

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

BADJIMOKHTAR-ANNABAUNIVERSITY
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté des Sciences de l'Ingénierat

Année 2018

Département de Génie des Procédés

Spécialité : Génie Chimique

MEMOIRE

Analyses et suivie du comportement des eaux des circuits de refroidissement du Complexe Sidérurgique d'El-Hadjar

Présenté par :

Sabrina BOUZIANE

DIRECTEUR DE MEMOIRE : SAOUDI Fethi, MAA, Université Badji Mokhtar- Annaba

Devant le jury :

Président : TOUBAL Abdelaziz,

Professeur, Université Badji Mokhtar-Annaba

Membre : GHODBANE Ilhem,

MAA, Université Badji Mokhtar-Annaba

INTRODUCTION

L'eau paraît simple, sans mystère. C'est en fait complexe, aux réactions insoupçonnées, que seul le spécialiste connaît et maîtrise. [1]

Chaque fois qu'un utilisateur d'eau s'avise d'une différence sensible entre les caractéristiques de l'eau dont il dispose et celles que requiert sa destination finale, il y a lieu de procéder à un traitement spécifique de cette eau, par épuration ou par conditionnement

Les problèmes de traitement de l'eau, depuis longtemps posés, présentent, à l'heure actuelle, un intérêt croissant pour de multiples raisons parmi lesquelles nous relèverons, en premier lieu, l'augmentation de la consommation liée, d'une part, à la croissance démographique, mais aussi à l'augmentation individuelle et de la consommation industrielle.

La plus grande partie de l'eau consommée pour les besoins de l'industrie correspond à des eaux de refroidissement, dans un circuit de refroidissement, l'eau est utilisée comme un simple fluide **caloporteur** du fait de sa forte chaleur spécifique et de son faible coût, même après traitement, par rapport aux autres fluides **caloporteurs**.

Trois types de problèmes principaux se posent dans le circuit de refroidissement, ce sont :

La corrosion, les salissures et l'entartrage.

Une prise de conscience générale de la gravité des problèmes nous a incités à mener cette étude pour l'analyser. Pour cela il s'est avéré nécessaire de procéder à essayer de trouver les causes de ces problèmes.

Trois idées directrices ont servi de point de départ à la conception de ce mémoire :

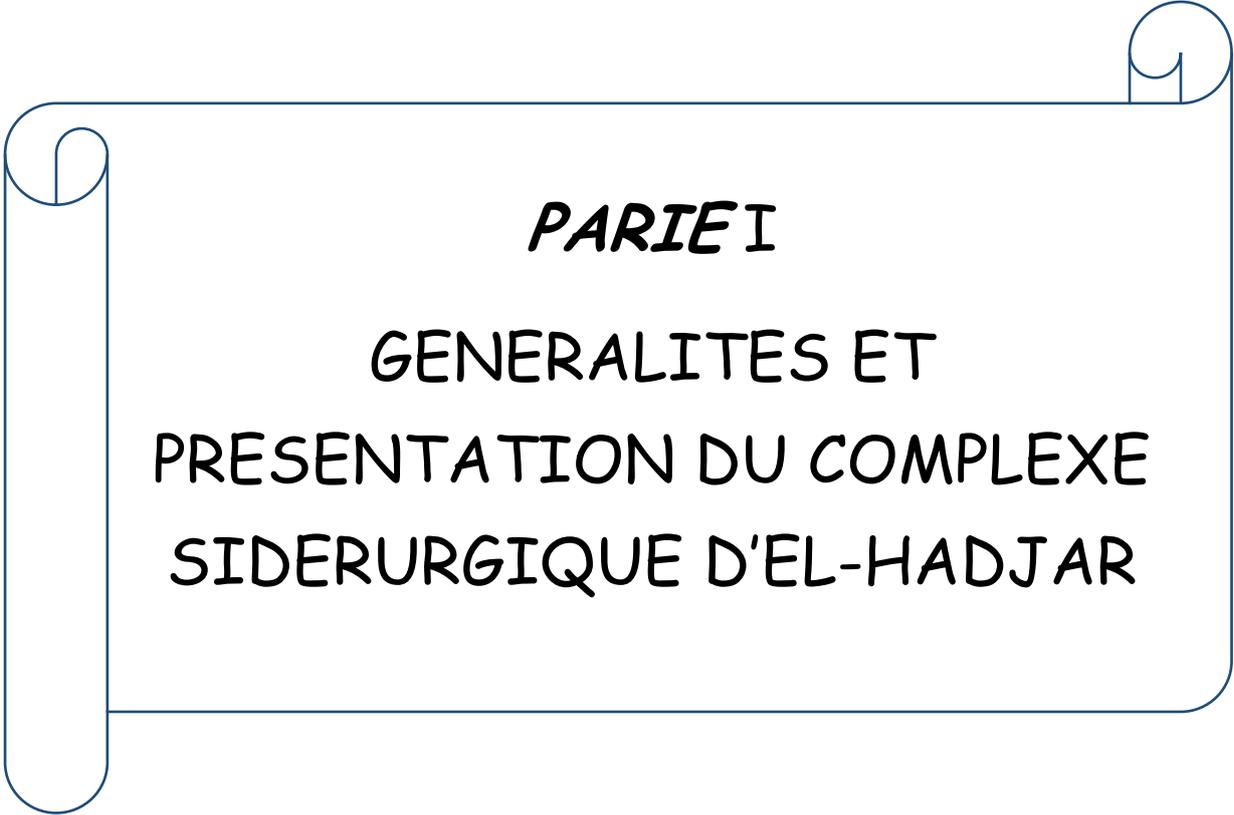
- Les problèmes de salissures seront traités partant d'une eau parfaitement clarifiée ;
- Les problèmes d'entartrage seront éliminés en adoucissant la totalité de l'eau de remplissage ;
- Les seules contraintes qui restent concernent l'utilisation de produits de conditionnement anticorrosion

Pour essayer de répondre au premier objectif, nous avons procédé à des essais de clarification afin d'étudier l'influence de divers paramètres. Nous avons complété cette étude par une meilleure compréhension du processus d'échange d'ions pour adoucir l'eau (élimination des ions calcium et magnésium).

Afin d'étudier ce mode de traitement, nous sommes intéressés au cas de l'entreprise sidérurgique d'El-Hadjar, en essayant d'apporter quelques réponses aux problèmes rencontrés dans ce type de traitement.

La première partie de ce mémoire est réservée pour la présentation du complexe sidérurgique d'El-Hadjar et notamment la section fluide.

Quant à la deuxième partie, elle est spécifique aux analyses de différentes eaux utilisées dans les circuits de refroidissement, ces analyses permettront d'orienter les traitements nécessaires pour chacune des eaux.



PARIEI

**GENERALITES ET
PRESENTATION DU COMPLEXE
SIDERURGIQUE D'EL-HADJAR**

Présentation du complexe

Historique du complexe :

Période coloniale : Le projet de construction d'une usine sidérurgique à Annaba été inscrit en 1958 dans le plan de Constantine. Ce projet a vu la Création de la Société Bônoise de Sidérurgie (SBS) qui a été chargée de réaliser un haut fourneau et ses annexes. ^[2]

. **1964, création de SNS :** Après l'indépendance, l'état algérien a créé, le 03 Septembre 1964, la Société Nationale de Sidérurgie (SNS) qui a été chargée de la construction du complexe sidérurgique d'El-Hadjar 1969, première coulée : le complexe est entré en production après son inauguration le 19 juin 1969 par le Président de l'état Algérien Houari Boumédiène.

. **1983, création de EN SIDER :** La restructuration de l'industrie algérienne a donné naissance à l'Entreprise Nationale SIDER.

. **1995, création du Groupe SIDER :** Cette évolution marque le passage de l'entreprise administrée à l'entreprise économique EPE/SPA.

. **1999, création de ALFASID :** Un plan de redressement Interne du Groupe Sider donne naissance à 25 entreprises industrielles autonomes dont ALFASID qui représenté le « cœur du métier » de la sidérurgie.

. **ISPAT Annaba le 18.10.2001 :** Un contrat de partenariat entre SIDER et LNM donne naissance à ISPAT Annaba. LNM détient 70% du capital social et SIDER 30%. Cette nouvelle société regroupe les filiales de SIDER liées au métier de base de la sidérurgie qui sont : Alfasid, Almain, Gessit, Iman, Amm, Comersid, Alfatub, Cryosid, Coprosid et Fersid). Ispat Tébessa est créée à la même période. Elle est le résultat d'un partenariat entre LNM (70%) et FERPHOS (30%). Elle comprend les mines de fer d'Ouenza et de Boukhadra.

. **Décembre 2004 Mittal Steel Annaba:** La société change de dénomination après la fusion de LNM holding et ISPAT International.

. **Juin 2007, ArcelorMittal Annaba :** Résultat de la fusion entre Mittal Steel et Arcelor..

Octobre 2013, ArcelorMittal Algérie : La société change de dénomination après la signature d'un accord stratégique entre ArcelorMittal et Sider par lequel, la participation d'ArcelorMittal dans le capital de la société passe à 49% et celle de Sider à 51%.

. **Août 2016, SIDER EL HADJAR** : La société devient Algérienne à 100% suite à la signature de l'accord de transfert de la totalité des actions détenues auparavant par le groupe ArcelorMittal vers le groupe public IMETAL.

Situation géographique :

Le complexe sidérurgique d'EL HADJAR est situé à l'est du pays dans la zone industriel d'ANNABA. Il est implanté à 15 km au sud de la ville et occupe une superficie de 800 ha. ^[2]

Cette surface est répartie approximativement en trois zones :

- ✓ Les ateliers de la production « 300 Ha »
- ✓ Les zone de stockage « 300 Ha »
- ✓ Les surfaces des services « 200 Ha »

Le complexe dispose d'une infrastructure ferroviaire d'une longueur de 60 Km, permettant la libre circulation des matières premières et près de 100 Km de route permettant la circulation des engins (autobus, camion, véhicule, etc...)



Figure I.1 : Image satellite du complexe

I.1). Principales activités :

Le tableau I.1 représente les principales activités du complexe.^[1]

Installation	Produits	Principaux utilisateurs
Cokerie	Coke	Métallurgie
HF₁ et HF₂	Fonte	Métallurgie
ACO₁	Brames	Industrie de transformation
ACO₂	Billettes	Industrie de transformation
Laminoir à chaud (LAC)	Tôles forte	Construction métallique Chantiers navals Tube bouteilles à gaz
Laminoir à froid (LAF)	Tôles fines	Electroménager Mobilier métallique Industrie de transformation
Etamage	Fer blanc	Emballage métallique Divers pour les industries Alimentaire et chimique
Galvanisation	Tôles galvanisées	Bâtiments pour l'agronomie Industrie et levage
Aciérie électrique (ACE)	Lingots	Recherche et production pétrolière Transport des hydrocarbures
Laminoir à fil rond (LFR)	Fil rond a béton	Bâtiments et travaux publics Hydraulique

I.2). Organigramme du complexe :

L'organigramme ci-dessous (Figure I.2) représente l'organisation des différentes installations ainsi que leurs produits finis avec les principaux utilisateurs [2]

