résines utilisées sont des résines existait dans le pilote TE100, sont des résines anciennes et utilisée depuis longtemps, mais malgré cela, nous utilisons dans les manipes pour connaître leurs validité.

III.1.1.Dilution de l'eau épurée au 1/10 :

Après la décantation de l'eau épurée, nous diluons cette eau au 1/10. Dans la cuve d'alimentation nous avons rempli 72 l d'eau de robinet et 8 l d'eau épurée, ses conductivités sont indiquées ci-après :

Conductivité eau de robinet : 930 μ s.

Conductivité d'eau épurée diluée pour: 995 μ s.

L'eau épurée diluée va traverser la résine cationique, anionique, cationique et anionique, les résultats trouvés sur la conductivité de l'eau après ce passage sont indiquées dans les tableaux suivants :

❖ La résine cationique :

Tableau 20: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine cationique pour une dilution 1/10 (type 1).

Temps (min)	Le débit (l/h)		
	5 l/h	10 l/h	20 l/h
	La conductivité (μ s/cm)		
0	1050	974	943
2	948	965	940
4	944	963	942
6	955	966	943
8	967	966	943
10	975	964	943
12	978	964	942
14	980	963	942
16	981	962	941
18	985	962	941
20	984	962	941

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

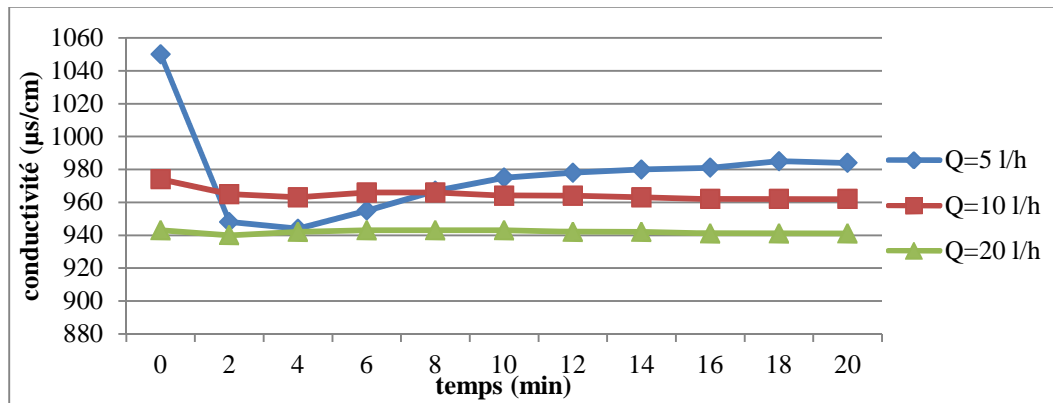


Figure 31: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine cationique pour une dilution 1/10 (résine type 1).

❖ La résine anionique:

Tableau 21: Variation de la conductivité en fonction du temps par résine anionique pour une dilution 1/10 (type 1).

Temps (min)	Le débit (l/h)		
	5 l/h	10 l/h	20 l/h
	La conductivité ($\mu\text{s/cm}$)		
0	1101	1058	988
2	1084	1056	986
4	1078	1047	986
6	1078	1050	980
8	1088	1050	977
10	1102	1046	972
12	1110	1044	966
14	1115	1042	961
16	1117	1039	956
18	1116	1034	952
20	1117	1030	949

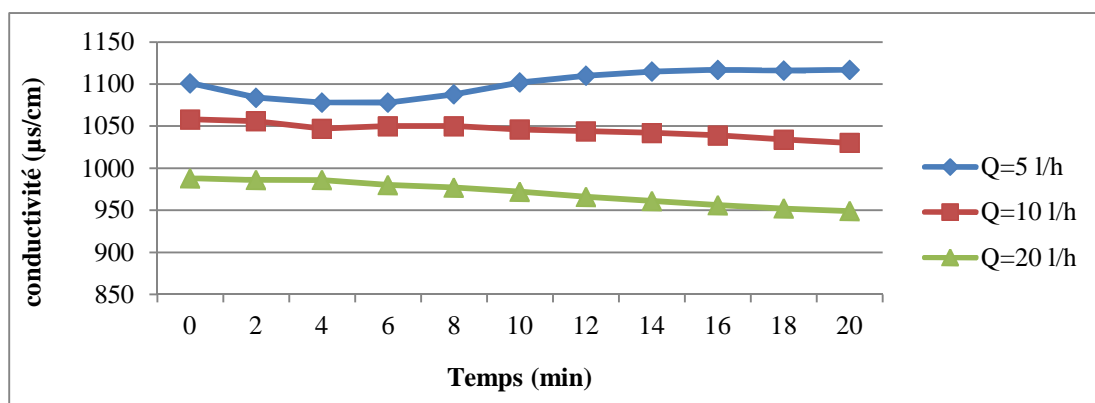


Figure 32: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine anionique pour une dilution 1/10 (résine type 1).

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

❖ La résine cationique puis anionique:

Tableau 22: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine cationique puis anionique pour une dilution 1/10 (type 1).

Temps (min)	Le débit (l/h)					
	5 l/h		10 l/h		20 l/h	
	La conductivité ($\mu\text{s/cm}$)					
	cationique	anionique	cationique	anionique	cationique	Anionique
0	920	950	940	964	923	927
2	919	940	937	951	933	917
4	926	938	950	947	937	921
6	938	940	953	953	936	921
8	949	947	954	953	936	919
10	958	958	955	953	935	917
12	964	966	958	953	933	915
14	964	970	955	953	931	913
16	964	972	954	950	929	911
18	966	972	954	948	926	908
20	967	972	954	947	924	906

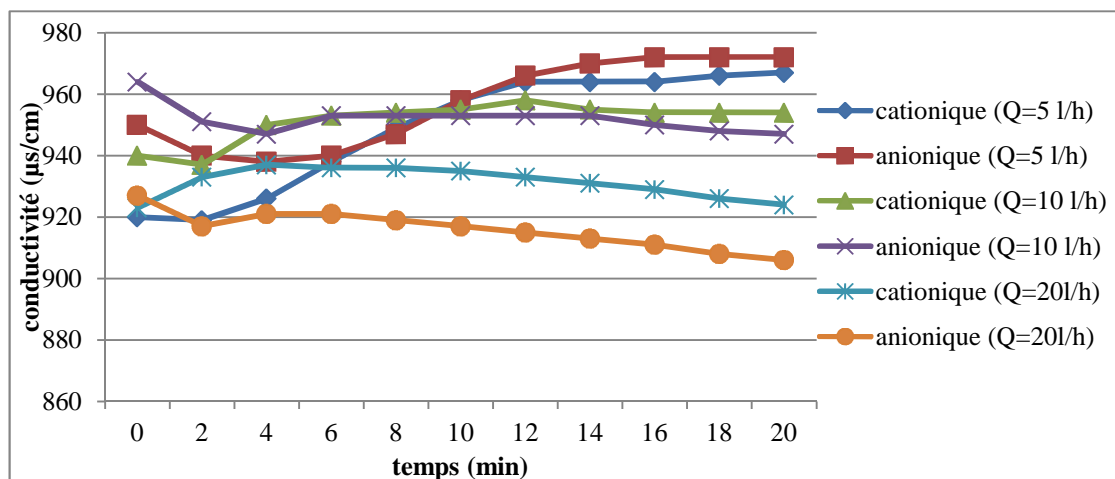


Figure 33: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine cationique puis anionique pour une dilution 1/10 (résine type 1).

Dans ce type de résines et comme nous le montre chacun des tableaux (21, 22, 23) et les courbes (31,32, 33), le débit qui donne le meilleur résultat est de 20 l/h pour la résine cationique, anionique, cationique puis anionique. Tant que la dilution est de 1/10 la charge reste faible c'est à dire que le débit doit être important.

Le débit 5 l/h excite la conductivité qui atteint jusqu'à 1050 $\mu\text{s/cm}$ pour la résine cationique et 1088 $\mu\text{s/cm}$ pour la résine anionique.

Egalement, pour le débit de 10 l/h, la conductivité a enregistré une augmentation surtout pour la résine anionique atteint jusqu'à 1056 $\mu\text{s/cm}$.

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Les résultats des analyses (SEKKak):

Tableau 23: Les résultats des analyses des échantillons pour une dilution 1/10 (type 1).

Les échantillons	pH	Conductivité (µs/cm)	T (°C)	Turbidité (NTU)
Eau épurée	7,63	1192	19,6	2,76
Eau diluée 1/10 (en bas)	7,43	840	17,5	1,7
Eau diluée 1/10 (en haut)	7,84	844	17,5	2,49

Nous calculons le rendement du traitement de l'eau traitée par rapport à l'eau brute (épurée) R1, et le rendement du traitement de l'eau traitée par rapport à l'eau épurée diluée R2 comme suite :

$$R1 = 1 - \frac{\text{turbidité de l'eau traitée}}{\text{turbidité de l'eau épurée}} * 100 \quad (\text{V-1})$$

$$R2 = 1 - \frac{\text{turbidité de l'eau traitée}}{\text{turbidité de l'eau épurée diluée}} * 100 \quad (\text{V-2})$$

❖ La résine cationique :

Tableau 24: Les résultats des analyses des échantillons traités par la résine cationique pour une dilution 1/10 (résine type1).

Les échantillons	pH	Conductivité (µs/cm)	T (°C)	Turbidité (NTU)	R1 (%)	R2 (%)
Après 2 min	7,64	778	17,6	0,69	75,00	72,29
Après 20 min	7,99	780	17,5	0,59	78,62	76,31
	Débit 10 l/h					
Après 2 min	7,81	768	17,5	0,71	74,28	71,49
Après 20 min	8,10	774	17,8	0,39	85,87	84,34
	Débit 20 l/h					
Après 2 min	7,93	769	17,8	0,98	64,49	60,64
Après 20 min	7,97	762	17,8	0,64	76,81	74,30

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

❖ La résine anionique :

Tableau 25: Les résultats des analyses des échantillons traités par la résine anionique pour une dilution 1/10 (résine type1).

Les échantillons	pH	Conductivité (µs/cm)	T (°C)	Turbidité (NTU)	R1 (%)	R2 (%)
Débit 5 l/h						
Après 2 min	7,08	903	17,6	1,48	46,38	40,56
Après 20 min	6,87	902	17,9	0,83	69,93	66,67
Débit 10 l/h						
Après 2 min	7,46	884	17,9	0,50	81,88	79,92
Après 20 min	7,49	853	17,9	0,48	82,61	80,72
Débit 20 l/h						
Après 2 min	7,58	837	17,9	0,31	88,77	87,55
Après 20 min	7,74	797	17,9	0,45	83,70	81,93

❖ La résine cationique puis anionique:

Tableau 26: Les résultats des analyses des échantillons traités par les résine cationique puis anionique pour une dilution 1/10 (résine type1).

Les échantillons	pH	Conductivité (µs/cm)	T (°C)	Turbidité (NTU)	R1 (%)	R2 (%)
Débit 5 l/h						
Après 2 min	7,63	818	17,9	0,29	89,49	88,35
Après 20 min	7,96	817	17,9	0,74	73,19	70,28
Débit 10 l/h						
Après 2 min	7,87	807	18	0,43	84,42	82,73
Après 20 min	8,01	793	18	0,96	65,22	61,45
Débit 20 l/h						
Après 2 min	8,06	773	18	0,81	70,65	67,47
Après 20 min	8,08	762	18	0,51	81,52	79,52

Comme nous montre le tableau 46, la conductivité de l'eau diluée est faible par rapport à l'eau épurée et c'est une chose évidente.

La température et le pH n'ont pas changé, et Cela inclut tous les échantillons suivants.

Après le passage de l'eau épurée diluée au 1/10 à travers la résine cationique, anionique, cationique et anionique pour les trois débits, il s'avère que la turbidité a légèrement disparu, ce qui montre que les résines ont éliminé quelques MES présent dans l'eau.

En ce qui concerne la conductivité, elle a diminué au début et la fin des manipes.

III.1.2. Dilution de l'eau épurée au 1/5 :

La dilution de l'eau épurée au 1/5 se fait par le remplissage dans la cuve d'alimentation (au niveau de pilote) de 64 l d'eau de robinet et 16 l d'eau épurée.

Les conductivités sont indiquées ci-après :

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Conductivité eau de robinet : 846 μs .

Conductivité d'eau épurée diluée pour 1/5: 1012 μs .

❖ La résine cationique :

Tableau 27: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine cationique pour une dilution 1/5 (type 1).

Temps (min)	Le débit (l/h)		
	5 l/h	10 l/h	20 l/h
	La conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)		
0	852	877	880
2	854	869	875
4	858	877	876
6	869	885	876
8	881	889	876
10	887	889	876
12	890	889	876
14	894	890	876
16	897	889	877
18	899	890	877
20	901	890	877

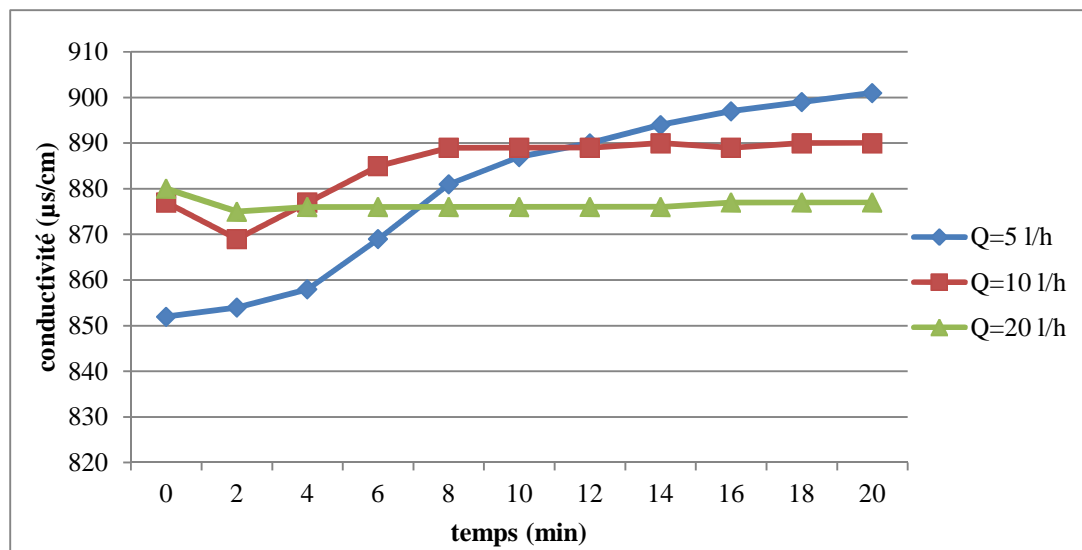


Figure 34: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine cationique pour une dilution 1/5 (résine type 1).

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

❖ La résine anionique:

Tableau 28: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine anionique pour une dilution 1/5 (type 1).

Temps (min)	Le débit (l/h)		
	5 l/h	10 l/h	20 l/h
	La conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)		
0	824	861	857
2	835	846	845
4	834	850	850
6	835	858	851
8	843	860	852
10	854	861	852
12	864	862	852
14	870	862	853
16	873	862	853
18	876	856	853
20	878	854	854

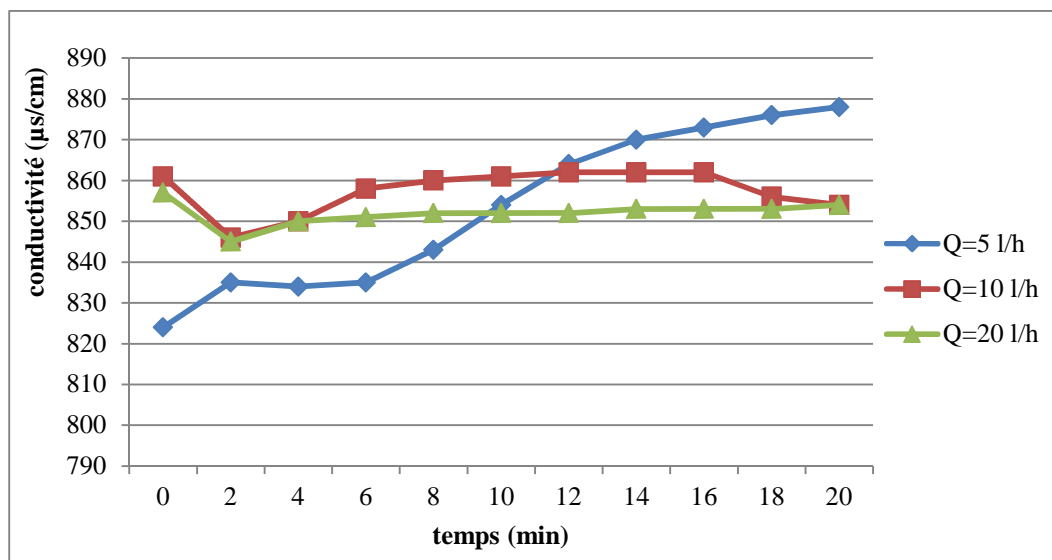


Figure 35: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine anionique pour une dilution 1/5 (résine type 1).

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

❖ La résine cationique puis anionique :

Tableau 29: Variation de la conductivité en fonction du temps par les résines cationique puis anionique pour une dilution 1/5 (type 1).

Temps (min)	Le débit (l/h)					
	5 l/h		10 l/h		20 l/h	
	La conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)					
	cationique	anionique	Cationique	anionique	cationique	anionique
0	863	844	849	846	851	828
2	861	839	847	821	860	830
4	864	837	861	823	864	840
6	878	836	867	833	865	842
8	889	839	871	840	865	843
10	897	847	874	846	865	843
12	902	855	874	848	866	843
14	905	861	875	849	866	844
16	907	865	876	850	866	844
18	909	869	877	851	866	844
20	912	972	878	853	866	844

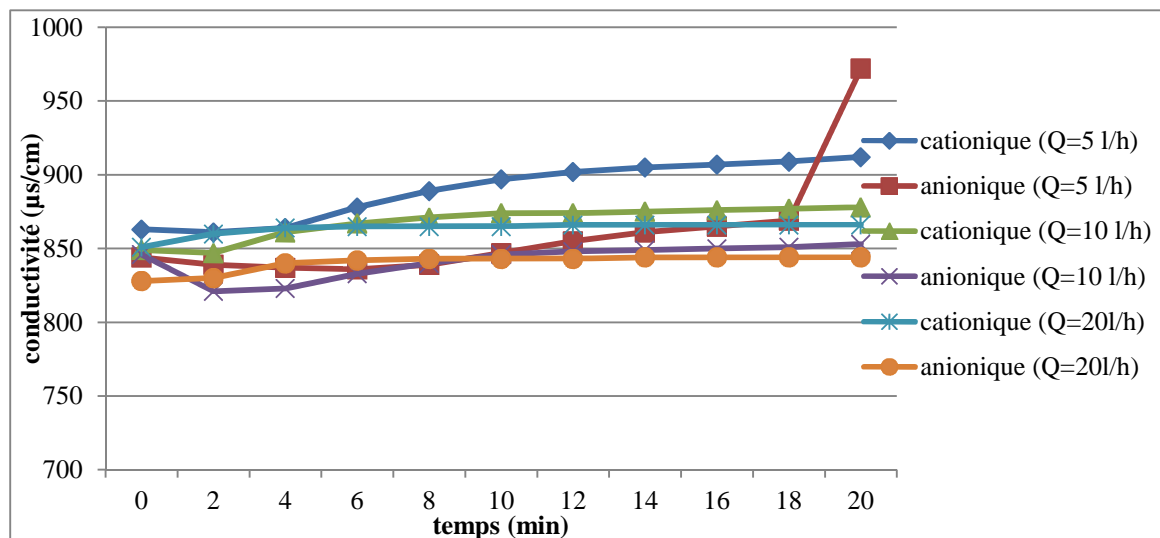


Figure 36: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine cationique puis anionique pour une dilution 1/5 (résine type 1).

Les tableaux et les figures précédents montrent bien que le débit 20 l/h donne un meilleur résultat de conductivité. Cette dernière est restée stable généralement à partir de la 2^{ème} minute jusqu'à la fin de la manipe pour la résine cationique, anionique, cationique et anionique.

Pour les autres débits, les conductivités ont subi une augmentation pour les deux résines à partir de la deuxième minute pour le débit 5 l/h, et à la troisième minute pour le débit 10 l/h.

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Les résultats des analyses (SEKKak):

Tableau 30: Les résultats des analyses des échantillons pour une dilution 1/5 (résine type 1).

Les échantillons	pH	Conductivité (µs/cm)	T (°C)	Turbidité (NTU)
Eau diluée 1/5 (en bas)	7,62	1052	18	0,43
Eau diluée 1/5 (en haut)	7,74	1050	18	0,68

❖ La résine cationique :

Tableau 31: Les résultats des analyses des échantillons traités par la résine cationique pour une dilution 1/5 (résine type1).

Les échantillons	pH	Conductivité (µs/cm)	T (°C)	Turbidité (NTU)	R1 (%)	R2 (%)
Après 2 min	8,24	857	18	0,55	80,21	19,11
Après 20 min	7,86	900	18	0,40	85,51	41,18
	Débit 10 l/h					
Après 2 min	7,84	903	18	0,46	83,33	32,35
Après 20 min	8,08	857	18	2,24	18,84	
	Débit 20 l/h					
Après 2 min	7,90	724	18	0,46	83,33	32,35
Après 20 min	7,63	887	18	0,36	86,96	47,06

❖ La résine anionique :

Tableau 32: Les résultats des analyses des échantillons traités par la résine anionique pour une dilution 1/5 (résine type1).

Les échantillons	pH	Conductivité (µs/cm)	T (°C)	Turbidité (NTU)	R1 (%)	R2 (%)
Après 2 min	7,79	890	18	0,61	77,90	10,29
Après 20 min	7,99	861	18	0,31	88,77	54,41
	Débit 10 l/h					
Après 2 min	7,90	902	18	0,99	64,13	-45,59
Après 20 min	7,95	898	18	0,37	86,59	45,59
	Débit 20 l/h					
Après 2 min	7,92	900	18	0,47	82,97	30,88
Après 20 min	7,95	879	18	0,29	89,49	57,35

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

❖ La résine cationique puis anionique:

Tableau 33: Les résultats des analyses des échantillons traités par les résines cationique puis anionique pour une dilution 1/5 (résine type1).

