

Licence Sciences et Techniques (LST)

GENIE CHIMIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

**Bilan de matière du bassin des effluents -
• Solutions et scénarios pour éviter les pertes par
débordement.**

Présenté par :

◆ MAJDOUB Salma

Encadré par :

◆ Mr M. KOLLACH (OCP)
◆ Pr A. ZEROUALE (FST)

Soutenu Le 06 Juin 2018 devant le jury composé de:

- Pr A. ZEROUALE
- Pr O. SQALLI
- Pr N. IDRISSE KANDRI

Stage effectué à l'Office Chérifien des Phosphates (OCP)

Année Universitaire 2017 / 2018

AVANT PROPOS

Les travaux présentés dans ce mémoire ont été effectués au sein de la division Maroc Phosphore I du groupe office chérifien des phosphates

L'objectif permanent du groupe OCP est l'optimisation et l'amélioration continue de ses différents secteurs d'activité.

La division MPI chargée de l'exploitation et la valorisation des produits phosphatés, adhère pleinement à cette politique de perfectionnement visée par l'OCP en s'engageant dans plusieurs démarches et stratégies de développement notamment dans le domaine de traitement des eaux.

Ce travail a été réalisé sous l'encadrement pratique de monsieur KOLLACH et l'encadrement pédagogique du professeur A.ZEROUALE.

DEDICACES

Je dédie ce travail :

❧ *A mes parents, mes frères, mes sœurs et tous les membres de ma famille pour leur sacrifice ;*

❧ *A Tous mes amis(es) avec lesquels je partage les moments forts dans ma vie ;*

❧ *A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin pour la réalisation de ce projet ;*

Remerciements

Je tiens à remercier vivement d'abord, toute l'équipe pédagogique de la FST de Fès qui m'a assuré la formation académique.

J'exprime mes profonds gratitude à mon parrain Monsieur M. KOLLACH., et le chef d'atelier Monsieur A. MORCHID pour leur accueil, le temps qu'il m'ont accordé ainsi que le partage de leur expertise au quotidien.

Je remercie également le professeur A. ZEROUALE pour l'aide et les conseils qui m'a apporté le long de ce stage et au cours de la rédaction de ce rapport.

Je désire aussi remercier la professeur O. SQALLI et le professeur N. IDRISSE KADNRI d'avoir accepté le jugement de ce travail. Leurs remarques et leurs critiques contribueront, sans doute à l'amélioration de ce mémoire.

Je tiens également à remercier tous le personnel de l'atelier TED pour leur accueil chaleureux et leur esprit coopératif.

Finalement que toute personne ayant participé à l'élaboration de ce travail trouve ici l'expression de toutes mes reconnaissances.

SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES.....	1
LISTE DES TABLEAUX	1
LISTE DES ABREVIATIONS.....	2
INTRODUCTION GENERALE	3
CHAPITRE I : PRESENTATION DE L'ORGANISME OCP	5
1. HISTORIQUE.....	5
2. DEFINITION DU PHOSPHATE	5
3. LA COMPAGNIE INDUSTRIELLE DE SAFI.....	5
4 .DESCRIPTION DU POLE CHIMIE :	6
4-1 La division Maroc Phosphore I	6
CHAPITRE II : PRESENTATION DE L'UNITE TED DE MPI	8
1. Présentation générale	8
2. Description de procédé de traitement des eaux de MPI	8
2.1. Unité de décantation – Filtration	8
a) Décantation : 1 ^{er} prétraitement	9
b) Filtration : 2 ^{ème} prétraitement	11
c) Utilisation de l'eau filtrée.....	11
2.2. Unité d'eau potable	12
2.3. Unité de déminéralisation	12
a) Caractéristiques de l'eau:	13
b) Déminéralisation totale	13
i. Résines échangeuses d'ions :	14
ii. Méthodes de régénération	17
iii. Performance des échangeurs régénérés à contre-courant	18
iv. Concentration des réactifs	18
CHAPITRE III : PARTIE EXPERIMENTALE.....	20
1. Problématique : (phase de définition).....	20
2. Phase de mesure	21
a) Collecte des données	21
3. Phase d'amélioration :	22

3.1. Solution1	23
3.2. Solution 2	23
a) Description	24
b) Résultat	24
3.3. Solution 3	26
a) Caractéristiques de la pompe	27
b) Description de la pompe	27
3.4. Solution 4	27
a) Principe :	28
4. Phase de control :	29
CONCLUSION	30

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Utilisation de l'eau dans les blocs de production du MPI

Figure 2: Schéma TED (Production de l'eau filtré)

Figure 3: le décanteur

Figure 4: Schéma illustrant les processus de coagulation, floculation et de sédimentation

Figure 5: Unité de filtration d'eau brute au Maroc Phosphore I

Figure 6: L'unité de traitement des eaux potable au Maroc Phosphore I

Figure 7: Schéma de l'installation de déminéralisation

Figure 8: Schéma d'un dégazeur.

Figure 9: Schéma de l'unité de traitement des eaux de Maroc Phosphore I.

Figure 10: Bassin de récupération des eaux résiduaires (Maroc Phosphore I).

Figure 11: Schéma illustrant la distribution TED

Figure 12: pompe centrifuge pour eaux usées / pour eau de mer / d'acide / pour bases

Figure 13: Coupe d'une cartouche à Osmose

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Tableaux représentant les différentes phases de régénération des résines

Tableau 2: Les entrées et les sorties de l'eau du bassin au cours du mois de Mars

Tableau 3: Les statistiques des entrées de l'eau du bassin au cours du mois de mars

LISTE DES ABREVIATIONS

- °f** : Le Degré Français
- A** : Echangeur anionique
- ACP** : Acide Phosphorique
- C** : Echangeur cationique
- CAG** : Charbon Actif Granulé
- H₂SO₄** : Acide Sulfurique
- NaOH** : La Soude
- MB** : Echangeur à lit mélangé
- OCP** : Office chérifien des phosphates
- MPI** : Maroc Phosphore I
- TA** : Titre alcalimétrique
- TAC** : Titre Alcalimétrique complet
- TH** : Titre Hydrotimétrique
- TED** : Traitement des eaux douces
- AF** : Anionique fort
- Af** : Anionique faible
- C** : Cationique
- HP** : haute pression
- MP** : moyen pression
- BP** : basse pression

INTRODUCTION GENERALE

- Depuis plus de trois décennies, la part des produits dérivés dans le commerce international des phosphates se développe continuellement au détriment de celui du minerai brut. Cette évolution structurelle associée à la volonté d'une valorisation locale, ont conduit à la mise en place d'une industrie de transformation chimique de grande importance. Ainsi, après une première expérience à Safi, avec la mise en service de la division Maroc Chimie en 1965, des efforts ont abouti à la mise en services de deux autres divisions Maroc Phosphore I en 1975 et Maroc Phosphore II en 1981.
- Afin de préserver et de renforcer sa position de leader mondial dans l'industrie des phosphates, le Groupe office chérifien des phosphates (OCP) a fixé comme objectif permanent l'optimisation et l'amélioration continue de ses différents secteurs d'activités.
- La division du Maroc Phosphore I Safi se focalise sur l'exploitation et la valorisation du phosphate de YOUSOUFIA et du soufre importé, pour la production d'acide phosphorique et des engrais.
- Cette division Comprend trois ateliers : **atelier de production sulfurique, atelier phosphorique et atelier énergie et fluide**. MPI adhère pleinement à la politique de l'optimisation et du perfectionnement visée par l'OCP en s'engageant dans plusieurs démarches et stratégies de développement.
- L'eau est une ressource clé pour l'industrie du phosphate, elle assure le fonctionnement et la continuité des différentes activités au niveau des usines, pour cette fin la division MPI dispose d'une unité de traitements des eaux douces (TED) chargée de répondre aux besoins et aux exigences des différents consommateurs d'eau, aussi bien sur le plan de qualité que de quantité.
- En effet, le complexe MPI est alimenté en eau brute à partir du barrage Sidi Abderrahmane (Safi), comme cette eau est chargée d'impuretés de différentes natures, elle ne peut pas être directement intégrée dans les processus industriels. Cette eau est destinée à l'unité de traitement des eaux douces TED, chargée d'éliminer les matières en suspension, les substances colloïdales, les matières dissoutes et d'assurer l'alimentation des unités sulfuriques en eau de procédé et les chaudières en eau désilicée d'appoint...