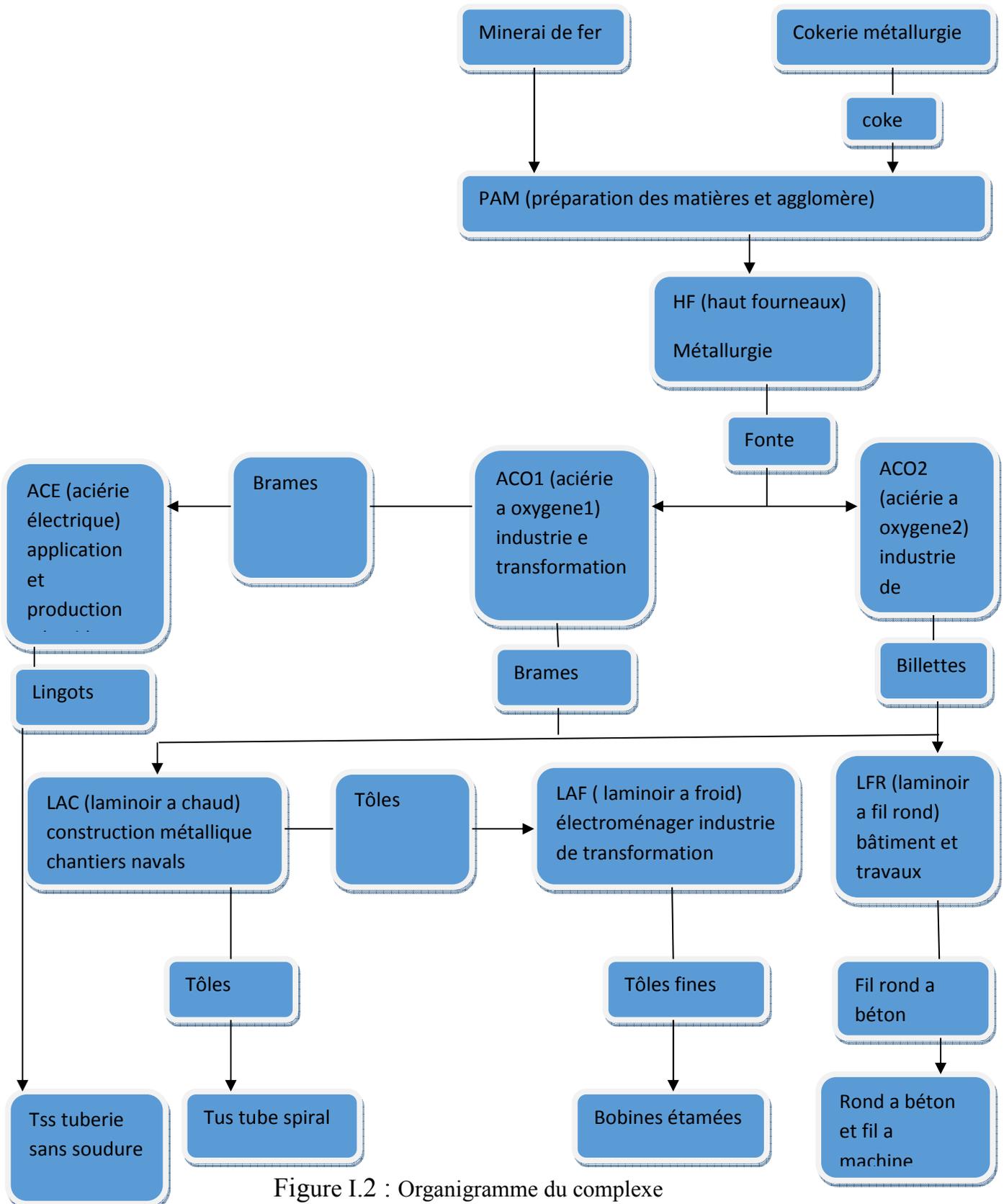


Figure I.2 : Organigramme du complexe

I.3) La division fluide (FLU) :

La division fluide s'occupe principalement de la distribution des différents fluides à travers le complexe et d'assurer la protection à partir d'un réseau de conduite (le rack) tout diamètre confondu qui s'étend à plus de 25 Km. [2]

Ce service assure la production de plusieurs fluides :

- La distribution et la protection de l'eau industrielle.
- La distribution et la protection de l'air service.
- La distribution et la protection de la vapeur saturée.
- La distribution et la protection du gaz naturel.
- La distribution et la protection de l'eau potable.



Figure I. 3 : Racks conduites (vapeur – gaz – eau – air).

I.4). Organisation de la division des fluides :

Cet organigramme (Figure I.4) montre la planification et l'organisation des différents équipements de la division fluide ^[3]

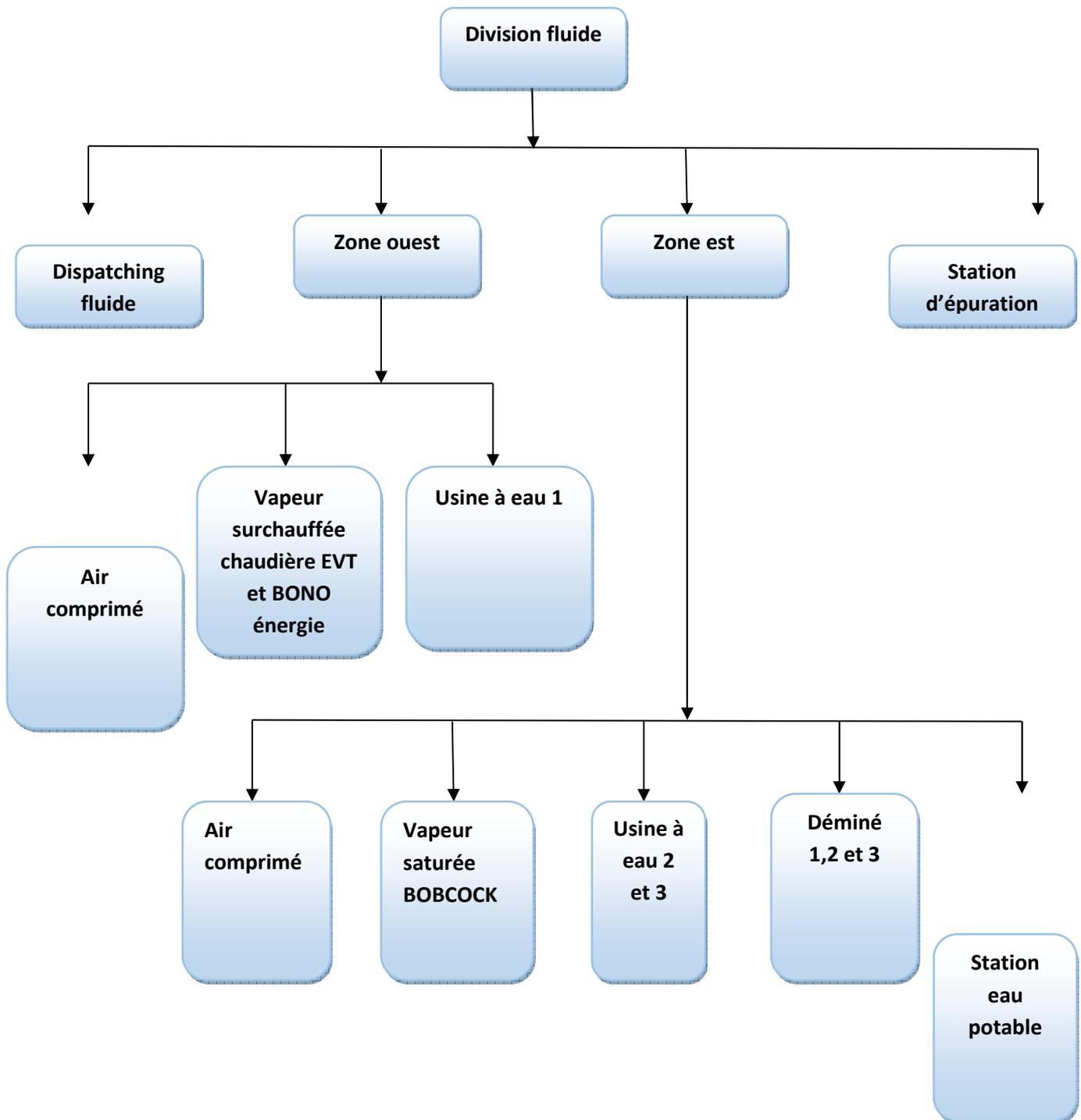


Figure I.4 : Organisation de la division fluide

I.5). La distribution et la protection de l'eau industrielle :

Ce schéma représente les différentes étapes de traitement de l'eau brute :

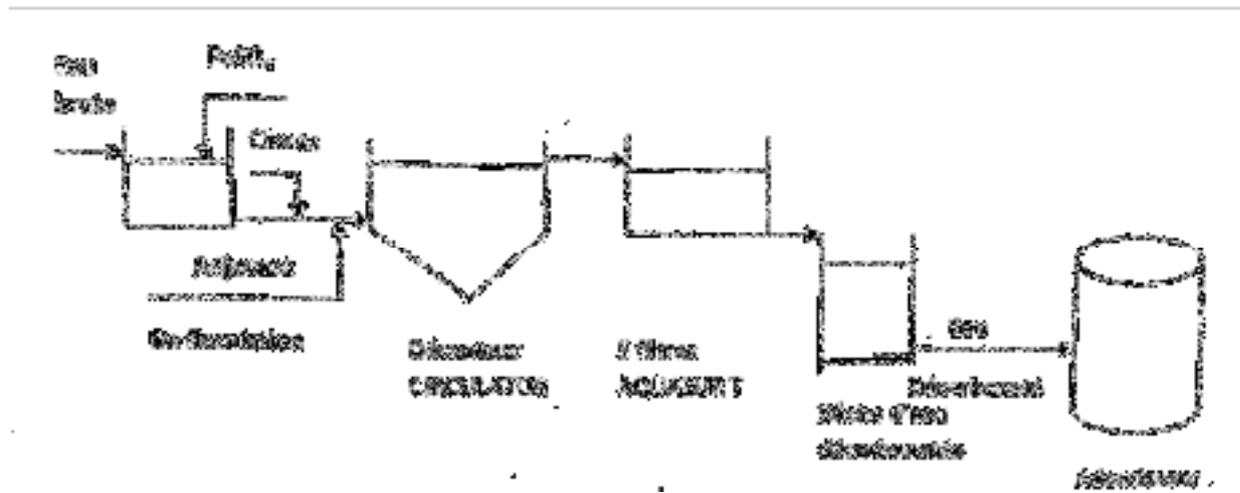


Figure I.5 : Schéma du principe de l'usine de traitement d'eau brute

a) L'eau brute :

Le réseau d'eau qui alimente l'usine provient du barrage de CHAFFIA vers la station de pompage qui se trouve à SIDI AMAR, cette dernière alimente le complexe avec des conduites de 1050 mm sous une pression de 4 bars et un débit de 2000m³/h. l'usine possède une réserve en eau qui peut servir en cas extrême (Figure I.6).^[3]



Figure I. 6 : Réserve du complexe.

b) Alimentation en eau brute :

L'eau arrive dans les conduites d'alimentation en eau brute provenant de la réserve privé du complexe. La pression dans l'arrivé est régulé dans la salle de pompage EBS (Figure I.7).



Figure.7 : Conduite d'arrivée d'eau



Figure I.8 : Salle EBS

L'eau arrive dans la conduite d'alimentation avec une grande pression, elle se dirige directement dans un bassin amortissant appelé le brise charge (Figure I.9). Le rôle de ce dernier est de cassé la grande charge de l'eau qui arrive du barrage et essayer de les freiné.



Figure I.9 : La brise charge

c) La coagulation et la floculation :

La coagulation-floculation : c'est un procédé physico-chimique qui facilite l'agglomération des fines particules (colloïdes) contenues dans l'eau afin de former un floc qui pourra facilement être filtré de l'eau. ^[9]

Les coagulants : ce sont des produits liquides utilisés principalement pour le traitement des eaux de circulation. L'ajout d'un réactif coagulant à une eau usée permet de déstabiliser les particules colloïdales en suspension dans l'eau.

Les floculants : ce sont des produits liquides qui permettent de faciliter le contact entre les particules préalablement déstabilisées, déchargées par la coagulation. L'agitation du fluide provoque l'agglomération des pigments ^[10]

Après avoir été stagné l'eau passe dans le décanteur à travers une conduite souterraine. On y ajoute des produits chimiques tels que des adjuvants ' un copolymère d'acrylamide PE14' (Figure I.10), de la chaux et de la chlorifirique pour purifier l'eau des particules, dans le but d'avoir une eau industrielle de très bonne qualité.



Figure I.10 : Echantillon de l'adjuvant à flocculation

d) La décantation :

La décantation est une opération de séparation mécanique, par différence de gravité de phases non-miscibles dont l'une au moins est liquide. On peut séparer des phases liquides, une phase solide en suspension dans une phase liquide. ^[11]

Donc cette opération circulaire qu'on appelle la décantation est réalisée dans un décanteur qui possède un bras pivotant, et ayant un fond conique (les figures 11 et 12).