Les échantillons	pH	Conductivité (µs/cm)	T (°C)	Turbidité (NTU)	R1 (%)	R2 (%)
Après 2 min	8,00	875	18	0,63	77,17	7,35
Après 20 min	8,01	869	18	0,36	86,96	47,06
Débit 10 l/h						
Après 2 min	7,97	878	18	0,56	-19,29	17,65
Après 20 min	8,09	872	18	0,81	-28,35	-19,12
Débit 20 l/h						
Après 2 min	8,10	887	18	0,59	78,62	11,23
Après 20 min	8,17	876	18	0,32	88,41	52,94

Pour les trois débits, la turbidité de l'eau épurée diluée sortie de la résine cationique et anionique a commencé à diminuer à partir de la 2^{ème} minute.

Le même phénomène reste pour la résine cationique puis anionique par contre pour le débit 10 l/h la turbidité a augmenté. Cette augmentation peut être obtenue à la présence des impuretés.

Le rendement R2 est négatif et c'est tout à fait normal car la turbidité d'eau traitée est supérieure à celle de l'eau épurée diluée.

III.1.3. Dilution de l'eau épurée au 1/3 :

Dans la cuve d'alimentation nous avons rempli 20 l d'eau de robinet puis ajouté 10 l d'eau épurée, alors nous avons obtenu les conductivités suivantes :

Conductivité eau de robinet : 879 µs/cm.

Conductivité d'eau épurée diluée pour 1/3 : 1069 µs/cm.

❖ La résine cationique :

Tableau 34: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine cationique pour une dilution 1/3 (type 1).

Temps (s)	Le débit (l/h)		
	5 l/h	10 l/h	20 l/h
	La conductivité (µs/cm)		
0	866	888	888
30	865	886	884
60	865	885	880
90	865	882	879
120	865	881	881
150	864	880	882
180	864	879	883

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

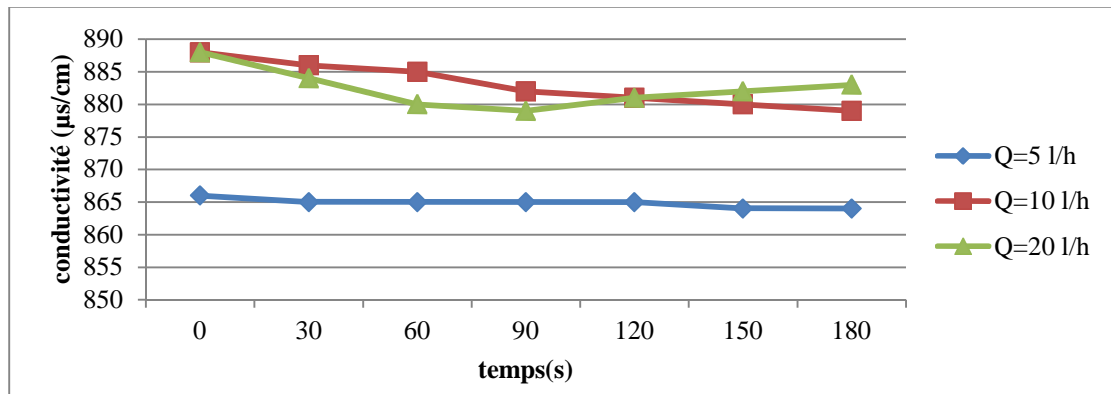


Figure 37: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine cationique pour une dilution 1/3 (résine type 1).

❖ La résine anionique :

Tableau 35: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine anionique pour une dilution 1/3 (type 1).

Temps (s)	Le débit (l/h)		
	5 l/h	10 l/h	20 l/h
	La conductivité ($\mu\text{s/cm}$)		
0	838	838	839
30	836	838	839
60	837	837	839
90	838	837	840
120	839	837	842
150	838	836	846
180	838	836	849

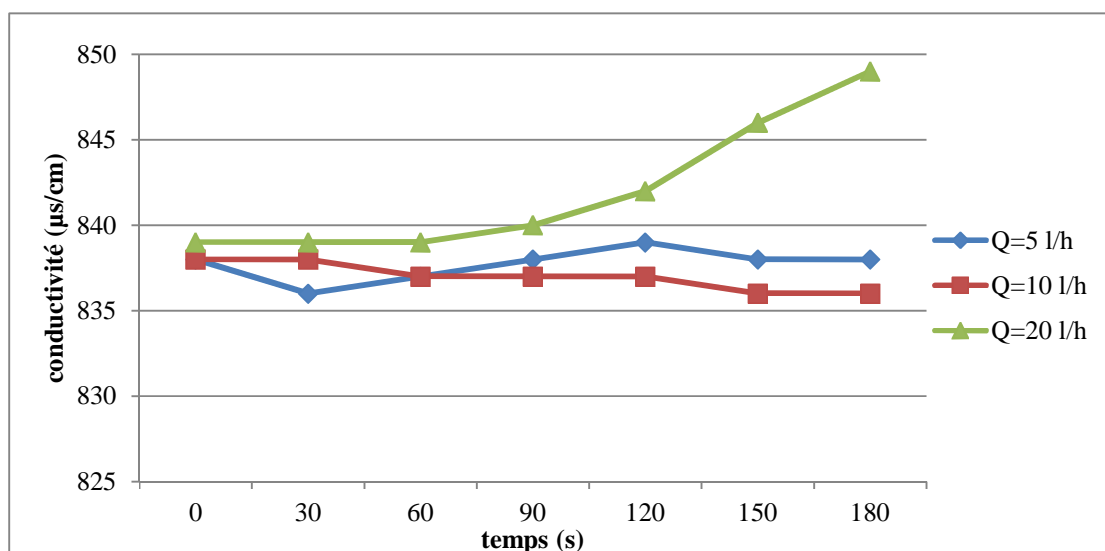


Figure 38: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine anionique pour une dilution 1/3 (résine type 1).

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

❖ La résine cationique puis anionique :

Tableau 36: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine cationique puis anionique pour une dilution 1/3 (type 1).

Temps (s)	Le débit (l/h)					
	5 l/h		10 l/h		20 l/h	
	La conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)					
	cationique	anionique	cationique	anionique	cationique	anionique
0	871	845	879	854	870	842
30	871	844	877	854	870	841
60	871	844	876	853	872	841
90	871	843	875	850	875	840
120	870	843	876	848	877	842
150	870	842	878	847	881	844
180	870	842	881	845	882	846

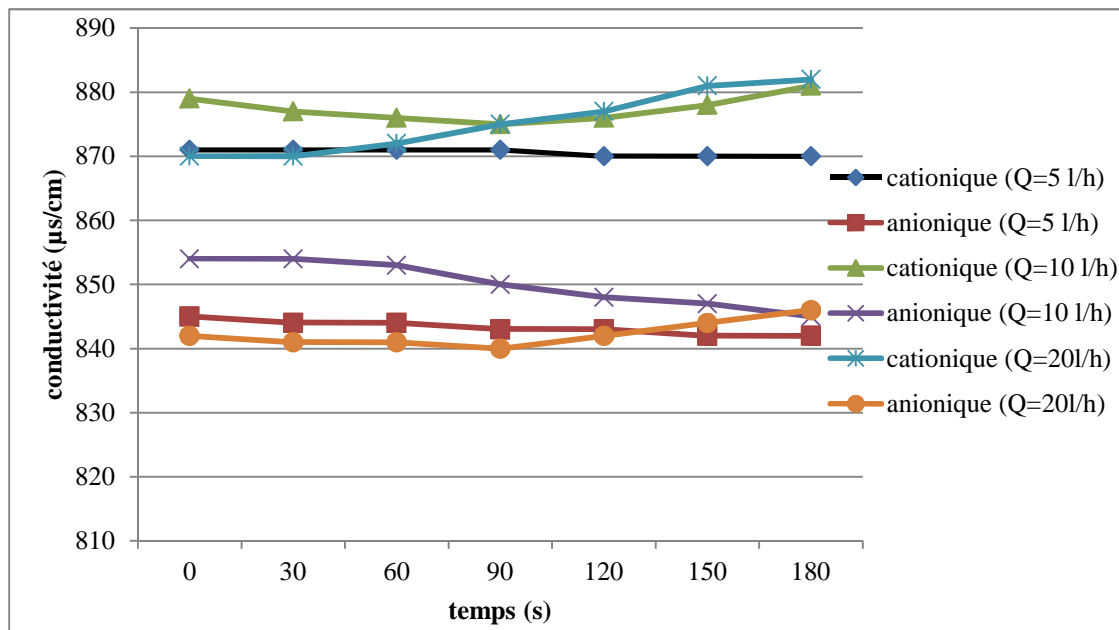


Figure 39: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine cationique puis anionique pour une dilution 1/3 (résine type 1).

Dans ce cas là, les figures montrent clairement que les meilleurs débits sont de 5 l/h et de 10 l/h pour la résine cationique car la conductivité est diminuée à partir de la 30^{ème} seconde puis elle reste stable.

La conductivité de la résine anionique a diminué de 838 $\mu\text{s}/\text{cm}$ à 836 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (soit 2 $\mu\text{s}/\text{cm}$) pour un débit de 10 l/h. le même phénomène est constaté pour la résine cationique puis anionique où la conductivité diminue de 871 à 842 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Les résultats des analyses (SEKKak):

Tableau 37: Les résultats des analyses des échantillons pour une dilution 1/3 (résine type1).

Les échantillons	pH	Conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	Turbidité (NTU)
Eau diluée 1/2 (bas)	7,33	1010	18,1	0,98
Eau diluée 1/2 (haut)	7,49	1080	18,3	1,23

❖ La résine cationique :

Tableau 38: Les résultats des analyses des échantillons traités par la résine cationique pour une dilution 1/3 (résine type1).

Les échantillons	pH	Conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	Turbidité (NTU)	R1 (%)	R2 (%)
	Débit 5 l/h					
Après 30 s	7,59	869	18,2	0,51	81,52	58,51
Après 180 s	7,38	889	18,2	0,38	86,23	69,10
Débit 10 l/h						
Après 30 s	7,52	893	18,2	2,28	17,39	-85,16
Après 180 s	7,59	882	18,2	0,78	71,74	36,58
Débit 20 l/h						
Après 30 s	7,57	927	18,2	0,64	76,51	47,96
Après 180 s	7,58	922	18,2	0,34	87,54	72,35

❖ La résine anionique :

Tableau 39: Les résultats des analyses des échantillons traités par la résine anionique pour une dilution 1/3 (résine type1).

Les échantillons	pH	Conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	Turbidité (NTU)	R1 (%)	R2 (%)
	Débit 5 l/h					
Après 30 s	7,60	904	17,9	0,95	65,54	22,75
Après 180 s	7,50	908	18	0,54	80,43	56,09
Débit 10 l/h						
Après 30 s	7,61	912	18	0,34	87,64	72,35
Après 180 s	7,49	914	18,1	0,25	50,54	79,67
Débit 20 l/h						
Après 30 s	7,59	915	18,1	0,49	82,25	60,16
Après 180 s	7,57	914	18,2	0,38	86,23	69,10

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

❖ La résine cationique puis anionique:

Tableau 40: Les résultats des analyses des échantillons traités par les résines cationique puis anionique pour une dilution 1/3 (résine type1).

Les échantillons	pH	Conductivité (µs/cm)	T (°C)	Turbidité (NTU)	R1 (%)	R2 (%)
Débit 5 l/h						
Après 30 s	7,55	916	17,8	0,49	82,25	60,16
Après 180 s	7,60	916	17,9	0,41	85,14	66,67
Débit 10 l/h						
Après 30 s	7,63	918	17,9	0,41	85,14	66,67
Après 180 s	7,63	914	17,9	0,20	92,75	83,74
Débit 20 l/h						
Après 30 s	7,06	929	18,1	0,75	72,83	39,02
Après 180 s	7,58	928	18,2	0,33	88,04	73,17

Comme nous le montrent les tableaux, les turbidités de l'eau traitée sont faibles par rapport à l'eau épurée diluée et ce parallèlement au rendement. La conductivité s'est donc améliorée.

III.1.4. Dilution de l'eau épurée au 1/2 :

Dans la cuve d'alimentation nous avons rempli 10 l d'eau de robinet et ajouté 10 litres d'eau épurée et on obtient les conductivités suivantes :

Conductivité eau de robinet : 920 µs.

Conductivité d'eau épurée diluée pour 1/2 : 1120 µs.

❖ La résine cationique :

Tableau 41: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine cationique pour une dilution 1/2 (type 1).

Temps (s)	Le débit (l/h)		
	5 l/h	10 l/h	20 l/h
La conductivité (µs/cm)			
0	972	1054	1004
30	975	1050	1007
60	974	1043	1008
90	978	1034	1009
120	980	1030	1011
150	896	1029	1015
180	990	1029	1016

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

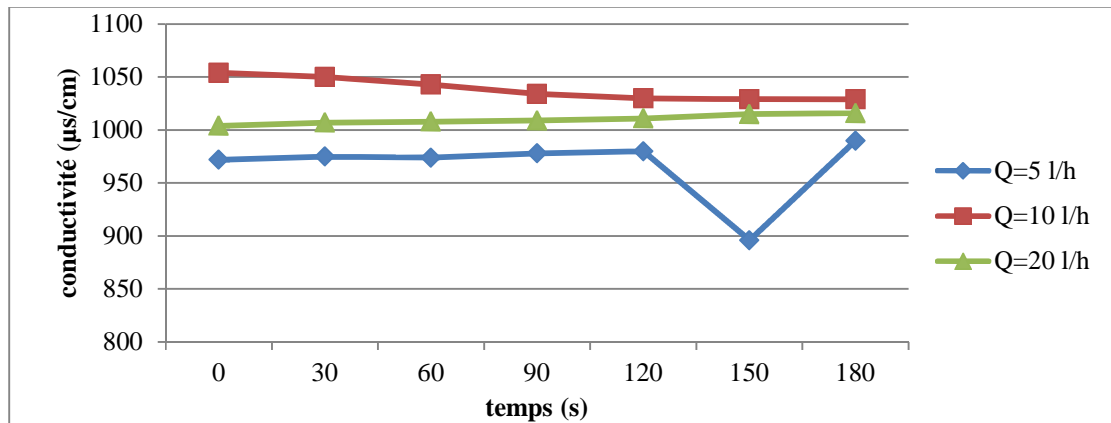


Figure 40: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine cationique pour une dilution 1/2 (résine type 1).

❖ La résine anionique :

Tableau 42: Variation de la conductivité en fonction du temps par résine anionique pour une dilution 1/2 (type 1).

Temps (s)	Le débit (l/h)		
	5 l/h	10 l/h	20 l/h
	La conductivité ($\mu\text{s/cm}$)		
0	931	1012	1003
30	943	1011	1000
60	949	1008	994
90	952	1003	991
120	955	1000	990
150	960	995	992
180	967	994	994

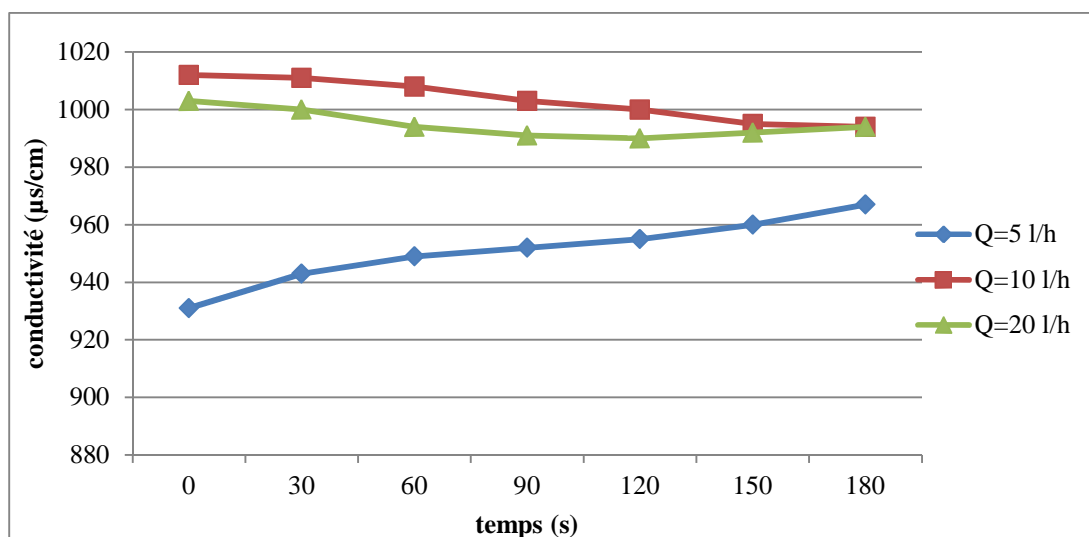


Figure 41: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine anionique pour une dilution 1/2 (résine type 1).

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

❖ La résine cationique puis anionique :

Tableau 43: Variation de la conductivité en fonction du temps par les résines cationique puis anionique pour une dilution 1/2 (résine type 1).

Temps (s)	Le débit (l/h)					
	5 l/h		10 l/h		20 l/h	
	La conductivité (µs/cm)					
	cationique	anionique	cationique	anionique	cationique	anionique
0	1041	1010	1026	1002	1018	1008
30	1038	1011	1024	1003	1015	1005
60	1034	1012	1022	1003	1012	1001
90	1031	1012	1020	1003	1014	995
120	1028	1009	1018	1002	1016	993
150	1028	1008	1018	1001	1019	993
180	1029	1006	1018	1000	1021	996

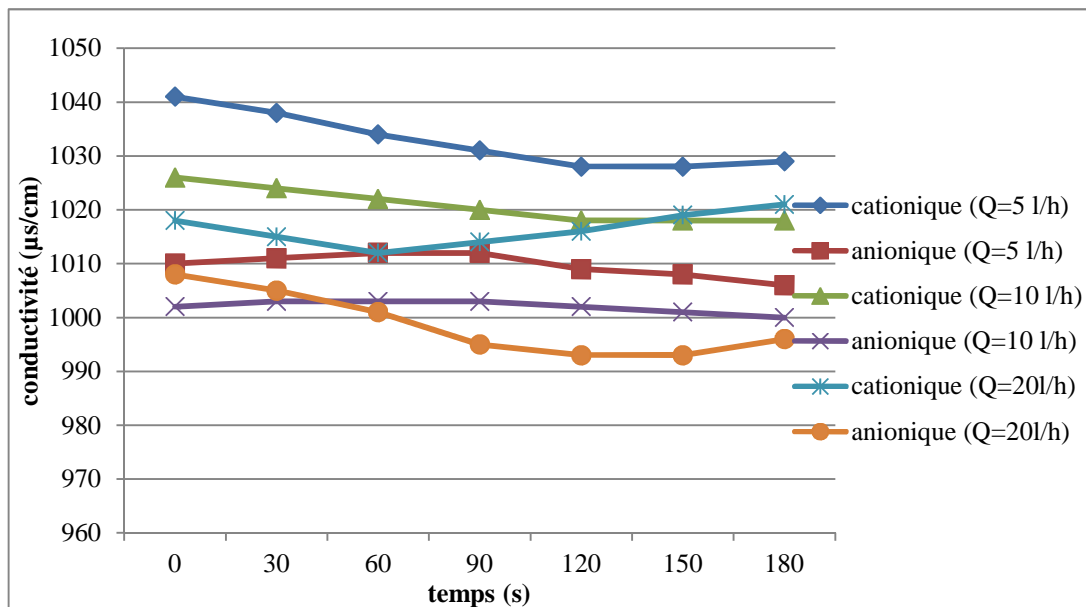


Figure 42: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine cationique puis anionique pour une dilution 1/2 (résine type 1).

Les tableaux 42, 43, 44, et les figures 40, 41, 42 nous montrent que la conductivité a diminué pour le débit 10 l/h, mais elle reste élevée en raison de la présence des charges ionique dans l'eau.

Pour la résine anionique, la conductivité a diminué de 1012 à 994 pour 10 l/h.

Pour la résine cationique puis anionique la conductivité a diminué de 1026 à 1000 µs/cm et pour 10 l/h, et de 1041 à 1006 µs/cm pour 5 l/h.

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Les résultats des analyses (SEKKak):

Tableau 44: Les résultats des analyses des échantillons pour une dilution 1/2 (résine type 1).

Les échantillons	pH	Conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	Turbidité (NTU)
Eau diluée 1/2 (bas)	7,55	1214	25,3	1,01
Eau diluée 1/2 (haut)	7,63	1191	25,3	1,19

❖ La résine cationique :

Tableau 45: Les résultats des analyses des échantillons traités par la résine cationique pour une dilution 1/2 (résine type 1).

Les échantillons	pH	Conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	Turbidité (NTU)	R1 (%)	R2 (%)
Débit 5 l/h						
Après 30 s	8,27	955	25,3	1,66	39,86	-39,50
Après 180 s	8,31	946	25,3	1,23	55,43	-3,36
Débit 10 l/h						
Après 30 s	8,28	945	25,4	2,75	0,36	-231,07
Après 180 s	8,29	954	25,4	1,74	36,96	-46,22
Débit 20 l/h						
Après 30 s	8,30	942	25,4	1,76	36,23	-47,90
Après 180 s	8,30	958	25,4	1,33	51,61	-11,76

❖ La résine anionique :

Tableau 46: Les résultats des analyses des échantillons traités par la résine anionique pour une dilution 1/2 (résine type 1).

