



Licence Sciences et Techniques : Eau et Environnement

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du Diplôme de Licence Sciences et Techniques

L'Intérêt et les processus du traitement des eaux douces

(TED).

Présenté par:

Sarti otmane et Houssam mezroub

Encadré par:

- Mr benhamida, OCP,
- Mr abderrahim lahrach, FST - Fès

Soutenu Le 13 Juin 2013 devant le jury composé de:

- Mr. A.Lahrach
- Mr. K.Soud Ahmed
- Mr. S.Hinaje

Stage effectué à :OCP, Jorf lesfar

Avant propos :

Pour permettre un lien entre la pratique et la théorie, il est nécessaire d'effectuer un stage afin d'obtenir un élargissement des connaissances et une amélioration des capacités.

Par ailleurs, un étudiant ne peut faire évoluer ses connaissances qu'après avoir confronter le monde de travail d'où la nécessité du stage lors d'une formation puisqu'il permet de s'associer à la vie professionnelle en élevant le niveau des connaissances techniques et d'acquérir une meilleure maîtrise des exigences pratique du métier exercé.

Afin d'accomplir cette mission et de réaliser ces objectifs, nous avons passé presque un mois de stage au sein de la centrale thermique du secteur [Jorf Lasfar](#).

Ça nous a permis de comprendre l'organisation et la hiérarchie professionnelle ainsi d'avoir une idée générale sur la vie et l'entreprise .Il nous a permis d'améliorer certaines capacités chez nous comme la communication, le travail en groupe et le sens des relations humaines. L'objectif de ce stage est donc de maitriser les notions reçues durant la formation dans un cadre d'initiation à l'activité dans la vie professionnelle.

Table des matières

Remerciement.....	1
Avant propos.....	2
Objectif du travail.....	6
Introduction générale.....	7

Chapitre1 : pourquoi le traitement des eaux ?

- Introduction.....	9
1-1 L'Entartrage.....	10
1-2 La corrosion.....	10
1-3 L'érosion.....	12
1-4 Le primage.....	12

Chapitre2 : Production d'eau filtrée

- Présentation.....	14
1) -Propositions pour l'amélioration de la qualité d'eau brute (prétraitement avant le filtrage)	
1 -1- Coagulation, floculation.....	15
- Coagulant.....	15
- Flocculant.....	15
1-2 Décantation.....	16
2)- Filtration	16
2-1) filtre à sable	18
2-2)filtre à charbon	19

3)- Utilisation de l'eau filtrée	20
- Production d'eau potable.....	20
- Production d'acide phosphorique.....	20
- Production d'eau déminéralisée	21
👉 Conclusion.....	21

Chapitre3 : Production d'eau déminéralisée

1 - caractéristiques de l'eau.....	24
2 - Pourquoi la déminéralisation ?.....	26
3 - unité de déminéralisation.....	27
3 -1- description de procédé	28
3 - 2- résine échangeuse d'ions.....	30
3 - 3- les mécanismes réactionnels	31
4 - Méthodes de régénération.....	33
🚧 -Régénération à Co-courant.....	33
🚧 - Régénération à contre courant.....	34
-Analyses effectuées au laboratoire.....	35
5-Propositions d'amélioration de la productivité des chaînes.....	35
5 - 1- Qualité d'eau filtrée.....	35
5 - 2 - Conditions de régénération.....	36
5- 3 - Etat des résines.....	36
5 - 4 - Elimination de CO2.....	36
CONCLUSION.....	37

👉 Conclusion générale.....	38
Bibliographie.....	39
- Liste des abréviations.....	40
- Liste des figure	41
- Liste des tableaux.....	41

Introduction générale

Ce travail porte sur le traitement d'eau effectué à l'atelier de traitement des eaux douces (TED) au Maroc Phosphore D'El-Jadida qui produit de l'eau de différentes qualités. Les principales phases de traitement sont successivement, la filtration et la déminéralisation.

La filtration :

Au cours de cette phase l'eau se passe à travers des filtres à sables, ces derniers assurent que l'eau qui en sort respecte les normes en vigueur, en ce qui concerne la turbidité. Les virus et les bactéries peuvent toutefois passer au travers des filtres.

La déminéralisation :

C'est au cours de cette deuxième étape que se réalise l'élimination des ions par l'échange d'ions. Il s'agit d'une technologie nettement efficace pour l'élimination d'impuretés dans l'eau et dans des solutions diverses. Cette technique s'avère pratiquement indispensable pour toute production de l'eau d'extrême pureté dans de nombreuses industries.

La détermination des caractéristiques essentiels de la qualité d'eau produite (les normes à respecter)

Ainsi faire des analyses de l'eau brute , filtrée et des effluents et faire une étude comparative des différents types d'eau produites .

⇒ **Objectif du travail :**

L'objectif du présent travail consiste à :

- 1)-déterminer l'objectif de la déminéralisation d'eau brute qui alimente les chaudières pour but de crée la vapeur HP, nécessaire à la production d'électricité dans l'usine .
- 2) - faire une description de l'atelier de traitement des eaux douces de MP 3 & 4 ;

- 3)- faire des analyses des différents type eaux produites dans la station (TED) .
- 4) -proposer les actions supplémentaires pour améliorer la productivité des chaînes.
- 5)- proposer des actions d'amélioration possibles pour une meilleur exploitation de la résine .

Chapitre1 : pourquoi le traitement des eaux

INTRODUCTION :

Le but est de produire à partir de l'eau déminéralisée une eau de très grande pureté pour l'alimentation des chaudières du complexe. (les trois chaudières du sulfurique + la chaudière auxiliaire de la centrale). Avant de passer à l'étape de dessilication l'eau déminéralisée traverse le dégazeur de haut en bas à contre courant avec l'air atmosphérique aspiré par le ventilateur, le but est d'éliminer par désorption le gaz carbonique dissout dans l'eau déminéralisée, afin d'éviter le problème de corrosion. L'eau dégazée quitte la colonne vers l'installation de dessilication.

L'installation comporte 3 échangeurs d'ions à lits mélangés, (mixed-bed)

dimensionné chacun pour assurer un débit continu utile de 150 m³/h .

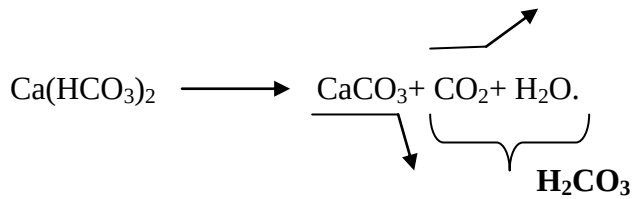
Indépendamment de son utilisation, la qualité de la vapeur dans ces opérations est fondamentale, en étant dépendante principalement, d'une bonne qualité de l'eau utilisée pour produire cette vapeur .

Pour répondre à cette question, nous allons auparavant connaître les quatre grands ennemis des systèmes de générateurs de vapeur :

- * Les entartrages ;
- * La corrosion;
- * Le primage.
- * L'érosion.;

l'entartrage

a) Définition : C'est la précipitation sur les parois chaudes des sels contenus dans l'eau d'alimentation, principalement suite à la **rupture de l'équilibre carbonique**:



b) Conséquences : ces dépôts provoquent:

- Diminution du **rendement thermique** du fait de la très mauvaise conductibilité thermique des tartres formés.
- **surchauffe** systématique du métal pour maintenir le taux de transmission thermique nominal d'où une diminution de la résistance mécanique des tubes.
- Risque de "coup de feu" suivi **d'éclatement des tubes**.