- Cette eau désilicée résulte d'un traitement secondaire sur résines échangeuses d'ions, souvent utilisées pour l'adoucissement des eaux (élimination de la dureté) et dans certains cas pour enlever la matière organique dissoute, les métaux lourds etc. Sauf que ce système d'échange ionique utilisé pour la production de l'eau désilicée présente un inconvénient dû à la saturation des résines, ce qui nécessite leur régénération avec de l'eau désilicée.
- L'eau qui résulte de cette régénération ainsi que du lavage des chambres de filtration sera débarrassée dans un bassin qui devient chargé par de l'eau très acide. Cette eau se transmet avec une quantité très limitée vers l'atelier phosphorique ; donc la quantité restante va se déborder vers la mer

- **Le présent mémoire comprend trois chapitres :**
 - 1. Présentation de l'organisme d'accueil ;**
 - 2. Présentation et la description de l'unité de traitement des eaux douces de MPI, ainsi que ses différents procédés ;**
 - 3. Etude du bilan massique du bassin afin de minimiser les pertes qui en résultent.**

CHAPITRE I : PRESENTATION DE L'ORGANISME OCP

1. HISTORIQUE

- Le phosphate est la première richesse minière du pays. Le monopole de l'exploitation et d'exportation est confié à l'Office Chérifien des Phosphates (OCP) qui exploite les gisements de Khouribga, Ben guérir, Youssoufia et Boucrâa/Laâyoune. Le groupe Office Chérifien des Phosphates est un opérateur international dans le domaine de l'industrie de phosphate et de ses produits dérivés.
- Sa création fut en 1920 dans les régions de Khouribga. Cet organisme semi public a pu assurer un grand rendement à l'état, particulièrement en devises utilisées dans le règlement de ses redevances extérieures.
- Le phosphate brut extrait du sous-sol marocain est exporté tel quel est ou livré aux industries chimiques du Groupe, (Safi ou Jorf Lasfar) pour être transformé en produits dérivés commercialisables : acide phosphorique et engrais solide.

2. DEFINITION DU PHOSPHATE

- Le phosphate est un oligo-élément naturellement présent dans la nature et indispensable à la vie. C'est une molécule composée de 3 atomes d'oxygène et un atome de phosphore, il représente un élément essentiel à la prolifération de la vie végétale et animale sur terre et il fait partie d'un cycle sans fin. En effet ce cycle du phosphate est l'un des nombreux cycles qui se répète indéfiniment, comme il y en a beaucoup dans la nature.
- Le phosphate est au départ présent sous forme de roche (ou sédiment), ce phosphate est alors utilisé par les végétaux qui composent la flore qui l'entoure, puis ces végétaux retourne à l'état de poussière comme toute vie. Le cycle phosphatique est une boucle qui tourne à l'infini c'est un circuit fermé, mais l'homme a volontairement bouleversé cette équilibre si parfait en utilisant cet élément pour des fins commerciales et en déréglant ainsi le précieux circuit.

3. LA COMPAGNIE INDUSTRIELLE DE SAFI

- Elle est situé à 8 Km de la ville de SAFI, le pôle chimie Maroc phosphore de Safi (PCS), nommé aujourd'hui « la Compagnie Industriel de Safi (CIS) », comprend trois complexes : le complexe Maroc Chimie (1965), Maroc Phosphore I (1975), et le complexe Maroc Phosphore II (1981).

- Ces différents complexes sont destinés à la production des éléments suivants:
 - L'acide sulfurique H_2SO_4 .
 - L'acide phosphorique P_2O_5 .
 - Les engrais.
- Ces derniers sont quasi totalement destinés à l'exportation. Le phosphate utilisé aux trois complexes est sous deux formes :
 - Phosphate **brute** (humide) provenant de Bengrir pour se décharger à MPII
 - Phosphate **sec** provenant de Youssoufia directement envoyé à MC et MPI

4 .DESCRIPTION DU POLE CHIMIE :

- Le Pole chimie de Safi se compose de :
 - **MAROC chimie** : Il contient un atelier sulfurique dont la mission est la production d'acide sulfurique à partir du soufre, des ateliers phosphoriques dont la mission est la production de l'acide phosphorique et trois unités d'engrais.
 - **MAROC Phosphore I** : Il produit l'acide phosphorique et l'engrais alimentaire DCP. Il dispose d'un atelier fusion du soufre solide, atelier sulfurique, atelier phosphorique et une centrale thermoélectrique et un atelier DCP.
 - **MAROC Phosphore II** : Cette entité a pour rôle la valorisation du phosphate humide provenant de Bengrir, il dispose d'une laverie de phosphate et de deux ateliers sulfuriques et phosphoriques et une centrale électrique.

4-1 La division Maroc Phosphore I

- Elle a démarré en 1975 sur la base de l'utilisation du phosphate de YOUSOUFIA et du soufre importé, pour la production d'acide phosphorique et des engrais. La division Maroc Phosphore I se compose de trois ateliers : (Fig.1).

a) Atelier énergie et fluide: Il s'intéresse au traitement des eaux et à la production de la vapeur (HP, MP, BP), de l'énergie électrique, et de l'air comprimé qui sont utilisés partout dans le complexe, cet atelier est constitué de trois unités :

- **Centrale thermo électrique:** Elle est Destinée à produire de l'énergie électrique pour couvrir le besoin du complexe; elle produit également de la vapeur moyenne pression. Si c'est nécessaire, un appoint en énergie électrique est fourni par l'O.N.E.

- **Station de traitement des eaux:** Elle répond aux besoins du complexe MPI en eau filtrée, déminéralisée, désilicée et potable. Cette eau subit divers traitements à savoir la décantation, la filtration, la déminéralisation et la désinfection ;
- **Pompage eau de mer:** Se charge de fournir de l'eau de mer pour le refroidissement essentiellement des équipements du complexe.

b) Atelier de production sulfurique : En plus de la production de l'acide sulfurique (H_2SO_4), cet atelier assure, également, la production de la vapeur d'eau à haute pression.

c) Atelier phosphorique : Le phosphate broyé parvient au niveau de la réaction avec l'acide sulfurique (H_2SO_4) pour produire un acide concentré de 30% en P_2O_5 . Cet acide passe au niveau des concentrateurs (ACP) afin d'obtenir H_3PO_4 d'une concentration de 54%.

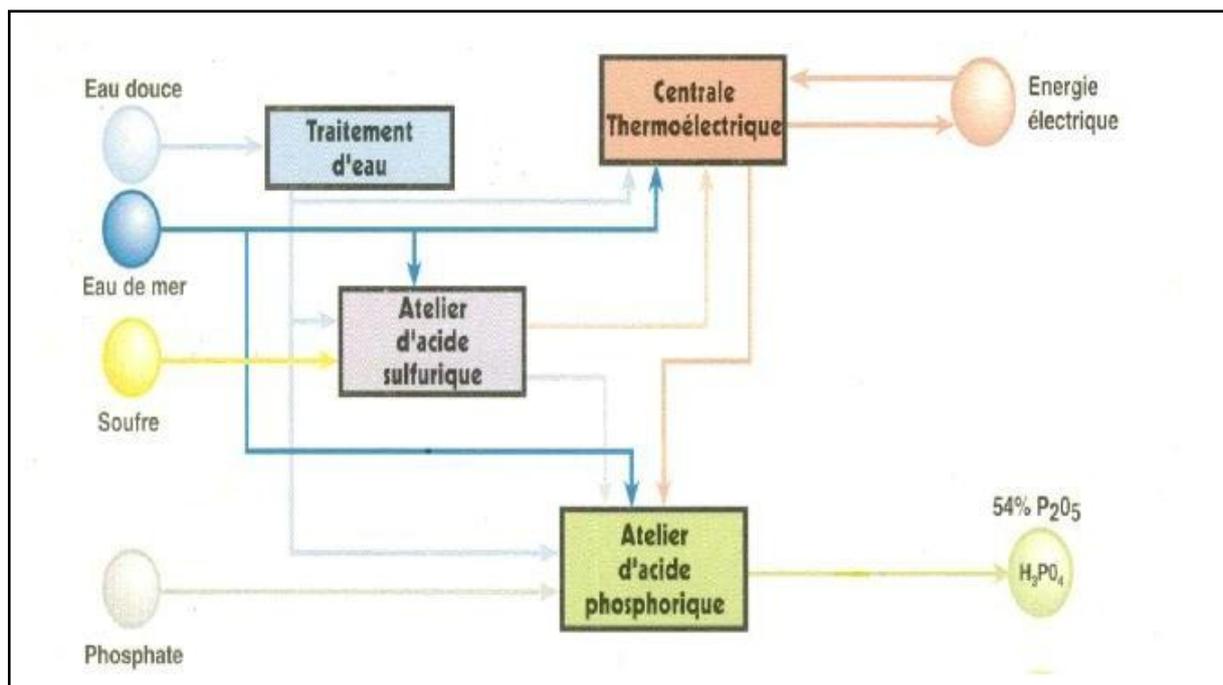


Figure 1: Utilisation de l'eau dans les blocs de production du MPI

CHAPITRE II : PRESENTATION DE L'UNITE TED DE MPI

1. Présentation générale

- La TED joue un rôle primordial dans différentes activités de production au sein du complexe, tout en assurant l'alimentation des ateliers sulfuriques et phosphoriques en eau de procédé et les chaudières en eau désilicée d'appoint.
- L'eau brute qui sert à alimenter le complexe MPI provient d'un barrage situé à 15 km du site industriel de SAFI avec un débit d'entrée variant de 1000 à 1300 m³/h. Cette eau chargée d'impuretés ne peut pas être utilisée directement puisqu'elle peut altérer la qualité finale du produit et réduire la durée de vie des équipements industriels. Ainsi selon la nature de la fonction que doit remplir cette eau, il est indispensable de la faire subir un traitement primaire (décantation, filtration...) voir un traitement poussé (deminéralisation).