Les échantillons	pH	Conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	Turbidité (NTU)	R1 (%)	R2 (%)
Débit 5 l/h						
Après 30 s	8,27	962	25,2	1,33	51,41	-11,76
Après 180 s	8,23	954	25,2	1,17	57,61	1,68
Débit 10 l/h						
Après 30 s	8,24	958	25,3	0,78	71,74	34,45
Après 180 s	8,26	944	25,5	1,48	46,38	-24,27
Débit 20 l/h						
Après 30 s	8,20	966	25,4	1,20	56,52	-0,64
Après 180 s	8,27	971	25,3	0,94	65,94	21,01

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

❖ La résine cationique puis anioniques:

Tableau 47: Les résultats des analyses des échantillons traités par les résines cationique puis anionique pour une dilution 1/2 (résine type 1).

Les échantillons	pH	Conductivité (µs/cm)	T (°C)	Turbidité (NTU)	R1 (%)	R2 (%)
Après 30 s	8,25	994	25,2	3,71	26,25	-72,26
Après 180 s	8,27	981	25,3	1,16	37,97	2,52
Débit 10 l/h						
Après 30 s	8,30	967	25,3	0,85	69,20	28,57
Après 180 s	8,29	957	25,3	0,64	76,81	46,22
Débit 20 l/h						
Après 30 s	8,25	959	25,4	1,63	40,94	-36,97
Après 180 s	8,22	988	25,3	0,84	69,57	29,41

Comme les autres dilutions et comme nous avons dit précédemment, les turbidités de l'eau traitée sont de meilleure qualité que les turbidités de l'eau épurée diluée.

III.2.Type 2 de résine :

Les résines employées sont d'anciennes résines non utilisées dans le labo de traitement et épuration des eaux. Après les manipes nous avons constaté la différence entre les différents types.

III.2.1. Dilution de l'eau épurée au 1/10 :

Conductivité eau de robinet : 915 µs.

Conductivité d'eau épurée diluée pour 1/10 : 1023 µs.

❖ La résine cationique :

Tableau 48: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine cationique pour une dilution 1/10 (type 2).

Temps (min)	Le débit (l/h)		
	5 l/h	10 l/h	20 l/h
	La conductivité (µs/cm)		
0	965	957	945
2	958	948	937
4	953	941	931
6	947	934	926
8	942	928	922
10	938	924	917
12	934	921	914
14	931	919	911
16	928	917	909
18	926	916	909
20	926	916	908

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

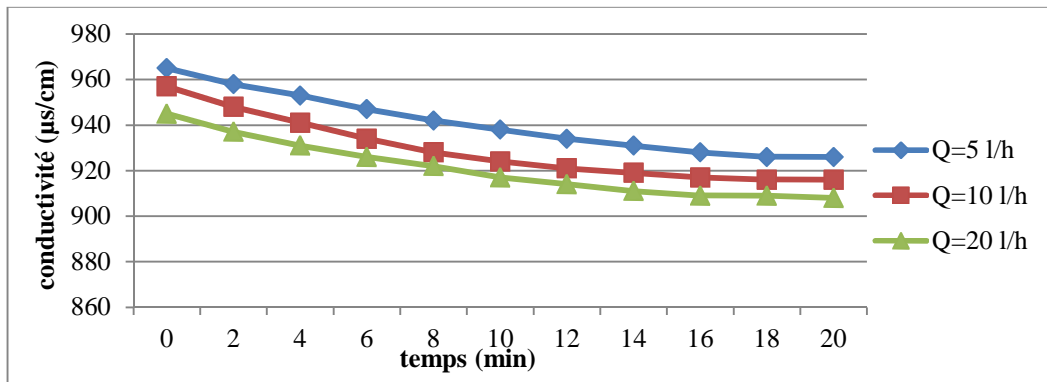


Figure 43: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine cationique pour une dilution 1/10 (résine type 2).

❖ La résine anionique :

Tableau 49: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine anionique pour une dilution 1/10 (type 2).

Temps (min)	Le débit (l/h)		
	5 l/h	10 l/h	20 l/h
	La conductivité (µs/cm)		
0	931	924	910
2	923	919	903
4	918	914	895
6	913	910	890
8	911	906	886
10	909	902	883
12	907	898	880
14	905	896	878
16	904	895	877
18	903	895	877
20	903	894	876

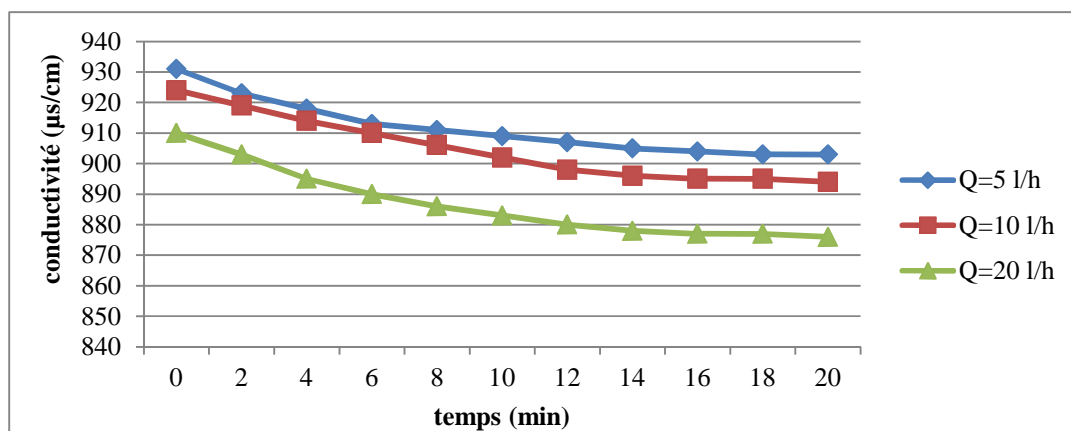


Figure 44: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine anionique pour une dilution 1/10 (résine type 2).

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

❖ La résine cationique puis anionique :

Tableau 50: Variation de la conductivité en fonction du temps par les résines cationique puis anionique pour dilution 1/10 (résine type 2).

Temps (min)	Le débit (l/h)					
	5 l/h		10 l/h		20 l/h	
	La conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)					
	cationique	anionique	cationique	anionique	cationique	Anionique
0	970	917	963	914	951	894
2	961	912	951	905	938	887
4	954	908	942	898	929	882
6	948	904	936	893	923	877
8	943	901	931	889	919	872
10	938	898	927	885	916	868
12	934	895	924	883	913	864
14	931	893	922	881	912	861
16	929	891	921	881	912	860
18	928	891	920	880	911	859
20	928	890	920	880	912	859

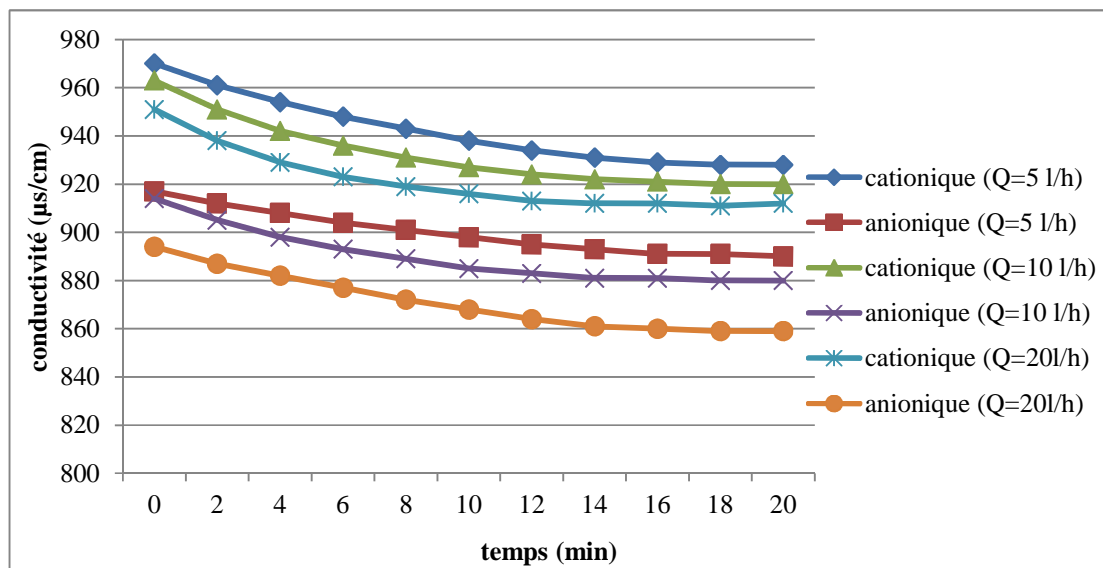


Figure 45: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine cationique puis anionique pour une dilution 1/10 (résine type 2).

A partir des tableaux 49, 50 et les figures 43, 44, nous avons trouvés de bons résultats avec un débit de 20 l/h, où la conductivité a diminué de 945 à 908 $\mu\text{s}/\text{cm}$ pour la résine cationique, et de 910 jusqu'à 876 $\mu\text{s}/\text{cm}$ pour la résine anionique.

Si nous coulons l'eau à travers la résine cationique puis anionique, nous améliorerons encore plus la qualité de l'eau, la conductivité diminue de 951 à 859 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Les résultats des analyses (SEKKAK):

Tableau 51: les résultats des analyses des échantillons pour une dilution 1/10 au niveau de labo de Sekkak (résine type 2).

Les échantillons	pH	Conductivité (µs/cm)	T (°C)	Turbidité (NTU)
Eau épurée	8,07	1067	20	3,38
Eau diluée 1/10 (en bas)	7,71	1024	19,9	1,47
Eau diluée 1/10 (en haut)	8,02	991	19,9	1,21

III.2.2. Dilution de l'eau épurée au 1/5 :

Les conductivités sont indiquées ci-après :

Conductivité eau de robinet : 901 µs.

Conductivité d'eau épurée diluée pour 1/5 : 1069 µs.

❖ La résine cationique :

Tableau 52: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine cationique pour une dilution 1/5 (type 2).

Temps (min)	Le débit (l/h)		
	5 l/h	10 l/h	20 l/h
	La conductivité (µs/cm)		
0	992	981	968
2	976	965	949
4	965	951	937
6	956	945	931
8	950	941	929
10	946	938	928
12	944	936	927
14	943	935	927
16	942	934	926
18	941	934	926
20	941	934	926

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

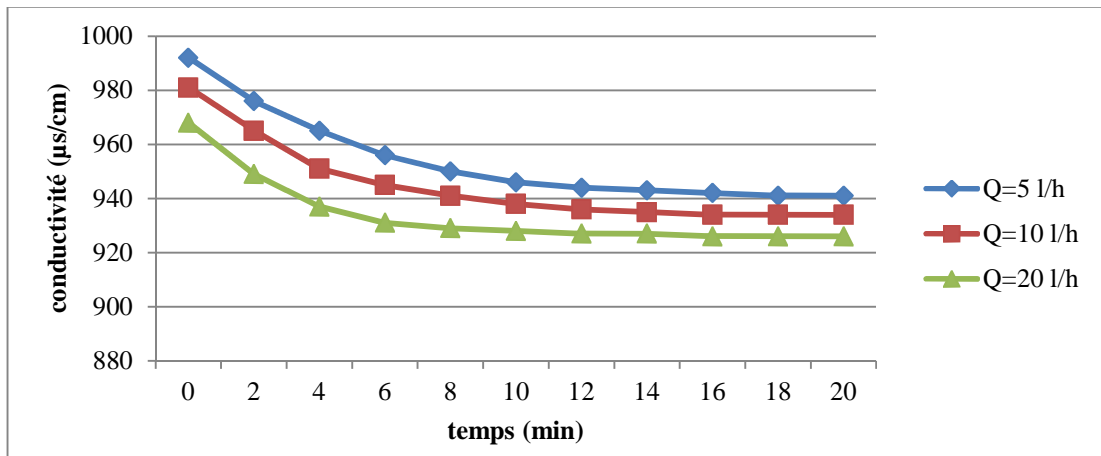


Figure 46: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine cationique pour une dilution 1/5 (résine type 2).

❖ La résine anionique :

Tableau 53: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine anionique pour une dilution 1/5 (type 2).

Temps (min)	Le débit (l/h)		
	5 l/h	10 l/h	20 l/h
	La conductivité ($\mu\text{s/cm}$)		
0	945	927	928
2	931	915	919
4	922	908	914
6	915	902	910
8	909	897	907
10	906	894	905
12	904	892	904
14	904	891	903
16	903	891	902
18	902	890	902
20	902	890	902

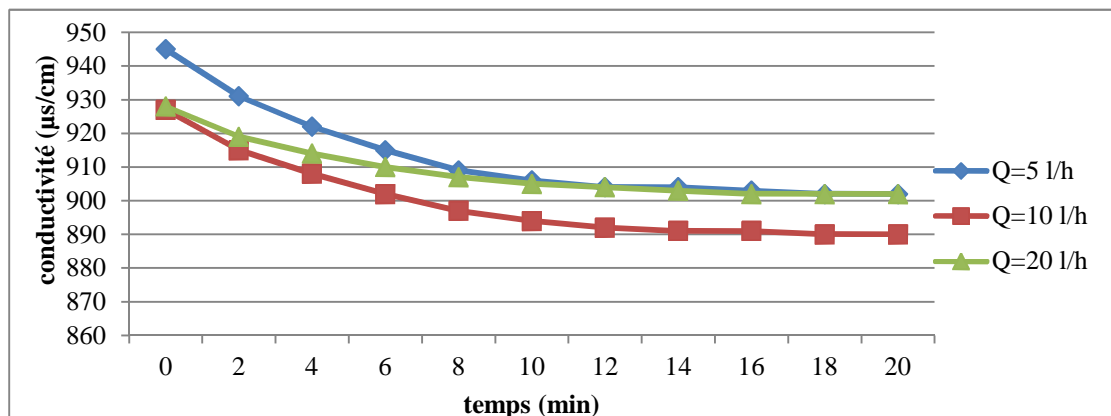


Figure 47: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine anionique pour une dilution 1/5 (résine type 2).

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

❖ La résine cationique puis anionique :

Tableau 54: Variation de la conductivité en fonction du temps pour les résines cationique puis anionique pour une dilution 1/5 (type 2).

Temps (min)	Le débit (l/h)					
	5 l/h		10 l/h		20 l/h	
	La conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)					
	cationique	anionique	cationique	anionique	cationique	Anionique
0	994	935	985	918	970	921
2	975	923	969	906	959	910
4	963	914	955	895	951	903
6	957	908	946	888	944	898
8	953	905	942	882	939	894
10	950	902	939	878	935	891
12	949	900	938	876	932	889
14	948	899	937	875	930	888
16	948	898	937	875	929	888
18	947	898	937	874	929	887
20	947	898	936	874	929	887

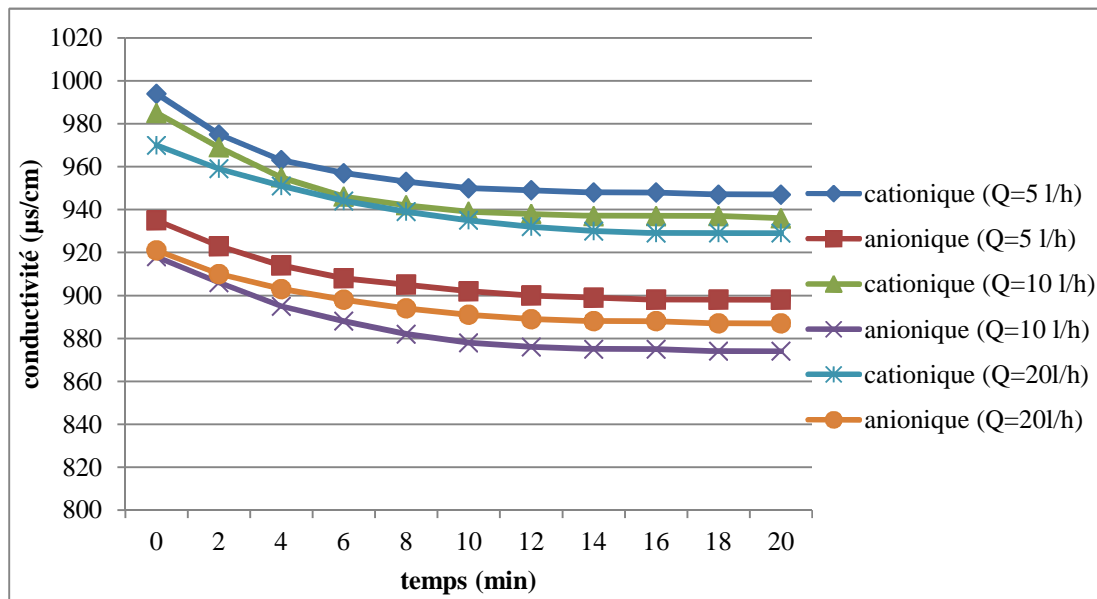


Figure 48: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine cationique puis anionique pour une dilution 1/5 (résine type 2).

Pour la résine cationique nous avons constaté que le meilleur débit est de 20 l/h, alors que pour la résine anionique le meilleur débit est de 10 l/h.

On rappelle que le résultat de résine cationique puis anionique est encore meilleur avec le débit 20 l/h où il atteint une valeur de 887 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Les résultats des analyses (SEKKAK) :

Tableau 55: les résultats des analyses des échantillons pour une dilution 1/5 (résine type 2).

Les échantillons	pH	Conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	Turbidité (NTU)
Eau épurée	8,07	1267	20	3,38
Eau diluée 1/5 (en bas)	7,94	1085	19,9	1,50
Eau diluée 1/5 (en haut)	8,00	1042	19,6	1,26

III.2.3. Dilution de l'eau épurée au 1/3 :

Nous avons obtenu les conductivités suivantes :

Conductivité eau de robinet : 900 μs .

Conductivité d'eau épurée diluée pour 1/3 : 1118 μs .

❖ La résine cationique :

Tableau 56: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine cationique pour une dilution 1/3 (type 2).

Temps (s)	Le débit (l/h)		
	5 l/h	10 l/h	20 l/h
	La conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)		
0	1042	1053	1055
30	1011	1026	1034
60	994	1011	1025
90	989	1003	1019
120	986	999	1016
150	984	997	1015
180	984	996	1016

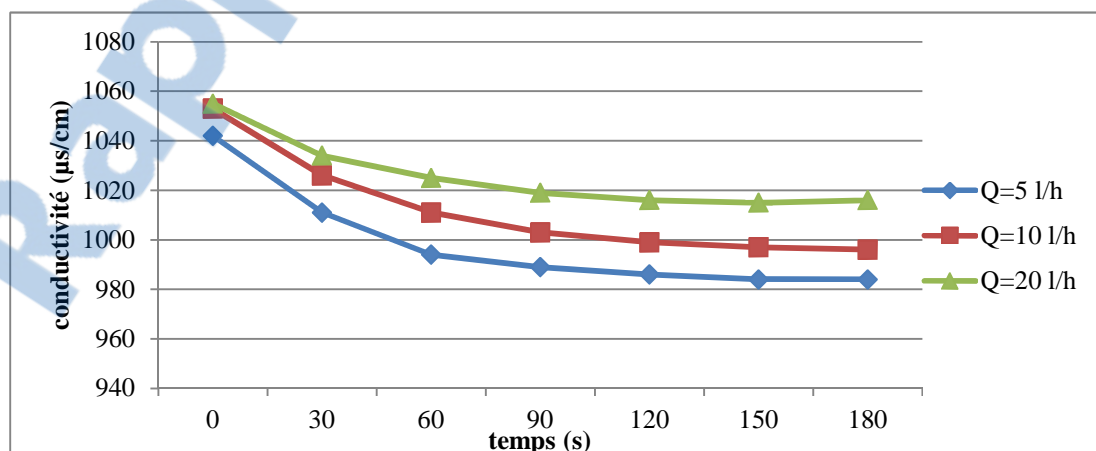


Figure 49: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine cationique pour une dilution 1/3 (résine type 2).

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

❖ La résine anionique :

Tableau 57: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine anionique pour une dilution 1/3 (type 2).

Temps (s)	Le débit (l/h)		
	5 l/h	10 l/h	20 l/h
	La conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)		
0	998	1011	1018
30	981	996	1004
60	972	988	998
90	966	984	995
120	963	981	994
150	961	980	994
180	961	979	995

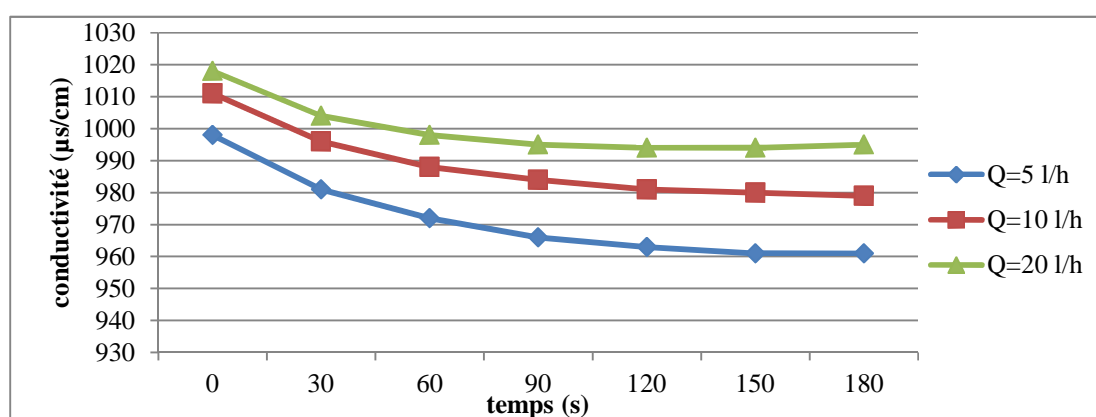


Figure 50: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine anionique pour une dilution 1/3 (résine type 2).

❖ La résine cationique puis anionique :

Tableau 58: Variation de la conductivité en fonction du temps par les résines cationique puis anionique pour une dilution 1/3 (type 2).