La Corrosion

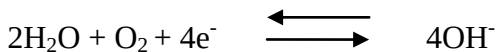
a) Action de l'oxygène:

L'action se fait par la création d'une pile au niveau de la surface du métal.

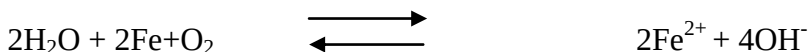
A l'anode on, a Oxydation



A la cathode on a réduction



La réaction globale est :

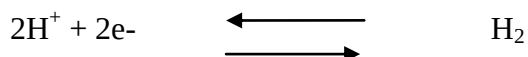


b) Action de L'hydrogène :

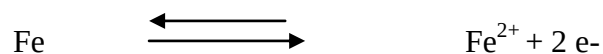
L'eau se décompose en ion H^+ et OH^- selon la réaction :



Les ions H^+ qui proviennent de l'eau se transforment suivant la réaction :



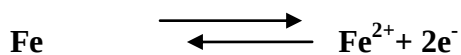
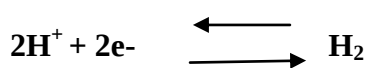
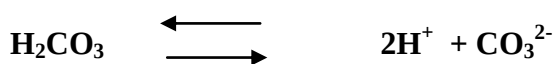
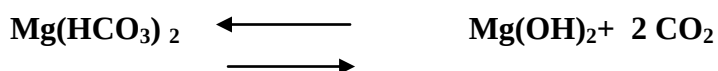
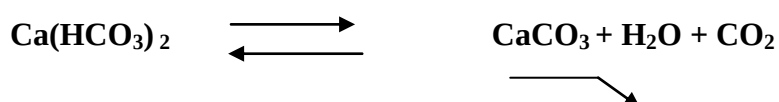
Ces deux réactions proviennent de l'oxydation du fer



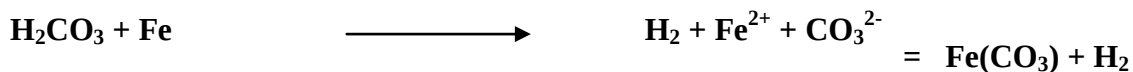
La réaction globale est :



C) Action de CO₂ libre résultant de la rupture de l'équilibre carbonique.



Corrosion hydrogène



le primage

Au cours de la vaporisation, la salinité et la viscosité augmentent; la formation des bulles de vapeur qui n'éclatent pas à la surfacent de l'eau et s'échappent à travers les tôles perforées conduit à l'entraînement de l'eau avec la vapeur.

Ces entraînements des vésicules sont gênants pour plusieurs raisons :

- ✓ Création de balourd au niveau de la turbine avec apparition de vibrations sollicitant les arbres en flexions alternées.
- ✓ Usures anormales des pièces tournantes dues à l'érosion du métal par ces dépôts solides
- ✓ Augmentation des risques de corrosion des pièces métalliques.
- ✓ Les sels entraînés par primage se retrouvent dans les condensats et favorisent ainsi la corrosion sur les lignes de retour de ces condensats
- ✓ La présence d'impuretés dans la vapeur en cas d'utilisation comme réactif.

l'érosion et/ou le colmatage :

Le colmatage et l'érosion ont deux causes principales:

- La présence de matières en suspension dans l'eau
- La prolifération d'algues, champignons et bactéries dans les circuits de refroidissement

Conséquences : gêne de la circulation de l'eau qui à la limite conduit à l'arrêt total nécessitant des démontages

Actions de préventions: Conception des conduits, dégrillage, filtration et curage des conduits par utilisation de biocides ou anti-algues

Chapitre2: Production d'eau filtrée

Présentation :

L'installation de traitement des eaux douces est destinée à la production à partir de l'eau brute (WW) provenant de l'ONEP à travers le château d'eau vers un bassin d'où le départ du traitement, de l'eau filtrée (WFI), de l'eau désiliciée (WDS) et de l'eau potable (WD) et à partir des condensats de l'eau traitée (WDP).

1)-Propositions pour l'amélioration de la qualité d'eau brute (prétraitement avant le filtrage)

1 -1 – Coagulation, floculation

La coagulation et la floculation sont au cœur du traitement de l'eau potable. Il s'agit ici du traitement secondaire que nous effectuons sur une eau brute suivant le dégrillage et le dessablage. Premièrement, nous ajoutons un coagulant, un produit qui aura pour effet de neutraliser la charge des particules colloïdales (responsables entre autres de la couleur et turbidité) de façon à ce qu'elles ne se repoussent plus les une des autres. Le coagulant est ajouté juste avant ou dans un bassin à mélange rapide pour un effet plus rapide.

Une fois cette étape accomplie, nous injectons un flocculant ou aide coagulant qui aura pour effet d'agglutiner toutes les particules devenues neutres, c'est-à-dire les rassembler pour qu'elles forment des flocons assez lourds pour se sédimenter par eux-mêmes (Fig.4). Cette étape a lieu dans un réacteur.

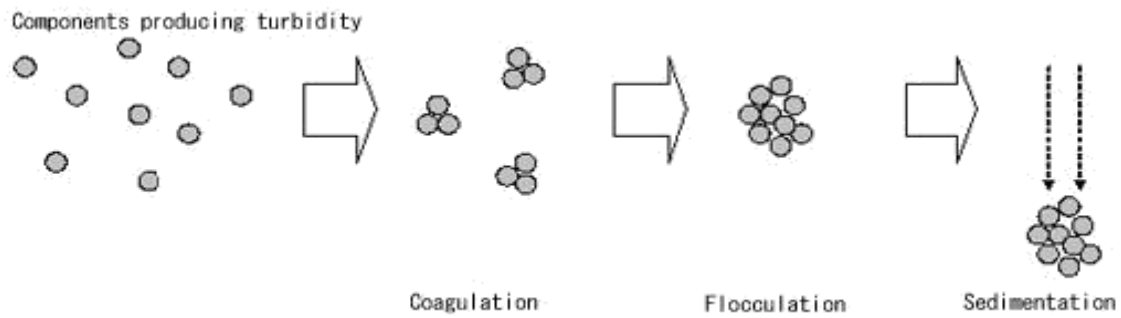


Figure 1 : Schéma illustrant les processus de coagulation, flocculation et de sédimentation (www.gls.fr)

👉 - Coagulant

Les coagulants classiques sont des électrolytes de charge opposée à celle de la particule colloïdale et qui, par neutralisation électrique, provoqueront la coalescence (Photo1). Pour le traitement des colloïdes rencontrés dans la quasi-totalité des eaux, l'aluminium réagit avec l'alcalinité de l'eau pour former un précipité d'hydroxyde d'aluminium suivant la réaction :

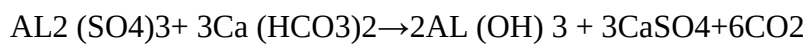


Figure2 : du coagulant (sulfate d'aluminium)

👉-Flocculant

C'est un polymère qui emprisonne les matières colloïdales agglomérées et forme ainsi des flocons volumineux qui se déposent par gravité. Il est ajouté après la coagulation pour augmenter davantage la taille et la cohésion des flocs.

1-2- décantation

Cette étape suit la coagulation et la floculation et précède la filtration. Une fois le floculant ou aide coagulant injecté et mélangé à l'eau, cette dernière est dirigée vers les bassins de sédimentation aussi appelés décanteurs.

Ce sont de gros bassins avec un temps de rétention assez élevé pour permettre aux flocons qui formaient la turbidité et la couleur de couler au fond du bassin et de s'accumuler pour former de la boue qui devra être régulièrement extraite pour prévenir les accumulations. L'ajout de ces réactifs de coagulation et de floculation ne suit pas une règle

2- Filtration :

Le traitement d'eau brute est destiné à éliminer les matières en suspension et les matières organiques de cette eau.