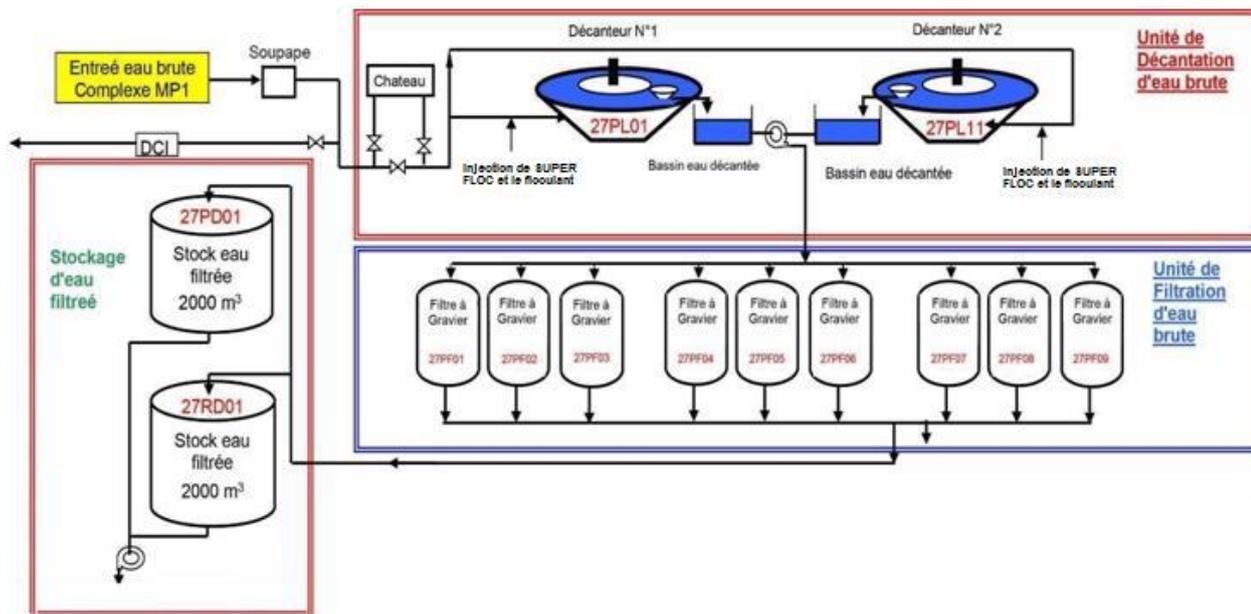
2. Description de procédé de traitement des eaux de MPI

L'installation de traitement des eaux comporte les unités suivantes :

- Unité de décantation - Filtration
- Unité d'eau potable
- Unité de déminéralisation

2.1. Unité de décantation – Filtration

- L'eau brute entre à l'unité en passant d'abord par un château d'eau destiné à stabiliser la pression d'alimentation appelée aussi chambre de rupture pour casser la pression.
- L'eau est ensuite répartie sur deux réacteurs décanteurs de débit unitaire de 450 m³/h. Puis agitée en présence des adjuvants de coagulation et de floculation (Superfloc ;Nalcon) afin d'éliminer les matières en suspension et les substances colloïdales.
- Par suite, l'eau passe à travers neuf filtres à graviers d'une capacité de 150 m³/h disposés en parallèle. La circulation sous pression de l'eau à travers les filtres permet d'éliminer les particules en suspension n'ayant pas décantées, et d'obtenir ainsi une eau filtrée.
- Le stockage de l'eau filtrée est assuré par deux bacs de capacité de 2000 m³.



Unité 27

Figure 2 : Schéma TED (Production de l'eau filtré)

a) Décantation : 1^{er} prétraitement

La clarification de l'eau se déroule en plusieurs étapes :

- ☞ **Coagulation** : Il s'agit d'agglomérer les particules entre elles. Les colloïdales sont en effet naturellement maintenus en suspension sous l'action de forces d'électrostatiques de répulsion. Pour rompre ses forces et déstabiliser les colloïdales, on injecte un réactif appelé '**coagulant**' qui conduit à la formation de précipités insolubles appelés 'floc', capables de se décanter. L'injection du réactif se fait sous fort agitation. Le réactif utilisé est le 'Super Floc', est un polyacrylamide anionique.
- ☞ **Floculation** : Elle consiste à accroître le volume, le poids et la cohésion du floc formé. On ajoute le Flocculant (Nalcon) après la coagulation pour agglomérer les floccs et donc, leur grossissement.
- ☞ **Décantation** : Il s'agit de séparer, par gravité les floc formé dans l'eau. Ce floc est récupéré par décantation au fond de l'ouvrage tout en formant des boues, qui sont extraites périodiquement vers l'égout.

Décanteur

Flux vertical - Type floc lesté

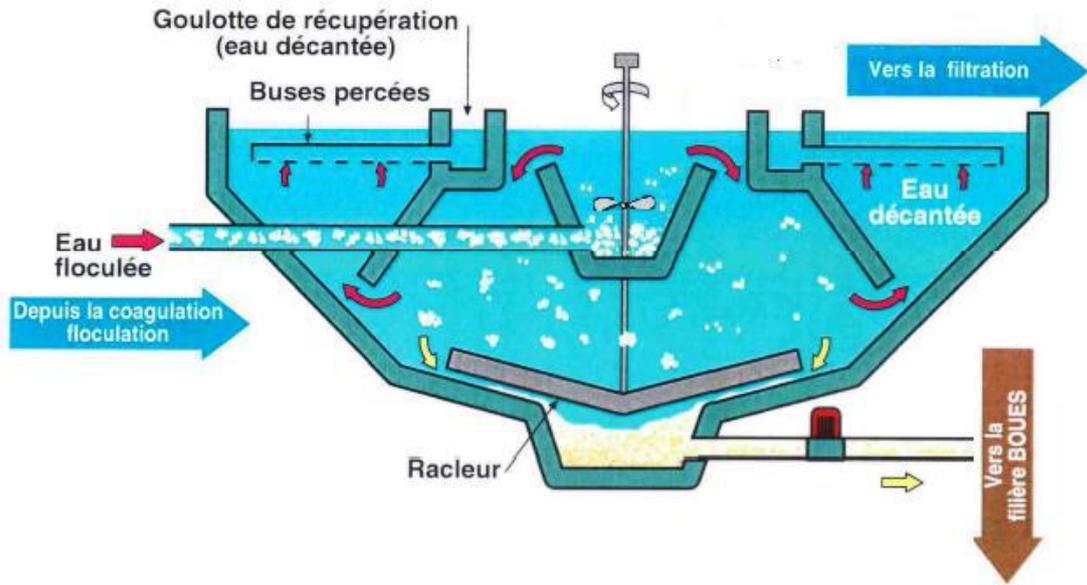


Figure 3: Le décanteur

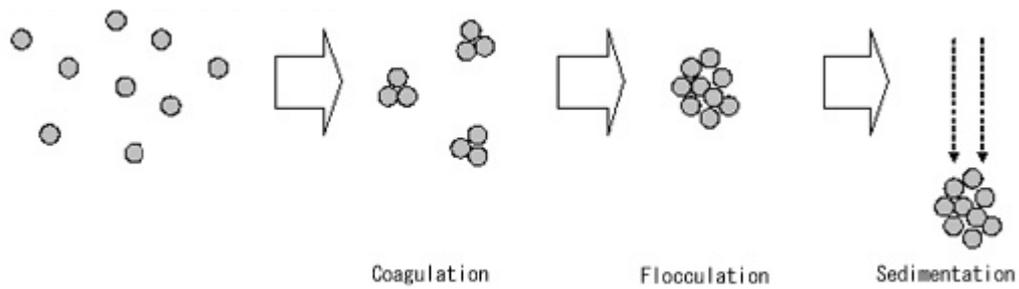


Figure4: Schéma illustrant les processus de coagulation, floculation et de sédimentation

b) Filtration : 2^{ème} prétraitement

- L'installation dispose de 9 filtres à graviers quartzeux disposés en parallèle avec une capacité de traitement de 150 m³/h pour chacun. La circulation sous pression de l'eau à travers ces filtres permet d'éliminer les particules en suspension n'ayant pas décanté et obtenir ainsi l'eau filtrée.
- Une fois la pression différentielle atteint 0,3 à 0,4 bars, les filtres se trouvent encrasser et doivent être lavés à contre-courant (de bas en haut) à l'aide de l'eau filtrée et de l'air comprimé fourni par des soufflantes rotatives.
- L'eau filtrée produite est stockée dans deux bacs en béton d'une capacité de 2000 m³ chacun destiné à alimenter les autres unités de production du complexe MPI.