Temps (s)	Le débit (l/h)					
	5 l/h		10 l/h		20 l/h	
	La conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)					
	cationique	anionique	cationique	anionique	cationique	Anionique
0	1039	963	1055	977	1061	996
30	1010	947	1021	968	1037	987
60	994	939	1006	962	1025	981
90	988	932	1001	957	1021	976
120	985	928	999	953	1018	974
150	984	925	998	952	1018	972
180	983	924	998	951	1019	972

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

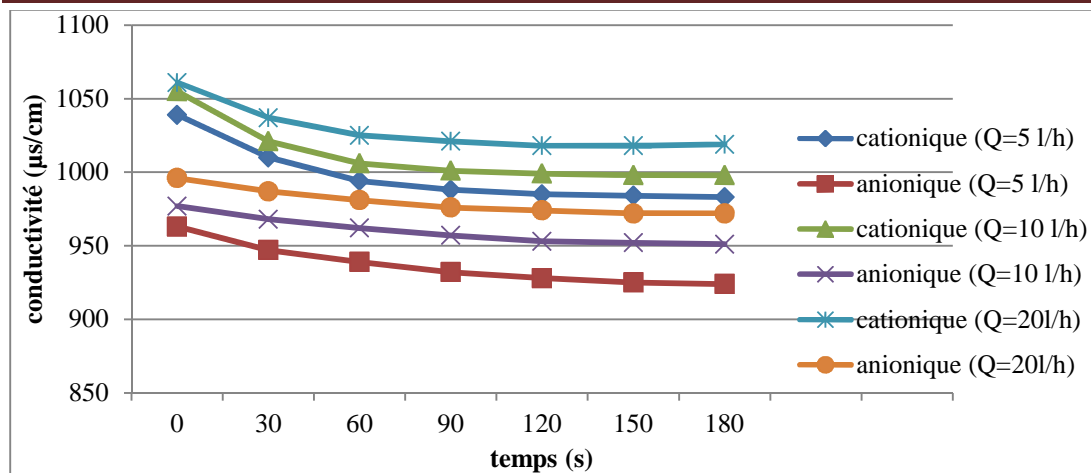


Figure 51: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine cationique puis anionique pour une dilution 1/3 (résine type 2).

Dans ce cas là l'eau est concentrée alors que le débit a diminué. D'après les figures 49, 50, 51, il apparaît que le meilleur débit est de 5 l/h surtout après avoir passé l'eau par la résine cationique puis anionique. La conductivité de départ était 1039 $\mu\text{s/cm}$ et après 180 min elle a atteint 924 $\mu\text{s/cm}$.

Les résultats des analyses (SEKKAk):

Tableau 59: Les résultats des analyses des échantillons pour une dilution 1/3 (résine type 2).

Les échantillons	pH	Conductivité ($\mu\text{s/cm}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	Turbidité (NTU)
Eau diluée décantée 1/3 (bas)	8,24	1088	20,4	2,19
Eau diluée décantée 1/3 (haut)	8,15	1081	20,8	2,09

❖ La résine cationique :

Tableau 60: Les résultats des analyses des échantillons traité par la résine cationique pour une dilution 1/3 (résine type2).

Les échantillons	Ph	Conductivité (μs)	T $^{\circ}$ ($^{\circ}\text{C}$)	Turbidité (NTU)	R1 (%)	R2 (%)
Après 30 s	8,19	1011	19,1	1,03	69,53	50,72
Après 180 s	8,24	984	19,1	0,71	78,99	66,03
Débit 10 l/h						
Après 30 s	8,15	1026	19,2	1,58	53,25	24,40
Après 180 s	7,73	996	19,5	1,16	65,68	44,50
Débit 20 l/h						
Après 30 s	8,11	1034	19,4	1,65	51,18	21,05
Après 180 s	7,75	1016	19,4	1,23	63,61	41,15

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

❖ La résine anionique :

Tableau 61: Les résultats des analyses des échantillons traités par la résine anionique pour une dilution 1/3 (résine type1).

Les échantillons	Ph	Conductivité (µs)	T° (°C)	Turbidité (NTU)	R1 (%)	R2 (%)
Débit 5 l/h						
Après 30 s	7,91	981	19,6	0,74	78,10	64,59
Après 180 s	7,94	961	19,6	0,68	79,88	67,46
Débit 10 l/h						
Après 30 s	7,99	996	19,5	0,82	75,74	60,77
Après 180 s	8,04	979	19,5	0,75	77,81	64,11
Débit 20 l/h						
Après 30 s	8,07	1004	19,5	0,88	73,96	57,89
Après 180 s	8,13	995	19,5	0,79	76,63	62,20

❖ La résine cationique puis anionique:

Tableau 62: Les résultats des analyses des échantillons traités par la résine cationique puis anionique pour une dilution 1/3 (résine type2).

Les échantillons	Ph	conductivité	T°	Turbidité	R1 (%)	R2 (%)
Débit 5 l/h						
Après 30 s	8,12	947	19,6	0,66	80,47	68,42
Après 180 s	8,20	924	19,5	0,59	82,54	71,77
Débit 10 l/h						
Après 30 s	8,03	968	19,6	0,73	78,40	65,07
Après 180 s	8,16	951	19,5	0,67	80,18	67,94
Débit 20 l/h						
Après 30 s	8,14	987	19,5	0,81	76,04	61,24
Après 180 s	8,17	972	19,6	0,72	78,70	65,55

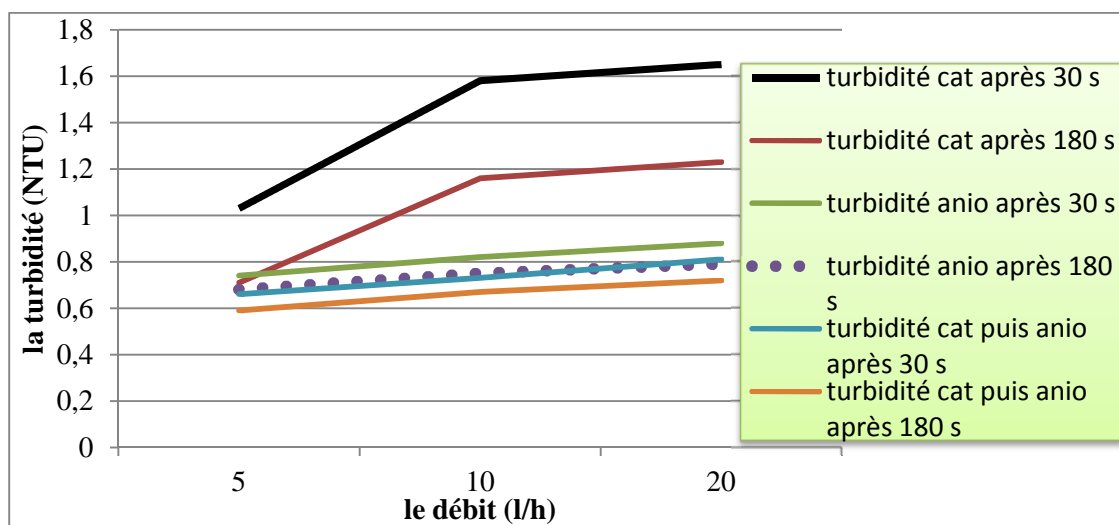


Figure 52 : la variation de la turbidité en fonction du débit.

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Les tableaux 61, 62, 63, illustrent bien que la turbidité de l'eau traitée soit plus faible que la turbidité de l'eau diluée, nous pouvons dire que le rendement R2 soit parfait. La figure 52 confirme bien que le meilleur débit est de 5 l/h.

III.2.4. Dilution de l'eau épurée au 1/2 :

Conductivité eau de robinet : 910 μs .

Conductivité d'eau épurée diluée pour 1/2: 1173 μs .

❖ La résine cationique :

Tableau 63: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine cationique pour une dilution 1/2 (résine type 2).

Temps (s)	Le débit (l/h)		
	5 l/h	10 l/h	20 l/h
	La conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)		
0	1055	1061	1074
30	1038	1042	1053
60	1021	1027	1042
90	1009	1020	1038
120	1005	1018	1039
150	1002	1016	1039
180	1001	1015	1040

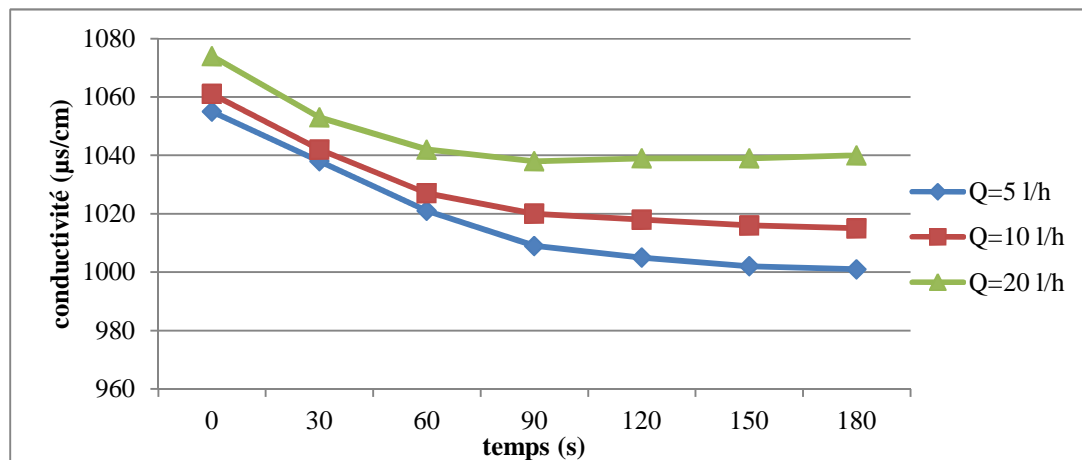


Figure 53: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine cationique pour une dilution 1/2 (résine type 2).

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

❖ La résine anionique :

Tableau 64: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine anionique pour une dilution 1/2 (résine type 2).

Temps (s)	Le débit (l/h)		
	5 l/h	10 l/h	20 l/h
	La conductivité ($\mu\text{s/cm}$)		
0	1010	1035	1051
30	996	1021	1040
60	989	1012	1034
90	985	1007	1033
120	983	1005	1034
150	982	1004	1035
180	982	1004	1036

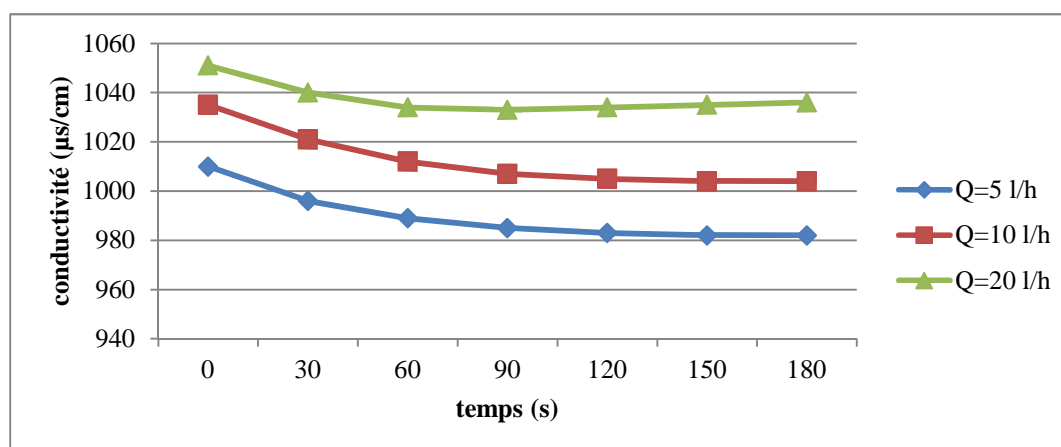


Figure 54: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine anionique pour une dilution 1/2 (résine type 2).

❖ La résine cationique puis anionique :

Tableau 65: Variation de la conductivité en fonction du temps par les résines cationique puis anionique pour une dilution 1/2 (résine type 2).

Temps (s)	Le débit (l/h)					
	5 l/h		10 l/h		20 l/h	
	La conductivité ($\mu\text{s/cm}$)					
	cationique	anionique	cationique	anionique	cationique	Anionique
0	1051	981	1065	1008	1072	1019
30	1029	966	1047	993	1049	1011
60	1017	959	1033	986	1037	1007
90	1009	955	1026	984	1034	1005
120	1002	952	1023	983	1034	1003
150	998	950	1022	982	1036	1002
180	996	949	1022	982	1037	1001

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

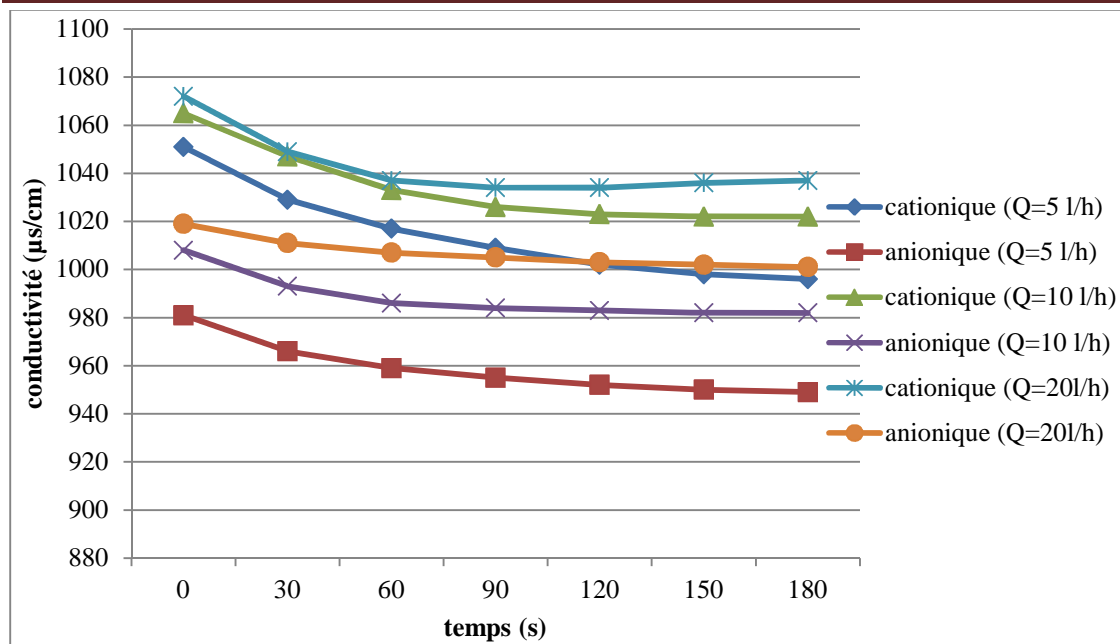


Figure 55: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine cationique puis anionique pour une dilution 1/2 (résine type 2).

Les résultats obtenus par le débit 5 l/h montrent qu'il est le meilleur débit et c'est une chose manifeste par les tableaux et les figures.

La conductivité a diminué de 1055 à 1001 $\mu\text{s/cm}$ pour la résine cationique, et de 1010 à 982 $\mu\text{s/cm}$ pour la résine anionique, alors qu'elle a diminué de 1051 jusqu'à 949 $\mu\text{s/cm}$ après le passage par la résine cationique puis anionique et c'est un résultat extraordinaire.

Malgré que l'eau soit chargée les résines ont bien assumé leur rôle.

Les résultats des analyses (SEKKAk):

Tableau 66: les résultats des analyses des échantillons pour une dilution 1/2 (type 2).

Les échantillons	pH	Conductivité ($\mu\text{s/cm}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	Turbidité (NTU)
Eau épurée (bas)	8,45	1344	19,8	12,1
Eau épurée (15 cm)	7,53	1242	19,6	4,42
Eau épurée (3 cm)	7,63	1236	19,6	3,76
Eau épurée (haut)	7,55	1228	19,6	3,31
Eau diluée 1/2 (bas)	8,01	1149	19,7	2,43
Eau diluée 1/2 (haut)	8,03	1152	19,7	2,14

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

❖ La résine cationique :

Tableau 67: Les résultats des analyses des échantillons traités par la résine cationique pour une dilution 1/2 (résine type 2).

Les échantillons	Ph	Conductivité (µs)	T° (°C)	Turbidité (NTU)	R1 (%)	R2 (%)
Après 30 s	8,1	1038	19,7	1.57	52,56	26,64
Après 120 s	8,07	1005	19,7	1.12	66,16	47,66
Débit 10 l/h						
Après 30 s	8,00	1042	19,7	1.59	51,96	25,70
Après 120 s	8,08	1018	19,7	1.22	63,14	42,99
Débit 20 l/h						
Après 30 s	7,89	1053	19,7	1.72	48,04	19,63
Après 120 s	7,95	1039	19,7	1.59	51,96	25,70

❖ La résine anionique :

Tableau 68: Les résultats des analyses des échantillons traités par la résine anionique pour une dilution 1/2 (résine type 2).

Les échantillons	Ph	Conductivité (µs)	T° (°C)	Turbidité (NTU)	R1 (%)	R2 (%)
Après 30 s	8,22	996	20	1,07	67,67	25,70
Après 120 s	8,02	983	20	0,89	73,11	50,00
Débit 10 l/h						
Après 30 s	7,84	1021	20,1	1.32	60,12	38,32
Après 120 s	7,92	1005	20,1	1,14	65,56	46,73
Débit 20 l/h						
Après 30 s	7,68	1040	20,1	1,63	50,76	23,83
Après 120 s	7,89	1034	20,1	1,52	54,08	28,97

❖ La résine cationique puis anionique :

Tableau 69: Les résultats des analyses des échantillons traités par les résines cationique puis anionique pour une dilution 1/2 (résine type 2).

Les échantillons	Ph	Conductivité (µs)	T° (°C)	Turbidité (NTU)	R1 (%)	R2 (%)
Après 30 s	7,92	966	20	0.68	79,46	68,22
Après 120 s	8,01	952	20,1	0,61	81,57	71,50
Débit 10 l/h						
Après 30 s	8,00	993	20	1.05	68,28	50,93
Après 120 s	7,96	983	20	0,88	73,41	58,88
Débit 20 l/h						
Après 30 s	7,96	1011	20,2	1.23	62,84	42,52
Après 120 s	7,90	1003	20,1	1.12	66,16	47,66

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

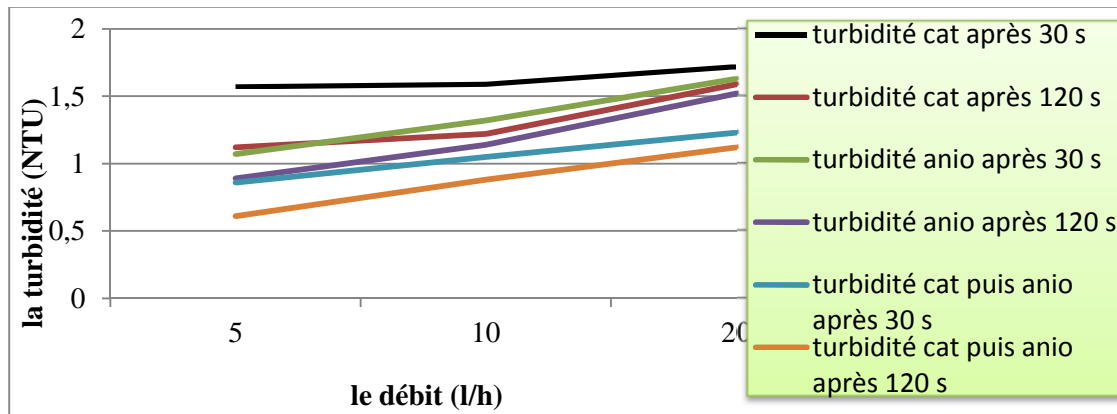


Figure 56 : la variation de la turbidité en fonction du débit de l'eau traitée pour une dilution 1/2.

Les courbes présentées dans la figure 56 montrent bien que le débit 5 l/h est le meilleur surtout au point de vu de turbidité.

Bien que les conductivités soient élevées surtout pour la résine cationique, les turbidités restent toujours inférieures à ce qu'elles étaient avant d'après le rendement R2.

III.3.Type 3 de résine :

III.3.1. Dilution de l'eau épurée au 1/10 (résines type 3):

Les résines cationiques sont ramenées d'une usine de Sebdou, les résines anioniques sont restées les mêmes du 2^{ème} type.

Conductivité eau de robinet : 783 μ s.

Conductivité d'eau épurée diluée pour 1/10 : 895 μ s.

❖ La résine cationique :

Tableau 70: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine cationique pour une dilution 1/10 (type 3).

Temps (min)	Le débit (l/h)		
	5 l/h	10 l/h	20 l/h
	La conductivité (μ s/cm)		
0	790	795	802
2	789	792	799
4	788	799	805
6	791	810	805
8	803	813	805
10	812	816	805
12	819	817	806
14	823	816	807
16	825	817	807
18	827	817	807
20	827	819	806

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

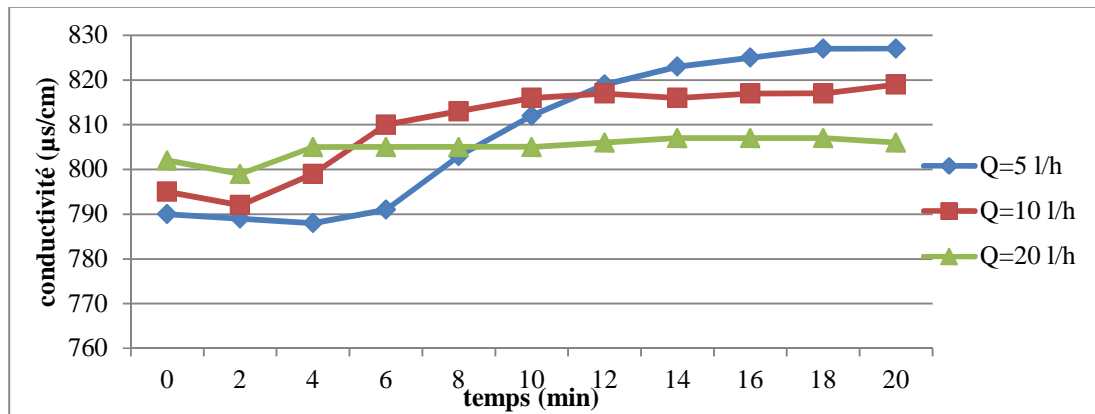


Figure 57: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine cationique pour une dilution 1/10 (résine type 3).

