



Licence Sciences et Techniques (LST)
Techniques d'analyse chimique et contrôle de qualité
TACCQ

PROJET DE FIN D'ETUDES

**SUIVI DE L'EFFICACITE DE TRAITEMENT
DES EAUX AU SEIN DU DOMAINE
DOUIET (site Oued NJA)**

Présenté par :

- ◆ CHTIOUI EL MEHDI

Encadré par :

- ◆ Mr SAID ZELAI (Société)
- ◆ Pr AHMED BOULAHNA (FST)

Soutenu Le 14 Juin 2013 devant le jury composé de:

- Pr A.BOULAHNA
- Pr M.EL ASRI
- Pr A.BENTAMA

Stage effectué au Domaines de DOUIET (site Oued NJA)

Année Universitaire 2012 / 2013

Remerciements

Au cours de ce stage, le personnel dans son ensemble m'a permis de m'intégrer facilement dans l'entreprise. J'ai eu l'occasion de rencontrer beaucoup de personnes et de travailler avec un certain nombre de collaborateurs. Je remercie donc toutes ces personnes pour la considération qu'elles ont eue pour moi et le temps qu'elles m'ont consacré afin que les études de ce stage avancent. En particulier mon maître de stage Mr SAID ZELAI, Responsable de production à l'usine Oued NJA qui m'a proposé mon sujet de stage et qui m'a permis de réaliser cette mission au sein de son équipe.

Je tiens également à remercier :

-Mr. YOUSSEF ANNOUR et Mr. AHMED EL MANSOURI pour leurs aides et leurs explications.

-Mr. MUSTAPHA TAOUIL pour ses explications sur le mode de fonctionnement de l'unité de traitement des eaux.

Mes vifs remerciements et reconnaissances s'adressent également à Mr. AHMED BOULAHNA mon tuteur à la faculté des sciences et techniques pour son encadrement et ses précieuses consignes et recommandations.

Je remercie également les membres de jury Mr. M.EL ASRI et Mr.A.BENTAMA d'avoir accepté de juger et d'évaluer mon travail.

Liste des abréviations

Abréviation	Signification
A1, A2, A3	Adoucisseur N° 1 ; 2 ; 3
EDTA	acide éthylène diamine tétraacétique
°D	Degré Dornic
EST	Extrait sec total
°f	Degré français
HACCP	Hazard Analysis Critical Control Point
ISO	Organization international de normalisation
ISO 2200	Norme internationale de management de la sécurité des aliments
ISO 9001	Norme internationale de management de la qualité
MAP	Matière azotée protéique
MG	Matière Grasse
NEP	Nettoyage en place
pH	Potentiel Hydrogène
Reg	Adoucisseur en régénération
T°	Température
TH	Titre Hydrotimétrique

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE	1
<i>Présentation de la société.....</i>	2
1. <i>Historique et évolution</i>	2
2. <i>Site Oued NJA</i>	2
3. <i>Organigramme.....</i>	3
CHAPITRE I :GÉNÉRALITÉS SUR LE LAIT ET LE PROCÉDÉ DE PRODUCTION.....	4
I. <i>Généralités sur le lait</i>	5
1. <i>Définition du Lait.....</i>	5
2. <i>Composition du lait</i>	5
3. <i>Propriétés physicochimiques du lait</i>	6
II. <i>Procédé de production</i>	7
1. <i>Etapas de production</i>	7
2. <i>Diagramme de production</i>	10
CHAPITRE II :PROCESSUS DE PURIFICATION DE L'EAU.....	11
I. <i>Introduction.....</i>	12
II. <i>Eaux de procédés</i>	12
1. <i>Définition</i>	12
2. <i>Principaux constituants des eaux</i>	13
III. <i>Procédés de traitement des eaux</i>	13
1. <i>Les différentes étapes du traitement de l'eau</i>	13
2. <i>Désinfection de l'eau par le chlore</i>	14
2. <i>Filtration à sable.....</i>	16
3. <i>Déchloration.....</i>	17
4. <i>Adoucissement.....</i>	17
CHAPITRE III :SUIVI DE LA CHLORATION ET DE LA DURETE TOTALE DE L'EAU	21
1. <i>Dosage du chlore résiduel.....</i>	22
2. <i>Détermination de la dureté totale</i>	23
3. <i>Résultats des suivis effectués :</i>	24
Conclusion.....	29
Bibliographie.....	30

Introduction générale

L'industrie laitière est un secteur prometteur vu le besoin croissant en lait et ses dérivés d'une part, et d'autre part vu la richesse du lait et ses dérivés en nutriment essentiel pour la croissance humaine.