Le bras rotatif est muni d'un racleur qui pousse la boue dans le cône positionné au fond c'est là où la flocculation est réalisé, on sépare l'eau traité de la boue qui s'échappe d'un autre conduit. ^[11]



Figure I.11 : Le décanteur

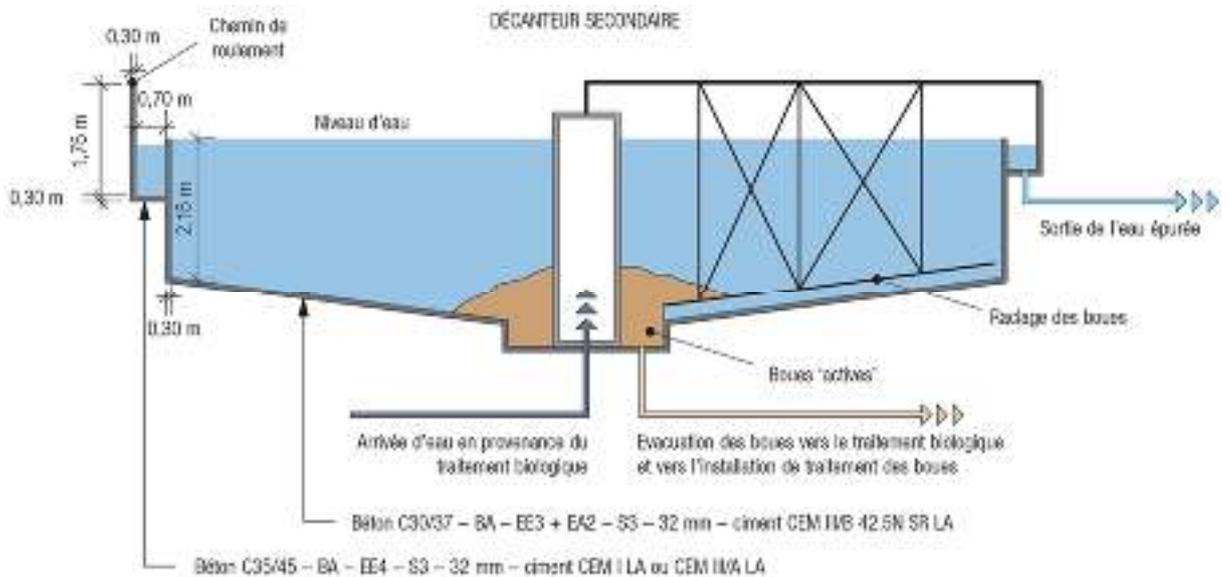


Figure I.12 : Schéma représentatif du décanteur.

Après les opérations de décantation, l'eau déborde dans un canal où il subira un autre traitement qui est la filtration à sable



Figure I.13 : Eau débordante du décanteur

e) **Filtration à sable :**

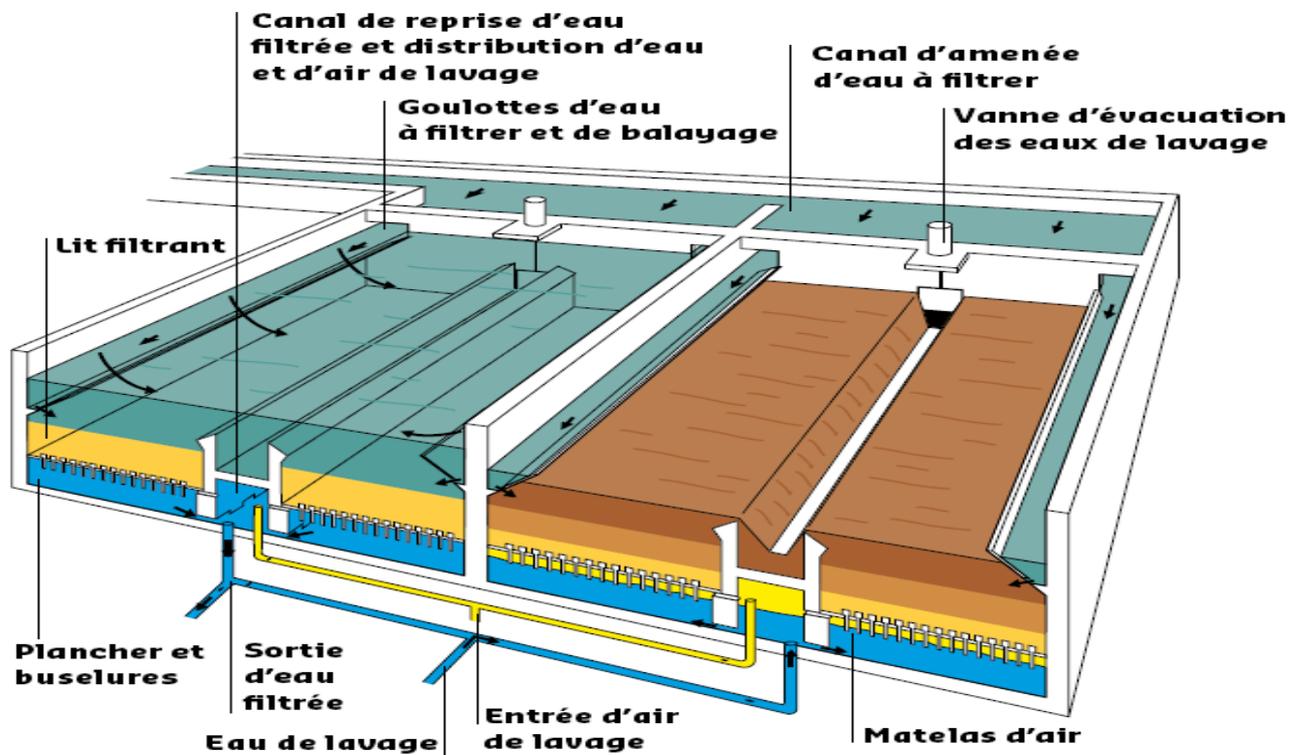
La filtration lente est une méthode d'épuration biologique qui consiste à faire passer l'eau à travers un lit de matériau filtrant à une vitesse de 6 à 8 m/h. Le matériau filtrant le plus approprié est le sable. Au cours de ce passage, la qualité de l'eau s'améliore considérablement par la diminution du nombre de micro-organismes (bactéries, virus, kystes), par l'élimination de matières en suspension et colloïdales et par des changements dans sa composition chimique. A la surface du lit se forme une mince couche appelée "membrane biologique". Cette mince couche superficielle est essentielle, car c'est là où le processus d'épuration se déroule. [12]

Donc l'eau qui déborde du décanteur se dirige vers des bassins, où toute au fond se trouve des filtres et au dessus il y'a du sable, c'est là où se passe la filtration de l'eau pour obtenir une eau industrielle, sachant que :

- Filtration lente : granulométrie (diamètre) est de 0.4 à 0.8 mm
- Filtration rapide : granulométrie est de 0.9 à 1.35 mm.



Figure I.14 : Filtre à sable



Principe de fonctionnement de l'Aquazur V

Figure I .15 : Schéma du filtre à sable

Après la filtration, l'eau se dirige vers la salle de traitement des eaux. Cette salle contient des bâches à eau souterrain où est stocké de l'eau industrielle qui sort des bassins à sable. Il y'a différentes pompes où chacune a un rôle bien précis, dont les pompe de lavage qui sert a lavée les filtre.



Figure I.16 : La salle de traitement

I.6). L'osmose inverse :

L'osmose inverse (OI) est une technique de séparation utilisant des membranes denses. La séparation des solutions ne se fait donc plus sur la base de leur taille mais plutôt en fonction de leur affinité vis-à-vis de la phase membranaire (Figure I. 18).

On appelle osmose inverse le transfert de solvant à travers une membrane semi-perméable sous l'action d'un gradient de concentration. Pour illustrer ce phénomène, considérons une membrane idéalement perméable, c'est-à-dire ne se laissant traverser que par le solvant, séparant deux compartiments contenant des solutions de concentrations différentes, puisque la diffusion des solutés à travers la membrane est impossible, le système va évoluer spontanément vers un état d'équilibre thermodynamique en déplaçant une partie du solvant contenu dans le compartiment dilué vers le compartiment concentré. Le flux solvant s'annulera que lorsque le potentiel chimique du solvant sera égal dans chacun des deux compartiments. Ce phénomène est connu sous le nom d'osmose. ^[4]

L'afflux de solvant dans le compartiment concentré entraîne une augmentation de la pression à l'intérieur de ce dernier. La surpression mesurable lorsque l'état d'équilibre est atteint est appelée pression osmotique. Il est techniquement possible de s'opposer au flux de solvant (donc au phénomène d'osmose) en appliquant dans le compartiment concentré une pression

supérieure à la pression osmotique. Dans ce cas, le flux de solvant est inversé, c'est-à-dire que les molécules de solvant sont forcées à quitter le compartiment concentré pour rejoindre le compartiment dilué. C'est le principe de l'osmose inverse (Figure I. 17).



Figure I. 17 : Salle de l'osmose inverse

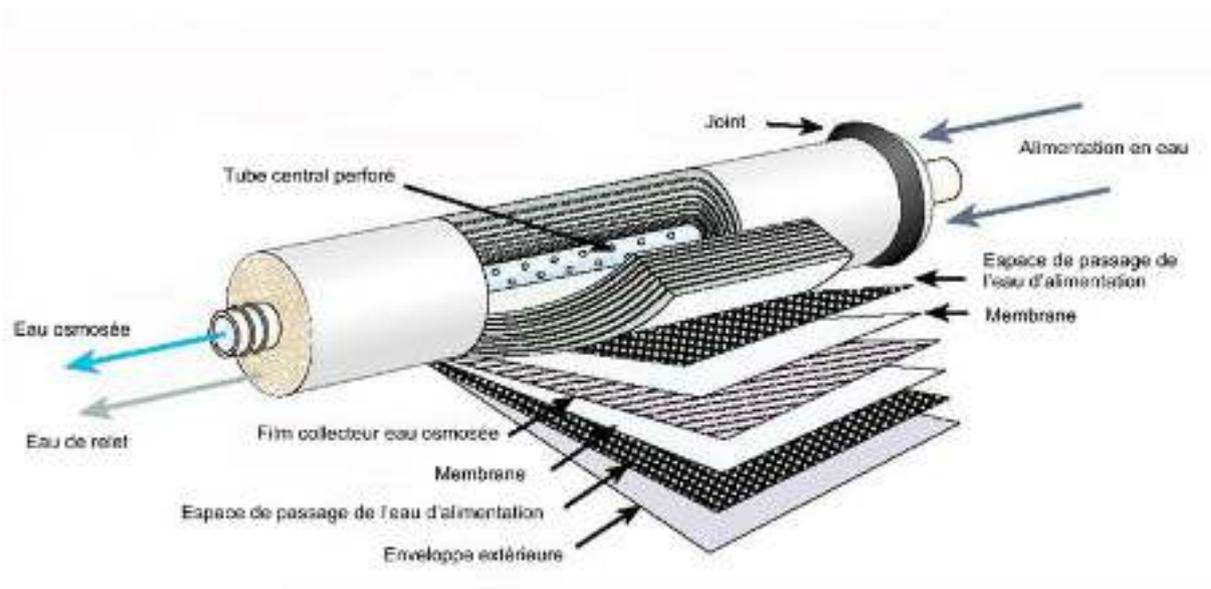


Figure I. 18 : Schéma de la membrane

Compresseur zone Est

Le complexe sidérurgique d'El hadjar a connu quelques changements récents, ^[6] tel que la **zone Est** qui contient des nouvelles machines comme le compresseur **Atlas copo** à 3 étages a refroidissement par eau qui a les caractéristiques suivantes :

Débit d'air libre : 10700 à 17000 m³/h.

Moteur installée : 1000 à 1850 Kw.

Masse : 18000 Kg .

Pression d'aspiration : 1 bar.

Température de l'air à l'aspiration : 35 °C.

Humidité relative : 60 %.

Température d'eau de refroidissement : 26,7 °C.



Figure I .19 : Compresseur zone Est



Figure I.20 : Compresseur copo atlas à 3 étages

I.7). La distribution et la protection de la vapeur saturée :

La chaudière est un dispositif qui permet de chauffer de l'eau afin de produire de la vapeur sous pression, cette dernière va être utilisée dans différents domaines dans le complexe.

Les chaudières à tube d'eau représentent la **grande majorité des chaudières en service**.

Elles ne subissent pas les contraintes des chaudières à tubes de fumées (dimensions du corps cylindrique, tubes soumis à la pression extérieure, etc.) et permettent de couvrir toute la gamme de vaporisation des chaudières industrielles de 0,1 à 400 t / h.