❖ La résine anionique:

Tableau 71: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine anionique pour une dilution 1/10 (résine type 3).

Temps (min)	Le débit (l/h)		
	5 l/h	10 l/h	20 l/h
	La conductivité (µs/cm)		
0	792	767	785
2	787	764	773
4	779	765	779
6	775	776	780
8	776	784	780
10	788	736	781
12	797	787	781
14	804	787	781
16	808	787	782
18	808	789	782
20	808	790	782

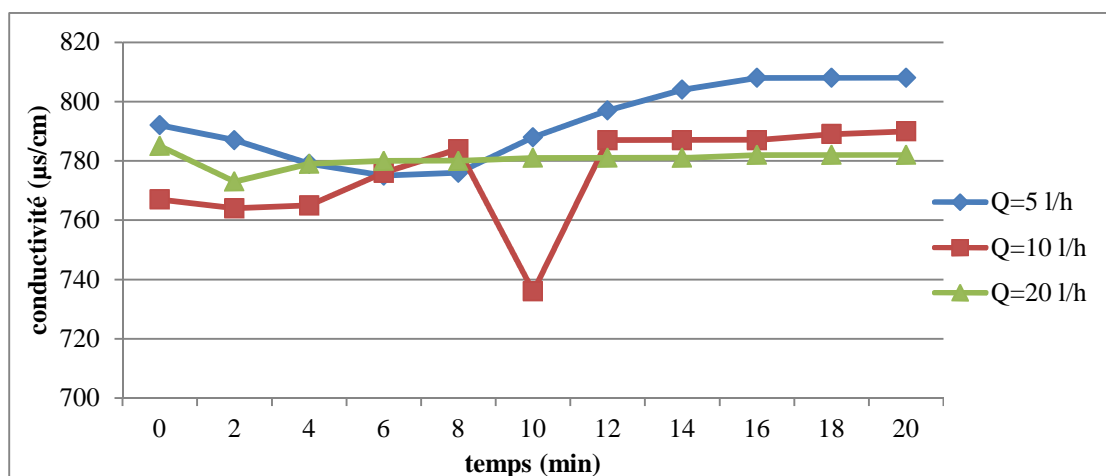


Figure 58: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine anionique pour une dilution 1/10 (résine type 3).

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

❖ La résine cationique puis anionique:

Tableau 72: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine cationique puis anionique pour une dilution 1/10 (résine type 3).

Temps (min)	Le débit (l/h)					
	5 l/h		10 l/h		20 l/h	
	La conductivité (µs/cm)					
	cationique	anionique	Cationique	anionique	cationique	anionique
0	799	774	816	804	818	794
2	794	772	812	795	806	780
4	791	770	810	781	806	780
6	797	766	817	783	805	779
8	817	767	819	788	805	779
10	826	778	820	791	805	779
12	827	786	820	791	805	779
14	827	791	820	792	806	780
16	829	791	820	792	806	780
18	832	796	821	792	806	780
20	837	798	821	792	806	780

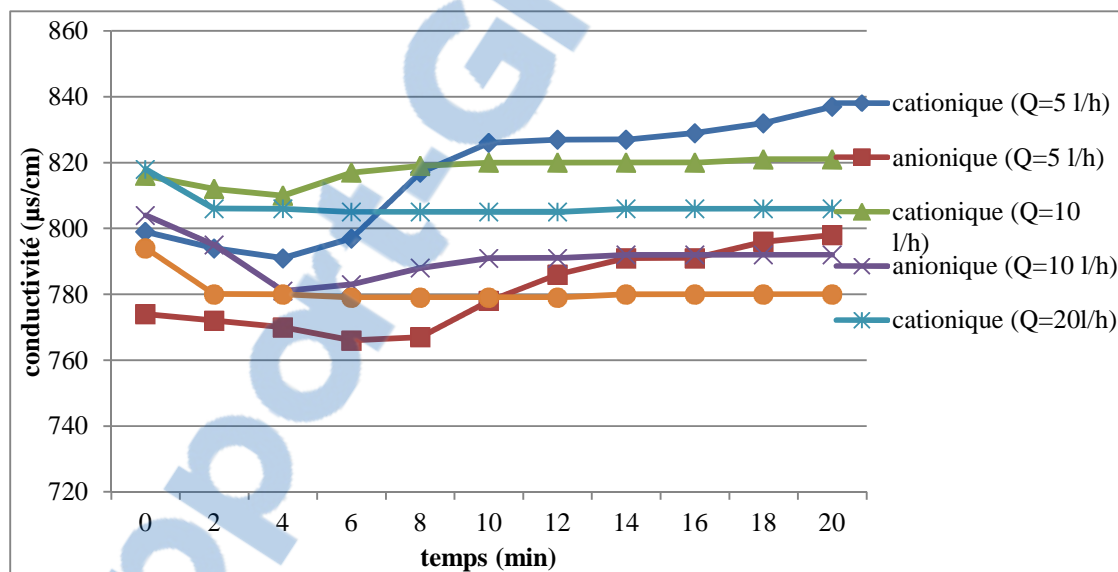


Figure 59: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine cationique puis anionique pour une dilution 1/10 (résine type 3).

Pour ce type et comme les autres types, le débit 20 l/h malgré qu'il donne une augmentation de la conductivité à partir de la 3^{ème} minute pour la résine cationique. Donc il reste le bon débit par rapport aux autres.

Pour la résine anionique, la conductivité a diminué pour les deux premières minutes pour les débits 10 l/h et 20 l/h puis elle à augmenté petit à petit. Pour le débit 5 l/h la saturation a commencé à partir de la 8^{ème} minute.

Pour la résine cationique puis anionique, le débit 20 l/h est le meilleur débit car la conductivité reste presque constante de valeur 780 µc/cm.

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Les résultats des analyses (SEKKak):

Tableau 73: Les résultats des analyses des échantillons pour une dilution 1/10 (résine type 3).

Les échantillons	pH	Conductivité (µs/cm)	T (°C)	Turbidité (NTU)
Eau diluée 1/10 (en bas)	7,91	961	21,6	1,42
Eau diluée 1/10 (en haut)	8,10	948	21,7	1,10

❖ La résine cationique :

Tableau 74: Les résultats des analyses des échantillons traités par la résine cationique pour une dilution 1/10 (résine type3).

Les échantillons	pH	Conductivité (µs/cm)	T (°C)	Turbidité (NTU)	R1 (%)	R2 (%)
Après 2 min	7,97	846	21,1	1,04	69,23	5,45
Après 20 min	8,00	848	20,9	0,62	81,27	43,64
Débit 10 l/h						
Après 2 min	8,05	847	20,9	1,07	38,75	-88,18
Après 20 min	8,11	833	20,9	0,93	71,90	15,45
Débit 20 l/h						
Après 2 min	8,11	858	20,9	1,15	65,26	-4,55
Après 20 min	8,06	848	20,9	0,49	85,20	55,45

❖ La résine anionique :

Tableau 75: Les résultats des analyses des échantillons traités par la résine anionique pour une dilution 1/10 (résine type3).

Les échantillons	pH	Conductivité (µs/cm)	T (°C)	Turbidité (NTU)	R1 (%)	R2 (%)
Après 2 min	8,09	857	21,0	0,49	85,20	55,45
Après 20 min	8,06	851	21,0	0,21	93,66	80,91
Débit 10 l/h						
Après 2 min	8,12	844	21,2	0,38	88,52	65,45
Après 20 min	8,11	856	21,4	0,61	81,57	55,45
Débit 20 l/h						
Après 2 min	8,14	851	21,7	0,55	83,38	50,00
Après 20 min	8,20	851	21,9	0,37	88,82	66,36

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

❖ La résine cationique puis anionique:

Tableau 76: Les résultats des analyses des échantillons traités par les résines cationique puis anionique pour une dilution 1/10 (résine type3).

Les échantillons	pH	Conductivité (µs/cm)	T (°C)	Turbidité (NTU)	R1 (%)	R2 (%)
Après 2 min	8,23	848	21,3	1,54	53,47	-40,00
Après 20 min	8,20	843	21,6	0,38	88,52	65,45
	Débit 10 l/h					
Après 2 min	8,21	851	21,4	1,69	50	-53,63
Après 20 min	8,21	848	21,2	1,29	61,03	-17,27
	Débit 20 l/h					
Après 2 min	8,20	848	21,4	0,21	93,66	80,91
Après 20 min	8,19	847	21,1	0,37	88,82	66,36

Pour la résine cationique, cationique puis anionique, le rendement R2 est négatif surtout pour les échantillons prélevés après 2 min, ce phénomène est justifié par l'augmentation de la turbidité d'eau traité par la résine par rapport à la turbidité d'eau épurée diluée.

III.3.2. Dilution de l'eau épurée au 1/5 :

Conductivité eau de robinet : 761 µs.

Conductivité d'eau épurée diluée pour 1/5: 937 µs.

❖ La résine cationique :

Tableau 77: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine cationique pour une dilution 1/5 (type 3).

Temps (min)	Le débit (l/h)		
	5 l/h	10 l/h	20 l/h
	La conductivité (µs/cm)		
0	783	833	806
2	782	829	799
4	782	818	805
6	790	822	805
8	803	818	804
10	812	817	804
12	819	817	804
14	824	817	805
16	825	818	805
18	826	818	804
20	828	819	803

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

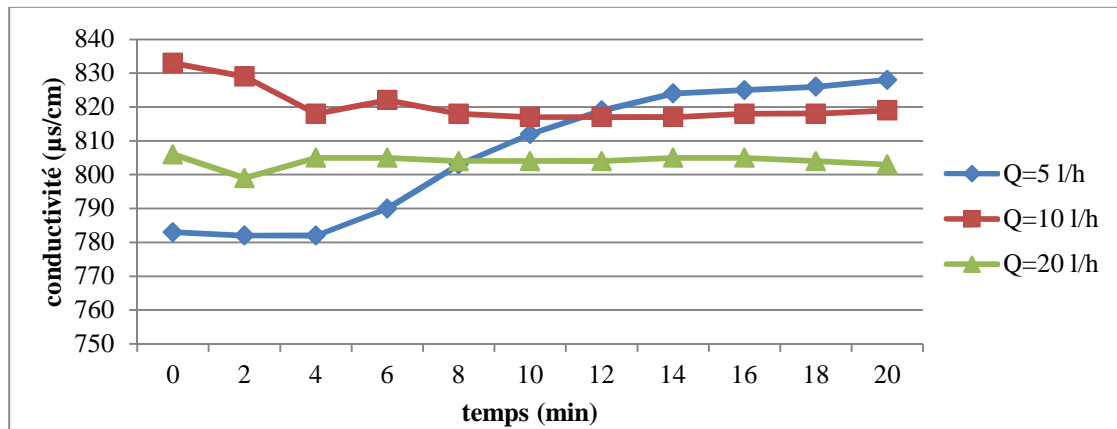


Figure 60: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine cationique pour une dilution 1/5 (résine type 3).

❖ La résine anionique:

Tableau 78: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine cationique pour une dilution 1/5 (type 3).

Temps (min)	Le débit (l/h)		
	5 l/h	10 l/h	20 l/h
	La conductivité (µs/cm)		
0	764	802	768
2	761	793	767
4	760	782	778
6	760	788	779
8	760	790	780
10	769	790	780
12	780	790	781
14	790	791	781
16	796	792	781
18	800	791	780
20	802	790	780

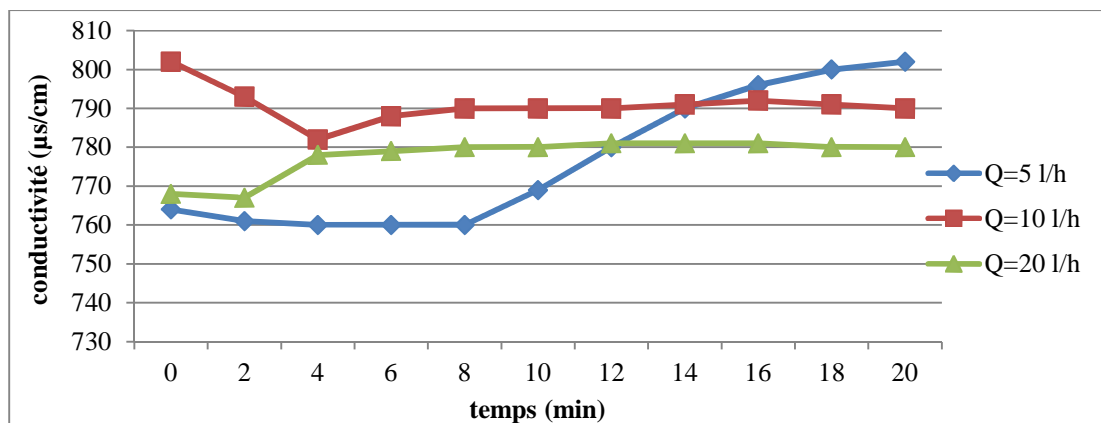


Figure 61: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine anionique pour une dilution 1/5 (résine type 3).

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

❖ La résine cationique puis anionique:

Tableau 79: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine cationique puis anionique pour une dilution 1/5 (résine type 3).

Temps (min)	Le débit (l/h)					
	5 l/h		10 l/h		20 l/h	
	La conductivité (µs/cm)					
	cationique	anionique	cationique	anionique	cationique	anionique
0	797	772	813	808	791	770
2	794	773	806	793	799	768
4	799	770	810	780	805	777
6	806	769	816	783	806	779
8	816	771	818	789	806	780
10	825	778	818	790	807	781
12	828	785	819	791	807	781
14	830	790	819	792	806	781
16	832	794	820	792	807	781
18	834	797	821	793	807	781
20	836	800	822	794	807	781

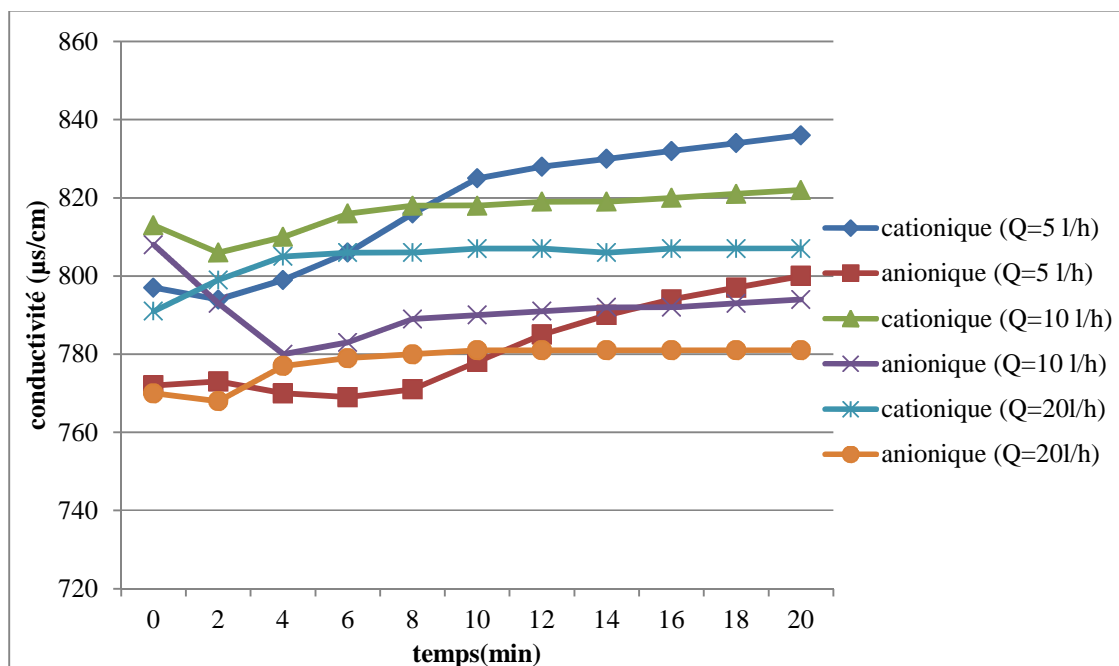


Figure 62: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine cationique puis anionique pour une dilution 1/5 (résine type 3).

Le passage de l'eau à travers la résine cationique, anionique, cationique puis anionique donne des résultats de conductivité stables pour le débit 20 l/h alors que plus la dilution est faible plus on obtient les meilleurs résultats donnés par des fortes débits.

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Les résultats des analyses (SEKKAk)

Tableau 80: Les résultats des analyses des échantillons pour une dilution 1/5 (résine type 3).

Les échantillons	pH	Conductivité (µs/cm)	T (°C)	Turbidité (NTU)
Eau diluée 1/5 (en bas)	8,14	981	21,7	0,89
Eau diluée 1/5 (en haut)	8,05	1000	21,8	0,79

❖ La résine cationique :

Tableau 81: Les résultats des analyses des échantillons traités par la résine cationique pour une dilution 1/5 (résine type3).

Les échantillons	pH	Conductivité (µs/cm)	T (°C)	Turbidité (NTU)	R1 (%)	R2 (%)
Après 2 min	8,13	845	21,1	1,25	62,24	-58,23
Après 20 min	8,10	846	20,9	0,38	88,52	51,90
	Débit 10 l/h					
Après 2 min	8,12	846	20,9	0,96	71,00	-21,52
Après 20 min	8,11	840	20,9	0,70	78,85	11,39
	Débit 20 l/h					
Après 2 min	8,10	847	20,9	0,32	90,33	59,49
Après 20 min	8,11	843	20,9	1,46	55,89	-84,81

❖ La résine anionique :

Tableau 82: Les résultats des analyses des échantillons traités par la résine anionique pour une dilution 1/5 (résine type3).

Les échantillons	pH	Conductivité (µs/cm)	T (°C)	Turbidité (NTU)	R1 (%)	R2 (%)
Après 2 min	8,11	844	21,3	0,58	82,48	26,58
Après 20 min	8,09	837	21,1	0,21	93,66	73,42
	Débit 10 l/h					
Après 2 min	8,08	842	21,2	0,33	90,03	58,23
Après 20 min	8,11	841	21,1	0,21	93,66	73,42
	Débit 20 l/h					
Après 2 min	8,10	841	20,9	0,43	87,01	45,57
Après 20 min	8,09	835	20,9	0,37	88,82	53,16

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

❖ La résine cationique puis anionique:

Tableau 83: Les résultats des analyses des échantillons traités par les résines cationique puis anionique pour une dilution 1/5 (résine type3).

Les échantillons	pH	Conductivité (µs/cm)	T (°C)	Turbidité (NTU)	R1 (%)	R2 (%)
Débit 5 l/h						
Après 2 min	8,10	844	21,1	0,75	77,34	5,06
Après 20 min	8,11	845	21,0	0,37	88,82	53,16
Débit 10 l/h						
Après 2 min	8,08	845	21,0	0,88	73,96	-11,39
Après 20 min	8,09	843	21,0	0,23	93,05	70,89
Débit 20 l/h						
Après 2 min	8,10	844	20,9	0,55	83,38	30,38
Après 20 min	8,11	842	20,9	0,36	89,12	54,43

Les rendements de la résine anionique, cationique puis anionique sont mieux que la résine cationique seulement. En conclusion la résine cationique a mauvaise qualité.

III.3.3. Dilution de l'eau épurée au 1/3 :

Conductivité eau de robinet : 879µs.

Conductivité d'eau épurée diluée pour 1/3 : 1069µs.

❖ La résine cationique :

Tableau 84: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine cationique pour une dilution 1/3 (résine type 3).

Temps (s)	Le débit (l/h)		
	5 l/h	10 l/h	20 l/h
	La conductivité (µs/cm)		
0	831	852	858
30	831	855	857
60	832	857	855
90	832	855	853
120	832	853	853
150	833	853	853
180	833	853	853

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

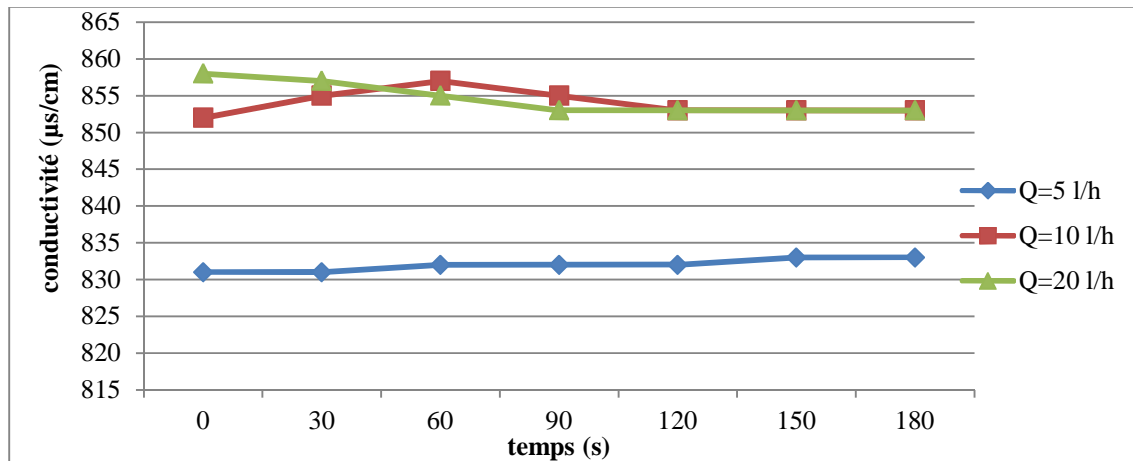


Figure 63: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine cationique pour une dilution 1/3 (résine type 3).

❖ La résine anionique :

Tableau 85: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine anionique pour une dilution 1/3 (résine type 3).