Cette vaste propagation du lait et de ses dérivés impliquera un développement des techniques d'amélioration de la qualité de ces produits et l'usine DOUIET ne se trouve pas exclue de cette conception, elle intensifie les efforts et met en œuvre des nouveaux produits et les conditions les plus favorables pour assurer la qualité la plus meilleure possible pour le consommateur.

L'eau est sans aucun doute le fluide le plus utilisé dans les procédés industriels tels que l'eau de production, l'eau de process, l'eau de refroidissement, l'eau de nettoyage des réservoirs et des matériels, l'eau sanitaire...). Afin de répondre aux objectifs de production, la société a installé une unité de purification des eaux de forage pour produire une eau adaptée aux besoins et exigences de chaque processus de production.

Le sujet de ce travail s'inscrit dans ce cadre, il consiste à faire un traitement des eaux de forage de cette société dans le but de suivre le taux de chlore résiduel et la dureté totale.

Le présent rapport est scindé en trois majeures parties :

- Une description de la station et du processus de traitement des eaux.
- Une étude de l'efficacité de traitement des eaux en réalisant un suivi du taux de chlore résiduel et de la dureté totale au sein de la station de traitement des eaux.
- Proposition des actions nécessaires pour améliorer la productivité et la performance de la station de traitement des eaux.

Présentation de la société

1. Historique et évolution

Les origines du Domaine DOUIET remonte aux années 70, plus exactement c'est en 1977 qu'a été créé la ferme mais dont la production a été destinée uniquement aux propriétaires. Et ce n'est qu'en 1997 qu'une nouvelle usine destinée à la production laitière a été créée dont le but essentiel était d'élargir le champ de commercialisation et de viser une nouvelle clientèle. Après un an, c'est-à-dire en 1998, la société a vu la création de trois départements distincts à savoir celui de l'élevage, l'horticulture, et les produits laitiers. Il s'étend sur une superficie de 700 Hectares dont 330 Ha est cultivable et qui dispose de 2 forages « Ain Allah » ainsi que « Bourkaize » situé à 15 Km au nord-ouest de la ville de Fès. IL est constitué de divers secteurs de production animale, agricole et laitiers. Et emploie un effectif qui varie entre 700 et 1000 employés personnes selon les saisons, et a pour mission :

- la production.
- la transformation.
- et la commercialisation des produits.

2. Site Oued NJA

Créé en 2010 le site de Oued NJA où j'ai effectué mon stage, est une unité de production consacrée pour lait et ses dérivés, il est composé de :

- Service laboratoire : pour le contrôle de qualité du produit tout au long de la chaîne de production.
- Service maintenance : chargé de toutes les réparations au sein de l'usine afin d'assurer le bon déroulement de la production.
- Un magasin de stockage : où il est entreposé la matière première (emballage et ingrédients)
- Une salle de reconstitutions : pour la préparation des mix et ajout des ingrédients.
- Une salle de process : elle inclut les cuves de stockage, de maturation et tampon, les autoclaves et les écrémeuses.
- Une salle de conditionnement, composée de trois lignes de production :
 - Ligne carton : Lait pasteurisé : entier et écrémé, Leben, Jus à base de lait, Raïb aromatisé etbeldi.
 - Ligne yaourt : Yaourt ferme : (nature, chèvre et aromatisé), Yaourt brassé (fruités et aromatisés).
 - Ligne bouteille : Jus de fruits lactés et le yaourt à boire fruité (vanille, fraise, avocat, pêche et amande).
- Des chambres chaudes pour la maturation des produits.
- Des chambres froides pour le stockage du produit fini et la matière première.

Afin de maîtriser au mieux les points critiques de chaque étape de la production, la société a décidé dans l'an 2000 de mettre en place un système HACCP qui lui permettra de mener à bien cette mission. En 2003, le Domaine DOUIET obtient une certification ISO 9001 qui le conduit à instaurer une boucle d'amélioration de tous les processus de l'entreprise afin de répondre aux besoins de ses clients. Cette certification sera reconduite en 2006, même année où la société sera certifiée en ISO 22000.