-L'eau potable subit une filtration sur des filtres à sable suivie d'une filtration sur des filtres à charbon actif.

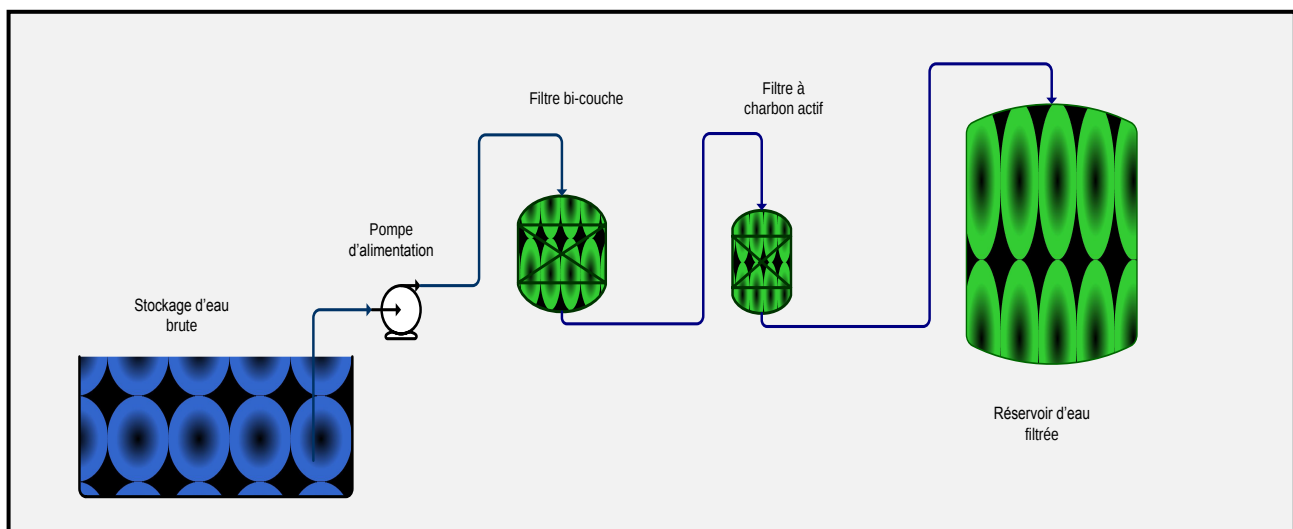


Figure 3 : Schéma d'une chaîne de filtration

2-1)-Filtration primaire sur filtres à sable

La filtration sur sable est une filtration en profondeur qui offre à surfaces et vitesses égales une capacité de rétention des matières en suspension 2 à 4 fois supérieure à celles des filtres à simple lit, ces filtres sont caractérisés par un diamètre 4200mm et une vitesse de filtration voisine de 15m/h au débit de 200m³/h.

Le filtre à sable contient:

- **Une couche de silex** comme support de hauteur 200 mm et de granulométrie entre 0,6 à 1,6 mm
- **Une couche du sable quartzite** de hauteur 600 mm et de granulométrie entre 0,4 à 1mm
- **Une couche de l'antracite** de hauteur 400 mm et une granulométrie de 0,5 mm

Ces couches sont superposées et permettent de retenir les matières en suspension présentes dans l'eau, c'est un phénomène physique.

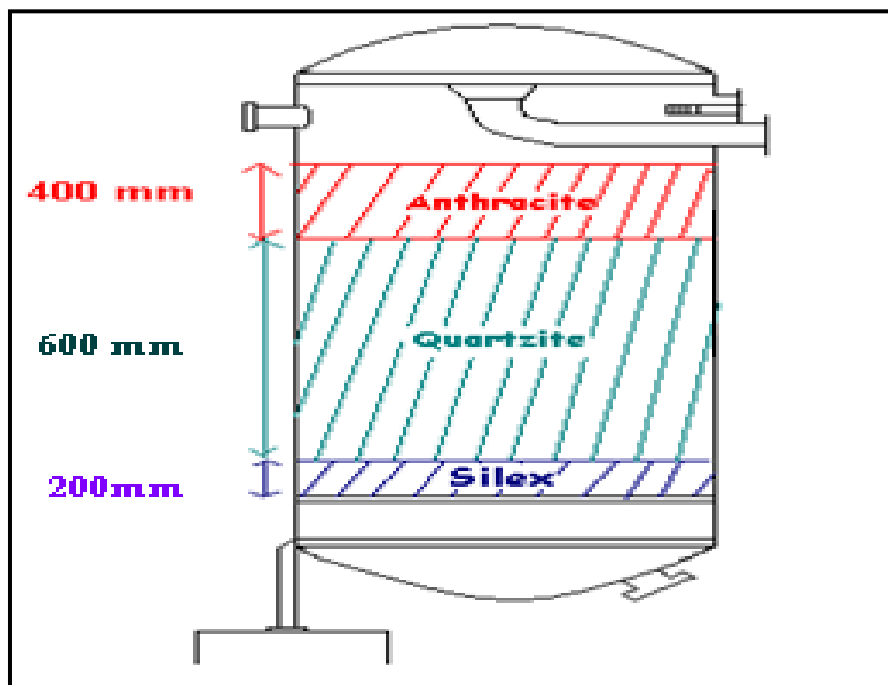


Figure 5: composition des couches d'un Filtre à sable

2-2)-Filtration complémentaire sur filtres à charbon

L'eau provenant de l'installation précédente est dirigée vers les chaînes de filtres à charbon actif avant d'être stockée dans un bac réservé à l'eau filtré, la filtration sur charbon actif a pour but d'éliminer les matières organiques susceptibles d'empoisonner les résines échangeuses d'ions situées en aval et tout spécialement les résines anioniques. Les matières organiques présentes dans les eaux sont le plus souvent constituées de grandes molécules d'acides carboxyliques à plusieurs fonctions. Ces grandes molécules pénètrent dans les échangeurs d'anions, viennent se fixer sur les zones les plus fortement réticulées et y restent prises au piège, leur propre chaîne s'emmêlant autour du squelette de la résine. Ceci réduit la capacité des échangeurs d'anions, car on n'arrive plus à les « décrocher », et conduit à des difficultés de rinçage et à des problèmes de qualité d'eau traitée.

Le poste de filtration complémentaire comporte quatre filtres verticaux fonctionnant sous pression de diamètre 3500 mm et remplis d'une couche de 1600 mm de charbon actif.

Tableau 1 : Caractéristiques du filtre à charbon actif

Type de couche	Charbon Actif
Rôle de couche	Couche filtrante
Granulométrie	0,8mm
Hauteur de couche	1600mm
Volume en m ³	10,47
Densité	1,5 kg /m3

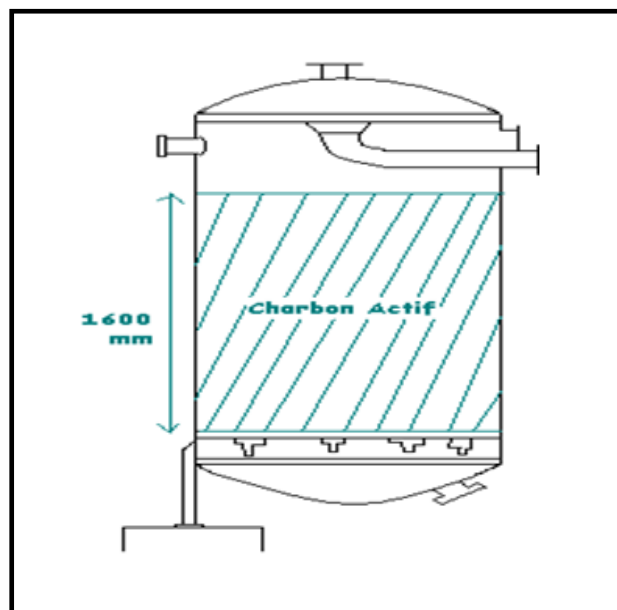


Figure 6: composition des couches d'un
Filtre à charbon actif.