Temps (s)	Le débit (l/h)		
	5 l/h	10 l/h	20 l/h
	La conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)		
0	797	807	809
30	802	807	809
60	806	807	809
90	808	806	810
120	810	806	812
150	812	806	815
180	812	807	817

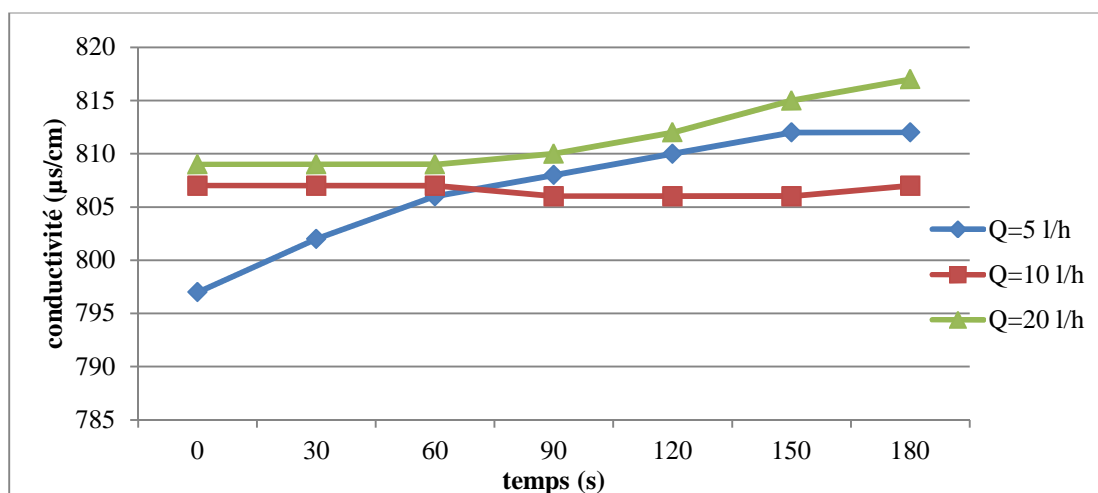


Figure 64: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine anionique pour une dilution 1/3 (résine type 3).

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

❖ La résine cationique puis anionique :

Tableau 86: Variation de la conductivité en fonction du temps par les résines cationique puis anionique pour une dilution 1/3 (résine type 3).

Temps (s)	Le débit (l/h)					
	5 l/h		10 l/h		20 l/h	
	La conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)					
	cationique	anionique	cationique	anionique	cationique	anionique
0	851	820	841	814	840	813
30	851	818	842	815	840	813
60	850	817	842	814	841	812
90	850	817	842	814	844	812
120	849	818	842	813	848	812
150	848	818	842	812	852	815
180	847	819	844	812	856	820

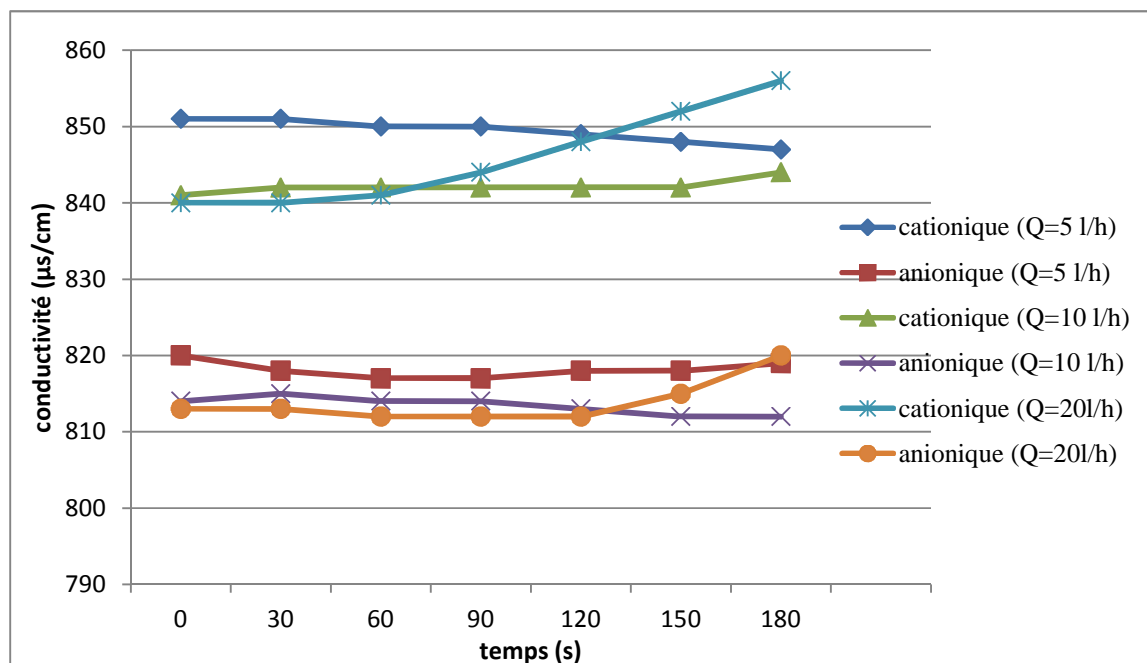


Figure 65: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine cationique puis anionique pour une dilution 1/3 (résine type 3).

Nous avons constaté que pour la résine cationique le meilleur débit est 5 l/h car les résultats sont presque stables de valeur $831 \mu\text{s}/\text{m}$, le même constat de débit de 5 l/h est fait pour la résine anionique.

De l'autre côté, le passage de l'eau à travers la résine cationique puis anionique a donné des bons résultats pour le débit 5 l/h, où la conductivité s'est manifestée de $851 \mu\text{s}/\text{cm}$ jusqu'à $819 \mu\text{s}/\text{cm}$. il en est de même pour 10 l/h où la conductivité s'est manifestée de $841 \mu\text{s}/\text{cm}$ à $812 \mu\text{s}/\text{cm}$.

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

❖ La résine cationique puis anionique:

Tableau 90: Les résultats des analyses des échantillons traités par les résines cationique puis anionique pour une dilution 1/3 (résine type3).

Les échantillons	pH	Conductivité (µs/cm)	T (°C)	Turbidité (NTU)	R1 (%)	R2 (%)
Après 30 s	8,21	870	20,8	0,69	79,15	41,53
Après 180 s	8,22	862	20,8	0,48	85,50	59,12
Débit 10 l/h						
Après 30 s	8,19	868	20,8	0,63	80,97	46,61
Après 180 s	8,15	865	20,7	0,46	86,10	61,02
Débit 20 l/h						
Après 30 s	8,21	876	20,6	0,83	74,92	29,66
Après 180 s	8,17	871	20,4	0,57	82,78	51,69

Pour la résine cationique la turbidité a diminué un peu mais les rendements sont faibles. Mais après 180s de manipe pour le débit 5 l/h le rendement est estimé à 2,54%, ce qui confirme plus que la qualité de la résine cationique est mauvaise.

La résine anionique est Plutôt meilleure que celle cationique et cela est illustré par le rendement R2 dans le tableau 90, la même explication pour la résine cationique puis anionique.

III.3.4. Dilution de l'eau épurée au 1/2:

Conductivité eau de robinet : 920µs.

Conductivité d'eau épurée diluée pour 1/2: 1220 µs.

❖ La résine cationique :

Tableau 91: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine cationique pour une dilution 1/2 (résine type 3).

Temps (s)	Le débit (l/h)		
	5 l/h	10 l/h	20 l/h
	La conductivité (µs/cm)		
0	1076	1045	1043
30	1051	1040	1037
60	1045	1037	1031
90	1040	1035	1026
120	1034	1029	1026
150	1028	1026	1026
180	1025	1029	1026

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

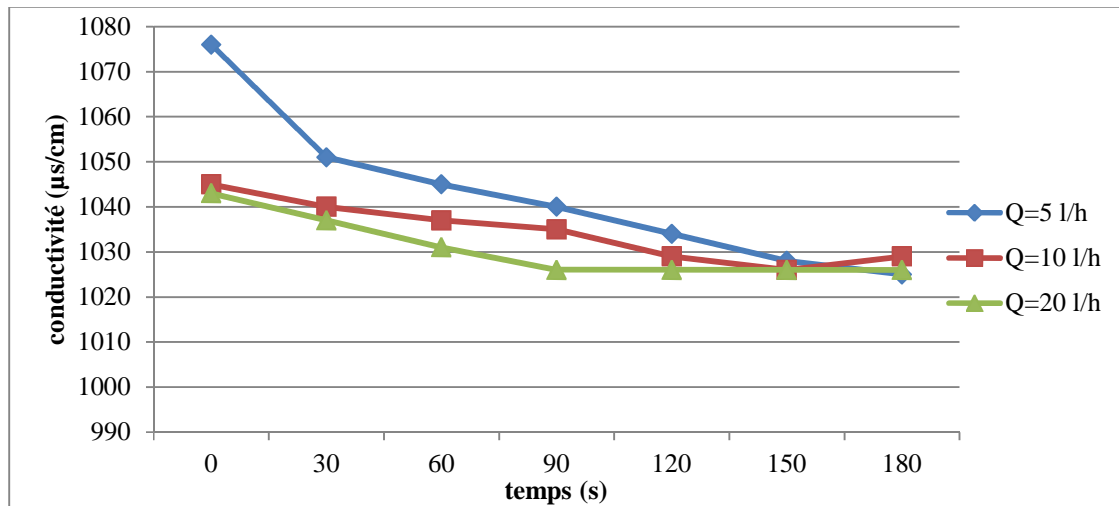


Figure 66: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine cationique pour une dilution 1/2 (résine type 3).

❖ La résine anionique :

Tableau 92: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine anionique pour une dilution 1/2 (résine type 3).

Temps (s)	Le débit (l/h)		
	5 l/h	10 l/h	20 l/h
	La conductivité ($\mu\text{s/cm}$)		
0	931	1012	1003
30	943	1011	1000
60	949	1008	994
90	952	1003	991
120	955	1000	990
150	960	995	992
180	967	994	994

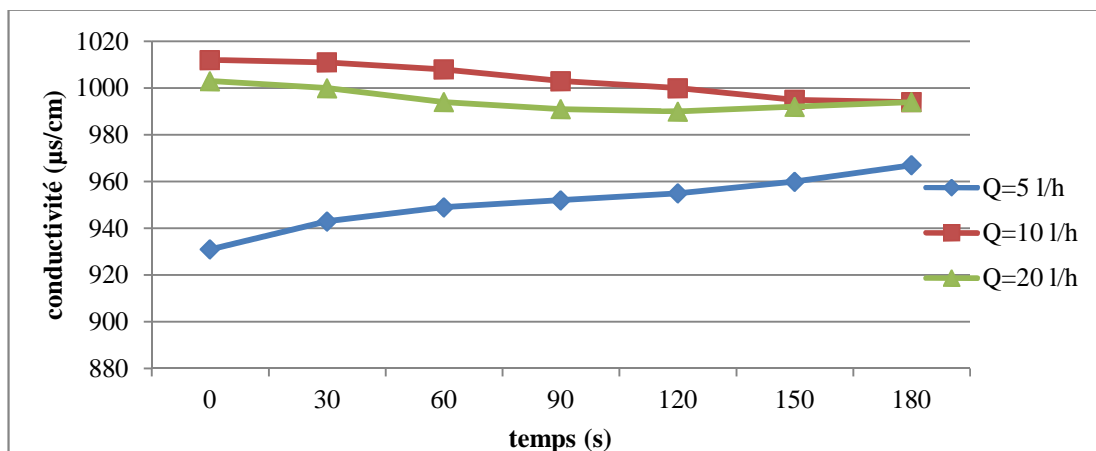


Figure 67: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine anionique pour une dilution 1/2 (résine type 3).

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

❖ La résine cationique puis anionique :

Tableau 93: Variation de la conductivité en fonction du temps par les résines cationique puis anionique pour une dilution 1/2 (résine type 3).

Temps (s)	Le débit (l/h)					
	5 l/h		10 l/h		20 l/h	
	La conductivité (µs/cm)					
	cationique	anionique	cationique	anionique	cationique	anionique
0	1029	1021	1012	995	1042	1006
30	1029	1020	1012	998	1037	1015
60	1027	1019	1012	999	1026	1015
90	1026	1018	1012	999	1024	1010
120	1025	1018	1012	997	1025	1005
150	1021	1017	1014	996	1026	1004
180	1023	1015	1016	995	1027	1005

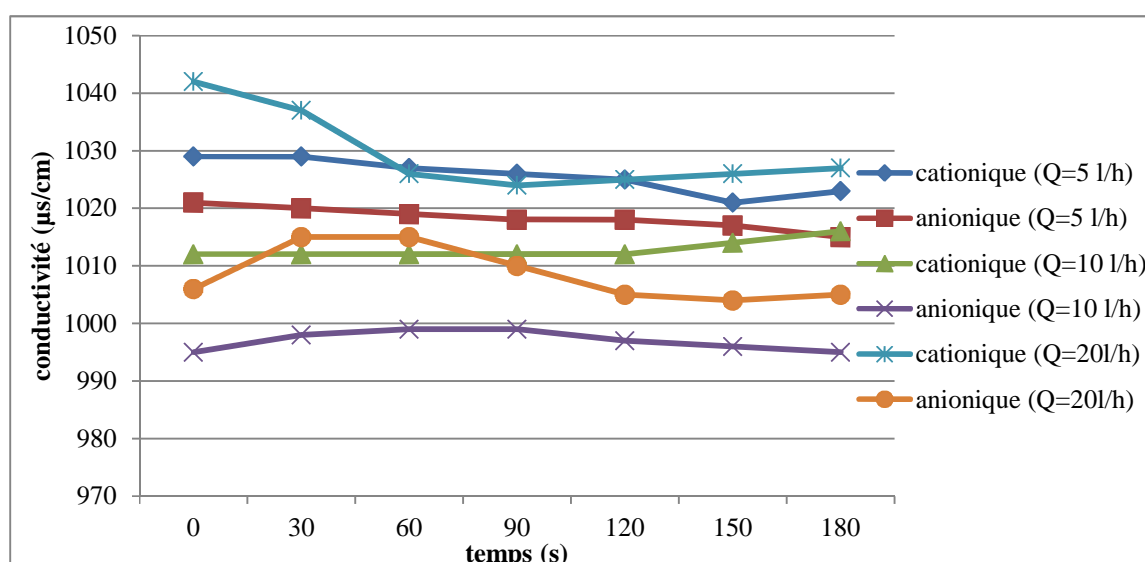


Figure 68: Variation de la conductivité en fonction du temps par la résine cationique puis anionique pour une dilution 1/2 (résine type 3).

Comme nous l'avons expliqué précédemment, l'eau diluée au 1/2 est chargée en MES par rapport aux autres dilutions. La résine cationique montre bien que l'eau est chargée Grâce à des conductivités élevées. Le meilleur débit est de 5 l/h où la conductivité a baissé de 1076 à 1025µs/cm.

Pour la résine anionique le meilleur débit est de 10 l/h, où la conductivité est légèrement diminuée de 1012 à 994µs/cm.

Dans le cas de résine cationique puis anionique les manipes ont débuté à partir de 1012 µs/cm pour le débit 10 l/h et ont atteint une valeur de 995µs/cm. c'est ce qu'illustre aussi dans la figure 68.

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Les résultats des analyses (SEKKAk):

Tableau 94: Les résultats des analyses des échantillons pour une dilution 1/2 (résine type3).

Les échantillons	pH	Conductivité ($\mu\text{s/cm}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	Turbidité (NTU)
Eau diluée 1/2 (bas)	8,30	1216	25,3	0,78
Eau diluée 1/2 (haut)	8,26	1219	25,5	1,06

❖ La résine cationique :

Tableau 95: Les résultats des analyses des échantillons traités par la résine cationique pour une dilution 1/2 (résine type3).

Les échantillons	pH	Conductivité ($\mu\text{s/cm}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	Turbidité (NTU)	R1 (%)	R2 (%)
Après 30 s	8,20	947	25,1	1,59	51,96	-50,00
Après 180 s	8,19	935	25,1	1,12	66,16	-5,66
	Débit 10 l/h					
Après 30 s	8,23	972	25,2	0,59	82,18	44,34
Après 180 s	8,25	957	25,1	0,34	89,73	67,92
	Débit 20 l/h					
Après 30 s	8,26	966	25,2	1,29	61,03	-21,70
Après 180 s	8,24	969	25,3	0,98	70,39	7,55

❖ La résine anionique :

Tableau 96: Les résultats des analyses des échantillons traités par la résine anionique pour une dilution 1/2 (résine type3).

Les échantillons	pH	Conductivité ($\mu\text{s/cm}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	Turbidité (NTU)	R1 (%)	R2 (%)
Après 30 s	8,27	962	25,2	1,33	59,82	-25,47
Après 180 s	8,23	954	25,2	1,17	64,65	-10,38
	Débit 10 l/h					
Après 30 s	8,24	958	25,3	0,78	76,44	26,42
Après 180 s	8,26	944	25,5	1,48	55,29	-39,62
	Débit 20 l/h					
Après 30 s	8,20	966	25,4	1,20	63,75	-13,21
Après 180 s	8,27	971	25,3	0,94	71,60	11,32

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

❖ La résine cationique puis anionique:

Tableau 97: Les résultats des analyses des échantillons traités par les résines cationique puis anionique pour une dilution 1/2 (résine type3).

Les échantillons	pH	Conductivité (µs/cm)	T (°C)	Turbidité (NTU)	R1 (%)	R2 (%)
Débit 5 l/h						
Après 30 s	8,27	960	25,1	0,7	78,85	33,96
Après 180 s	8,25	956	25,1	0,31	90,63	70,75
Débit 10 l/h						
Après 30 s	8,29	975	25,0	0,84	74,62	20,75
Après 180 s	8,31	966	25,0	0,65	80,36	38,68
Débit 20 l/h						
Après 30 s	8,26	981	24,9	0,77	76,74	27,36
Après 180 s	8,19	974	24,9	0,29	91,24	72,64

Nous constatons que les analyses ont donné des mauvais résultats, les rendements R2 sont faibles malgré la diminution de la valeur de turbidité.

IV. La comparaison entre les types de résines.

La comparaison est faite pour chaque débit (5 l/h, 10 l/h, 20 l/h), nous avons obtenir les figures suivantes :

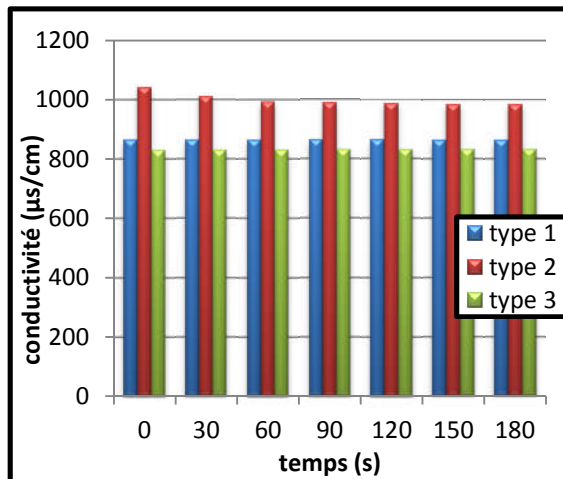


Figure 69: la comparaison entre les trois types des résines cationiques pour une dilution 1/3 à un débit de 5 l/h.

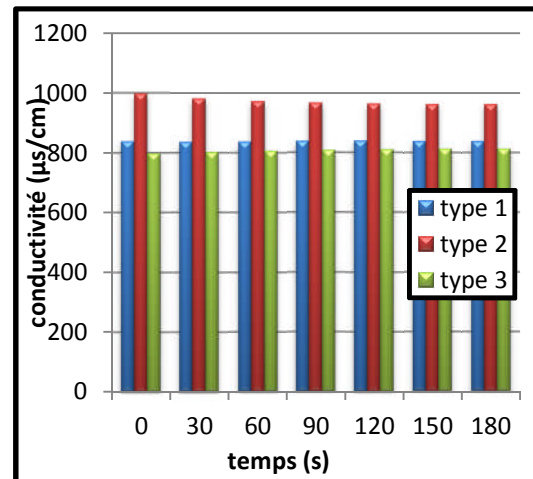


Figure 70: la comparaison entre les trois types des résines anioniques pour une dilution 1/3 à un débit de 5 l/h.

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

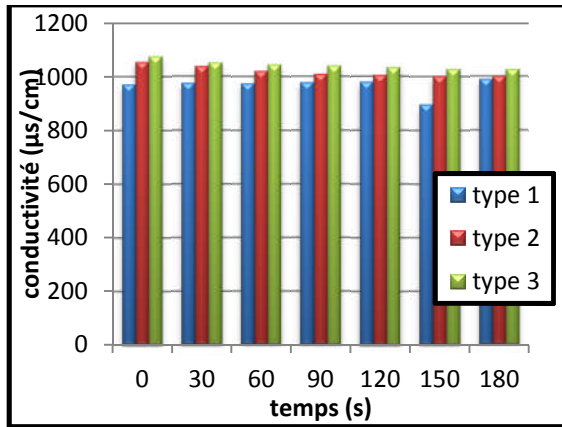


Figure 71: la comparaison entre les trois types des résines cationiques pour une dilution 1/2 à un débit de 5 l/h.

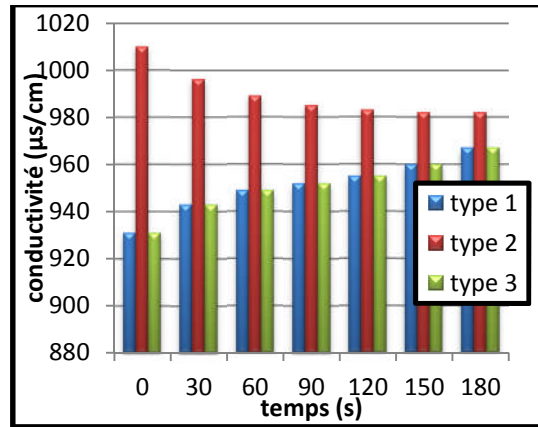


Figure 72: la comparaison entre les trois types des résines anioniques pour une dilution 1/2 à un débit de 5 l/h.