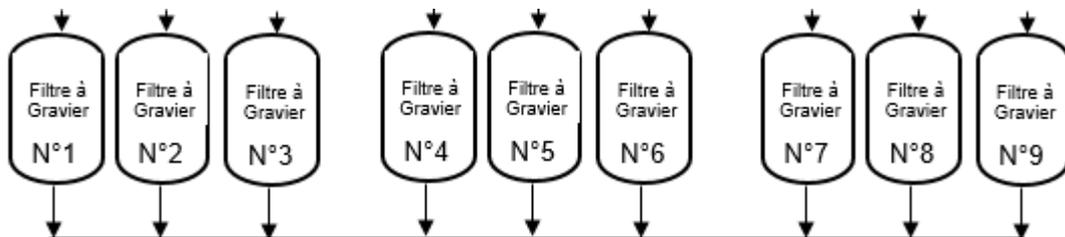


Figure 5: Unité de filtration d'eau brute (Maroc Phosphore I)

c) Utilisation de l'eau filtrée

- Une partie de l'eau filtrée produite par le complexe MPI est destinée à la production de l'eau potable, alors que la partie restante assure la production de l'acide phosphorique et l'eau désilicée utilisée comme une eau d'appoint pour l'alimentation des chaudières de l'atelier sulfurique et des chaudières à Fuel.
 - o **Production d'acide phosphorique** : Le Pôle Industriel de Safi produit l'ACP à partir des phosphates naturels. Le procédé de production est basé sur l'attaque du phosphate broyé par l'acide sulfurique avec formation de l'ACP et de sulfate de calcium qui précipite selon la réaction chimique suivante :



2.2. Unité d'eau potable

- L'unité d'eau potable comprend un bac d'eau filtrée, deux filtres à charbon actif et un poste de dosage d'eau de javel. L'injection d'eau de javel se fait dans le bac d'eau filtrée par une pompe de dosage asservie d'une vanne d'admission.
- L'eau est ensuite envoyée vers les filtres à charbon actif pour améliorer sa qualité organoleptique et éliminer l'excès du chlore libre.

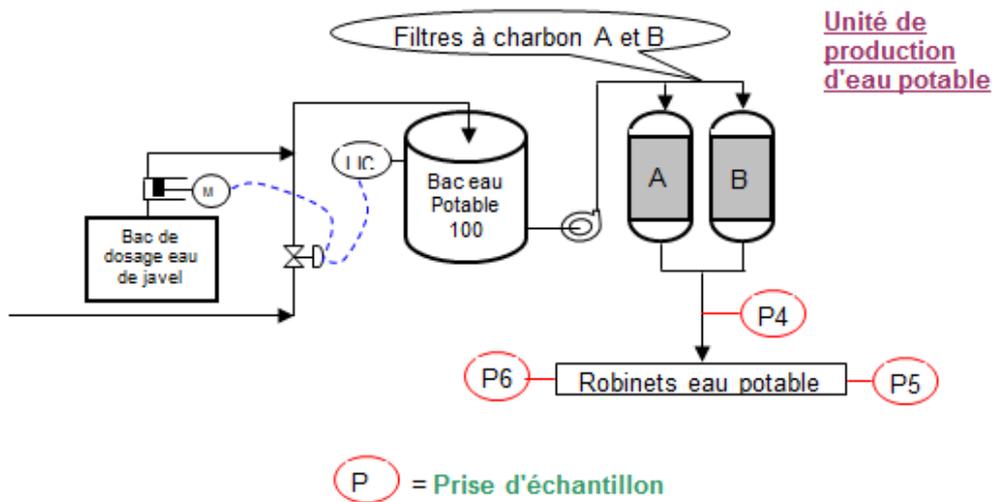


Figure 6: L'unité de traitement des eaux potable (Maroc Phosphore I)

2.3. Unité de déminéralisation

- L'atelier de traitement des eaux de Maroc Phosphore I dispose d'un poste de déminéralisation totale destiné principalement à la production de l'eau désilicée utilisée comme eau d'appoint pour l'alimentation des chaudières de l'atelier sulfurique et des chaudières de la centrale thermoélectrique.
- La déminéralisation totale consiste à éliminer tous les ions présents dans l'eau filtrée par passage successif sur des résines échangeuses d'ions. Pour cela, l'atelier dispose principalement de 5 lignes de déminéralisation composées chacune d'une chaîne primaire et d'une autre secondaire.

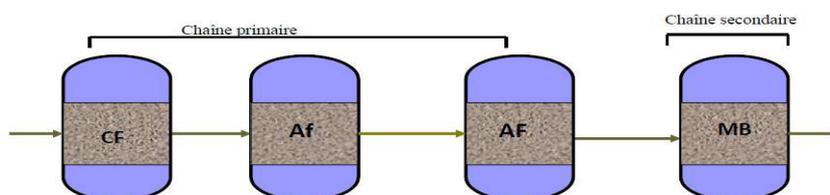


Figure 7: Présentation schématique d'une ligne de déminéralisation employée au Maroc Phosphore 1 de Safi. CF: échangeur de cation fort ; Af: échangeur d'anion faible ; AF: échangeur d'anion fort ; MB : échangeur à lit mélangé (Mixed Bed)

a) 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 afin de fournir une eau de haute pureté avec une teneur en silice SiO_2 de quelque microgrammes /litre.
- Parmi les facteurs qui peuvent déterminer le mode de traitement de l'eau, on trouve : **la dureté, l'alcalinité et la teneur en silice.**

- **Dureté TH :** Elle doit être limitée pour diminuer au maximum les risques d'entraînement des sels dans la vapeur. On utilise souvent le titre hydrométrique (TH), qui indique la teneur globale en sel de calcium et de magnésium. Dans la plupart des eaux naturelles, le calcium contribue au TH dans la proportion de 70 à 90%.
- **Alcalinité TA et TAC:** Pour déterminer l'alcalinité de l'eau on utilise deux valeurs, le titre alcalimétrique (TA) et titre alcalimétrique complet (TAC); qui permettent de connaître les concentrations en bicarbonates, en carbonates et éventuellement en hydroxydes (bases fortes) contenues dans l'eau.
Une élévation de la température supérieure à 60°C transforme les bicarbonates en carbonates insolubles, ce qui rend l'eau entartrée.
- **Teneur en silice:** La silice est l'un des contaminants courants de l'eau d'alimentation qui peuvent atteindre les sites de dépôts dans les chaudières sous forme soluble ou précipitée. Ceci est dues à l'élévation de la température ($T \geq 250^\circ\text{C}$) notamment pour les chaudières ayant une pression de fonctionnement supérieure à 40 bars. Ce phénomène s'appelle l'entartrage ; il est formé par des sels qui ont une solubilité limitée et qui ne sont pas totalement insolubles dans l'eau notamment la silice.
- **Titre en acides forts (TAF):** Il mesure l'acidité liée aux sulfates, aux chlorures et aux nitrates: c'est à dire les concentrations en acide sulfurique, chlorhydrique, et nitrique.

b) Déminéralisation totale

- C'est une opération suffisamment utilisée pour la production de travail mécanique en turbines (vapeur surchauffée) ou dans des processus de chauffage, dans lequel s'emploie la vapeur saturée.

• Description

L'unité 28 est composée de 5 lignes dont 3 sont identiques A, B et D fonctionnant selon le procédé courant à lit fixe et les deux derniers lignes H et Z utilisent le principe du lit flottant selon le procédé contre courant, où elles sont libérées par échange ionique entre les résines échangeuses d'ions et les sels dissous dans l'eau.

Ce procédé, dit déminéralisation totale se fait en quatre étapes :

- Etage 1 : Echangeur d'ion cationique
- Etage 2 : Echangeur d'ion anionique faible
- Etage 3 : Echangeur d'ion anionique fort
- Etage 4 : Echangeur à lit mélange "Mixed Bed" (résine fortement basique et résine fortement acide)

- Chaque ligne se compose de quatre échangeurs d'ions en série avec un dégazeur atmosphérique pour la ligne Z et H.