Elles permettent une réduction importante du volume d'eau contenu dans les tubes par rapport au débit de vapeur produite, le réservoir ayant la dimension juste nécessaire à la séparation eau-vapeur. ^[8]

Elles sont réputées « inexplosibles » depuis leur création parce qu'une rupture éventuelle d'un tube de petit diamètre n'entraîne généralement pas d'accident grave, mais seulement un passage intempestif de vapeur dans le circuit fumées par un orifice de faible dimension. Ce phénomène occasionne une perte de charge non négligeable et entraîne une surpression accessible au calcul, contre laquelle le circuit des gaz peut être protégé soit par une trappe d'explosion, soit, plus simplement et de plus en plus fréquemment, par sa résistance propre ; cette augmentation du débit de fumées est évacuée alors immédiatement par la cheminée.

Parmi les chaudières à tubes d'eau, passons en revue :

- les petites chaudières à vaporisation instantanée ;
- les petites chaudières à tubes borgnes de type Field et dérivées ;
- les chaudières à tubes inclinés ou verticaux.

La chaudière se compose des systèmes et équipements suivants :

- Système de vapeur d'eau
- Système de drainage de chaudière
- Système de surface et de blowdown (purge)
- Système de dosage chimique
- Système de prise d'échantillon
- Système d'air et de gaz de cheminée
- Système d'allumage de combustible et de bruleur .^[7]

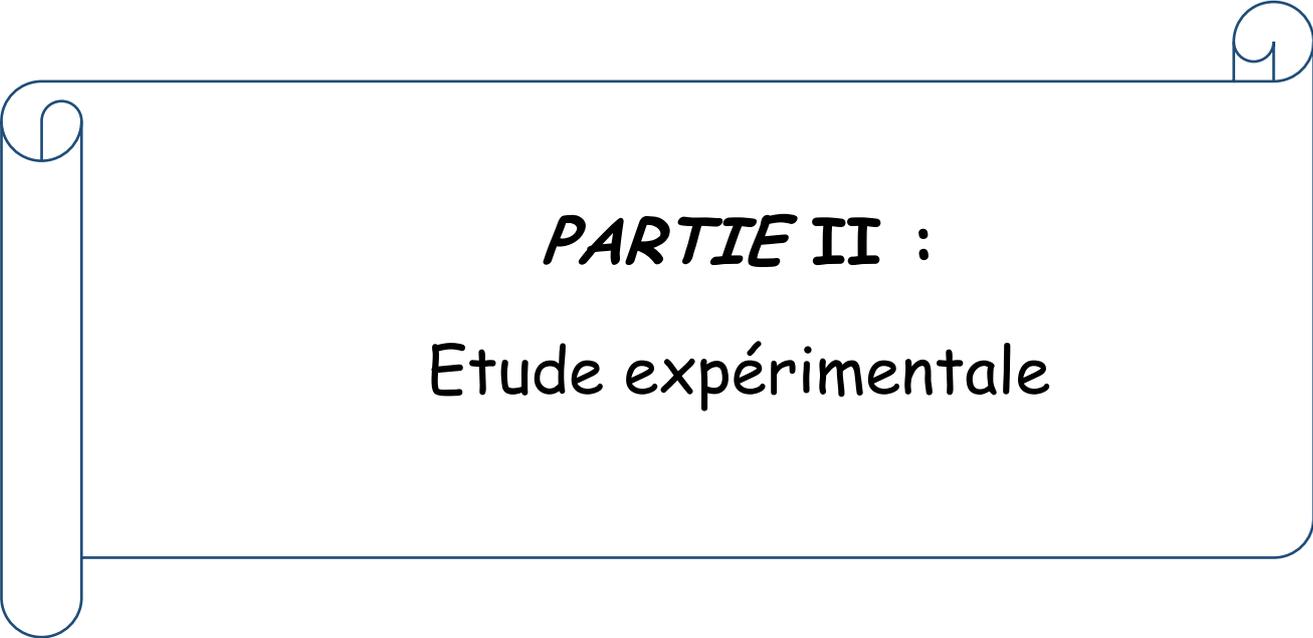
Avec une capacité de 30 T/H, cette chaudière a les caractéristiques suivantes (Tab I.2) :

ÉQUIPEMENT	Données techniques
Chaudière à tube d'eau	SB-30 17 Bar(g) (Pression d'opération) 1x30 TPH 240°C
Bruleur	BALTUR – PYR10 G ME DUO BLOCK 1 pièce / 24,8 MW 2500 Nm ³ /h de gaz naturel
Éventail FD (éventail d'air frais)	ALFER – D5-585 1 pièce Accouplement R 360 31.628m ³ /h / 600mmSS /90 KW/1500 rpm
Économiseur	Type vertical

	A 2 niveaux Température d'entrée d'eau 102°C
Réchauffeur	Température d'entrée de vapeur 220°C Température de sortie de vapeur 240°C
Cheminée	Isolée par intérieur, 1 pièce Hauteur +9 m Diamètre extérieur de cheminée Ø900 mm Diamètre intérieur de cheminée Ø880 mm Matériel du corps S235JR
Pompes d'alimentation de chaudière	KSB WKL 65/5 2 pièces Pompe de pression élevée progressive Débit : 33.1 m ³ /h Hauteur de pompage 261.5 m Moteur : Siemens 55 kW Cycle : 2965 d/d Liquide : Eau chaude @102°C



Figure I .22 : Chaudière zone.

A decorative border resembling a scroll, with a vertical strip on the left and a horizontal strip on top, both with rounded ends and small circular details at the corners.

PARTIE II :
Etude expérimentale

II.1 CONTEXTE INDUSTRIEL ET POSITION DU PROBLEME

Description des procédés de traitement des eaux de circuit de refroidissement :

L'eau dont nous disposons dans la nature n'est pas directement utilisable pour l'industrie. La présence de nombreuses impuretés de différentes natures impose le traitement des eaux avant utilisation, pour les rendre aptes aux applications envisagés.^[5]

Après passage dans des grilles fixes permettant d'arrêter les corps ayant des dimensions appréciables (allant du tronc d'arbre aux feuilles mortes), l'eau brute traverse une grille métallique permettant d'arrêter les corps beaucoup plus petits (algues).

Cette eau est ensuite envoyée vers l'usine de traitement d'eau conçue pour produire de l'eau décarbonatée.

Cette installation dont le débit nominal est de 1100m³/h comprend une brise charge, un décanteur CIRCULATOR, cinq filtres à sable et une bache d'eau décarbonatée.

Le brise charge permet d'assurer :

- L'isolement de la conduite d'eau brute ;
- La régulation du débit d'eau ;
- La protection de la conduite contre les coups de bélier.

L'eau brute est admise gravitairement dans le décanteur où elle subira les opérations suivantes :

A- Décarbonatation à la chaux

La décarbonatation est assurée dans le diffuseur conique du décanteur qui joue le rôle d'une chambre de réaction et c'est dans cette chambre de forte concentration de boues que la chaux est injectée.

La chaux est employée sous forme de lait de chaux (solution saturée) précipite à froid les bicarbonates de calcium et de magnésium contenus dans l'eau à traiter. Il se trouve que le carbonate de calcium et les magnésies obtenues par la réaction avec le lait chaux ne sont pas solubles dans l'eau et l'on peut voir, lorsque ces réactions sont en cours, se former de petits

grains fins. Il suffit de retirer les petits grains contenus dans l'eau pour avoir une eau partiellement épurée [5]

B- Coagulation-floculation et décantation

Les particules extrêmement fines contenues dans l'eau brute ou provenant des réactions chimiques ne peuvent être retenues par filtration parce qu'elles sont plus petites que les pores des filtres les plus fins.

C'est le rôle de la coagulation (floculation) d'agglomérer entre elles ces particules pour former des grains plus gros qui pourront être éliminés par décantation, puis filtration.

Ce résultat est obtenu en traitant l'eau par un coagulant qui est à l'usine de traitement d'eau de SIDER, est le sulfate ferreux injecté dans le brise charge. La décantation permet de séparer les précipités formés par la coagulation, à condition que la vitesse de chute des flocons soit supérieure à la vitesse ascensionnelle de l'eau. Pour que toutes les particules puissent flocculer, il est nécessaire qu'elles se rencontrent. On favorise la floculation en ajoutant un adjuvant de floculation et en effectuant une agitation lente du liquide. La décantation est une opération lente.

La décantation est équipé d'un bras racleur en mouvement lent et continu qui ramène constamment les bous déposées vers la fosse de boues

La filtration permet d'obtenir une eau parfaitement cristalline, tôt en réduisant le temps de décantation. Elle est réalisée par passage d'eau décantée à travers des filtres à sable monocouche rapide avec un procédé de traitement :

L'épuration débute dans la couche d'eau brute surnageant, où les particules plus fines peuvent s'agréger en particules plus grosses par des interactions physiques ou biochimiques. Le nombre de bactéries va diminuer, et il se produira une certaine réduction des matières organiques, résultant de la consommation par les algues ou d'une oxydation chimique. L'élimination des impuretés et l'amélioration considérable de la qualité physique, chimique et bactériologique de l'eau brute s'effectue, en majeure partie, dans le lit filtrant et notamment dans la membrane biologique en haut du lit filtrant. Cette membrane est constituée d'une grande variété de micro-organismes très actifs (bactéries, protozoaires, bactériophages), qui

dégradent les matières organiques. Une forte proportion des matières minérales en suspension est retenue par l'effet de tamisage. La zone 'biologique' active où s'accomplissent les mécanismes d'épuration s'étend jusqu'à 0,4-0,5 m de la surface du lit filtrant, mais son activité diminue au fur et à mesure que l'eau s'épure et renferme moins de matières organiques et d'éléments nutritifs. A une plus grande profondeur dans le lit filtrant, les produits des processus biologiques sont éliminés davantage encore par des processus physiques (adsorption) et une action chimique (oxydation).

Après un temps de fonctionnement qui est déterminé par la salissure du sable (donc de la qualité de la décantation), le filtre est dépassé à l'air ; le sable est lavé avec de l'eau filtrée, distribué à contre-courant.

Par débordement, les impuretés contenues dans le sable sont évacuées. ^[5]

L'eau décarbonatée filtrée s'écoule gravitairement dans une bêche placée dans sous les filtres.

Principe de fonctionnement de l'ACO 1

La fonte provenant des hauts fourneaux destinés pour obtenir, à la suite d'une décarburation, des brames qui seront transférés au laminoir à chaud. A cette effet la fonte est affinée dans des convertisseurs à soufflage d'oxygène pur par l'intermédiaire d'une lance verticale refroidi à l'eau.

L'acier obtenu est coulé à travers lingotières pour obtenir des brames de différentes sections et longueurs.

L'installation est équipée de trois convertisseurs fonctionnant indépendamment l'un de l'autre, doté chacun d'un système de refroidissement et de traitement de gaz du type à combustion partielle.

Pour chaque convertisseur le système comprend une jupe, une hotte, une cheminée de refroidissement des gaz, une soupape de sécurité, des dépoussiéreurs, un ventilateur à tirage forcé et une torchère. Il est prévu pour que les gaz provenant du convertisseur soient évacués, refroidis et épurés, puis déchargés à l'atmosphère débarrassés de poussières.

Équipement de refroidissement des gaz

L'équipement de refroidissement des fumés qui se dégagent du convertisseur est formé d'une structure avec parois à tubes refroidis à l'eau. Il est composé d'une jupe, une hotte et une cheminée

La hotte complète avec puits de lance et puis de la goulotte à addition, se trouve directement au-dessus du convertisseur. Sous la hotte est fixée une jupe que l'on peut relever ou abaisser au moyen d'un vérin hydraulique, de manière à régler la distance entre la hotte et l'ouverture du convertisseur.

La cheminée, située directement au-dessus de la hotte est destinée à ramener la température des gaz chargés de poussières à une température de 100°C avant leur passage dans les dépoussiéreurs.

2- PROBLEMES POSES PAR LE CIRCUIT DE REFROIDISSEMENT

Un diagnostic nous a permis de constater que trois types de problèmes principaux se posent dans le circuit de refroidissement :

- La corrosion
- Les salissures
- L'entartrage



Figure : II .1 Colmatage du lit de résine par les salissures

2-1- CORROSION

Nous avons constaté des corrosions sérieuses dans tout le circuit.