3 - Utilisation de l'eau filtrée

L'eau filtrée produite par le complexe MP3 et 4 est destinée à:

→ La production d'eau potable

Pour obtenir l'eau potable l'eau filtrée va passer dans des bacs pour être désinfectée à l'aide de l'eau à javel, ensuite elle va traverser le charbon actif (phot.2) pour éliminer l'odeur.

Le charbon est un composé à haute teneur en carbone, adsorbe beaucoup de composés dont certains toxiques. Le chlore est éliminé par catalyse et les organites sont dissous par adsorption. L'eau est passée à travers du charbon actif, issu de la noix de coco ou du charbon, pour la purifier de ces composés. Elle permet aussi d'éviter le colmatage par les composés organiques dissous.



Figure 7: Charbon actif utilisé pour la production de l'eau potable

→ La production d'acide phosphorique.

MOIS	production (P₂O₅)	cons eau brute (m³)
Janv.	37215	546668
Fevr	34279	512360
Mars	44791	609820
Avr	41316	604020
Mai	52509	702400
Juin	52524	708480
Juil	54368	723175
Août	54009	790195
Sept	48512	698526
Oct.	32456	522984
Nov.	44900	655720
Déc.	49583	685334
Janv.	42073	671133
Févr.	36537	600183
Mars	50025	741701
Avr	48200	705407
Mai	44476	663750

Tableau 2 : suivi mensuel de consommation de l'eau brute en fonction du P₂O₅

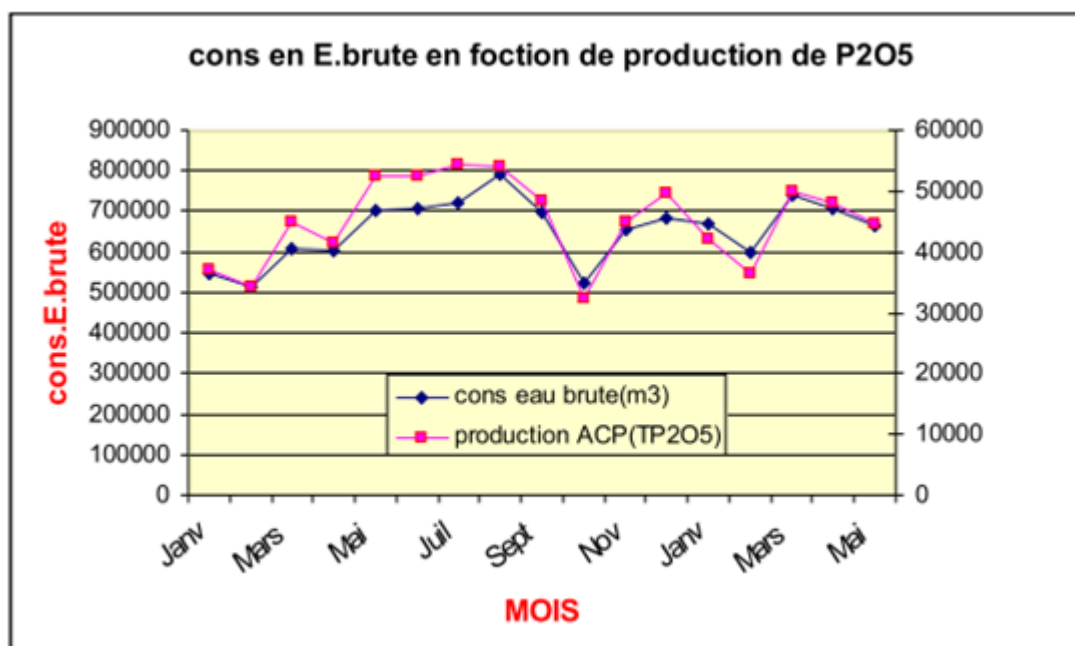


Figure 8 : consommation d'eau brute en fonction de production du P_2O_5

→ La production d'eau déminéralisée.

L'eau filtré passe par une unité de déminéralisation pour éliminer les minéraux et les sels quelle contenait à l'origine. L'eau déminéralisée est utilisée pour des applications nécessitant une eau avec peu de sels et une conductivité faible tels que les chaudières.

Conclusion :

Le processus de coagulation floculation a fait apparaître divers mécanismes, souvent complexes et dépendant fortement du pH de l'eau à traiter, il a des avantages par le fait qu'il est:

- Très économique;
- Particulièrement efficace;
- Dimensions des installations réduites;
- Les rendements sont excellents sur les Matières en Suspension et bons sur les matières Oxydables;
- Exploitation très facile;
- Mise en service et arrêt instantané;
- peu de mécanique et électricité.

En revanche l'atelier TED connaît un problème de manque des appareils de suivi tels que :

- le turbidimètre pour l'ajustement des paramètres physico-chimiques de l'eau;
- des appareils pour le dosage du coagulant.

Chapitre 3: Production d'eau déminéralisée

1 - Caractéristiques de l'eau :

La compréhension des divers traitements à appliquer à l'eau, nécessite une connaissance sommaire de la chimie de l'eau.

Le choix du type de traitement à faire subir à l'eau d'appoint peut aller du simple conditionnement jusqu'à la déminéralisation totale permettant de fournir une eau de haute pureté avec une teneur en silice SiO_2 de quelque microgrammes /litre .

Aussi, trois facteurs détermineront le mode de traitement pour l'eau d'appoint qui sont : la **dureté**, l'**alcalinité** et la **teneur en silice**.

- La dureté est liée aux conséquences du primage, elle doit être limitée pour diminuer au maximum les risques d'entraînement des sels dans la vapeur.

- L'alcalinité conditionne le phénomène de primage qui se traduit par s'entraînement des gouttelettes d'eau avec la vapeur au delà de la chaudière.

- La teneur en silice conditionne deux phénomènes :

- * le phénomène de précipitation de la silice dans la chaudière si l'alcalinité n'est pas suffisante pour permettre de maintenir la silice sous forme de silicate soluble ;

- * le phénomène d'entraînement par la vapeur de la silice ; ce phénomène est totalement indépendant du premier et se produit à partir d'une température de 250°C ; notamment pour des chaudières ayant une pression de fonctionnement supérieure à 40 bars.

Unités de mesure :

En chimie de l'eau, on utilise différentes unités pour exprimer les concentrations.

Milliéquivalent par litre

Généralement, les résultats d'analyses sont évalués en équivalent gramme par litre.

L'équivalent-gramme est le quotient de la masse de l'atome gramme par la valence.

Pratiquement, pour éviter les décimales, on prend pour unité le **milliéquivalent par litre** dont la notation abrégée s'écrit (méq/l). C'est la concentration d'une solution N/1000.

↳ **Degré français**

Dans la pratique du traitement de l'eau, on utilise le degré français qui correspond à la concentration d'une solution N/5000.

$$1\text{méq/l} = 5^\circ\text{F}$$

↳ **La dureté de l'eau :(TH)**

Le titre hydrométrique (TH) indique la teneur globale en sel de calcium et de magnésium qui sont responsables de la dureté de l'eau. Dans la plupart des eaux naturelles, le calcium contribue au TH dans la proportion de 70 à 90%.