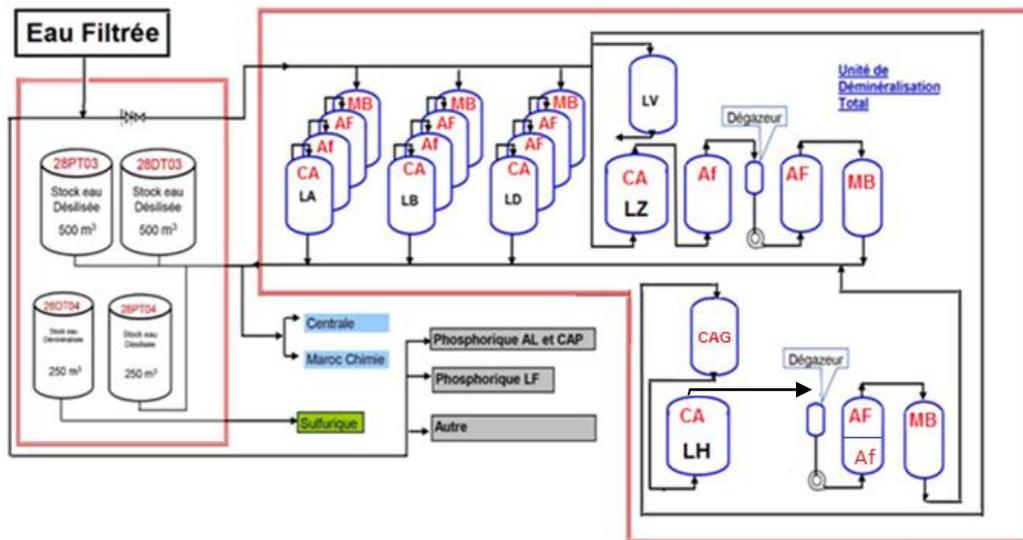


Figure 7: Schéma de l'installation de déminéralisation

i. 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 sur lequel un ion a été fixé de façon permanente.

- Cet ion ne peut pas être enlevé ou remplacé, car 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.

⇒ On appelle **échange ionique** la permutation entre deux ions de même signe, l'un se trouve en solution, l'autre étant fixe sur une matrice solide non soluble (la résine), en contact avec la solution à traiter.

- La résine organique comporte dans sa structure des radicaux susceptibles d'être libérés et donc échangés.
- Il existe deux grandes classes d'échangeurs d'ions : les **échangeurs cationiques** et les **échangeurs anioniques**.

- **Echangeur cationique CF**

- Il contient une résine cationique fortement acide qui est destinée à éliminer de l'eau les ions positifs (calcium, magnésium, sodium, potassium..) en permutation avec des ions H^+ de la résine.



A : représente les bicarbonates (HCO_3), les sulfates (SO_4^{2-}), les chlorures (Cl^-) et les nitrates (NO_3^-) présents dans l'eau avec le calcium, magnésium, sodium ou le potassium.

RH : représente le matériau d'échange (résine) dont l'ion échangeable est l'ion hydrogène (H^+).

- Lorsque l'hydrogène remplace les cations de l'eau, il se forme des acides, donc l'eau sortant de cet échangeur est **débasée**.
- Cette eau a pour caractéristiques: TH= 0; pH= 3; TAF~60°F

Remarque : les échangeurs cationiques (résine cationique) sont caractérisés par la présence dans leur structure de radicaux acides du type sulfonique HSO_3 ou carboxylique HCO_2 qui sont donc susceptibles de fixer des cations minéraux ou organiques et de l'échanger avec un proton H^+ .

- **Echangeur anionique faible Af :**

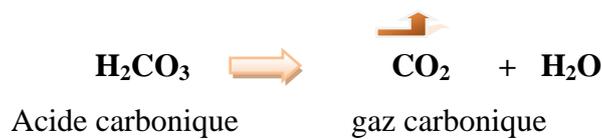
- Il contient une résine anionique faiblement basique, destinée à éliminer de l'eau sortant de l'échangeur cationique, ainsi les sels d'acide fort (SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^{2-}) par échange avec des ions hydroxyde (OH^-).



- L'eau recueillie est considérée comme une **eau déminéralisée**.
- Ses caractéristiques sont: TH= 0 ; pH= 5.5-7.5 ; conductivité < 30μS/cm.

• **Le dégazeur :**

Ce dégazeur est inséré entre l'échangeur anionique faible et l'échangeur anionique fort qui permet d'éliminer une partie de CO₂ présent dans l'eau par aération, le gaz carbonique est 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%**.

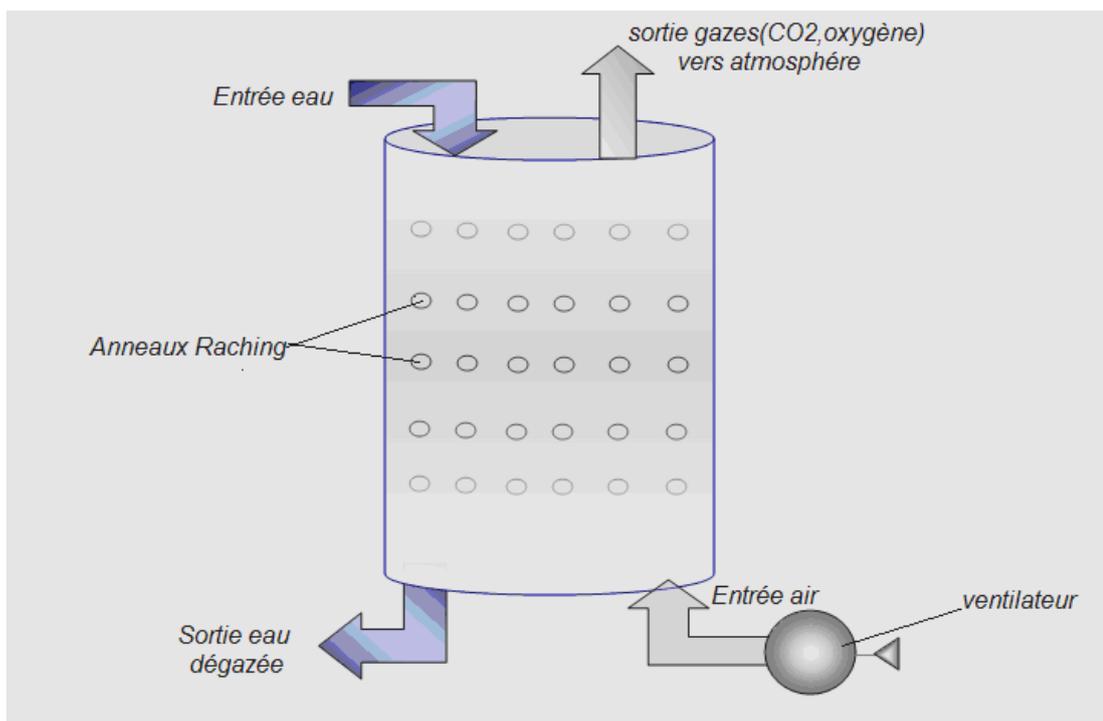


Figure8: schéma d'un dégazeur.

• **L'échangeur anionique fort AF**

- Il contient 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⁻) et l'acide silicique (SiO₃), qui sont échangés contre les ions hydroxydes de l'échangeur.

- L'eau recueillie est considérée comme presque **désilicée**.
- ses caractéristiques sont: TH= 0 ; TAF= 0 ; pH= 8; conductivité < 15us/cm.

• **L'échangeur à lit fixe mélange (ou Mixed Bed)**

- Il contient 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 est désilicée,
- Ses caractéristiques sont: **TH= 0; TAF= 0; SiO2<0.02ppm; pH = 6.5 -7.5; Conductivité<1us/cm.**

ii. Méthodes de régénération

- 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** pour et la résine anionique par une solution de **soude caustique**.

Le tableau ci-dessous décrit les différentes phases de régénération des résines : (tableau1)

Les phases de régénération	
Détassage	Avant de commencer la régénération proprement dite il est important de réaliser un détassage. Cette opération a pour but de débarrasser les couches supérieures du lit de résine des impuretés solides apportées par l'eau dure, à l'aide d'un courant d'eau ascendant (AFSSA, 2009)
Régénération	Elle se fait par introduction de la solution de régénération par percolation sur la résine de bas en haut (contre-courant) ou de haut en bas (co-courant) suivant le type de matériel.
Rinçage	Représente la dernière étape de régénération des résines, qui a pour but de déplacer les traces du régénérant (l'acide sulfurique, la soude...) sur la totalité du lit de résine tout en éliminant la quasi-totalité de l'excès de sel. Il existe un rinçage lent où on déplace le régénérant à l'eau, à faible débit et un autre rapide s'effectue à fort débit, et qui a pour but de chasser les dernières traces qui persistent dans l'appareil en fin de rinçage lent (UAE, 1969).

❖ Régénération à Co-courant (pour le Procédé à lit fixe)

- Le procédé de traitement des eaux au niveau des chaînes de déminéralisation ancienne lignes A, B et D, utilisent les échangeurs d'ions en lit fixe, régénération et saturation* de haut en bas, C.-à-d. que la solution régénérante est mise du même côté que la solution à traiter. Cette technique est la moins chère.