Les tubes formant les jupes, les hottes et les cheminées présentant une corrosion flagrante sous ces deux formes uniforme et localisée [5]

Les problèmes qui ont été notés sont :

- Un grand nombre de fissures touchant la totalité des tubes
- Perforation des tubes entraînant des fuites importantes d'eau adoucie (perte en eau et en inhibiteur de corrosion et conséquences sur l'environnement).

La vitesse de corrosion ainsi trouvées 0.3 à 0.8 mm/an sont très élevés.

On note pour les tubes des jupes, hottes et cheminés la forme localisée de la corrosion qui se manifeste essentiellement du côté eau adoucie vers la partie chaude du côté gaz.

2-2 SALISSURES

Les salissures contribuent à une dégradation très rapide des coefficients de transfert thermiques. De plus les salissures peuvent être à l'origine de corrosions localisés souvent graves. LEROY et LEDIONON ont montré que le contact d'une paroi métallique avec un sol argileux accroît la vitesse de corrosion sous l'effet de l'adsorption des ions ferreux sur la surface de l'argile-[15]

A l'examen des salissures dans les aéroréfrigérants et l'adoucisseur, on trouve quelles ont pour l'origine :

- Des matières de suspension apportés par l'eau d'appoint qui est insuffisamment clarifiée ; particules argileuses, limons, etc...
- Des produits de corrosion : oxydes et hydroxydes de fer

2-3- ENTARTRAGE

L'entartrage des tubes des jupes, des hottes, des cheminés et des aéroréfrigérants a immédiatement répercussions catastrophiques sur les flux thermiques à transférer

Une baisse des coefficients d'échange thermique a immédiatement pour effet de faire monter la température de l'eau de refroidissement. Le résultat est une baisse sensible du rendement

de l'installation, l'évaporation de l'eau de refroidissement, la corrosion et le bouchage des tubes.^[16]

POSITION DU PROBLEMES

Bien que ces trois classes de problèmes constatés, ont été traitées indépendamment, il faut être très conscient que dans le circuit de refroidissement ces problèmes sont très liés entre eux et que le plus souvent la solution apportée à l'un de ces problèmes a immédiatement des répercussions sur les autres, soit dans un sens soit dans l'autre.

Ainsi l'entartrage débute par l'effet de germination hétérogène au niveau de salissures ou de résidus de corrosion. Par la suite la cimentation de ces salissures par les tartres déposés favorisera le déclenchement d'autres corrosions localisées par effet de recoin.

Ces observations nous ont conduits à fixer comme premier objectif d'analyser les eaux de refroidissement et de porter et suggérer des modifications des traitements de ces eaux.

CONCLUSION

A travers cette description des procédés de l'usine de traitement de l'eau, l'objectif principal de ce travail est d'analyser les eaux de refroidissement.

II.2 LES EAUX ETUDIEES

Les prélèvements relatifs à cette étude ont été effectués quotidiennement entre février et mars 2018. Les eaux brutes (eau de barrage de Chaffia) ont été échantillonnées aux sources d'eau de l'usine de traitement d'eau

L'eau décarbonatée est prélevée de la bache d'eau décarbonatée.

Les échantillons d'eau adoucie sont prélevés à la sortie de l'adoucisseur qui alimente le circuit de refroidissement des cheminées.



Figure : II.2 : Les prélèvements des eaux étudiées.

II .2.1.Materiels et méthodes :

II .2.1.1 La mesure de Titre alcalimétrique (TA)

Le dispositif expérimental utilisée pour la réalisation de cette étude au niveau du laboratoire est composé de : un erlenmeyer 80 ml, fiole jaugée 100 ml, un bécher, une pipette, une poire.

Les produits chimiques utilisées sont : l'échantillon de la solution à mesuré, l'eau distillée, phénophtaléine, acide sulfurique 0.02N.

Mode opératoire dosage du titre alcalimétrique (TA)

L'alcalinité est mesurée selon la méthode volumétrique AFNOR NFT 90-036.

Le titre alcalimétrique (TA) mesure le teneur en alcalis libres (OH-) et en carbonates :

$$TA = [OH^-] + 1/2[CO_3^{2-}]$$

Prélever 100 ml d'échantillon, ajouter une goutte de phénophtaléine.

- En absence du carbonate l'échantillon reste incolore : TA=0°F
- On présence des carbonate une coloration rose se développe, dans ce cas titre avec l'acide sulfurique 0.02N jusqu'au l'incolore, et lire le TA en degré français : 1°F=1ml acide sulfurique 0.02 N. [12]

Examen du mélange obtenu :

- Si la coloration (le virage) est incolore : une absence TA
- Si la coloration est rose : a une présence de TA dans l'échantillon étudié, pour ceci, il sera nécessaire de procéder à un titrage avec H₂SO₄ (0.02 N) jusqu'à l'obtention d'une l'incolore.

Lecture du résultat :

Employer la formule suivante :

$$TA \text{ en } ^\circ F = V \text{ H}_2\text{SO}_4 \text{ en ml}$$

Le volume du H₂SO₄ est lu sur la burette automatique.

Unités : TA en °F

V : volume de H₂SO₄ en ml

II .2.1.2 Mode opératoire dosage du titre alcalimétrique (TAC)

Le titre alcalimétrique complet (TAC) mesure la somme des alcalis libres, des carbonates et des bicarbonates :

$$TAC = [OH^-] + [CO_3^{2-}] + [HCO_3^-]$$

Il est déterminé également par neutralisation acide jusqu'au virage l'héliantine (méthyl-orange) du jaune au rose-orangé, vers PH 4,3

L'analyse se fait selon le mode opératoire suivant :

Mesurer 100 ml d'échantillon d'eau à analyser dans une fiole jaugée de 100 ml, verser cette quantité dans un Erleem de Mayer, puis on ajoute une goutte de méthylorange à 5% (indicateur) dans l'Erleem de Mayer. ^[12]

Examen du mélange obtenu :

- Si la coloration (le virage) est jaune orange nous concluons une absence des bicarbonates.
- Si la coloration est jaune, nous concluons une présence de TAC dans l'échantillon étudié, pour ceci, il sera nécessaire de procéder à un titrage avec l'acide sulfurique, jusqu'au virage jaune orange.

Lecture du résultat :

Employer la formule suivante :

$$\text{TAC en } ^\circ\text{F} = V \text{ H}_2\text{SO}_4 \text{ en ml}$$

Le volume de H₂SO₄ est lu sur la burette automatique.

Unités : TAC en °F

V : volume de H₂SO₄ en ml

II .2.1.3 Mode opératoire dosage du dureté ou titre hydrotimétrique (TH) :

Le dispositif expérimental utilisée pour la réalisation de cette étude au niveau du laboratoire est composé de :

- solution de noir ériochrome T à 0,5 % (qui est le sel de sodium de l'acide [(hydroxy-1-naphtylazo-2) nitro-6-naphtol-2-sulfonique-4])(*) 0,5 g triéthanolamine *q.s.p.* 100 mL)
- Solution tampon PH 10 :

chlorure d'ammonium (NH₄Cl) 67,5 g ammoniaque (*d* = 0,925) 570 mL sel disodique de magnésium de l'EDTA (C₁₀H₁₂N₂O₈Na₂Mg) 5 g eau déionisée *q.s.p.* 1 L

Conserver la solution en flacon de polyéthylène.

Vérifier le *pH* qui doit être égal à 10 sur une dilution au 1/10 de la solution avec de l'eau déionisée.

– Solution d'EDTA :

Sel disodique de l'acide éthylène diamine tétracétique 3,725 g eau déionisée *q.s.p.* 1 L

Conserver la solution en flacon de polyéthylène et vérifier son titre périodiquement à l'aide de la solution étalon de calcium. Prélever 20 mL de solution étalon de calcium, les diluer à 50 mL puis procéder au dosage comme décrit dans le mode opératoire.

La concentration de la solution d'EDTA en mol. / L est donnée par l'expression :

$$c = 0,01 \times \frac{v_1}{v_2}$$

v_1 = Volume en mL de la solution étalon.

v_2 = Volume en mL de la solution d'EDTA. ^[5]

– Solution étalon de calcium à 0,4008 g/L :

carbonate de calcium déshydraté 1,001 g acide chlorhydrique dilué au 1/4 *q.s.p.* dissoudre rouge de méthyle quelques gouttes ammoniacale diluée au 1/10 *q.s.p.* virage de l'indicateur et l'eau déionisée *q.s.p.* 1 L

Mettre le carbonate de calcium dans un bécher, ajouter 100 mL d'eau puis de l'acide chlorhydrique en quantité juste suffisante pour dissoudre le carbonate de calcium. Ajouter 200 mL d'eau et porter la solution à l'ébullition quelques minutes pour éliminer le dioxyde de carbone. Après refroidissement, ajouter quelques gouttes de solution de rouge de méthyle puis de la solution d'ammoniacale jusqu'au virage de l'indicateur à l'orange.

Transvaser la solution dans une fiole jaugée de 1 litre, compléter le volume avec de l'eau déionisée. 1 mL de la solution contient 0,4008 mg de calcium.

II .2.1.4 Mode opératoire dosage du calcium

Mesurer 100 ml d'échantillon d'eau à analyser dans une fiole jaugée de 100 ml, verser cette quantité dans un Erlelen de Mayer, puis ajouter (09) à (10) gouttes (environ 1ml) de KOH (20%) dans l'Erlelen de Mayer. Ajouter 0.4 mg acide calcique carboxylique en poudre.

Examen du mélange obtenu :

- Si la coloration (le virage) est bleue nous concluons à une absence de calcium (Ca)
- Si la coloration est rose violet, nous concluons à une présence de calcium (Ca) dans l'échantillon étudié, pour ce Ca, il sera nécessaire de procéder à un titrage avec EDTA (0.01 mole) jusqu'à l'obtention de la coloration bleue. ^[12]

Lecture du résultat :

- Employer la formule suivante :

Ca en °F = V EDTA (0,02 N) en (ml)

Le volume d'EDTA est lu sur la burette automatique.

Unités : Ca en °F

V : volume de l'EDTA en ml

II .2.1.5 Mode opératoire dosage du chlorure dans l'eau (Cl)

Les chlorures sont mesurés selon la méthode AFNOR NFT 90-014. Ils sont dosés en milieu neutre par une solution de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium comme indicateur.

L'analyse se fait selon le mode opératoire suivant :

Mesurer 100 ml d'échantillon d'eau à analyser dans une fiole jaugée de 100 ml, verser cette quantité dans un Erlelen de Mayer, puis ajouter au doseur 1ml de chromate de potassium à 5% (indicateur) dans l'Erlelen de Mayer. ^[12]

Examen du mélange obtenu :

- Si la coloration (le virage) est rouge brique nous concluons à une absence des chlorures.

- Si la coloration est jaune, nous concluons une présence des chlorures dans l'échantillon étudié, pour ceci, il sera nécessaire de procéder à un titrage avec le nitrate d'argent à 0.1 N.

Lecture du résultat :

Employer la formule suivante :

$$\text{Cl}^- \text{ (en mg/l)} = V \text{ nitrate d'argent en ml} \times 35,5$$

- Le volume du nitrate d'argent est lu sur la burette automatique.
- Unités : Cl⁻ en mg/l
- V : volume du nitrate d'argent en ml
- 35,5 : est la masse molaire du chlorure (Cl⁻)

II .2.1.6 Matériels et produits chimiques utilisées pour la mesure de PH :

Le PH mesuré par la méthode électrochimique AFNOR NFT90-008 à l'aide d'un PH-mètre HANNA211. Il est muni d'une électrode combiné indicatrice du PH en lien coaxial avec une électrode de référence argent/chlorure et d'une sonde de compensation de température. Lors de la mesure, l'échantillon est homogénéisé à l'aide d'un agitateur magnétique. La valeur du PH est lue après la stabilisation du PH-mètre



Figure : II.3 : pH-mètre HI 23151

Mode opératoire mesure du pH :

L'analyse se fait selon le mode opératoire suivant :

Mesurer 50 ml d'échantillon d'eau à analyser dans une fiole jaugée de 100 ml, reverser cette quantité dans un ERLEEN DE MAYER, puis tremper l'électrode de pH dans la solution. Lire le chiffre directement sur l'écran du pH mètre.).^[12]

II .2.1.7 Matériels et produits chimiques utilisées pour la mesure de la conductivité

La conductivité est mesurée par la méthode ISO 7888 à l'aide d'un conductimètre PHWE (figure : II.4). Il est menu d'une cellule dont le constante $K= 1$ et d'une sonde de compensation de température. Plusieurs échelles de mesure permettent de déterminer avec précision la valeur de la conductivité.