On distingue :

- le TH totale : totalité des sels de calcium;
- le TH magnésien : totalité des sels de magnésium;
- le TH temporaire ou encore dureté carbonatée correspond aux carbonates et bicarbonates de calcium et de magnésium susceptibles de précipiter par ébullition;
- le TH permanent ou dureté non carbonatée correspond au sulfate et au chlorure de calcium et magnésium stables.

Les carbonates de calcium et de magnésium étant très peu solubles, la dureté carbonatée est donc due généralement aux bicarbonates.

Une élévation la température supérieure à 60°C transforme les bicarbonates en carbonates insolubles, ce qui rend l'eau entartée.

↳ **Alcalinité de l'eau :(TA et TAC)**

Le titre alcalimétrique (TA) et titre alcalimétrique complet (TAC): ces deux valeurs permettent de connaître les concentrations en bicarbonates, carbonates et éventuellement en hydroxydes (bases fortes) contenues dans l'eau.

Le TA dose la totalité des hydroxydes et la moitié des carbonates qui sont alors entièrement transformés en bicarbonates à un PH de 8,3.

↳ **Titre en acides forts (TAF)**

Il est utilisé lorsque l'eau est décationnée en cycle hydrogène, il mesure donc l'acidité liée aux sulfates, chlorures et nitrates: c'est à dire les concentrations en acides sulfuriques, chlorhydriques, et nitriques.

2 - Pourquoi la déminéralisation ?

Une opération suffisamment commune dans l'industrie est la génération de vapeur, normalement utilisée pour la production de travail mécanique en turbines (vapeur surchauffée) ou dans des processus de chauffage, dans lequel s'emploie la vapeur saturée.

Indépendamment de son utilisation, la qualité de la vapeur dans ces opérations est fondamentale, en étant dépendante d'un dimensionnement correct des lignes de distribution, des purges, des valves, des accessoires et, principalement, d'une bonne qualité de l'eau utilisée pour produire cette vapeur.

- Les incrustations sont dues à l'augmentation de concentration de sels et à d'autres substances dissoutes et suspendues dans l'eau, vu que ces matières ne sortent pas conjointement de la vapeur dans des conditions normales d'opération.

Après avoir atteint le point de saturation, ces substances (principalement les sels de calcium et de magnésium, dureté, et silice) précipitent, et forment un agrégat très dur et adhérent aux surfaces d'échange thermique des chaudières. Comme conséquence, nous avons une diminution du transfert de chaleur, une augmentation de la consommation de combustible et

une chute de la production de vapeur, pouvant même causer une rupture de tuyauteries due au sur chauffage.

Pour éliminer ce sérieux inconvénient, on doit procéder à un traitement chimique interne de l'eau.

- La corrosion dans des chaudières, en règle générale, est causée par la présence de gaz dissous (principalement l'oxygène) et sa réaction avec le fer présent dans l'acier de l'équipement. Comme mesure préventive, est effectué le dégazage de l'eau d'alimentation de la chaudière, à travers des méthodes mécaniques (dégazage) complétées chimiquement par l'addition de séquestrant d'oxygène. Nous rappelons que, pour des chaudières à hautes pressions, la corrosion et l'érosion sont devenues les préoccupations principales du traitement, vu que les étapes de prétraitement d'eau de ces chaudières sont obligatoires et les incrustations normalement présentes sont d'origines résiduelles et dues à la corrosion (tel que l'oxyde de fer).

3 - Unité de déminéralisation

Principe de la déminéralisation :

Il consiste à l'élimination quasi-totale des ions présents dans l'eau filtrée et nécessite pour cela la mise en œuvre d'échangeurs anioniques fortement basique à la suite des résines cationiques et éliminateur de CO₂. La qualité de l'eau déminéralisée dépend essentiellement du taux de régénération de l'échangeur cationique. En effet, la fuite ionique responsable de la conductivité, est constituée par une trace de soude caustique, provenant de l'échangeur de cations. De celle-ci dépend la teneur en silice dans l'eau effluente, car il se produit un phénomène d'auto régénération sur la couche de la résine fortement basique ayant fixée la silice.

L'installation du TED comprend quatre chaînes A ,B,C et D ,de déminéralisation identiques, capables de traiter chacune 180 m³/h d'eau déminéralisée. Chaque chaîne est constituée :

- D'un échangeur cationique;
- D'un éliminateur de CO₂ ou dégazeur atmosphérique;
- D'un échangeur anionique.

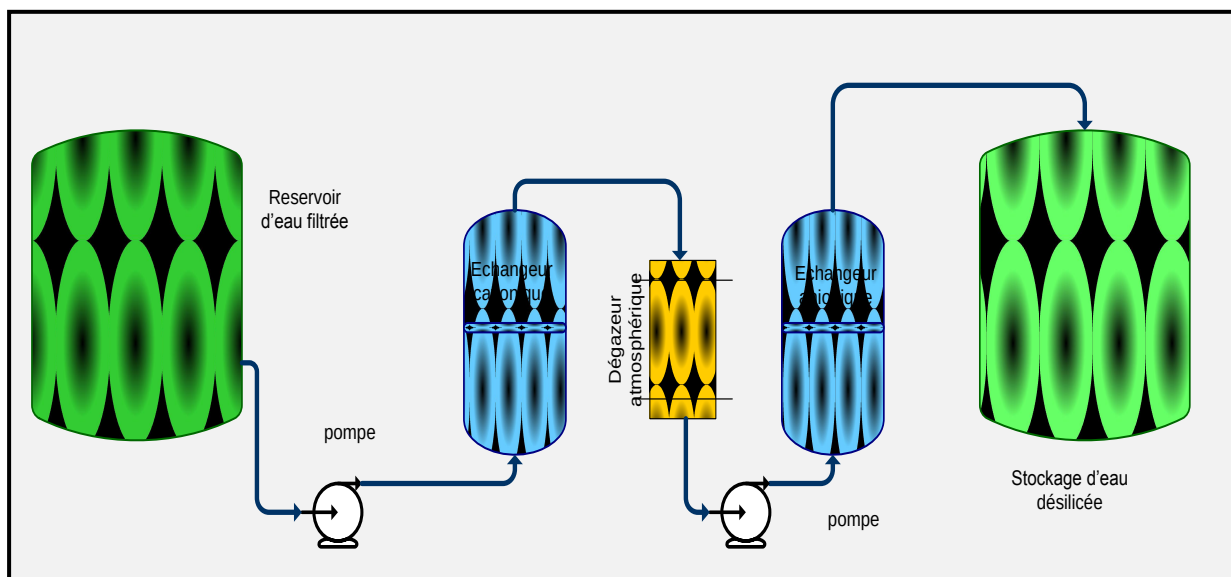


Figure9 : Schéma d'une chaîne de déminéralisation

3- 1- Description du procédé

L'atelier de traitement des eaux de MAROC PHOSPHORE 3 et 4 dispose d'un poste de déminéralisation totale destinée principalement à la production de l'eau désilicée nécessaire à la marche du complexe. L'eau désilicée est utilisée comme eau d'appoint pour l'alimentation des chaudières de l'atelier sulfurique et des chaudières à Fuel.

La déminéralisation totale consiste à éliminer tous les ions présents dans l'eau filtrée par l'utilisation de résine échangeuses d'ions. Pour cela, l'atelier dispose principalement de (voir annexe) :

- quatre chaînes de déminéralisation totale (A, B, C, D) chaque'une est composée d'un échangeur cationique , dégazeur, et échangeur anionique

-Constitution de l'échangeur cationique

L'échangeur cationique a un diamètre de 2600 mm, il est chargé de résine sulfonique à fonction fortement acide et a comme principe, l'échange du radical H^+ avec les ions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+).