❖ Régénération à contre-courant (pour le Procédé à lits flottants)

- Le procédé de traitement des eaux au niveau des chaînes de déminéralisation notamment les lignes Z et H, utilisent les échangeurs d'ions en lit fixes, régénération de haut en bas, et saturation de bas en haut.
- Dans ce cas, la solution régénérante est mise du sens inverse que la solution à traiter. Cette technique à contre-courant utilise plus efficacement les produits chimiques régénérants, de plus importantes avec à co-courant.

iii. Performance des échangeurs régénérés à contre-courant

- La régénération à contre courant permet une économie de réactifs, due à l'utilisation rationnelle de ceux-ci. Par contre, la régénération à co-courant nécessite des quantités de réactifs qui sont le plus souvent deux à trois fois plus élevées.
- A consommation égale de régénérant, la régénération à contre courant permet d'obtenir des qualités d'eau traitée largement supérieures à celle qui sont obtenues par régénération à co-courant. La capacité utile de la résine est plus élevée en contre courant qu'au co-courant.

iv. Concentration des réactifs

- ☞ Les concentrations d'acide sulfurique (2% et 4%) utilisées pour la régénération des échangeurs cationiques ; ne sont pas choisies au hasard, mais de manière à éviter la précipitation et l'enrobage de la résine par les sulfates de calcium.
- ☞ La concentration de la soude NaOH est de 4% ; elle est utilisée pour la régénération des échangeurs anioniques faible et fort.
- ☞ Toute fausse manoeuvre lors du dosage des réactifs peut avoir des conséquences néfastes pour la tenue de la résine et sa capacité de production.

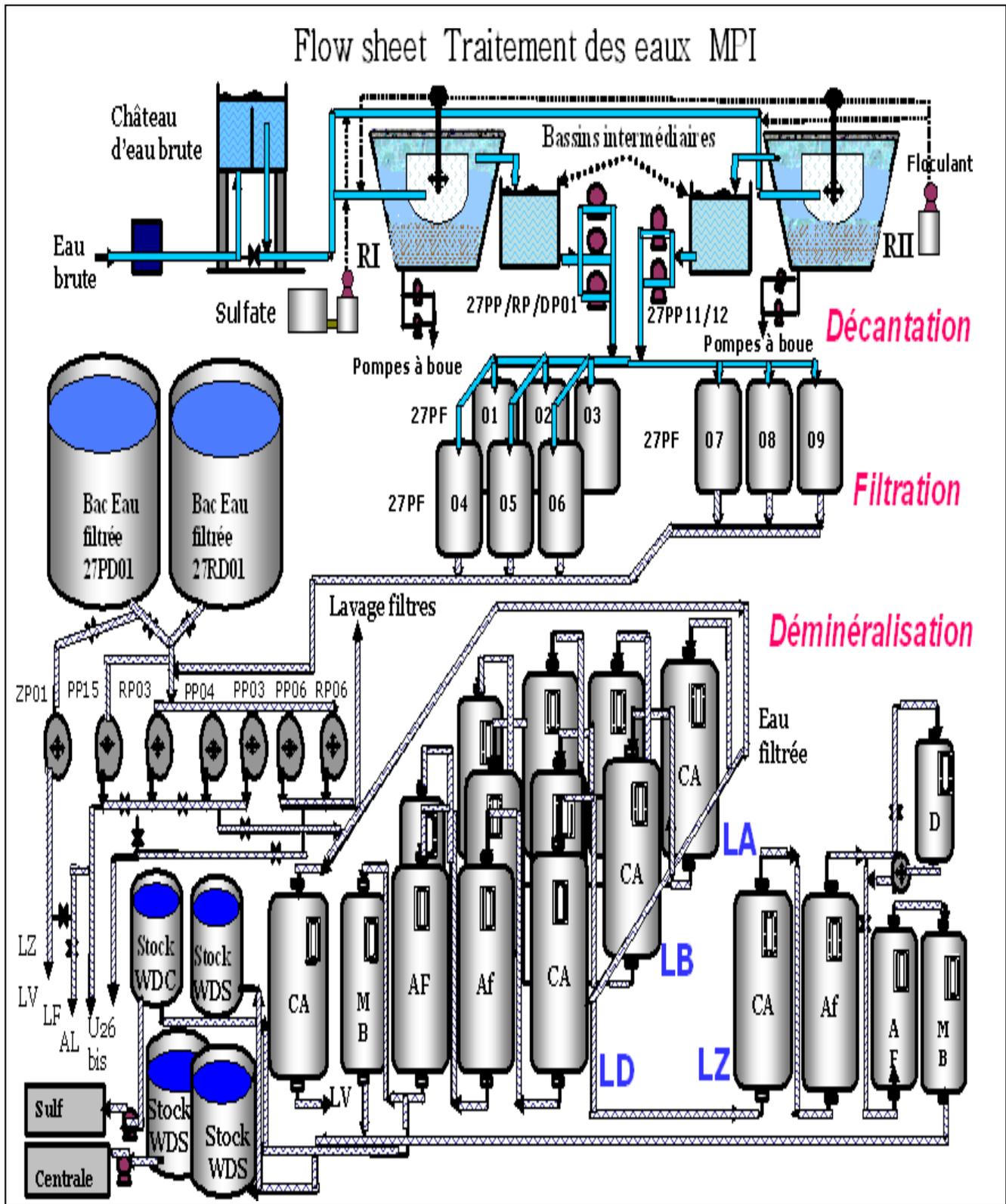


Figure 9: schéma de l'unité de traitement des eaux (Maroc Phosphore I).

CHAPITRE III : PARTIE EXPERIMENTALE

Ce chapitre a pour but d'étudier :

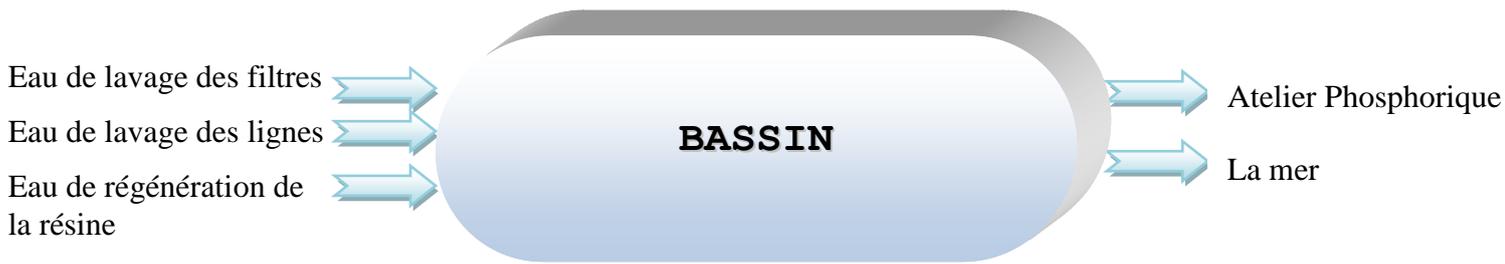
- ☞ Le bilan de matières du bassin des effluents (récupération des eaux acidulées)
- ☞ La proposition des solutions et des scénarios pour éviter les pertes par débordement



Figure 10: Bassin de récupération des eaux résiduelles (Maroc Phosphore D).

1. Problématique : (phase de définition)

- L'atelier TED a pour rôle de remplir les besoins d'eau nécessaires pour les autres services et chacun d'eux demande une eau de qualité différente. Afin de bien compléter cette mission, les machines utilisées telles que les filtres à graviers ou les chaînes de déminéralisation nécessitent un lavage avec une régénération à chaque épuisement. D'ailleurs l'eau utilisée pour cette application finit son trajet au sein d'un bassin qui devient acidulée.
- Le bassin est rempli alors par un mélange :
 - ☞ D'une eau de lavage de la régénération de la résine
 - ☞ D'une eau de lavage des filtres à graviers
 - ☞ D'une eau de lavage des chaînes de déminéralisation.



- Ce mélange du bassin par un contact avec le milieu extérieur donne une eau acidulée inacceptable par l'environnement ;

Exploitation des résultats :

- Cette eau est très dure car, $TH = 153 > 40$ °f donc sa teneur en calcium et en magnésium est élevée ;
- Son titre d'alcalinité $TA=0$ °f, implique que la composition des bases fortes n'existe pas ;
- Sa température $T = 24$ °C;
- Son $pH=3 \ll 7$, donc elle est trop acide ;
- Sa conductivité est de 32282 us/cm, elle est très grande d'où l'existence de la silice et d'autres composants chimiques (carbonates ou sulfates);
- Ce bassin a un volume fixe donc une fois l'eau arrive à un niveau qui est déterminé par un capteur, on a des fuites partout. Afin se débarrasser de cette eau, elle sera dirigée vers :
 - **L'atelier phosphorique** : L'eau qui arrive du bassin se transmet à l'aide des pompes vers l'atelier phosphorique afin qu'il soit consommée, cette quantité consommée est très limitée ;
 - **les égouts** : la quantité restante va alors se déborder vers la mer.

⇒ Cette eau est très acide, il est toxique raison pour laquelle nous allons s'intéresser à minimiser ces pertes.