3. Organigramme

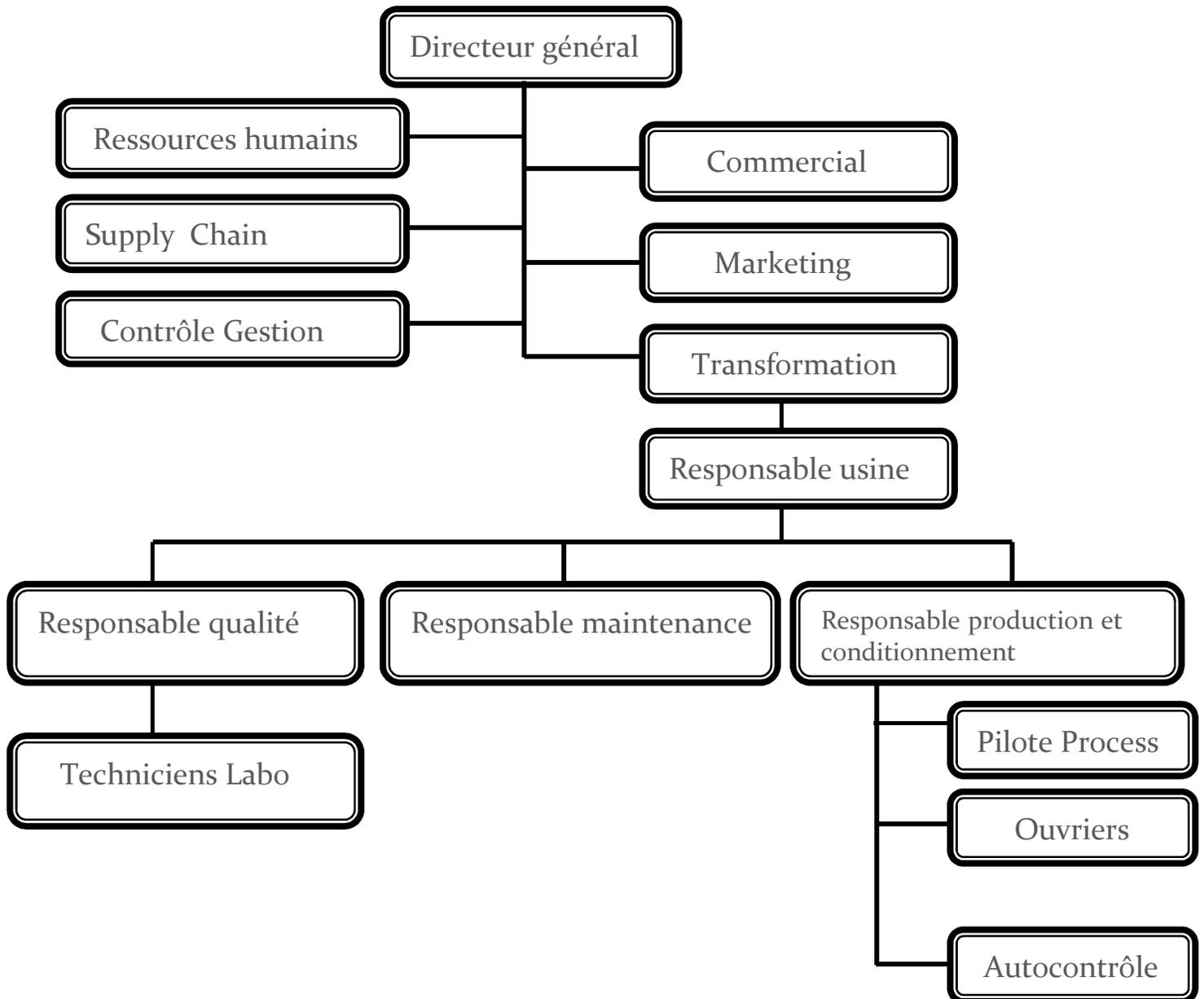


Figure 1 : Organigramme de la société

CHAPITRE I :
GÉNÉRALITÉS SUR LE LAIT ET
LE PROCÉDÉ DE PRODUCTION

I. Généralités sur le lait

1. Définition du Lait

Le lait est un liquide blanc mat, légèrement visqueux, dont la composition et les caractéristiques physico-chimiques varient sensiblement selon les espèces animales, et même selon les races. Ces caractéristiques varient également au cours de la période de lactation, ainsi qu'au cours de la traite ou de l'allaitement, du point de vue réglementaire il est défini comme étant : « Le lait est le produit intégral de la traite totale et ininterrompue d'une femelle laitière bien portante, bien nourrie et non surmenée. »

Selon la Réglementation Marocaine (Décret n° 2-00-425 du 7 décembre 2000 relatif au contrôle de la production et de la commercialisation du lait et produits laitiers)

- Le lait est le produit de la sécrétion mammaire normale, obtenu par une ou plusieurs traites, sans aucune addition ou soustraction
- La dénomination de lait, sans autre indication est réservée au lait de vache.
- Pour tout autre lait, cette dénomination doit être accompagnée de l'indication bien apparente de l'espèce animale dont il provient.
- Le colostrum est le produit éliminé par la mamelle pendant le 7 jours de la mise bas.