Les produits chimiques utilisés sont : la solution à mesurer, l'eau distillée



Figure : II.4 : Conductimètre.

- **Mode opératoire détermination de la conductivité**

Mesurer 50 ml d'échantillon d'eau à analyser dans une fiole jaugée de 100 ml, verser cette quantité dans un Erlelen de Mayer, puis immerger l'électrode du conductimètre dans la solution, lire le chiffre directement sur le conductimètre.

La valeur de la conductivité est en Micro siemens ($\mu\text{s}/\text{cm}$).^[12]

II.2.2 RESULTATS ET DISCUSSIONS :

Analyse du titre alcalimétrique des eaux étudiées :

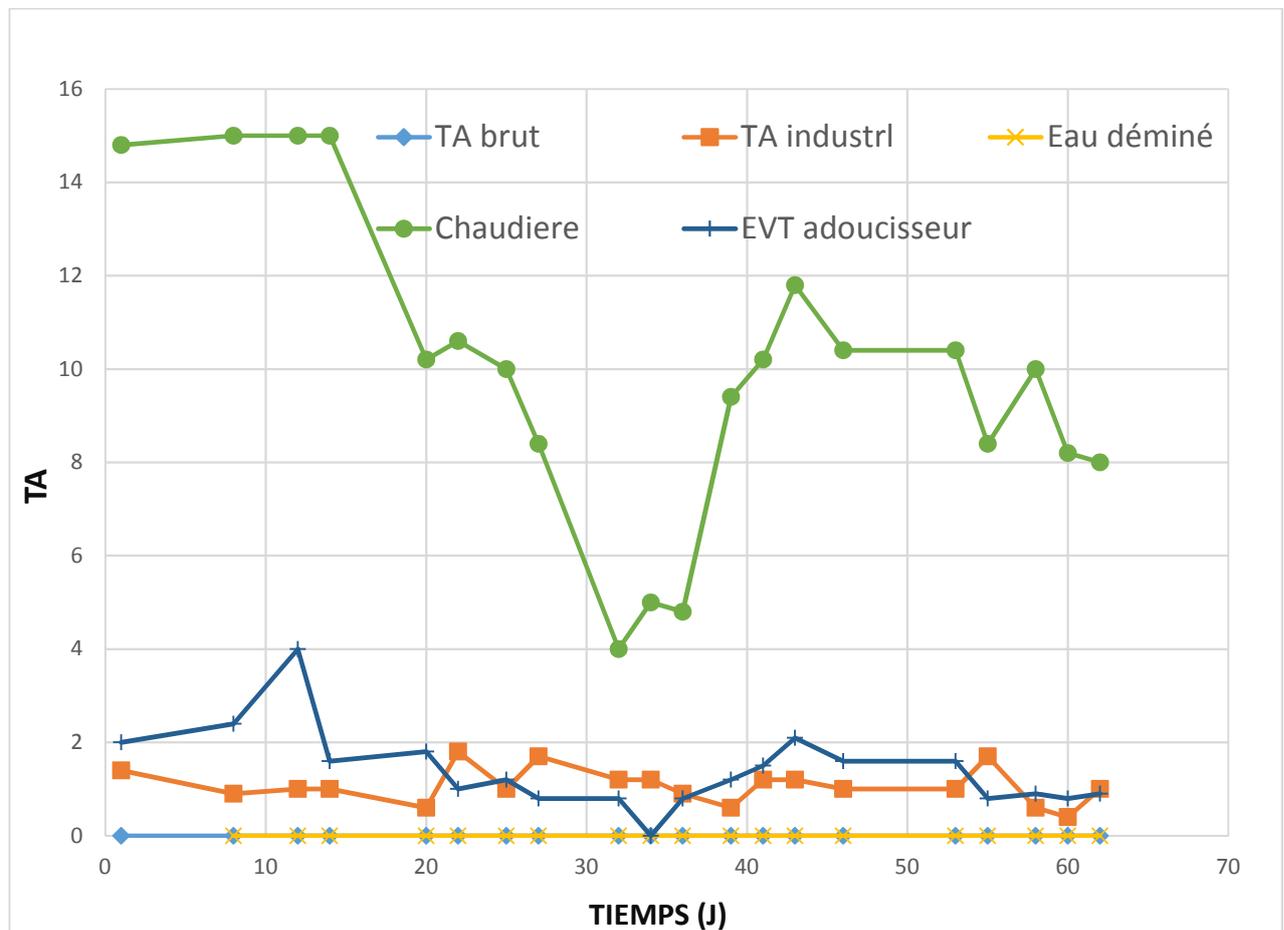


Figure II-5 : Variation du titre alcalimétrique en fonction du temps pour les eaux du complexe.

La figure II-5 présente la variation du titre alcalimétrique en fonction du temps, les analyses des eaux ont été effectuées pendant 62 jours avec une fréquence de 1/3, nous pouvons remarquer que, la qualité de l'eau brute influence directement les autres eaux dans le circuit ($TA = 0.1^\circ F$). Une similarité remarquable est noté de ce paramètre pour l'eau industrielle et l'eau de chaudière, ainsi on note des fluctuations du titre alcalimétrique des deux eaux pour les journées n° : 20, 22, 32, 41, 53 et le 58.

Analyse du titre alcalimétrique complet des eaux étudiées :

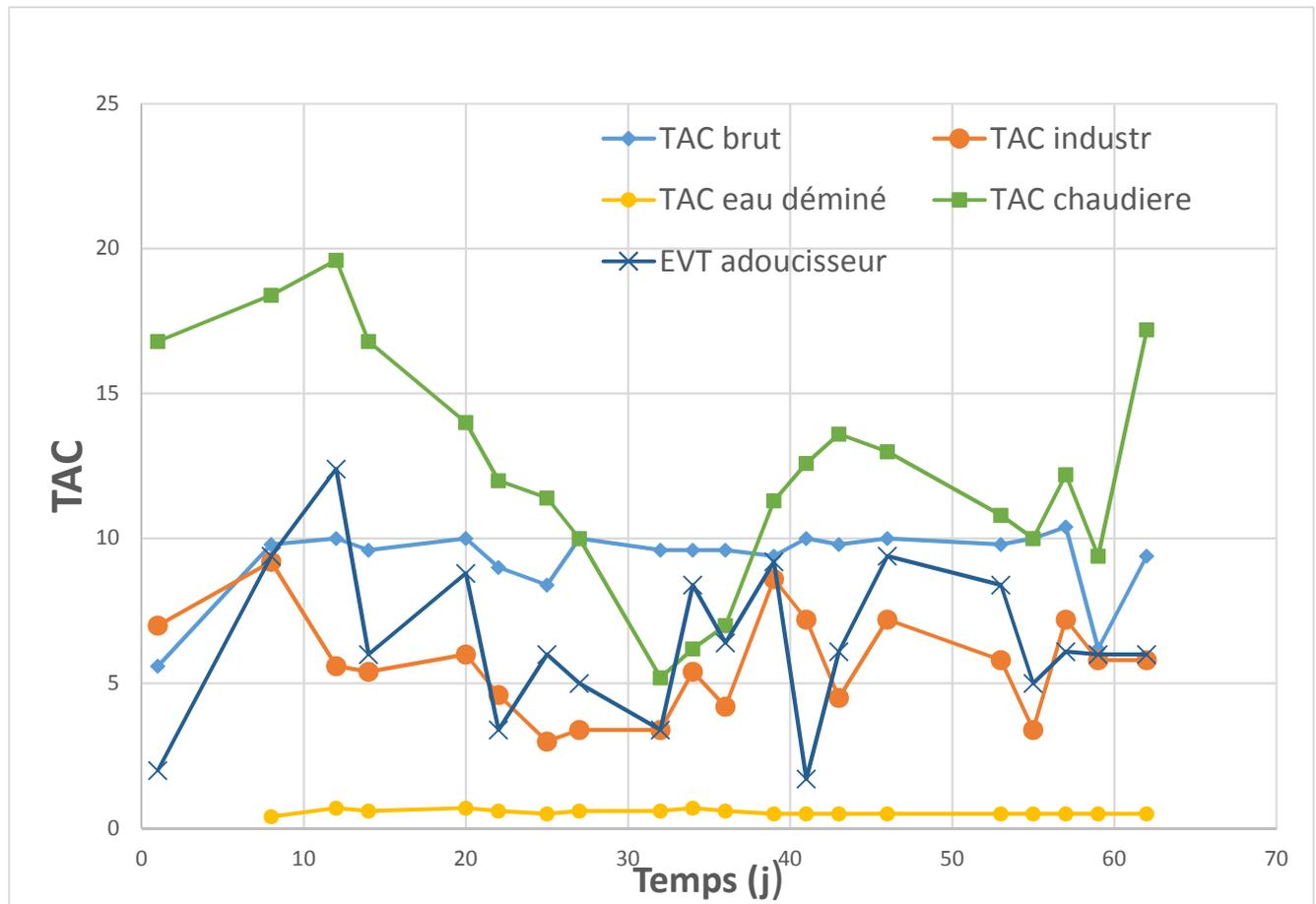


Figure II-6 : Variation de titre alcalimétrique complet en fonction du temps pour les eaux du complexe

La figure II-6 présente les valeurs du titre alcalimétrique complet des eaux de refroidissement en fonction du temps, on remarque que les valeurs de titre alcalimétrique complet de l'eau brute sont dans les normes ($TAC = 5-10 \text{ }^\circ F$). Par contre ceux de l'eau industrielle, elles sont supérieurs à la norme ($TAC = 0.4 - 0.8 \text{ }^\circ F$), ce qui affecte les caractéristiques de l'eau de chaudière et laisse des microflocs en solution, peuvent décanter dans les conduites, cette augmentation du titre alcalimétrique complet est peut être dû à des excès de chaux (verser des grandes quantités à la fois).

Analyse de la dureté des eaux étudiées

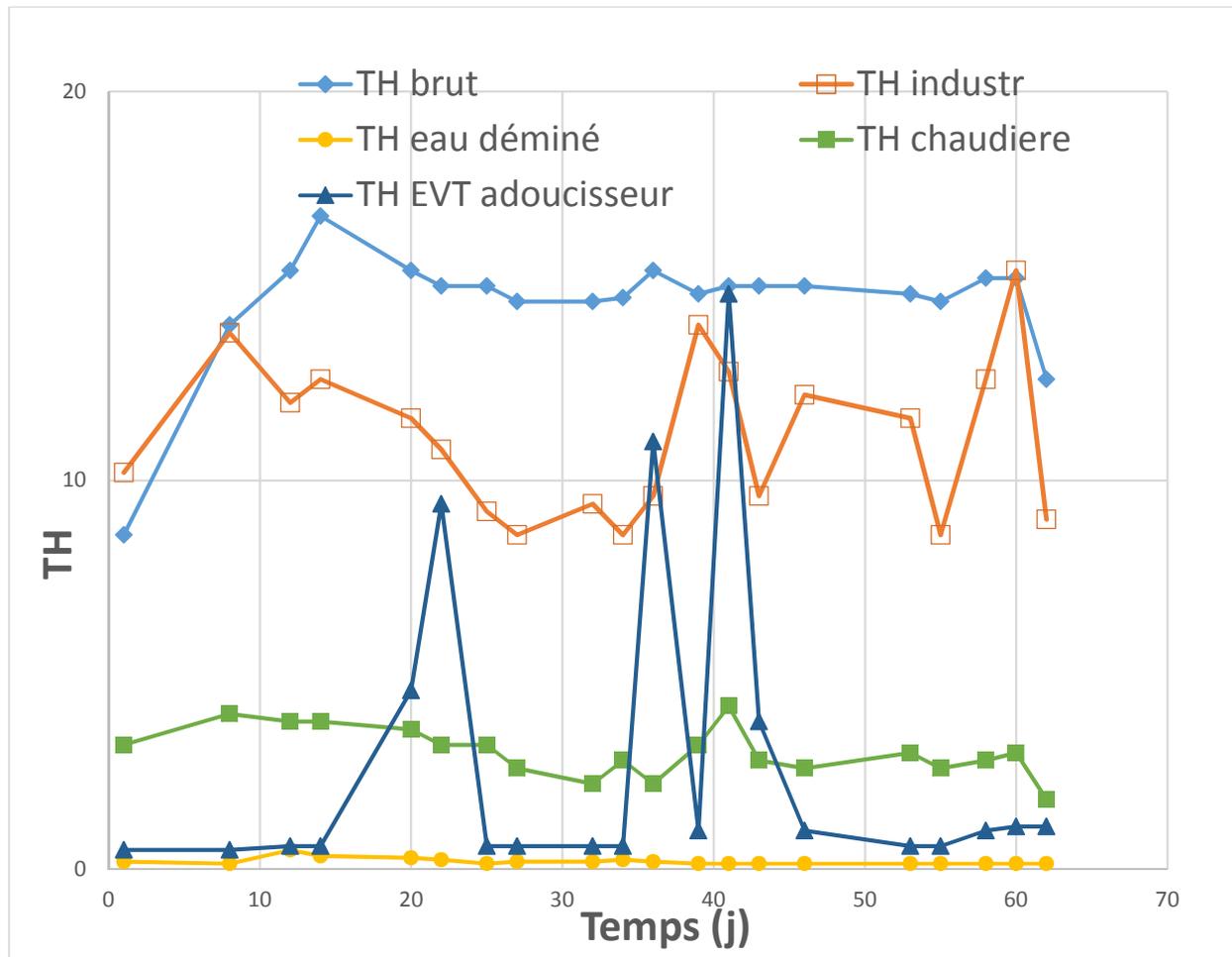


Figure II-7 : Evolution de la dureté totale des eaux du complexe en fonction du temps