2. Phase de mesure

a) Collecte des données

On s'est intéressé à étudier les statistiques journaliers des eaux à l'entrée et à la sortie du bassin pour la semaine du 01 Mai jusqu'au le 06 Mai 2018. (Tableau 2)

La figure ci-dessus présente les entrées et les sorties de l'eau du bassin au cours de cette période en m³ :

Jours	Entrée			Sortie
	Eau de régénération de la résine	Eau de lavage des chaînes de déminéralisation	Eau de lavage des filtres	Eau acidulée (atelier ph.)
01	271	474	109	763
02	132	712	218	823
03	303	712	171	755
04	400	738	123	513
05	129	372	133	768
06	234	432	312	645
Moyenne	244	573	177	711

Remarque : l'eau acidulée désigne l'eau qui se transmet vers l'atelier phosphorique

- D'après ce tableau; on peut calculer la moyenne des pertes journaliers.
- ☞ Pour calculer la quantité perdue par débordement vers l'eau de la mer on applique la loi de conservation du flux :

Flux entrant = Flux sortant

Les entrées = les sorties

Donc :

L'eau de lavage des filtres à graviers + l'eau de régénération de la résine + l'eau de lavage des chaînes de déminéralisation (U28) = l'eau acidulée + pertes

⇒ **Pertes = Total des entrées – l'eau acidulée**

$$\Rightarrow \boxed{244+573+177-711= 283 \text{ m}^3}$$

D'où : **Les pertes sont égales à 283 m³**

3. Phase d'amélioration

- D'après les phases précédentes, on a pu définir et analyser notre problème en déterminant toutes les causes et les facteurs qui influencent sur ce problème de débordement.
- Durant cette phase, on suggère de nouvelles idées afin de proposer des solutions pour améliorer l'état actuel et le rendre plus conforme.

Les solutions proposées

3.1. Solution1

- Notre client cherche à avoir une eau d'une bonne qualité ; pour cela on va essayer de se débarrasser de l'eau qui rend le bassin acidulé ; pour effectuer ceci, on doit :
 - ☞ S'évacuer de l'eau de régénération et de lavage des chaines de déminéralisation vers les égouts
 - ☞ Ne récupérer dans le bassin, que l'eau qui résulte du lavage des filtres.
- En effet, les filtres à graviers ne nécessitent pas de l'acide sulfurique ou de la soude pour le lavage, on l'effectue par l'eau filtré même ; ce qui satisferait notre consommateur.

Remarque 1: dans ce cas là on aura plus des pertes d'eau

- Le tableau 3 regroupe les statistiques des entrées de l'eau du bassin au cours du mois de mars :

Eau de lavage des filtres	Eau de régénération + lavage des lignes de déminéralisation
4698 m ³	14096 m ³

Remarque 2: La quantité d'eau de régénération + Celle du lavage des lignes de déminéralisation est plus grande que celle du lavage des filtres ; raison pour laquelle cette solution n'est pas très satisfaisante.

3.2.Solution 2

- D'abord, On sait déjà que le seul consommateur de l'eau acidulé est l'atelier phosphorique ; par contre la quantité consommée est très faible pour des raisons d'augmentation d'acidité ; en fait cet atelier utilise plus l'eau filtrée que l'eau du bassin afin d'avoir un bon rendement
- Pour cette raison la régulation/le maintien du pH du bassin serait la meilleure solution
- Pour cela on devrait établir un ensemble de techniques qui vont permettre de conduire l'eau vers le bassin d'une façon bien organisée pour agir sur le paramètre (pH) demandé par le consommateur.

- Donc en fait, dès que le pH du milieu augmente, on arrête la conduction de l'eau venant des chaînes qui nécessitent un lavage ou une régénération par l'acide sulfurique notamment les échangeurs cationique, On ouvre ensuite une autre vanne qui permet de dégager cette eau directement vers les égouts
- Dans ce cas là, on n'aura que cette dernière comme pertes.

NB : Une pompe est déjà installée dans le bassin qui permet de rendre l'eau homogène afin d'avoir un pH bien déterminé.

a) Description

L'atelier TED constitue 5 lignes de déminéralisation ; on rassemble l'eau qui sort au niveau des échangeurs cationiques dans une seule conduite afin d'avoir un trajet commun

- On rassemble les sorties de régénération et de lavage de tous les échangeurs cationiques dans une seule conduite pour avoir un seul rejet et par suite on installe deux vannes comme suite :

☞ Une vers les égouts **A** ;

☞ Une autre vers le bassin **B**.

- La procédure de récupération de l'eau de régénération et de lavage des échangeurs anioniques restera toujours la même

- Dès que le pH de l'eau dans le bassin est acide on arrête l'alimentation de l'atelier phosphorique en fermant la vanne **D** tout en laissant la vanne **E** ouverte pour effectuer le recyclage ; par suite on ouvre la vanne de la sortie **A** et on ferme celle de **B** pour se débarrasser de cette eau vers la mer.

- Une fois le pH de l'eau devient acceptable par le consommateur, on récupère l'eau du bassin vers l'atelier phosphorique en fermant la vanne **E** tout en ouvrant la vanne **D**.

b) Résultat

- D'ailleurs, on pourra effectuer le transfert de l'eau qui aura un pH plus ou moins acceptable pour l'atelier phosphorique ; on aura moins de pertes d'eau et plus de consommation de celle-ci.

- Il suffit de brancher une vanne au niveau du sortie du bassin vers l'atelier phosphorique afin qu'on puisse contrôler le transfert dès que les paramètres de l'eau varient.