2. Composition du lait

Le lait est un aliment liquide complet, très nourrissant, réunissant à lui seul tous les composants nécessaires à l'alimentation humaine. 100 g de lait contient 87 g d'eau et 13 g de matières sèches.

Les principaux constituants de la matière sèche du lait sont :

- La matière grasse : C'est le constituant le plus variable du lait, constituée d'un mélange d'acides gras saturés et non saturés qui se trouvent en suspension dans le lait sous forme de minuscules gouttelettes (globules gras) et forme une émulsion.
- Protéines : On distingue deux groupes :
 - les protéines de la caséine, qui représentent 80 % des protéines totales du lait et qui sont des polypeptides complexes, résultats de la polycondensation de différents acides aminés, dont les principaux sont la leucine, la proline, l'acide glutamique et la sérine,
 - les séroprotéines, minoritaires (20 %), mais qui possèdent une valeur nutritive plus élevée que les premières. Le lait est, parmi les liquides biologiques animaux, un de ceux qui contiennent la plus grande concentration d'acide citrique, c'est un anticoagulant et il s'oppose à la précipitation des protéines.
- Le lactose : C'est un sucre disaccharide qui se présente sous forme de solution et qui est généralement le principal élément solide du lait. Son pouvoir sucrant est six fois plus faible que celui du saccharose. Il peut provoquer certaines intolérances. Les micelles protéiques ont un diamètre de l'ordre de 0,1 µm. Globalement.

- Les composants secondaires du lait : sont constitués par les sels, les enzymes, les vitamines et les oligo-éléments. Sa richesse en calcium et en phosphore font du lait un aliment très adapté à la croissance des jeunes enfants. Le phosphore y est fixé sous forme de phosphates. Le calcium s'associe au phosphate et à la caséine pour donner le complexe phosphocaséinate de calcium et forme un colloïde. On y trouve également du magnésium, du potassium et du sodium mais il est, du moins pour le lait de vache, pauvre en oligoéléments.

Constituants	Pourcentage
Eau	87-89
Extrait sec totale	12
- Matière grasse	3 -4
- Extrait sec dégraissé	8,5-9
Protéines	
• Caséine	2,7
• Albumine	0,5
• Globuline	0,05
Glucides	4,4– 5,2
Sels minéraux	0,96

Tableau 1:Composition générale du lait

3. Propriétés physicochimiques du lait

Caractères	Valeurs
pH	6,4 à 6,6
Point de congélation	-0,52 à -0,56°C
Point d'ébullition	100,5°C
Acidité	16 à 18°D
Chaleur spécifique à 15°C	0,940 cal/g °C
Viscosité dynamique à 25°C	220 Cp
Conductivité électrique à 25°C	45 * 10 ⁻⁴ mS
Densité à 25°C	1.028 à 1.035

Tableau 2:Caractères physicochimiques du lait

II. Procédé de production

1. Etapes de production

A. Réception du lait

❖ Collecte du lait :

Les domaines de DOUIET, BOUDERRA, RASELMA et SID LKAMEL assurent constamment, l'approvisionnement de l'unité de production laitière en matière de lait cru.

❖ Tests :

Avant son dépotage vers les tanks de réception, le lait doit subir certains tests physico-chimiques de conformité pour toute préparation technologique, à savoir :

- Test sensoriel : Réalisé par la dégustation et contrôle visuel de la couleur.
- Température (<6°C).
- pH
- Teneur en MG
- EST
- MAP
- Test d'antibiotique
- Test d'inhibiteur permet de contrôler l'aptitude fermentaire du lait destiné à la production de ses dérivés.

❖ EPURATION MECANIQUE ET DEGAZAGE :

Avant sa transformation, le lait doit être clarifié mécaniquement pour extraire les particules plus denses.

Après traite et collecte dans une baratte ou un tank de réfrigération, le lait peut contenir 5,5 à 7,0 % d'air par volume, 6 % constituant le chiffre moyen. Il est encore introduit de l'air dans le lait durant sa manipulation à la ferme et son transport à la laiterie, ceci jusqu'à la réception à la laiterie. Il n'est pas exceptionnel que le lait entrant contienne 10% d'air par volume ou même davantage. A la réception le lait passe par un éliminateur d'air avant d'être stocker dans les cuves.