Il comprend trois cellules de résines cationiques fortes, superposées séparées par des planchers

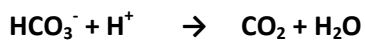
crépines pour éviter le mélange des résines de différentes cellules. Il est équipé d'un ensemble des vannes et des manomètres.

- Constitution de du dégazeur

Bien qu'il ne s'agisse pas d'échange d'ions proprement dit, le dégazage atmosphérique (ou l'élimination de CO₂) est une composante essentielle d'un chaînage d'échange d'ions.

Il sert à éliminer le CO₂ dissous dans l'eau, il est équipé d'un ventilateur qui assure en continu l'alimentation en air du bas vers le haut à travers un garnissage (les anneaux rashig) pour dégager le CO₂.

En présence de bicarbonates HCO₃⁻ l'acidité libérée conduit à la formation de CO₂ selon la réaction suivante :



Le dioxyde de carbone produit pourra être ensuite éliminé par un dégazage physique dans un dégazeur atmosphérique, par la pulvérisation de l'eau dans un courant d'air.

-Constitution de l'échangeur anionique

L'échangeur anionique a un diamètre de 2400 mm,

Il est divisé en deux couches :

- **Cellule inférieure** : contient une couche anionique faible.
- **Cellule supérieure** : contient une couche anionique forte.

L'échangeur anionique échange le radical OH⁻ et fixe les anions (HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻...).

La régénération est faite à contre courant par la soude diluée à 3% (concentration effective à l'entrée de la colonne).

L'eau désiliciée stockée dans le réservoir 125IR04 a les caractéristiques suivantes :

- Conductivité : < 5µs cm-1 ;
- PH= 7.

La résine anionique faible permet la fixation des

anions d'acide fort (élimination du SAF); et la résine anionique forte permet de capter tous les anions et la silice.

Le cycle de production de l'eau déminéralisée continue jusqu'au passage d'un volume d'eau précis à travers la chaîne de déminéralisation, ce volume est déterminé suivant la relation contractuelle suivante:

$$V_p = \frac{(1440 \cdot 53,4)}{TAF}$$

Avec :

V_p : Volume d'eau filtrée qui traverse la résine pendant un cycle de production en m³ ;

1440 : Représente le cycle brut de production (180 m³/h*8h) en m³ ;

53,4 : Le TAF contractuel en °F ;

TAF (Titre en Acides Fort) : Représente le TAF mesuré à la sortie de l'échangeur cationique en °F.

L'eau à la sortie de la chaîne de déminéralisation doit avoir la qualité suivante :

Silice	<i><= 0.02 mg/l</i>
CO₂ libre	<i>10 ppm sortie de dégazeur</i>
pH	<i>7 à 8</i>
Débit	<i>180 -200 m³/h</i>
Salinité totale	<i>1 mg/l</i>
Conductivité	<i>5 uS/cm</i>

Tableau 3 : Caractéristiques d'eau déminéralisée

3-2- Les résines échangeuses d'ions

Ce sont de minuscules billes de plastique, d'un diamètre d'environ 0,6 mm. Ces billes sont poreuses et contiennent de l'eau, invisible et inamovible. La structure de la résine est un polymère (comme tous les plastiques) sur lequel un ion fixe a été fixé de façon permanente. Cet ion ne peut pas être enlevé ou remplacé : il fait partie de la structure. Pour préserver la neutralité électrique de la résine, chacun de ces ions fixes doit être neutralisé par un contre ion de charge opposée. Ce contre ion est mobile et peut sortir de la résine ou y entrer.

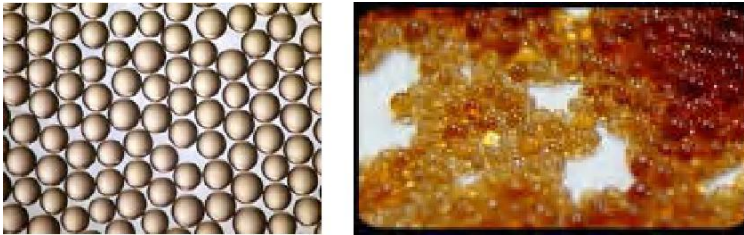


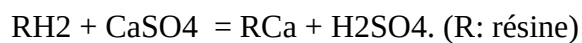
Figure 10 : schéma de résines échangeuses d'ion. Une résine a la taille d'une bille de 0,6 mm de diamètre.

3-3- Mécanismes réactionnels de la résine.

☞ Un échangeur cationique fort (CF)

Contient une résine cationique fortement acide qui est destinée à éliminer de l'eau les ions positifs (Ca^{++} ; Mg^{++} ; Na^{++}) en les échangeant contre des ions H^+ .

Exemple:



L'eau sortant de cet échangeur est nommée eau décationique. Elle a pour caractéristiques:

TH= 0; PH= 3; TAF= 60°F

☞ **Un échangeur anionique faible (Af)** contenant une résine anionique faiblement basique (type Lewait MP64), destinée à éliminer de l'eau sortant du cationique les sels d'acide fort (SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^{2-}) par échange avec des ions hydroxyde (OH^-).

Exemple:

L'eau recueillie après cet échangeur est considérée comme une eau déminéralisée. Elle a les caractéristiques suivantes:

TH= 0; PH= 5.5-7.5; conductivité < 30µS/cm.

Une partie de cette eau est utilisée pour les ateliers comme eau de procédé.

☞ **Un dégazeur**

Ce dégazeur est inséré entre l'anionique faible et fort et est chargé d'éliminer une partie du CO₂ présent dans l'eau avant son passage vers l'anionique fort. Le dégazage est réalisé par insufflation d'air à travers l'eau.

☞ **Un échangeur anionique fort (AF)** contenant une résine anionique fortement basique destinée à éliminer de l'eau sortant de l'anionique faible les sels d'acide faible tels que les carbonates(CO₃²⁻), l'acide silicique (SiO₃) qui sont échangés contre les ions hydroxydes de l'échangeur.

L'eau recueillie après cet échangeur est considérée comme presque désiliciée. Elle a pour caractéristique:

TH= 0; TAF= 0; PH= 8; cond. Électrique < 15µS/cm

☞ **Un échangeur à lit fixe mélange (ou Mixed Bed)** contenant un mélange de résines fortement acide et de résine fortement basique, chargé d'assurer la finition de la déminéralisation totale de l'eau destinée à l'alimentation des chaudières. L'eau à la sortie du Mixed Bed a pour caractéristiques:

TH= 0 ; TAF= 0; TAC= 0; SiO₂ < 0.02ppm; PH = 6.5 -7.5; cond. électrique < 1µS/cm

Après un cycle de production, la résine est saturée par les ions retenus et perd sa capacité d'échange. La saturation de la résine est mise en évidence par une augmentation de la conductivité de l'eau produite ou par la présence de traces de silice à la sortie de Mixed Bed.

On doit alors arrêter la production de la ligne épuisée et effectuer une régénération de la résine. La régénération consiste à faire circuler une solution régénérant à travers la résine pour la ramener à son état initial. Ainsi, la résine cationique est régénérée par une solution d'acide sulfurique et la résine anionique par une solution de soude caustique.

4 - Méthodes de régénération.

Régénération à Co-courant

Au cours de cette opération (Fig.8), la solution régénérante est d'abord mise en contact de couches d'échangeurs d'ions saturées (zone B), qui vont être chassées de la résine, ce régénérant est ensuite transporté vers des couches d'échangeurs d'ions qui sont dans un état de moindre saturation sur lesquelles se fixe de nouveau en permutation avec des ions de la zone A.