La figure II-7 nous montre les valeurs de la dureté totale des eaux de refroidissement en fonction du temps, selon ces résultats de l'analyse, nous remarquons que la dureté de l'eau brute est proche de la norme pendant toute la période d'étude (12 – 15 °F).

Cependant l'eau industrielle présente une dureté supérieur aux normes exigées ($TH \leq 10$ °F), nous pouvons expliquer cela par le non-respect des protocoles de traitement de l'eau brute, Ces valeurs de dureté ont un influence directe sur la qualité de l'eau adoucie, on note des fuites (dureté supérieur à la norme) durant les journées n° : 14, 20, 36, 45, et le 58. Ce qui provoquera certainement un mauvais fonctionnement pour le reste de la chaine de traitement.

Analyse de la teneur en calcium dans l'eau des eaux de refroidissement

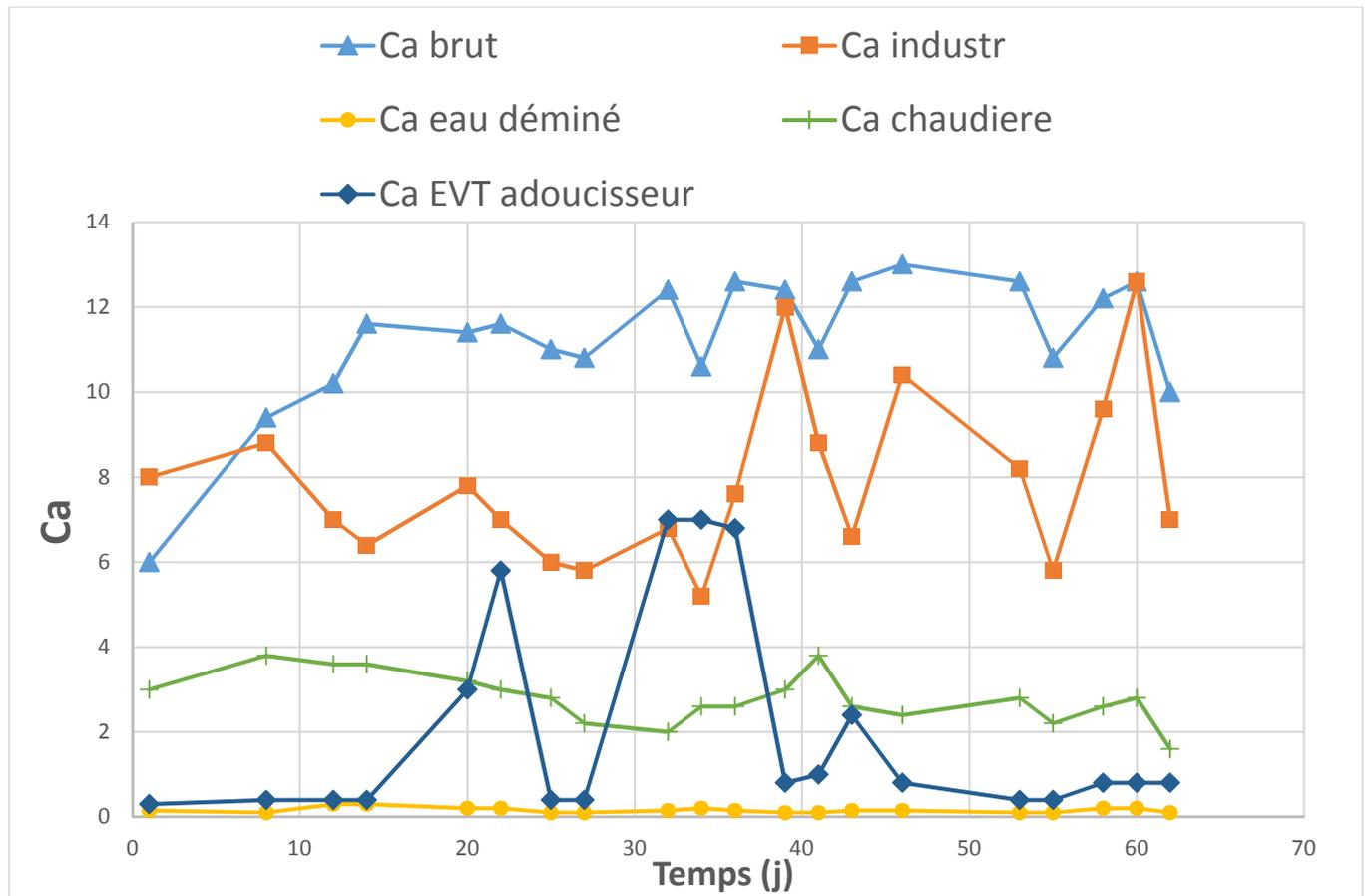


Figure II-8 : Variation du teneur en calcium dans l'eau en fonction du temps pour les eaux du complexe.

La figure II-8 présente les variations des concentrations du Ca^{2+} dans l'eau en fonction du temps, on peut noter que les valeurs de calcium dans l'eau brute sont proches de la norme exigée (10 – 12 °F), aussi les teneurs en Ca^{2+} de l'eau industrielle sont proches de norme ($\text{Ca} \leq 7$ °F) sauf quelques journées n° : le 8, 39, 46 et le 60.

Les eaux utilisées pour la chaudière ont une teneur de Ca^{2+} qui semble dans les normes.

Analyse du chlorure des eaux de refroidissement

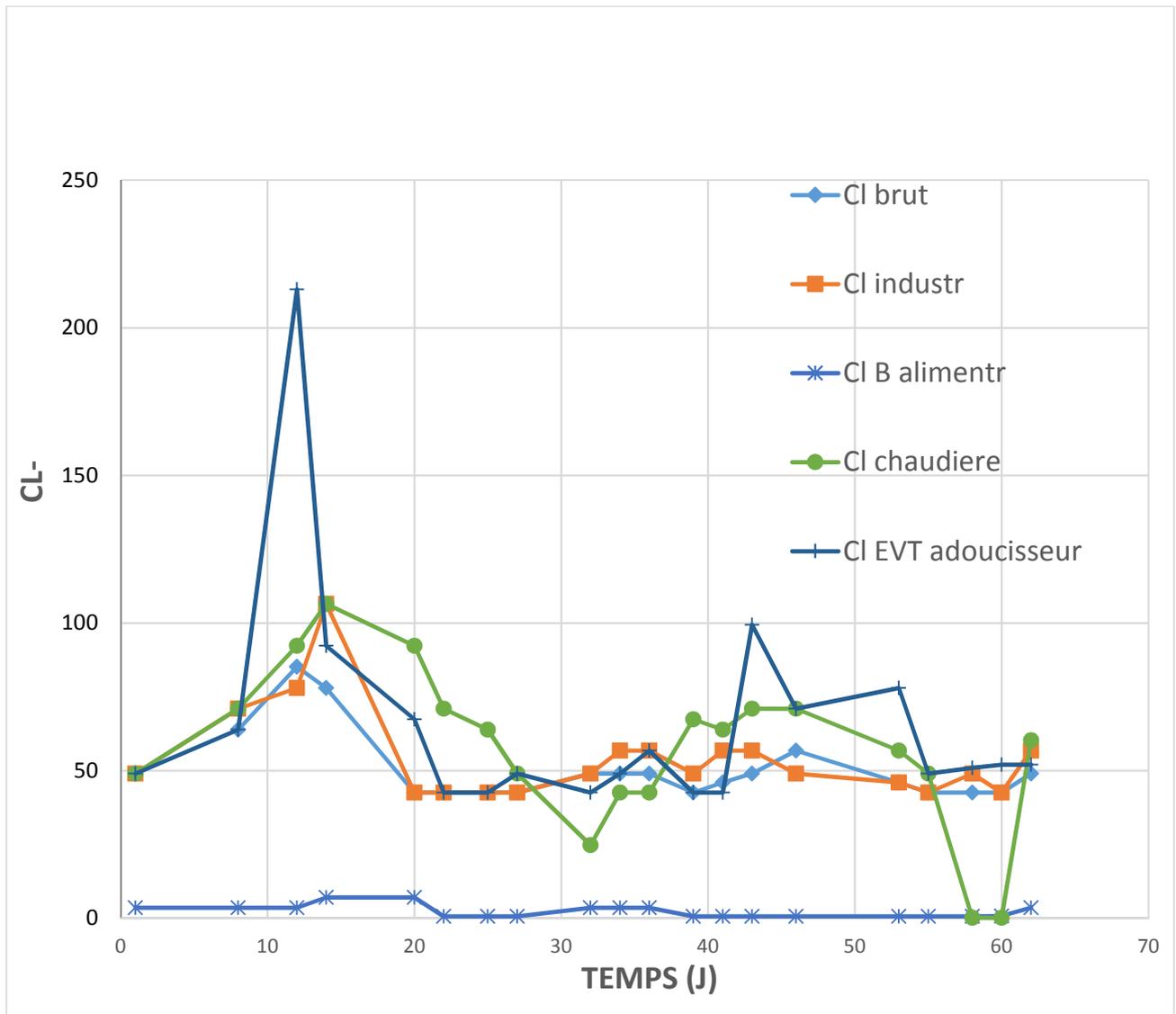


Figure II-9 : Représentation graphique des concentrations des chlorures dans les eaux de refroidissement

La figure II-9 montre les variations des concentrations des chlorures dans l'eau, nous remarquons la présence de chlorure avec des concentrations énormes, pratiquement tous les eaux du circuit ont une teneur en chlorure qui dépasse les normes exigées (36 – 45 Mg/L), cela provoquera forcément des dommages dans le circuit de refroidissement, ils sont responsables de cas de corrosion par piqure. Nous avons signalé ces fortes teneurs aux responsables de l'unité pour procéder à leurs éliminations.