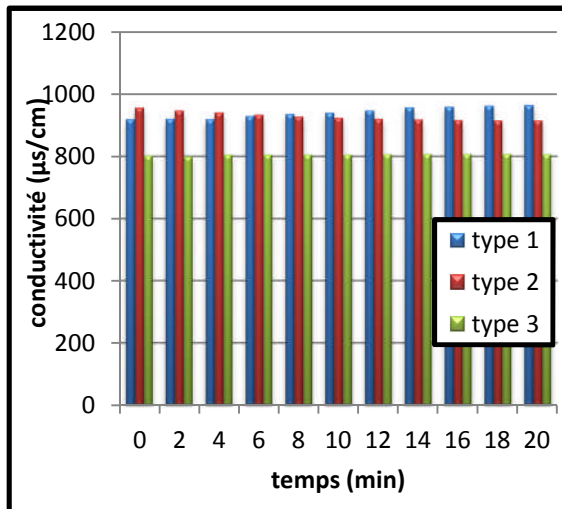


Figure 73: la comparaison entre les trois types des résines cationiques pour une dilution 1/10 à un débit de 10 l/h.

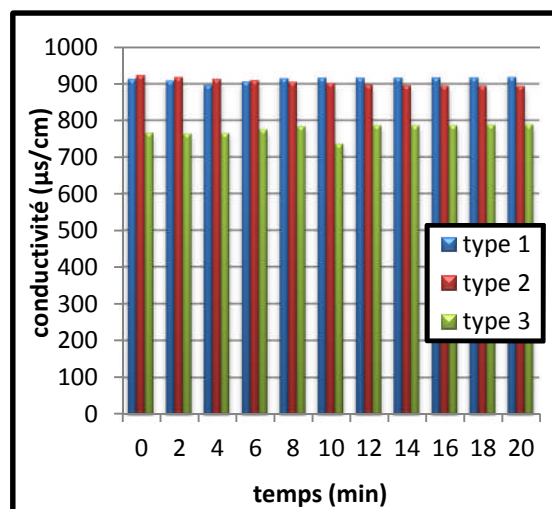


Figure 74: la comparaison entre les trois types des résines anioniques pour une dilution 1/10 à un débit de 10 l/h.

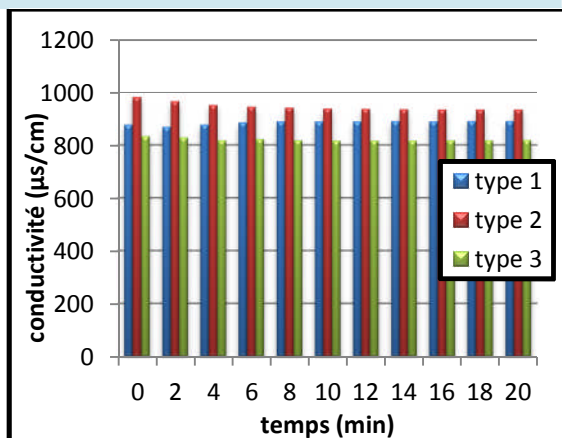


Figure 75: la comparaison entre les trois types des résines cationiques pour une dilution 1/5 à un débit de 10 l/h.

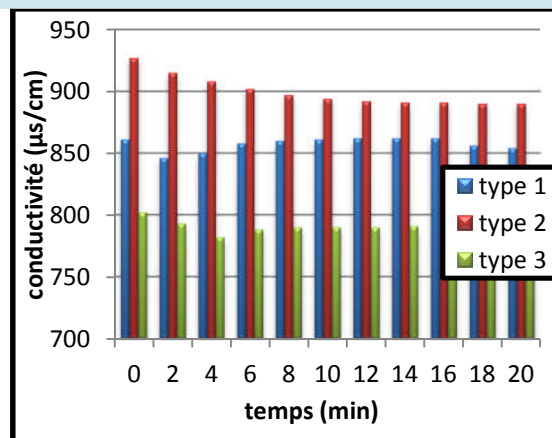


Figure 76: la comparaison entre les trois types des résines anioniques pour une dilution 1/5 à un débit de 10 l/h.

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

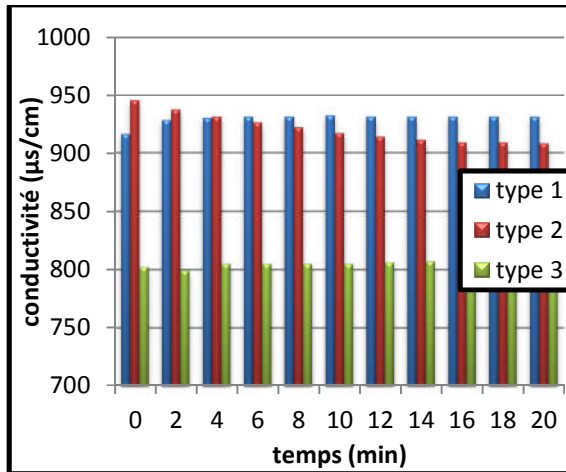


Figure 77: la comparaison entre les trois types des résines cationiques pour une dilution 1/10 à un débit de 20 l/h.

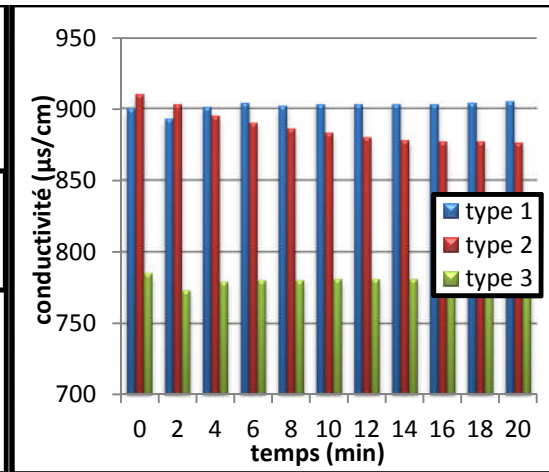


Figure 78: la comparaison entre les trois types des résines anioniques pour une dilution 1/10 à un débit de 20 l/h.

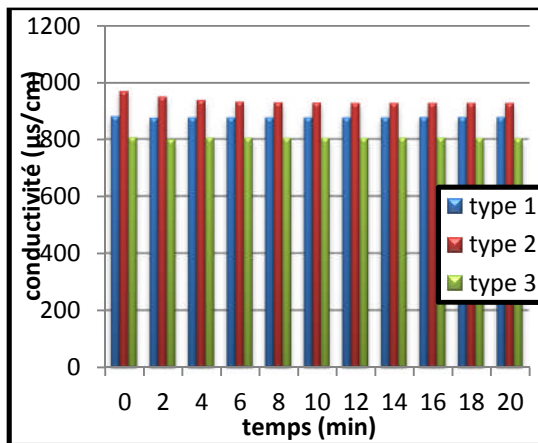


Figure 79: la comparaison entre les trois types des résines cationiques pour une dilution 1/5 à un débit de 20 l/h.

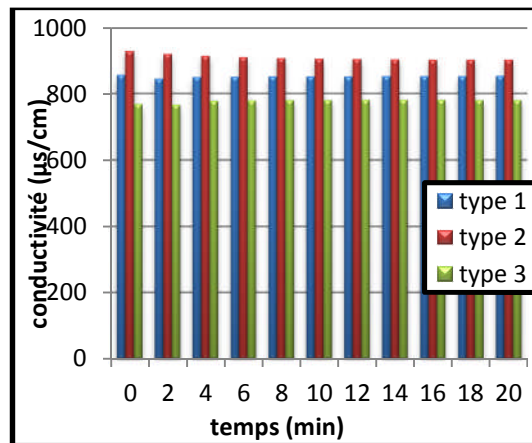


Figure 80 : la comparaison entre les trois types des résines anioniques pour une dilution 1/5 à un débit de 20 l/h.

Nous avons conclu que plus l'eau est chargée plus le débit est faible et vice versa, pour les débits 10 l/h et 20 l/h, nous avons obtenu de meilleurs résultats pour les dilutions 1/5 et 1/10. Alors que d'après les figures, nous avons remarqué que le type 2 reste toujours le type idéal.

D'après les études précédentes, et d'après les figures de comparaison, nous avons conclu que les résines malgré qu'elles soient anciennes elles ne perdent que très peu de leur qualité.

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

V. Les analyses de physico-chimiques et bactériologique (au niveau de laboratoire d'ADE):

Les analyses sont effectuées pour quatre échantillons prélevées après dilution 1/2 de l'eau épurée qui traverse la résine de type 2 avec un débit de 5 l/h.

- ❖ **Échantillon 1** : eau épurée.
- ❖ **Échantillon 2** : L'échantillon de l'eau après passage par la résine cationique.
- ❖ **Échantillon 3** : L'échantillon de l'eau après passage par la résine anionique.
- ❖ **Échantillon 4** : L'échantillon de l'eau après passage par la résine cationique puis anionique.

V.1. Les analyses physico-chimiques (ADE):

Pour les analyses physico-chimiques, on exerce sur l'ammonium, le nitrite, le fer et le phosphate.

V.1.1. Le mode opératoire :

○ L'ammonium :

- préparer la solution mère : on prend 0,1 ml de la solution standard d'ammonium dans 100 ml d'eau distillé puis on prend 9,3 de la solution préparée dans 40 ml d'eau distillé.
- prendre 40 ml de chaque échantillon c'est-à-dire eau diluée, eau de la résine cationique, eau de la résine anionique, eau de résine cationique et anionique, la solution mère préparée pour la vérification et enfin l'eau distillé.
- ajouter 4 ml de réactif coloré et 4 ml de Dichloroisocyanurate de Sodium pour chaque échantillon.
- On règle le spectrophotomètre et on attend 1h pour lire les résultats.

○ Le nitrite :

- la préparation de la solution mère se fait par l'injection de 10 ml de solution standard de nitrite NO₂ dans 100 d'eau distillé et on prend 0,36 de la solution préparée dans 40 ml d'eau distillée.
- refaire les mêmes étapes de l'ammonium mais dans ce cas là on ajoute 1 ml de solution colorée de nitrite pour chaque échantillon et on agite ;
- On règle le spectrophotomètre et on attend 20 min pour lire les résultats.

○ Le fer :

- Prendre 10 ml de chaque échantillon dans des gélules, garder pour chaque élément à analyser deux gélules l'une pour l'analyse et l'autre pour la vérification ;
- Ajouter le réactif de Ferrover pour chaque gélule et on agite;
- On règle le spectrophotomètre et on attend 3 min pour lire les résultats.

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

○ Le phosphate :

- On prend 10 ml de chaque échantillon dans des gélules
- On ajoute le réactif de phosphate RGT pour chaque gélule ;
- On règle le spectrophotomètre et on attend 10 min pour lire les résultats.

Les résultats sont obtenus dans le tableau suivant :

Tableau 98: les résultats des analyses physico-chimiques.

Les éléments	Les concentrations (mg/l)			
	Echantillon 1	Echantillon 2	Echantillon 3	Echantillon 4
ammonium	0,37	0,01	0,35	0,17
Nitrite	0,275	0,236	0,026	0,045
Fer	0,04	0,05	0,00	0,03
phosphate	4,82	0,04	1,00	1,09

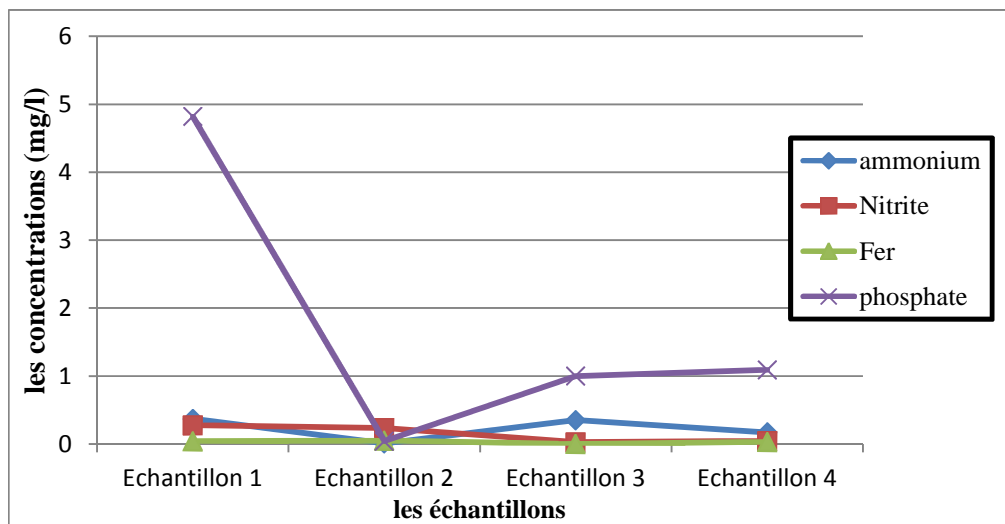


Figure 81 : la variation des concentrations des éléments en fonction des échantillons.

Le rendement est calculé par la formule suivante :

$$R = 1 - \frac{\text{concentration initiale}}{\text{concentration finale}} \quad (\text{V-3})$$

Tableau 99: les rendements de réduction des éléments présents dans l'eau traité.

Les éléments	Les rendements (%)		
	Echantillon 2	Echantillon 3	Echantillon 4
ammonium	97,29	5,40	54,05
Nitrite	85,81	90,54	83,63
Fer	25	100	25
phosphate	99,17	79,25	77,38

D'après les tableaux 90 et 100 et la figure 81, on remarque que les concentrations des éléments à analyser des échantillons 2, 3 et 4 sont faibles par rapport aux concentrations de l'échantillon 1.

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

La résine cationique a bien éliminé l'ammonium et le phosphate d'ailleurs Les valeurs ont diminué de 0,37 mg/l à 0,01mg/l (avec un rendement de 97,29 %) pour l'ammonium et de 4,82 mg/l à 0,04 mg/l (avec un rendement de 99,17) pour le phosphate. Pour les autres éléments Les valeurs ne sont pas trop éloignées.

La résine anionique à bien éliminé le nitrite et le fer, Les valeurs ont diminué de 0,275 mg/l à 0,026mg/l (avec un rendement de 85,81%) pour le nitrite et de 0,04 à 0,00 (100%) pour le fer.

Le passage de l'eau vers la résine cationique puis anionique donne un meilleur résultat aussi bien pour les cations que pour les anions.

V.2. Les analyses bactériologiques :

Pour les analyses bactériologiques, on exerce sur la recherche des *clostredium*, des *streptocoques*, des *germes totaux*.

V.2.1.La recherche des *clostredium* :

On recherche des *clostredium* sur le milieu liquide.

Les compositions de milieu liquide qui s'appel le VF sont : la gélose + les additifs (alin de Fer + sulfate de Sodium).

On prend 10 ml des échantillons dans les gélules et on rempli ces dernières avec le VF jusqu'au bout de la gélule, on les laisse à 37°C pendant 48 h.

❖ Les résultats :

Les gélules sont envahissantes c'est-à-dire l'eau est très chargée en *clostredium*.



Figure 82: résultat de la recherche de *clostredium*.

V.2.2. La recherche des germes totaux :

On recherche des germes totaux sur le milieu solide (gel TGEA : « tryptonee gélosée à l'extrait de levure »)

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

-verser 0,1 ml de chaque échantillon dans les boites de pétri qui contient le gel et ensemencer.

- laisser les échantillons à 37°C pendant 48h.

- refaire les mêmes étapes mais cette fois ci laisser les échantillons à 22°C pendant 72 h.

Le comptage des colonies est fait par les étapes suivantes :

Si on remarque que la boite est trop chargée en colonies alors on partagera cette boite en 2, 3, ou 4 sa dépend de nombre des colonies. Puis on compte le nombre des colonies d'une seule partie partagée. Enfin on multiplie le nombre des colonies trouvées par le facteur de partage.

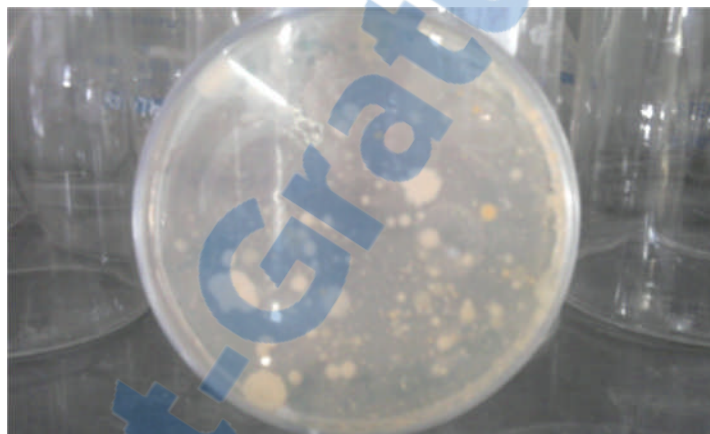


Figure 83: les colonies des germes totaux.

Les résultats sont obtenus dans le tableau suivant :

Tableau 100: les résultats de la recherche des germes totaux à 37°C.

Les échantillons	Le nombre des colonies
1	$150 \times 4 = 600$
2	$189 \times 4 = 756$
3	$118 \times 4 = 472$
4	$93 \times 4 = 372$

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Tableau 101: les résultats de la recherche des germes totaux à 22°C.

Les échantillons	Le nombre des colonies
1	$88*4=352$
2	$80*4=320$
3	$77*4=308$
4	$72*4=288$

D'après le tableau on remarque que les échantillons 1, 2, 3 et 4 sont très chargés en germes totaux c'est-à-dire les résines cationique et anionique n'ont pas la capacité d'éliminer ces germes.

V.2.3. La recherche des streptocoques :

La recherche s'exerce sur milieu slanet, après 48 h les colonies positives ayant une couleur rose, marron, ou rouge. On va faire un repiquage sur le milieu BEA à 44°C pendant 2 h les colonies positives dument un orède noir au dessous de filtre.

a. Le mode opératoire :

- stériliser les filtres et les réservoirs;
- rincer avec l'échantillon ;
- poser la membrane avec un pince stérile et froidi avec l'eau distillée ;
- remplir 100 ml de chaque échantillon ;
- déposer les membranes et les placer sur les boites ;
- laisser ces boites à 37°C pendant 48 h.



Figure 84: les réservoirs.

b. Les résultats :

Ils sont négative c'est-à-dire aucune bactérie de genre *streptocoque* est présentée dans les échantillons.

CONCLUSION

GÉNÉRALE

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale :

Les échangeurs d'ions sont des procédés de traitement des eaux. Ces procédés consistent à échanger les ions qui se trouvent dans l'eau à l'aide des résines.

Dans notre travail nous avons procédé aux traitements de l'eau épurée décanté puis dilué à l'aide de trois types de résines cationiques et de deux types des résines anioniques.

Notre étude de l'influence des échangeurs d'ions sur la qualité des eaux épurées très faiblement chargées nous a permis ; en premier lieu d'étudier pratiquement la décantation et la dilution de l'eau épurée, puis de mesurer la conductivité de cette eau passée à travers les résines et d'analyser quelques paramètres de qualité des eaux traitées comme : la turbidité, la salinité, le pH et la température.

Nous nous sommes intéressés sur les débits de 5 l/h, 10 l/h et 20 l/h.

La discussion et la comparaison des résultats de cette étude nous à ramené à conclure que :

- Plus la décantation de l'eau épurée est grande, plus la qualité physico-chimique de l'eau est meilleure.
- La dilution influe aussi sur la qualité de l'eau épurée. Plus l'eau est chargée plus les meilleurs résultats seront donnés par des faibles débits.
- D'après les résultats des analyses de labo de Sekkak, la turbidité de l'eau épurée traitée par les résines est meilleure que la turbidité de l'eau épurée sans traitement.
- le type 2 des résines est le meilleur type et cela est démontré d'après les résultats précédents.
- si la concentration de l'eau en MES dépasse un seuil on ne peut pas utiliser l'échangeur d'ion. Pour cette raison nous avons d'abord décanté puis dilué et nous nous somme intéressé à l'élimination de quelques métaux et de quelques microbes.
- La durée de vie de résine ne dépend seulement que du temps, elle dépend aussi de la manière dont laquelle elle sera conservé.

Globalement, nous pouvons dire que la qualité de l'eau épurée s'est améliorée de ce qu'elle était au paravent, alors que les résines d'échangeuses d'ions jouent un rôle important dans le traitement des eaux épurées.

Enfin, nous espérons que ce modeste travail peut servir à un déduit sur les études d'amélioration de la qualité surtout pour l'eau épurée.