Il apparaît donc que, pour une régénération totale de l'échangeur d'ions, il est pratiquement nécessaire de faire subir une double permutation à une quantité d'ions correspondant au rapport A/B.

Enfin, si la quantité de régénérant est limitée, les couches inférieures ne sont pas parfaitement régénérées.

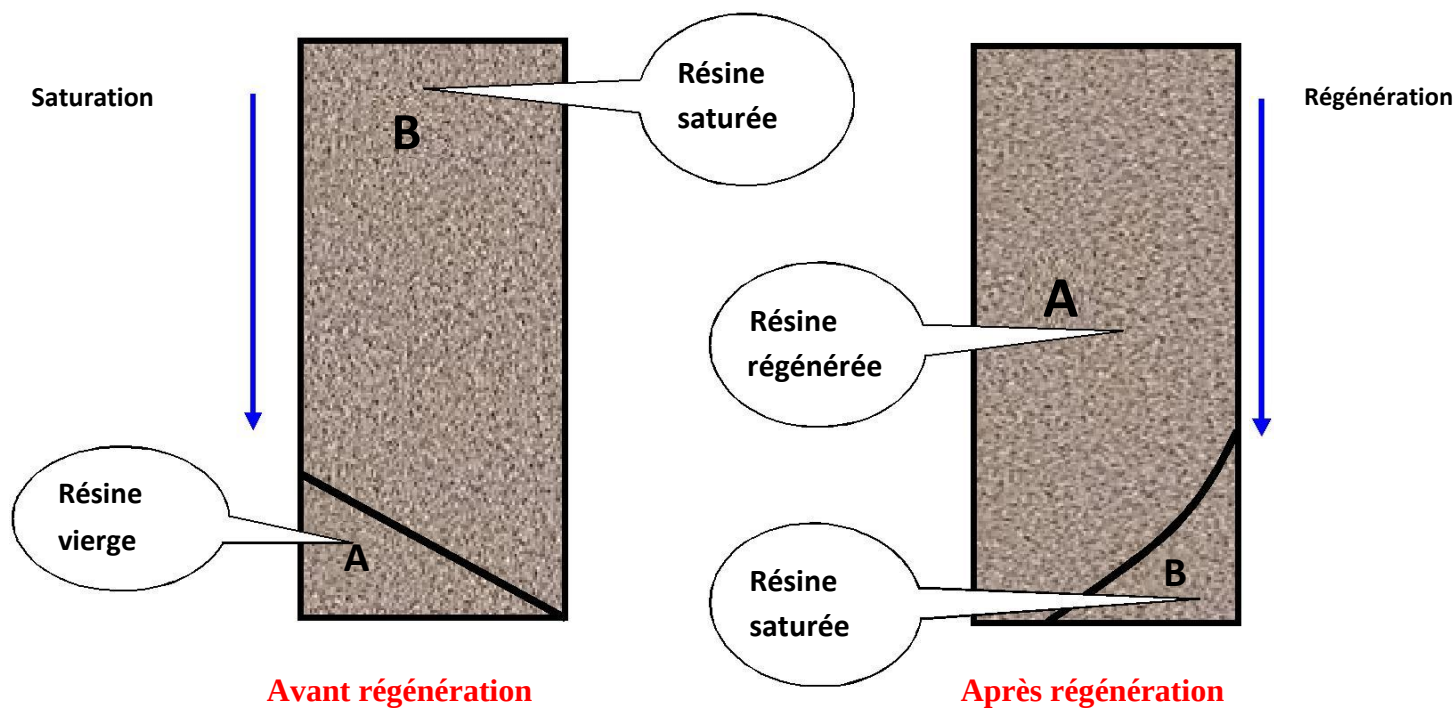


Figure 11 : présentation schématique du procédé co-courant. (D'après El Asri, 2006)

🚦 Régénération à contre-courant:

Les phénomènes sont différents lorsque la production se fait de bas en haut, en effet, dans ce cas, le régénérant rencontre d'abord les ions moins saturés de la zone A (Fig.9). Ensuite le régénérant transporté vers des couches d'échangeurs d'ions qui sont plus saturées. Dans ce cas le procédé consomme moins de réactifs de régénération.

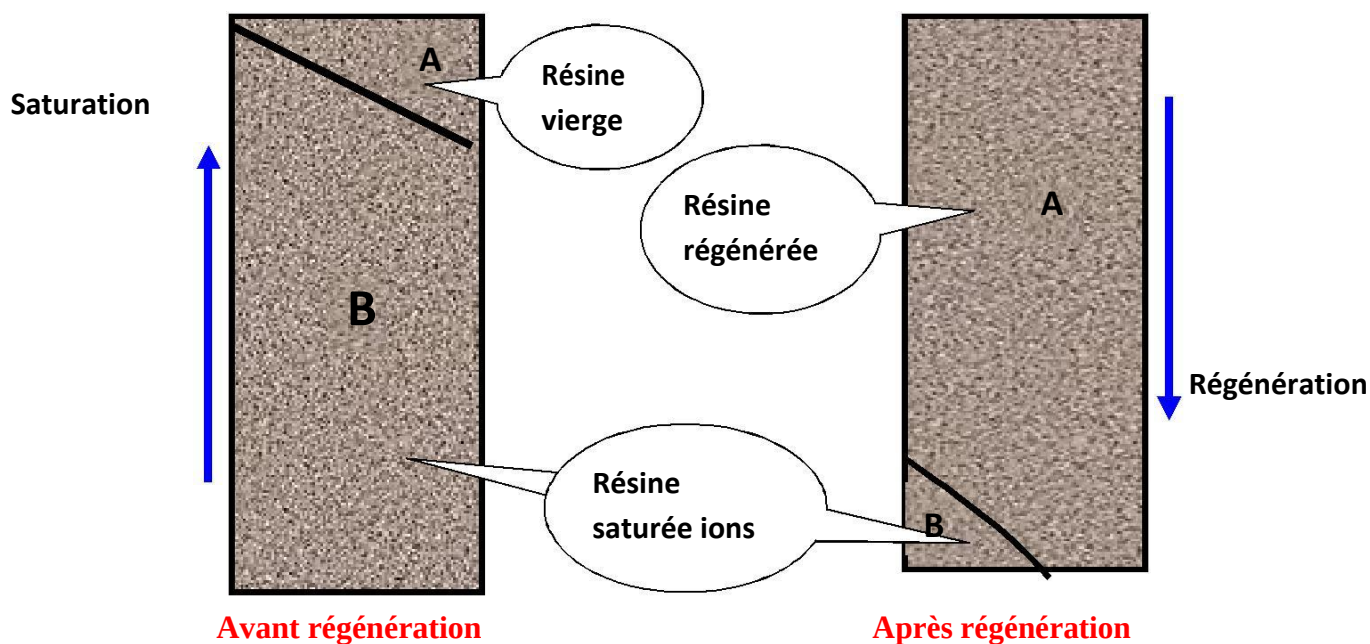


Figure12 : schéma illustrant le procédé contre courant. (D'après El Asri, 2006)

Analyses effectuées au laboratoire

	Ca ²⁺	K+	Mg ²⁺	Na+	Fer	CU ²⁺	Mo	SO ₄ ²⁻
Brute	79 ,4	3,87	35,4	215	0 ,00	0 ,268	0,515	94 ,2
Filtrée	78 ,4	4,35	34,00	228	0,00	0,00	1,24	85,9
Effluents	693	52,2	290	3990	0,60	0,000	0,449	18100

Tableau4 :de comparaison entre les concentrations ioniques d'eau brute , eau filtrée ,et des effluents de régénération

Silice : (SiO₂)

Eaux brute	4 ,64
Eaux filtrée	4,70
Eaux des effluents	59,06

Tableau5 : des concentrations des eaux brutes filtrées et des effluents en silice

5 - Actions d'amélioration de la productivité des chaînes.