Analyse du pH des eaux de refroidissement

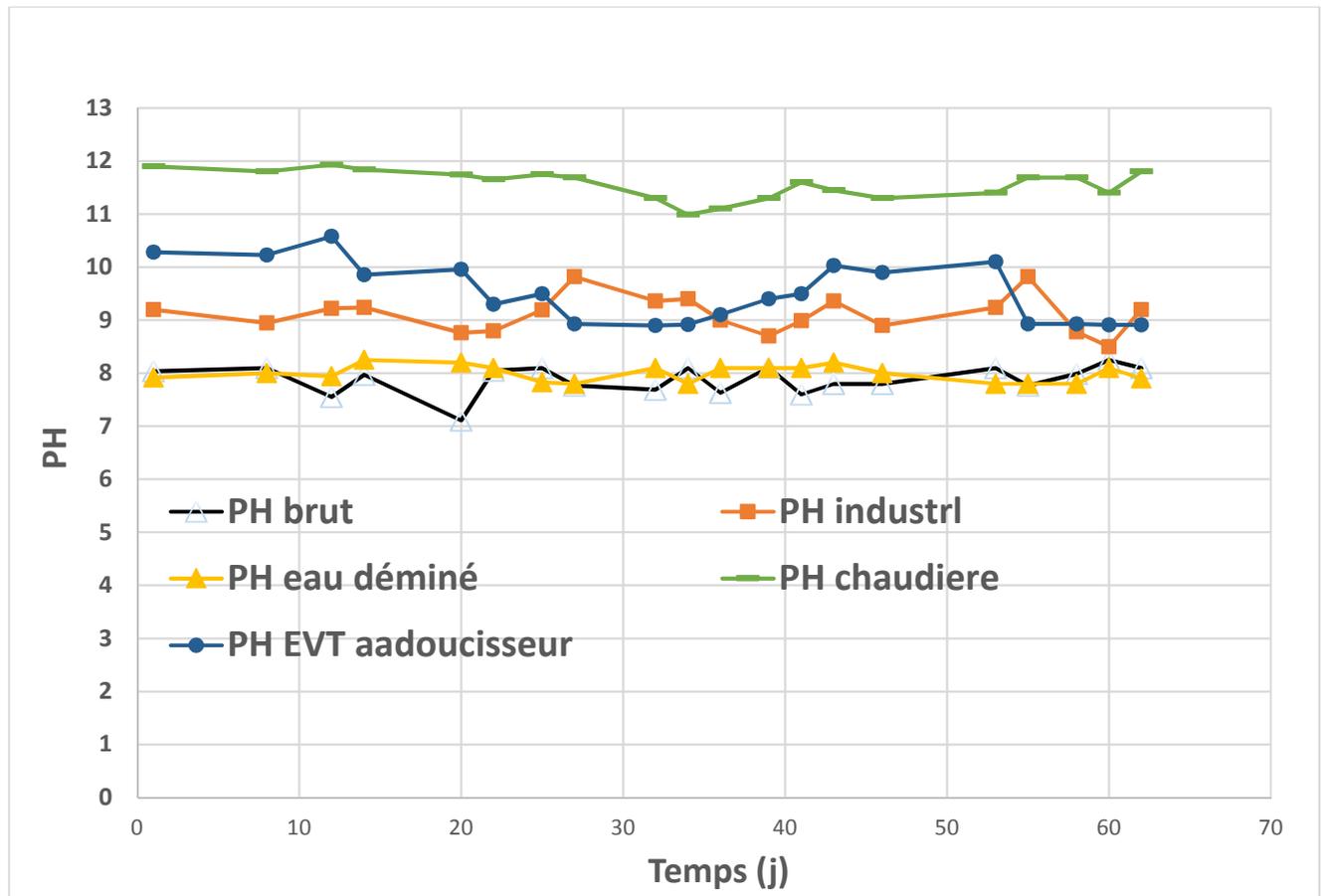


Figure II-10 : Variation du pH des eaux de refroidissement

La figure II.6 présente les variations du Ph en fonction du temps, toutes les observations montre que l'eau qui alimente le complexe est une eau neutralisée, la variation du pH des eaux des eaux étudiées est due aux différents traitements que subie l'eau brute mais dans le cas général le pH ne présente aucune anomalie (7 – 8). Les valeurs de pH sont pratiquement constantes dans le temps pour toutes les eaux étudiées.

Analyse de la conductivité des eaux étudiées

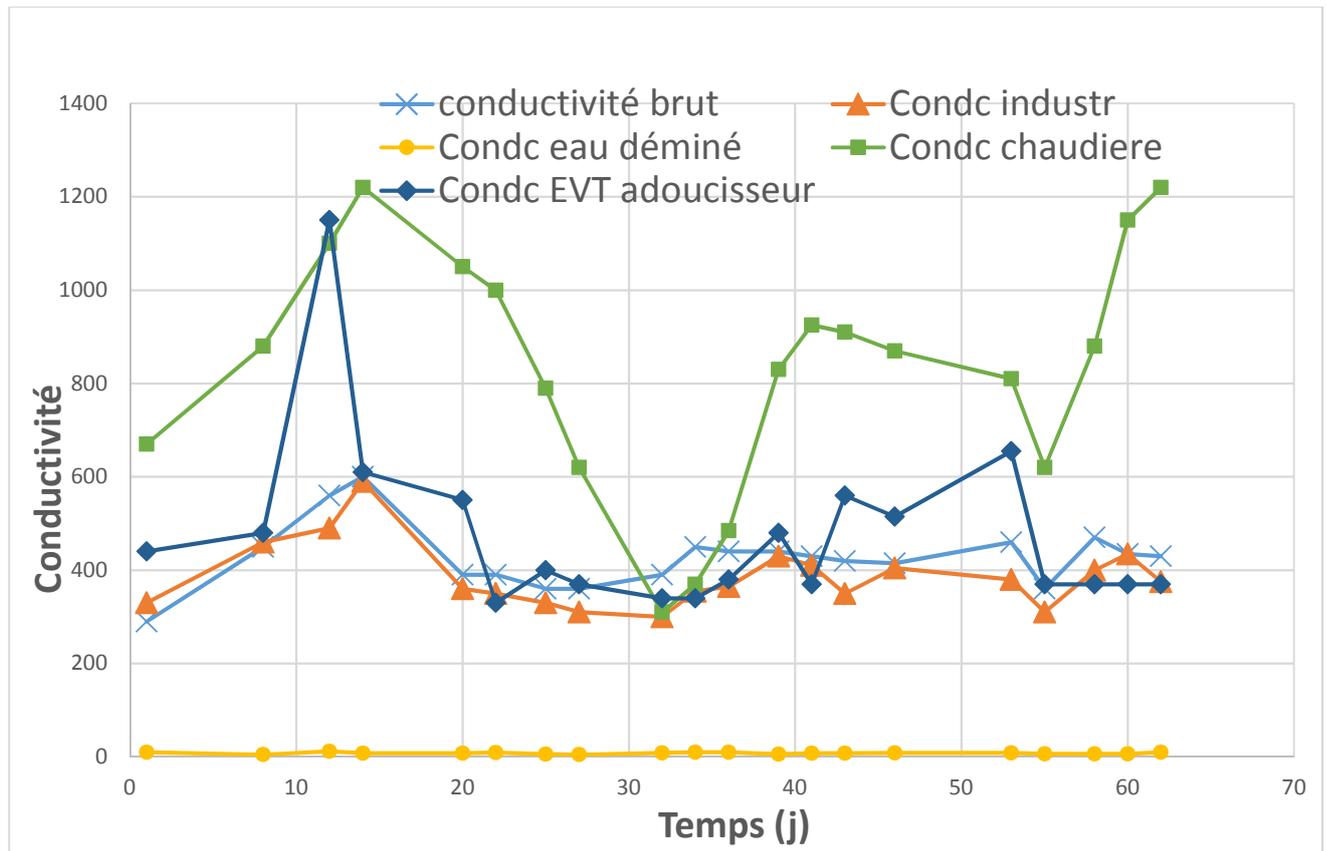


Figure II-11 : Représentation graphique des valeurs de la conductivité des eaux étudiées

La figure II-11 présente les variations de la conductivité en fonction du temps, cette dernière montre clairement le comportement de l'eau dite industrielle est similaire à celui de l'eau brute. Nous pouvons dire que le traitement n'est pas efficace vu que les valeurs de la conductivité sont toutes hors norme exigées (300 – 400 µs/cm), elles sont presque identiques à celles de l'eau brute ce qui mettra en cause les traitements de la décarbonatation.

L'eau de chaudière présente des valeurs de conductivité trop forte ce qui est démontré à l'avance dans toutes analyses précédentes, les eaux de chaudière sont très agressives.

Toutes ces analyses réalisées pendant 62 jours, montrent clairement que les traitements effectués ne suivent pas le protocole qu'il faut.

Nous avons remarqué que l'ajout des agents chimiques se fait pour des grandes quantités, on note l'absence de pompe doseuse.

Les traitements accélérés provoquent un déséquilibre de toutes les caractéristiques physico-chimiques des eaux de circuit de refroidissement.

CONCLUSION GENERAL

Le complexe sidérurgique d'El-Hadjar -Annaba- consomme de très grandes quantité d'eau (1600m³/h), ces eaux sont destinés principalement au refroidissement.

La variation de la température de l'eau provoquera dans les circuits de refroidissements deux phénomènes simultanés à savoir la corrosion et l'entartrage.

Dans cette étude nous nous sommes intéressées à l'analyse physico-chimique des différentes eaux utilisées dans les circuits de refroidissement ;

L'analyse du titre alcalimétrique et du titre alcalimétrique complet a montré que les traitements préalables de l'eau brute ne sont pas efficaces, on note des titres des journées n° 20, 22, 32, 41, 53 et 58.

La variation du titre alcalimétrique en fonction du temps provoquera certainement un déséquilibre, et par la suite une précipitation des sels dans la conduite.

L'analyse de la dureté (teneur en Ca²⁺ et Mg²⁺) est par conséquent hors norme, à cause du non-respect des protocoles du traitement, ce qui provoquera certainement l'éclatement des tubes.

Pendant toute la dureté d'étude on a constaté que tous ces problèmes de corrosion et d'entartrage peuvent être réduites, si les intervenants appliquent les protocoles de traitement nécessaires.

LES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

[1] <http://www.imetal.dz/imetal/entreprise/epe-sider-el-hadjar-spa/>

[2] Document technique d'usine à eau (fluide) : historique du complexe sidérurgique El Hadjar.

[3] Document technique (zone fluide) : paramètres physicochimiques des eaux brutes et industrielles.

- [4] Grénorio Grini et Pierre-Marie Badot, Traitement et épuration des eaux industriels pollués coordonné, pp. 82-85.
- [5] HAMDAOUI Oualid, études traitement conditionnement industrielle destines au circuit de refroidissement des cheminées de l'aciérie à oxygène N°1 SIDER ANNABA, thèse de magister, juillet. 1997, pp. 84-94.
- [6] PUROLITE INTERNATIOANL, Purolite c100 (résine échangeuse de cations fortement acide).
- [7] Document de la zone Est : PROCEDURE D'OPERATION ET DE MAINTENANCE, Renseignements de capacité de chaudière.
- [8] <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/archives-th12/archives-thermique-industrielle-tiabec/archive-1/differents-types-de-chaudieres-industrielles-b1480/chaudieres-a-tubes-d-eau-b1480niv10003.html>.
- [9] S. Butenas., K. G. Mann.-'Blood Coagulation', Avril, 2001, pp. 15-17
- [10] <https://www.suezwaterhandbook.fr/eau-et-generalites/processus-elementaires-du-genie-physico-chimique-en-traitement-de-l-eau/coagulation-floculation/generalites>.
- [11] <https://www.1h2o3.com/apprendre/decantation/>
- Frédéric Élie, Décantation et filtration : aspect hydrodynamiques, mai 2014
- [12] Jean RODIER Bernard LEGUBE Nicole MERLET et coll, L'Analyse de l'eau 9e édition, pp.107-118.
- [13] Décret exécutif n°2006 141 du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant le 19 Avril 2006 définissant les valeurs limites de rejet d'effluents liquides industrielles.
- [14] B. GROSGOGEAT, P. COLON, La Corrosion, Support du cours (version PDF), 2009-2010, pp.4-5.

[15] H Roques, Hamza Elfil, CONTRIBUTION A L'ETUDE DES PHENOMENES D'ENTARTRAGE PAR LES EAUX GEOTHERMALES, PARTIE I : ETUDE DU PHENOMENE SUR SITE ET COMPARAISON AVEC LE SYSTEME CALCOCARBONIQUE PURE, juin. 2001, pp. 3-5

[16] DEDIEU L., HORT C., MARTIN-DOMINGUEZ A., ROLA M., ROQUES H.-
'contribution à l'étude des phénomènes d'entartrage. 1ere partie', TRIBUNE DE L'EAU,
sept-oct.1994, pp. 1994

écantation et filtration:

aspects hydrodynamiques

[17] <https://www.oieau.fr/ReFEA/fiches/TraitementPotable/1FiltrationLentePG1.pdf>