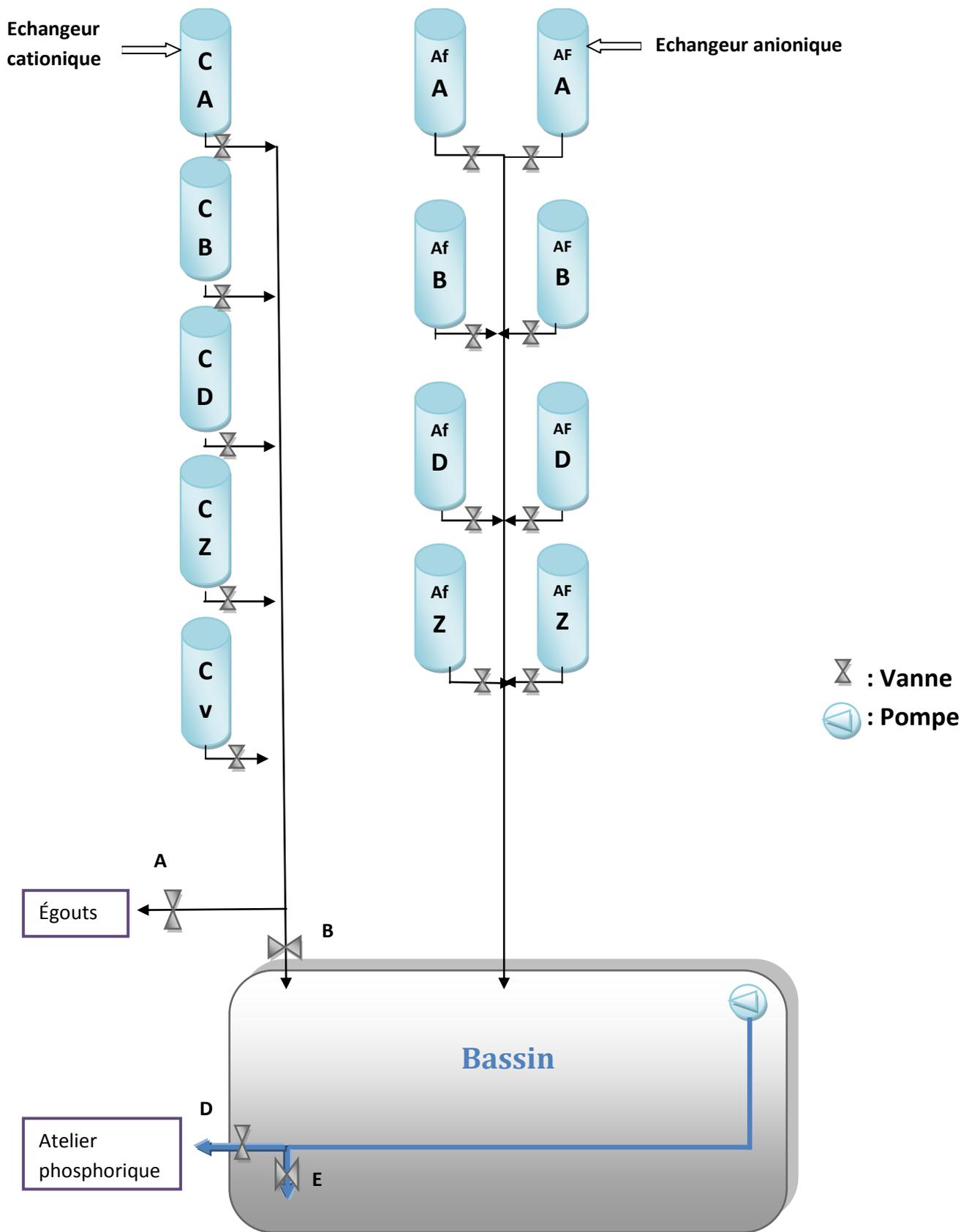


Figure 11 : Schéma illustrant la distribution TED

3.3. Solution 3

- L'atelier phosphorique est le seul consommateur du bassin de récupération des eaux, mais la quantité prise par ce dernier est minime puisque il utilise une pompe de capacité inférieure à $60 \text{ m}^3/\text{h}$; de plus cette dernière ne marche pas toutes les 24 h. Tout cela vient du fait que celui-ci utilise comme source d'alimentation principale l'eau filtrée ; et au cas de besoin on ouvre la vanne pour utiliser l'eau du bassin comme source secondaire.
- On suggère comme solution le fait d'inverser le sens d'alimentation c'est-à-dire prendre l'eau du bassin comme une source primaire puis l'eau filtrée comme secondaire ; car en fait leurs besoins dépassent beaucoup la capacité du bassin puisque d'après le bilan journalier, l'atelier phosphorique consomme presque **$9430,64 \text{ m}^3/\text{j}$** . Donc par rapport aux pertes d'eau calculée qui sont de **$283 \text{ m}^3/\text{j} + 711 \text{ m}^3/\text{j}$** celle qui est déjà transmise vers celui-ci on aura une quantité presque négligeable pour lui qui est de **$994 \text{ m}^3/\text{j}$** .
- Afin de réaliser ceci on a besoin de changer la pompe actuelle qui marche toujours avec un débit presque stable à **$40 \text{ m}^3/\text{h}$** par une autre d'un débit plus grand. (figure 11)



Figure 12: pompe centrifuge pour eaux usées / pour eau de mer / d'acide / pour bases

a) Caractéristiques de la pompe

☞ **FLUIDE:** pour eaux usées, pour eau de mer, d'acide, pour bases.

☞ **DEBIT:** Max: 184 m³/h et Min: 0 m³/h

☞ **PRESSION :** Max: 50 bar et Min: 0 bar

☞ **PUISSANCE:** Max: 75 Kw et Min: 0.37 kW

b) Description de la pompe

- La famille de pompe verticale centrifuge, multicellulaire, peut être utilisée pour les applications d'alimentation en eau, du traitement de l'eau, de plus elle est une solution pour presque toutes les configurations industrielles: liquides à haute pression, chauds, dangereux, inflammables et agressifs.
- Afin qu'on puisse transmettre 991m³/j vers notre client, la pompe doit fonctionner au moins 5 heures par jours selon le calcul suivant :

$$t = \text{Quantité/Le débit} = 994/184 = 5 \text{ h } 24 \text{ min}$$

3.4.Solution 4

L'OSMOSE INVERSE OU DÉMINÉRALISATION SANS AJOUTS DE PRODUITS CHIMIQUES

- Ce procédé de traitement en continu est utilisé pour la déminéralisation des eaux à destination des circuits de refroidissement, des chaudières ou de la fabrication (agro-alimentaire).

POURQUOI CHOISIR LE TRAITEMENT PAR OSMOSE INVERSE ?

Le choix de la technologie d'osmose inverse comme filière de traitement nous permet d'accéder à :

- Un traitement d'eau sans rejets d'effluents chimiques
- Une garantie d'un produit stable et approuvé
- Une utilisation simple et sécurisée sans ajout de produits chimiques (acide et soude)
- Un équipement compact avec une emprise minimale
- Une mise en œuvre simple et rapide.

a) Principe :

- L'**osmose inverse** est un système de purification d'eau contenant des matières en solution par un système de filtrage très fin qui ne laisse passer que les molécules d'eau.

Cette technique est utilisée pour :

- Le dessalement des eaux de mer
- Le dessalement des eaux saumâtres
- La production d'eau ultra pure
- La production d'eau de process...

- Le phénomène d'osmose est un phénomène qui tend à équilibrer la concentration en solutés de part et d'autre d'une membrane semi-perméable. C'est un phénomène naturel courant, notamment à travers les membranes cellulaires. La membrane semi-perméable laisse passer le solvant (le soluté ne passe pas) pour équilibrer la concentration. La différence de concentration crée une pression, appelée Pression osmotique. Pour inverser le passage du solvant et augmenter la différence de concentration, il faut appliquer une pression supérieure à la pression osmotique.

- Les osmoseurs sont alors composés de cartouches. Les modèles les plus répandus en utilisent trois :

- **LA PREMIERE CARTOUCHE:** Un filtre à sédiments d'une porosité de 5 à 10 μm ; Cette cartouche est destinée à retenir toutes les impuretés solides présentes dans l'eau.
- **LA DEUXIEME CARTOUCHE:** Un filtre à charbon actif qui permet de neutraliser le chlore afin de protéger la membrane.
- **LA TROISIEME CARTOUCHE:** Elle est démontable ; elle reçoit la membrane d'osmose inverse. Cette cartouche comporte une sortie d'eau osmosée et une sortie des concentrats. Cette dernière sortie passe au travers d'un restricteur avec un débit, il participe aux jeux de pression, est essentiel au procédé d'osmose inverse et influe sur le rendement. Un système manuel ou automatique de désactivation du restricteur est parfois ajouté pour permettre à la membrane d'être rincée.

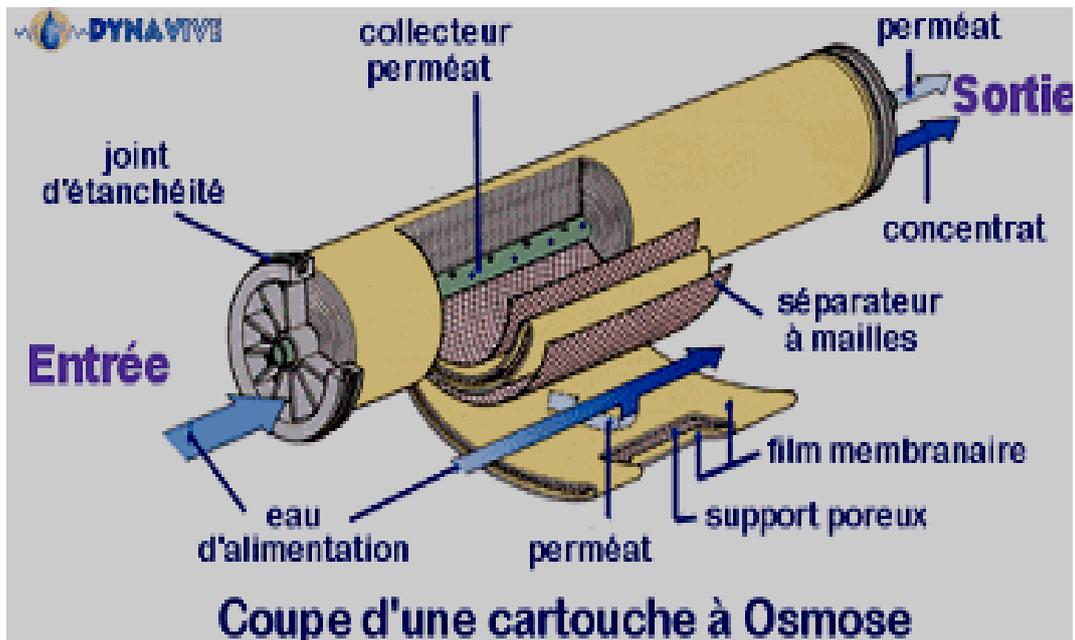


Figure 13: Coupe d'une cartouche à Osmose

- La solution d'Osмосe Inverse reste la plus pratique, car elle donne un rendement très élevé, elle ne prend pas un grand espace au niveau d'installation et en outre n'est pas coûteuse.

4. Phase de control :

- Suivi des solutions mises en place. Il est important d'éviter tout retour en arrière. D'autre part, les résultats ne sont pas toujours immédiatement visibles. Il s'agit là de la phase la plus délicate, propre à toutes les démarches de progrès continu. Le retour en arrière est une menace de tous les instants. Soutenir l'effort passe nécessairement par l'instauration d'une culture généralisée de la mesure.

CONCLUSION

Le travail mené dans le cadre de notre projet de fin d'étude est une contribution au traitement et à la déminéralisation des eaux impliquées au Maroc Phosphore I (MPI) du Groupe OCP de Safi.

En effet, cette étude s'est accentuée sur les pertes d'eau résultant du bassin des effluents, en s'intéressant sur le bilan massique de ce dernier.

D'après le bilan des pertes des effluents, on propose les suggestions et les solutions suivantes afin de minimiser ces pertes :

- ☞ Satisfaire le seul consommateur ; mais avec une quantité des pertes d'eau élevée.
- ☞ Conduire l'eau vers le bassin d'une façon bien organisée pour agir sur le pH demandé
- ☞ Augmenter le débit entrant vers l'atelier phosphorique
- ☞ Remplacer la technique actuelle de traitement par une nouvelle plus rentable et moins coûteuse (osmose inverse).