5 - 1- Qualité de l'eau filtrée

Les résines d'échange d'ions doivent rester propres pour fonctionner efficacement, l'eau filtrée ne doit donc contenir ni matières en suspension, ni algues, ni huiles, ni autres impuretés qui se fixeraient sur les résines et diminueraient leur capacité. De plus les matières organiques colmatent les sites actifs et empoisonnent la résine, dans ce cas, il faut procéder au nettoyage de la résine par un traitement à la saumure chaude appelé (causticsalt).

Un intérêt particulier doit être donc donné à l'installation de prétraitement de l'eau brute, c'est-à-dire, l'installation de décantation et de filtration d'eau brute avec un:

- ↳ suivi de la préparation et de dosage des réactifs (sulfate d'alumine et de floculant);
- ↳ suivi de la turbidité de l'eau (visuel et par analyse);
- ↳ contrôle périodique de l'état de remplissage des filtres à gravier.

5- 2- Conditions de régénération :

précipitation et l'enrobage de la résine par les sulfates de calcium.

Toute fausse manœuvre lors du dosage des réactifs peut avoir des conséquences néfastes pour la tenue de la résine et sa capacité de production.

Par conséquence, il faut remettre en état de marche le système de réglage des courses des pompes doseuses pour avoir la concentration correcte et non pas jouer sur le débit d'eau de dilution, comme ils procèdent actuellement .

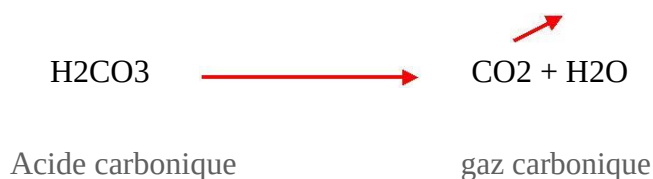
5- 3- Etat des résines :

D'après la documentation et le fournisseur de la résine échangeuse d'ions, la résine perd 3% de sa capacité annuellement.

Il faut donc renouveler la résine chaque cinq ans puisqu'elle est économiquement rentable et l'investissement sera amorti par l'économie de soude caustique.

5-4- Elimination du CO2 :

Les dégazeurs de CO2 sont utilisés dans les installations de déminéralisation afin d'éliminer, par aération, le gaz carbonique formé à la sortie d'échangeur d'ions cationique par transformation de l'acide carbonique en gaz carbonique :



Le dégazeur permet de réduire le taux de CO2 de 50%.

Conclusion :

Bien que, la capacité de production de l'installation de déminéralisation des eaux de Maroc phosphate¹, est surdimensionnée et peut fournir un minimum de 100 m³/h d'eau désilicée en continu, étant donné que toute la production des quatre chaînes est transformée en eau désilicée. Autrement dit, les lignes sulfuriques qui consommaient l'eau déminéralisée, sont alimentées en eau filtrée depuis les années 90 où l'appoint en eau désilicée est devenu important.

Il y a toujours lieu, de faire des actions d'amélioration et d'économie pour pouvoir progresser. C'est dans cet esprit qu'ils ont ajouté un échangeur cationique destiné à produire l'eau décationnée nécessaire à la régénération des quatre chaînes de déminéralisation.

Un intérêt particulier doit être porté à l'installation de filtration d'eau brute pour préserver la capacité de la résine et assurer une bonne exploitation des chaînes de déminéralisation.

Conclusion générale

Le travail mené dans le cadre de notre projet de fin d'études est une contribution au traitement et à la déminéralisation des eaux impliquées au Maroc phosphate 3 ET 4 (MP 3 ET 4) de JORF LESFAR (O.C.P., Maroc).

L'application d'une approche à la fois de la filtration, de la Déminéralisation (le fonctionnement de la résine échangeuse d'ions) nous a permis de ressortir les résultats suivants :

- le procédé de filtration des eaux brutes
- le procédé de déminéralisation des eaux filtrées
- la qualité de l'eau produite après la filtration et la déminéralisation
- les différentes utilisations d'eau déminéralisée dans le complexe Maroc phosphate 3 et 4
- les conditions nécessaires pour un bon fonctionnement de la résine échangeuse d'ions

Il convient, en revanche, de faire des actions d'amélioration en surveillant en continu les processus de filtration d'eau brute et de déminéralisation pour préserver la capacité de la résine et assurer une bonne exploitation des chaînes de déminéralisation.

BIBLIOGRAPHIE

- Ellassri B. (2006) - Possibilité de transformer les lignes co-courant à contre courant. Rapport interne de l'OCP. 80 p.
- Hermia J. (1975) - Traitement des eaux industrielles. Louvain-la-Neuve, 2^{ème} édition.
- Rezeg A. et Achour S. (2005) - Elimination d'acides organiques aromatiques par coagulation-floculation au sulfate d'aluminium. *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n° 04, Juin 2005, pp.141-152.
- Relvamine 138, (2007) - L'importance du traitement de l'eau des chaudières à vapeur et des réseaux de vapeur.

Références électroniques:

- www.babkhouribga.com: OCP; les travaux du pipeline;
- www.groupe OCP .ma: L'historique de l'OCP;
- www. Gls.fr: le mélange rapide et la floculation dans la production d'eau potable;
- www.safewater.org : traitement des eaux conventionnel coagulation et floculation.

ANNEXE

Liste des abréviations

OCP : office chérifien du phosphate

TED : traitement d'eau douce

MP1 : Maroc phosphore 1

HP : haute pression

MP : moyen pression

BP : basse pression

ONE : office national électrique

IDS : industrie de Safi

H₂SO₄ : acide sulfurique

P₂O₅ : acide phosphorique

MP 3et 4 : Maroc Phosphore 3et 4

MES : matière en suspension

TAC : titre alcalimétrique complet

TA : titre alcalimétrique

TAF : titre en acides fort

°F :degrés français

Liste des Figures

Figure 1 : Schéma illustrant les processus de coagulation, floculation et de sédimentation.....	15
Figure 2 : coagulant (sulfate d'aluminium).....	15
Figure 3 : Schéma d'une chaîne de filtration.....	16
Figure 4 : schéma d'une station de filtration.....	17
Figure 5 : composition des couches d'un Filtre à sable.....	18
Figure 6 : composition des couches d'un Filtre à charbon actif.....	19
Figure 7 : Charbon actif utilisé pour la production de l'eau potable.....	20
Figure 8 : consommation d'eau brute en fonction de production du P_2O_5	21
Figure 9 : Schéma d'une chaîne de déminéralisation.....	28
Figure 10 : : schéma de résines échangeuses d'ion.....	31
Figure 11 : présentation schématique du procédé Co-courant.....	34
Figure 12 : présentation schématique du procédé contre-courant.....	34

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques du filtre à charbon actif.....	19
Tableau 2 : suivi mensuel de consommation de l'eau brute en fonction du P_2O_5	20
Tableau 3 : Caractéristiques d'eau déminéralisé.....	30
Tableau 4 : comparaison entre les concentrations ioniques d'eau brute , eau filtrée ,et des effluents de régénération.....	35
Tableau 5 : concentrations des eaux brutes filtrées et des effluents en silice.....	35