LA BIBLIOGRAPHIE

- [1] : <http://mediterraneen.crdp-aix-marseille.fr/mediter1/roumanie.htm>, (1998), édition cyberfax, Timisoara, Roumanie consulté le 25/02/2013.
- [2] : Mr Zebbar Abdelkader & Mr Tahraoui Zoubir,; « étude comparative de l'adoucissement par échange d'ion et précipitation chimique », Mémoire de fin d'étude en hydraulique université de Tlemcen, soutenu en juillet 2006.
- [3] : BLIEFERT et PERRAUD, (2001), <http://www.memoireonline.com/04/10/3289/Determination-de-la-pollution-residuelle-dune-station-depuration-par-lagunage-naturel-cas-d.html> 25/02/2013.
- [4] : Z.Belayachi et M.laribi, (1998), « conception d'un logiciel de dimensionnement automatique d'une station d'épuration des eaux usées par lagunage application à l'agglomération de belhadjiboucil », mémoire d'ingénieur en hydraulique université de Tlemcen.
- [5]:<http://www.algerie360.com/algerie/40-nouvelles-stationsd%E2%80%99epuration-des-eaux-seront-realisees-d%E2%80%99ici-2014/> consulté le 25/02/2013.
- [6] : François de Dardel, 2012, http://dardel.info/IX/IX_Intro_FR.html consulté le 18/02/2013.
- [7] : Adrian Paul Tamas, (2004), « Étude comparée du colmatage en nanofiltration et en ultrafiltration d'eau de surface », mémoire de fin d'étude en génie civil Université Laval, <http://theses.ulaval.ca/archimede/fichiers/22074/ch01.html> consulté le 15/02/2013.
- [8] :<http://havredesavoir.fr/les-types-deaux/> consulté le 25/03/2013.
- [9] : Raymond Desjardins, (1997) « traitement des eaux », 2^{ème} édition, édition de l'école polytechnique de Monttéal..
- [9] Claude Carnot, (2005), « les traitements de l'eau, procédés physico-chimiques et biologiques cours et problèmes résolus », les filières technologiques des enseignements supérieurs, édition ellipse.
- [10] Abdel Ali, (2005), « différents filières de traitement des eaux », université ibn zohr école nationale des sciences appliquées d'Agadir, édition ENSA Agadir, documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/.../23402-169MUL-FR.pdf consulté le 26/02/2013.
- [11] : C.Rollin, F. Quiot, G. Masselot (2008), « surveillance des eaux souterraines Dans le contexte des sites pollués », édition INERIS. [Www.record-net.org/record/etudesdownload/record06-1015_1a.pdf](http://www.record-net.org/record/etudesdownload/record06-1015_1a.pdf) consulté le 2013/04/18

LA BIBLIOGRAPHIE

- [12] : L'expertise technique et scientifique de référence, édition techniques de l'ingénieur,
<http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/sciences-fondamentales-th8/constantes-chimiques-42337210/proprietes-physiques-de-l-eau-de-mer-k170/proprietes-physiques-de-l-eau-de-mer-introduction-k170avprop0001.html>
consulté le 06/03/2013.
- [13] : <http://www.sterimar.com/terre-planete-ocean.php> consulté le 06/03/2013.
- [14] : <http://www.saint-amand.com/eau-enfants/fiches-pedagogiques/differents-types-eau/fr> consulté le 06/03/2013.
- [15] : Benjamin H. « réseau de distribution d'eau potable » France, édition CATED.
- [16] : Jdv (2005) « QUALITÉ PHYSICO- CHIMIQUE ET CHIMIQUE DES EAUX DE SURFACE: CADRE GÉNÉRAL », Les données de l'IBGE : "L'eau à Bruxelles"
www.ibgebim.be/uploadedFiles/Contenu.../Fiche_Eau_02_FR.pdf consulté le 02/03/2013.
- [17] : F.Berné et J.Codonnier, (1991), « traitement des eaux », édition technip, 27 rue GINOUX 75737 Paris.
- [18] : CELERIER J. et FABYJ. « La dégradation de la qualité de l'eau potable dans les réseaux », Office international de l'eau SNIDE, France.
- [19] : Agence de l'eau artois-picardie, (2004),
http://www.eau-artois-picardie.fr/article.php3?id_article=14,
- [20] : Rachid HABIB et Ouissam EL RHAZI (2007), « Impact sanitaire de la réutilisation des eaux usées » mémoire de fin d'étude en biologie, Université Cadi Ayyad Marrakech
http://www.memoireonline.com/07/08/1236/m_impact-sanitaire-reutilisation-eaux-usees1.html consulté le 23/05/2013.
- [21] : BONTOUX, (1993) « Introduction à l'étude des eaux douces, eaux naturelles, eaux usées, eaux de bois: Qualité et santé », 2^{ème} édition, Cebedoc,
- [22] : GOMELLA et GUERREE, (1978), « le traitement des eaux publiques, industriels et privées », deuxième édition, édition EYROLLES,
- [23] : GAUJOUS. D, (1995), « la pollution des milieux aquatiques aide-mémoire », Tech Doc, Lavoisier,
- [24] : AMINOT et CHAUSSEPIED, (1983), « manuel des analyses chimiques en milieu marin, édition Cnexo, Brest,
- [25] : Résumé des significations environnementales (2010), « Paramètres physico-chimiques et bactériologiques de l'eau »

LA BIBLIOGRAPHIE

www.cobamil.ca/sites/default/files/.../Parametres_echantillonnage.pdf consulté le 02/03/2013.

[26] : http://www.memoireonline.com/02/09/1994/m_traitement-des-eaux-quot-traitement-de-de-leau-de-source-bousfer-ORAN13.html consulté le 27/02/2013.

[27] : Abdelkader Gaid (1984), « épuration biologique des eaux usées urbaines », 1, place centrale de Ben Aknoun (Alger), édition office des publications universitaires, tome 1.

[28] : http://www.futura-sciences.com/fr/definition/t/developpement-durable-2/d/DBO5_6374/ consulté le 26/02/2013.

[29] : François BADIA-GONDARD (2003), « L'assainissement des eaux usées », édition TechniCités.

[30] : Gaëlle Deronzier, Sylvie Schétrite, Yvan Racault, Jean-Pierre Canler, Alain Liénard, Alain Héduit, Philippe Duchène « Traitement de l'azote dans les stations d'épuration biologique des petites collectivités », ministère de l'agriculture, FNDAE n° 25, Document technique. www.fndae.fr/documentation/PDF/fndae25.pdf , consulté le 07/03/2013.

[31] : (2010), « Traitement des eaux usées, des boues et des matières de vidange pour les petites et moyennes collectivités », pollutec - journée d'échanges, édition ONEMA.

www.sniter.fr/fr/tch/SNITER-Phosphore-05.pdf consulté le 07/03/2013.

[32] : édition LENTECH (1998),
<http://www.lenntech.fr/metaux-lourds.htm> consulté le 13/04/2013.

[33] : Halim HAMMI « La pollution des eaux par les métaux lourds Les IIIème Olympiades Tunisiennes de Chimie 2010 »

www.ipeiem.rnu.tn/Hammami.pdf consulté le 13/04/2013.

[34] : C. Biney, A.T. Amuzu, D. Calamari, N. Kaba, I.L. Mbome, H. Naeve O. Ochumba, O. Osibanjo, V. Radeconde et M.A.H. Saad « ETUDE DES METAUX LOURDS ».

<http://www.fao.org/docrep/005/V3640F/V3640F04.htm> consulté le 13/04/2013.

[35] : <http://www.retourvital.com/Metaux.php> consulté le 13/04/2013.

[36] : Di Benedetto « methodes Spectrometriques D'analyse Et de caracterisation », Axe " Génie des Procédés", centre SPIN, Ecole des Mines de Saint-Etienne spin.mines-stetienne.fr/sites/default/files/metlourd.pdf consulté le 13/04/2013.

[37] : L'université technique de Delft (1993), Pays Bas
<http://www.lenntech.fr/metaux-lourds.htm> consulté le 13/04/2013.

[38] : Mecheline BIANCHI (1989), « Micro-organismes dans les écosystèmes océaniques », l'Université de Californie, édition Masson.

LA BIBLIOGRAPHIE

[39] : Mounia abouelouafa, Hassan el halouani, Mohammed kharbou & Abdelbasset berrichi (2002), « Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux usées brutes de la ville d'Oujda: canal principal et Oued Bounaïm », édition RABAT.

http://agrimaroc.net/actes/index.php/Actes_IAVH2/article/download/179/158
consulté le 18/05/2013.

[40] : ZOBELL (1946), « Marine microbiologie, a monographie on hydrobacteriology », Chronica botanica company.

[41] : BELLAN et PERES (1974), « La Pollution des mers », Presses Universitaires de France, Original provenant de Northwestern Université,

[42] : BRISOU et DENIS, (1978), « Techniques de surveillance de l'environnement maritime », l'Université de Californie.

[43] : GAUTHIER et PIETRI (1989), « devenir des bactéries et virus entérique en mer », chap 12

[44] : Thierry EBERLIN (1997), « Les infections microbiennes: Tome 2, physiopathologie »

[45] : Didier GAUJOUS (1995), « La pollution des milieux aquatiques: aide-mémoire », 2^{ème} édition Tec & Doc Lavoisier,

[46] : Joe York (2009). bouillondecultures.blogspot.com consulté le 12/04/2013.

[47] : PNUE/OMS, (1977), « la pollution des eaux cotières, critères sanitaires et études épidémiologiques », rapport d'un groupe d'experts réuni sur le patronage conjoint de l'OMS et PNUE, OMS bureau régional de l'Europe, Copenhague. <http://www.fao.org/docrep/x2100t/x2100t02.htm> consulté le 12/04/2013.

[48] : Mohamed Salim HAMDY et Malik AIT KACI ISMAL (2008), « Contribution à l'étude des paramètres physico-chimiques et bactériologiques de l'embouchure de l'oued _Beni-Messous », DEUA sciences de la mer, http://www.memoireonline.com/08/09/2463/m_Contribution--letude-des-parametres-physico-chimiques-et-bacteriologiques-de-lembouchure-de-15.html consulté le 14/03/2013.

[49] : membres.lycos.fr consulté le 25/05/2013.

[50] : www.e-sante.be consulté le 05/04/2013.

[51] : eau.tourdumonde.free.fr consulté le 18/04/2013.

[52] : www.infonosocomiale.com consulté le 17/03/2013.

[53] : KETTAB A. (1992) : « traitement des eaux ; les eaux potables » Edition l'Office des publications Universitaires Ben-Aknoun- Alger.

[54] : http://www.memoireonline.com/05/08/1141/m_optimisationmulticriteregestion-AEP2.html consulté le 12/01/2011.

LA BIBLIOGRAPHIE

- [55] : http://www.memoireonline.com/06/11/4587/m_Reflexion-sur-la-caracterisation-physico-chimique-des-effluents-liquides-rejetes-dans-la-grande-s2.html
- [56] : office national de l'eau et de l'assainissement (ONEA) <http://www.oneabf.com/espace-clients/44-les-reglements/129-les-eaux-usees-industrielles.html> 18/02/2013.
- [57] : Dégerment, (2007), « mémento technique de l'eau » deuxième édition, édition technique et document paris.
- [58] : Bonin, (1986), « hydrauliques urbaine », 1er édition ,1977nouveau tirage 1986, édition eyrolles, 61, Bd saint-germain paris 5.
- [59] : Claude Cardot, (1999), « les traitements de l'eau », ellipses édition marketing S.A, 1999, ruebargue 75740 paris.
- [60] : <http://www.drinking-water.org/assets/181x/00000445.jpg> ; consulté le (05/04/2011).
- [61] : Hadj sadok Z, (1999), « modélisation et estimation des biréacteurs, prise en compte des incertitudes application au traitement de l'eau »thèse de doctorat, présenté à l'université de Nice Shophia Antipolis,
www-sop.inria.fr/comore/Personnel/Hadj-Sadok.pdf 05/03/2013.
- [62] : école national supérieur des mines de Saint-Etienne http://www.emse.fr/~brodhag/TRAITEME/fich4_4.htm consulté le 18/03/2013.
- [63] : Raymond Desjardins (1990) « traitement des eaux », 2^{ème} édition, édition de l'école polytechnique de Monttéal.
- [64] : G. Martin (1982) « Le point sur l'épuration et le traitement des eaux, air ». Paris Tec.et Doc.,
- [65]: DEGREMONT, (1978) « mémento technique de l'eau », édition technique et document paris.
- [66] : <http://www.memoireonline.com/05/10/3518/Etude-comparative-des-proprietes-dadsorption-de-quelques-micro-polluants-sur-les-phosphates-natu.html>; Consulté le 3/02/2013.
- [67] : Emmanuel ADLER (2005) « Eléments sur l'épuration des eaux usées et la gestion des sous-produits de l'assainissement Cours sur l'épuration des eaux usées et la gestion des sous-produits de l'assainissement », édition ENTPE.
- [68] : Mr Luis Arhans : « mémento et technique de l'eau » dixième édition tome II, France.
- [69] : Dégrémont (1972), « mémento technique de l'eau », 11, rue la voisier-paris
- [70]: LENNTECH, water treatment solution, www.lenntech.fr; Consulté le 3/02/2011.

LA BIBLIOGRAPHIE

- [71] : F.Berné & J.Cordonnier (1996), « traitement des eaux », école nationale supérieure du pétrole et des moteurs,
- [72] : www.fndae.fr/documentation/PDF/fndae25.pdf consulté le 07/05/2013
- [73] : Joseph PRONOST, Rakha PRONOST, Laurent DEPLAT, Jacques MALRIEU, Jean-Marc BERLAND (2002), « Stations d'épuration : Dispositions constructives pour améliorer leur fonctionnement et faciliter leur exploitation », document technique fndae 22, office international de l'eau cnfme / snide,
- [74] : Cordierk (2009), « Fiche Technique sur l'assainissement collectif n°2 La filière lit bactérien », conseil générale Seine & Marne, eau.seine-et-marne.fr/library/99b79a0f-e691-4502-b269-aa58fa55d82c-Fiche-technique---Lit-bact-rien.pdf lit bactérien PDF consulté le 11/05/2013.
- [75] : (2007) « Les procédés d'épuration des petites collectivités d u bassin Rhin – Meuse », élément de comparaison technique et économique. www.eau-rhin-meuse.fr/tlch/procedes_epuration/doc_entier.pdf consulté le 2013/04/14
- [76]: http://www.emse.fr/~brodhag/TRAITEME/fich4_4.htm consulté le 18/04/2013.
- [77] : Robert Thomozeau (1981), « stations d'épuration eau potable- eau usée », précis théorique & technologique.
- [78] : Document de travail, Projet depuranat (2004), « Les techniques d'épuration naturelle : 50 à 200 EH », office international de l'eau, www.oieau.org/documentation/IMG/pdf/583.pdf consulté le 16/02/2013.
- [79] : www.lejisl.com/fr/images/4734B17D-213D-4384-B4DC-A8B354AB1D94/LBP_03/schema-de-fonctionnement-d-un-lagunage-naturel-photo-dr consulté le 19/06/2013.
- [80] : <http://guillaume.doucet.free.fr> consulté le 16/04/2013.
- [81] : Fiche ressource n°2 : la technique du lagunage, (2008), colleges.planete-tp.com/IMG/pdf/fiche_ressource_no2_cle83658a.pdf consulté le 18/07/2013.
- [82] : Hatem Dhaouadi (2008), « Traitement des Eaux Usées Urbaines : Les procédés biologiques d'épuration », Université Virtuelle de Tunis, pf-mh.uvt.rnu.tn/295/1/traitement_des_eaux_usees_urbaines.pdf consulté le 15/05/2013.
- [83] : eau en couleur, (2006), « introduction au lagunage naturel », www.eauencouleur.org/IMG/pdf/introduction_au_lagunage.pdf
- [84] : FNDEA (2005), « dysfonctionnements biologiques des stations d'épuration : origines et solution ». www.fndae.fr/documentation/PDF/fndae33.pdf consulté le 14/04/2013.
- [85] : Fiche technique (2008) « traitement des eaux usées par lagunage », organisation des nations unies pour l'éducation, la science et la culture, bureau de l'UNESCO à Rabat.

LA BIBLIOGRAPHIE

www.pseau.org/outils/.../unesco_traitement_des_eaux_par_lagunage.pdf consulté le 11/03/2013.

[86]: Rakha PRONOST, Laurent DEPLAT, Jacques MALRIEU, Jean-Marc BERLAND (2002) : « stations d'épuration : dispositions constructives pour améliorer leur fonctionnement et faciliter leur exploitation », fndae N° 22 bis.

[87]: Européen commission (2002), « Procédés extensifs d'épuration des eaux usées ». ec.europa.eu/environment/water/water-urbanwaste/.../waterguide_fr.pdf .2013/02/18.consulté le 11/03/2013

[88]: Degrémont (2005) : « Mémento technique de l'eau », 2^{ème} édition, Lavoisier SAS 14 rue de Provigny.

[89]: DESHAYES Matthieu « Guide pour l'établissement des Plans d'Assurance de la Qualité dans le cadre de la réalisation des stations d'épuration de type boues activées en lots séparés », Mémoire de Projet de Fin d'Etudes, université de Strasbourg Année universitaire 2007-2008, eprints2.insa-strasbourg.fr/409/1/memoire_PFE.pdf consulté le 18/01/2013.

[90]: Philippe Duchène cemagref « les systèmes de traitement des boues des stations d'épuration des petites collectivités », document technique FNDEA N°09, http://www.fndae.fr/archive/numero_9.htm.

[91]: (2001), « La stabilisation des boues de station d'épuration : techniques de mesure du procédé », office international de l'eau Développer les Compétences pour mieux Gérer l'Eau,

www.oieau.org/documentation/IMG/pdf/02-StabBoues.pdf consulté le 21/01/2013

[92]: décembre 2002, OIE (Office International de l'Eau), Stations d'épuration « dispositions constructives pour améliorer leur fonctionnement et faciliter leur exploitation », document technique FNDAE n°22 bis,

[93]: Helene.Janus (2009), «traitement des boues d'épuration sur lits plantes de roseaux », conseil général du Bas-Rhin,

<http://epnac.irstea.fr/wp-content/uploads/2012/08/Traitement-des-boues-de-station-d%C3%A9puration-sur-lits-de-s%C3%A9chage-plant%C3%A9s-de-roseaux-bilan-2009-D%C3%A9partement-du-Bas-Rhin.pdf>. Consulté le 21/01/2013.

[94]: mara et cairncross (1989), « l'irrigation avec des eaux usées et la santé », Presses de l'Université du Québec, <http://books.google.dz/books?id=PHvu4PfZku8C&pg=PA39&dq=mar+et+cairncross+1989+reutilisation&hl=fr&sa=X&ei=X8eTUbSBAYrjtQbn84GADg&sqi=2&ved=0CDYQ6AEwAg#v=onepage&q=mar%20et%20cairncross%201989%20reutilisation&f=false> consulté le 14/06/2013.

[95]: Rachid HABIB et Ouissam EL RHAZI (2007), « Impact sanitaire de la réutilisation des eaux usées », Université Cadi Ayyad Marrakech - Licence

LA BIBLIOGRAPHIE

http://www.memoireonline.com/07/08/1236/m_impact-sanitaire-reutilisation-eaux-usees0.html consulté le 15/05/2013.

[96] : Ecosse D. (2001) : Techniques alternatives en vue de subvenir à la pénurie d'eau dans le monde. Mém. D.E.S.S. « Qualité et Gestion de l'Eau ». Fac. Sc. Amiens http://www.memoireonline.com/07/08/1236/m_impact-sanitaire-reutilisation-eaux-usees6.html#_Toc16943117 consulté le 16/05/2013.

[97] : Lazarova V, CIRSEE - Lyonnaise des Eaux (1998) « La réutilisation des eaux usées : un enjeu de l'an 2000 » ; « L'eau, l'industrie, les nuisances », n°212.

[98] : François de Dardel (2010-2011). http://dardel.info/IX/index_FR.html consulté le 13/03/2013.

[99] : Eric « ÉCHANGEURS D'IONS », le candidat exposera les principes de l'échange d'ion sur résine, et ses applications, 2012 pcsi3.lycee-berthelot.fr/IMG/PDF/Resines_-_21_mai_12.pdf. Consulté le 14/03/2013.

[100] : T. V. ARDEN, F. de DARDEL, « Opérations Chimiques Unitaires, Echanges d'ions », Extraits des cahiers techniques de l'ingénieur.

[101] : (1992), « Echangeurs d'ions, résines absorbantes et catalyseurs destinés au traitement de l'eau et de solutions diverses, à l'épuration d'eaux résiduelles et à la chimie », Ed Bayer, Lewatit, n°10.

[102] : Erwan Beauvineau (2012), « TP 26 : Résines échangeuses d'ions – Complexométrie » bts.chimie.encpb.free.fr/11_12/TP/Gene/.../TPG23_resine_theorie.pdf consulté le 13/03/2013.

[103] : université technique de Delft (1993), Pays Bas <http://www.lenntech.fr/bibliotheque/echange/echangeur-ions-principes.htm> consulté le 13/03/2013.

[104] : fdanieau.free.fr/cours/BTS/A1/stbi/chapitre7/EchangeDions.pdf consulté le 13/03/2013.

[105] : Frédéric GRESSIER (2008), « Etude de la rétention des radionucléides dans les résines échangeuses d'ions des circuits d'une centrale nucléaire à eau sous pression », THESE pour obtenir le grade de Docteur de l'Ecole des Mines de Paris Spécialité « Hydrologie et Hydrogéologie Quantitatives, édition MINES PARISTECH.

[106] : Nasreddine (2012), « fonctionnalisation ».

www.dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/.../Partie-theorique-Chapitre3.pdf consulté le 14/03/2013.

[107] : R Desjardin (1988), « traitement des eaux », 3^{ème} trimestre.

LA BIBLIOGRAPHIE

- [108]: Djamel Mehaoui, Miloud Larbi Cherif, (2003), « déminéralisation et adoucissement de l'eau en échangeant le Ca^{2+} par le Na^+ », mémoire de PFE pour l'obtention du diplôme des études universitaires appliquées en hydraulique.
- [109]: Thomas Victor Adren et François Dardel « opérations chimiques unitaires échange d'ion
- [110]: Bulletin technique (pilote TE100).
- [111]: Abdiche Dehiba (2005), « déminéralisation des eaux par échange ionique », Mémoire PFE en hydraulique, université de Tlemcen.
- [112]: « chromatografie », (2008),
www.emse.fr/~moutte/ecole/chromato/ChromatoIntro.pdf consulté le 26/02/2013.
- [113]: Bureau d'Etudes Industrielles Energies Renouvelables et Environnement (2008-2009), édition BEIERE.
<http://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD0809/bei/beiere/groupe4/node/124> consulté le 21/03/2013.
- [114]: Anred DITS (1988) : agence nationale pour la récupération et élimination des déchets. Les déchets des industries du traitement de surface.
- [115]: La Corrèze et la ville de Brive la Gaillarde Bureau d'Etudes Industrielles Energies Renouvelables et Environnement (2008-2009)
<http://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD0809/bei/beiere/groupe4/node/124> 14/03/2013.
- [116]: université technique de Delft (1993), Pays Bas.
<http://www.lenntech.fr/procedes/adoucissement/adoucissement.htm> consulté le 05/03/2013.
- [117]: L.Jrmain, I.Colas, j.Rouquet « traitement des eaux destinée à l'alimentation des chaudières à vapeur aux circuit de réfrigération est aux réseaux de distribution d'eau industrielle et potable », 5^{ème} édition.
- [118]: (2009), « Résine à échange ionique » ;
www.carloerbareagenti.com/Repository/.../catchem100_13_Resine_fr.pdf consulté le 12/06/2013.
- [119]: François de Dardel (2012), « Applications des résines échangeuses d'ions Guide élémentaire »
http://dardel.info/IX/applications_FR.html consulté le 03/05/2013.