❖ REFROIDISSEMENT ET STOCKAGE :

Après sa filtration, le lait subit un refroidissement à 4°C afin de limiter le développement des germes, puis stocké dans des cuves équipés d'agitateurs servant à homogénéiser la température du lait dans le bac.

B. Thermisation

La thermisation est généralement effectuée à une température située entre 68 et 75 °C pendant quelques secondes (30 s au maximum). Celle-ci tue tous les microorganismes thermosensibles.

La thermisation est souvent utilisée pour améliorer l'aptitude à la conservation avant la transformation.

Le lait thermisé ne doit pas être commercialisé comme lait prêt à la consommation. La thermisation ne remplace en aucun cas la pasteurisation.

C. Ecrémage

Séparer la matière grasse du lait permet d'obtenir la matière première pour fabriquer de la crème et du beurre. L'écémage est aussi une technique utilisée dans les filières de production des produits laitiers pour standardiser la matière grasse. On obtient ainsi un lait et des produits à teneur garantie en matière grasse. L'écémage est effectué mécaniquement en séparant le lait et la crème par centrifugation.

D. Standardisation

La standardisation de la matière grasse consiste à ajuster la teneur en matière grasse du lait à un certain pourcentage. Celle-ci est effectuée avec une installation de standardisation (installation de mélange en continu).

Le yaourt peut avoir une teneur en matière grasse de 0 à 10%. Toutefois, le taux de matière grasse le plus courant est de 0,5-3,5%.

E. Préparation des mix

L'extrait sec du lait de production est un facteur important dans la fabrication car il conditionne la consistance et la viscosité du produit. Les protéines, tout en améliorant la texture, masquent aussi l'acidité, les matières grasses donnent une saveur plus douce et plus crémeuse et un arôme meilleur et masquent l'acidité. Pour augmenter l'extrait sec du lait on procède à l'enrichissement par addition de poudre du lait écrémé. A cette étape on note aussi l'ajout du sucre ou des édulcorants et des stabilisateurs pour obtenir une meilleure qualité organoleptique du produit fini.

F. Homogénéisation

Ce procédé consiste à faire éclater, par pression, les globules de matière grasse en fines particules. Celles-ci ne remontent pas à la surface, mais se répartissent de façon homogène dans le lait. Ce traitement est appliqué aux laits de consommation et aux laits destinés à la production des yaourts.

G. Pasteurisation

C'est un traitement par la chaleur qui a pour but la stabilisation du produit pour augmenter sa durée de conservation et par le fait même, élargir les possibilités de commercialisation et de consommation, elle assure les fonctions suivantes :

- La destruction de 90% de la flore banale et tous les germes pathogènes.
- La formation de l'acide formique qui active les bactéries lactiques.
- Dénaturation maximale des protéines solubles pour éviter le phénomène de la synérèse.

H. Fermentation lactique

Le lait enrichi et traité thermiquement est refroidi à la température de fermentation 40 – 45°C, cette température correspond à l'optimum de développement symbiotique des bactéries. C'est l'étape caractéristique de la production du yaourt on peut la décomposer en phase d'ensemencement et phase d'incubation.

- ✓ L'ensemencement c'est l'inoculation de deux germes spécifiques du yaourt : *lactobacillus bulgaricus* et *streptococcus thermophilus* dans le rapport strepto/lacto 2 /1 pour le yaourt ferme et jusqu'à 10/1 pour le yaourt brassé.
- ✓ L'incubation : elle correspond au développement de l'acidité et la gélification du milieu avec modification structurales irréversibles par la dégradation du lactose en acide lactique.

En outre, ces bactéries produisent des composés carbonylés volatils (l'acétaldéhyde, le diacétyl, l'acétone, l'acétate d'aldéhyde) et des exopolysaccharides qui participent respectivement à l'élaboration de l'arôme et de la texture des yaourts.

I. Conditionnement

Le conditionnement joue un rôle important dans la chaîne de production et la qualité du service vis-à-vis des consommateurs, puisque l'emballage permet de donner les informations complètes sur les constituants du produit et sa date limite de consommation ainsi qu'il doit être attrayant par sa forme et sa présentation et il doit offrir une protection au produit contre les chocs physiques, la lumière et la chaleur.

L'usine est équipée de sept conditionneuses : 7 machines (2 bouteilles, 3 yaourt, 2 cartons) et 4 machines de fabrication des bouteilles plastiques (extrudeuses).

J. Stockage

Après leur préparation, les laits fermentés doivent être maintenus à une température maximale de + 6 °C pendant leur transport et leur entreposage, et de + 8 °C lors de la remise au consommateur.

1. Diagramme de production

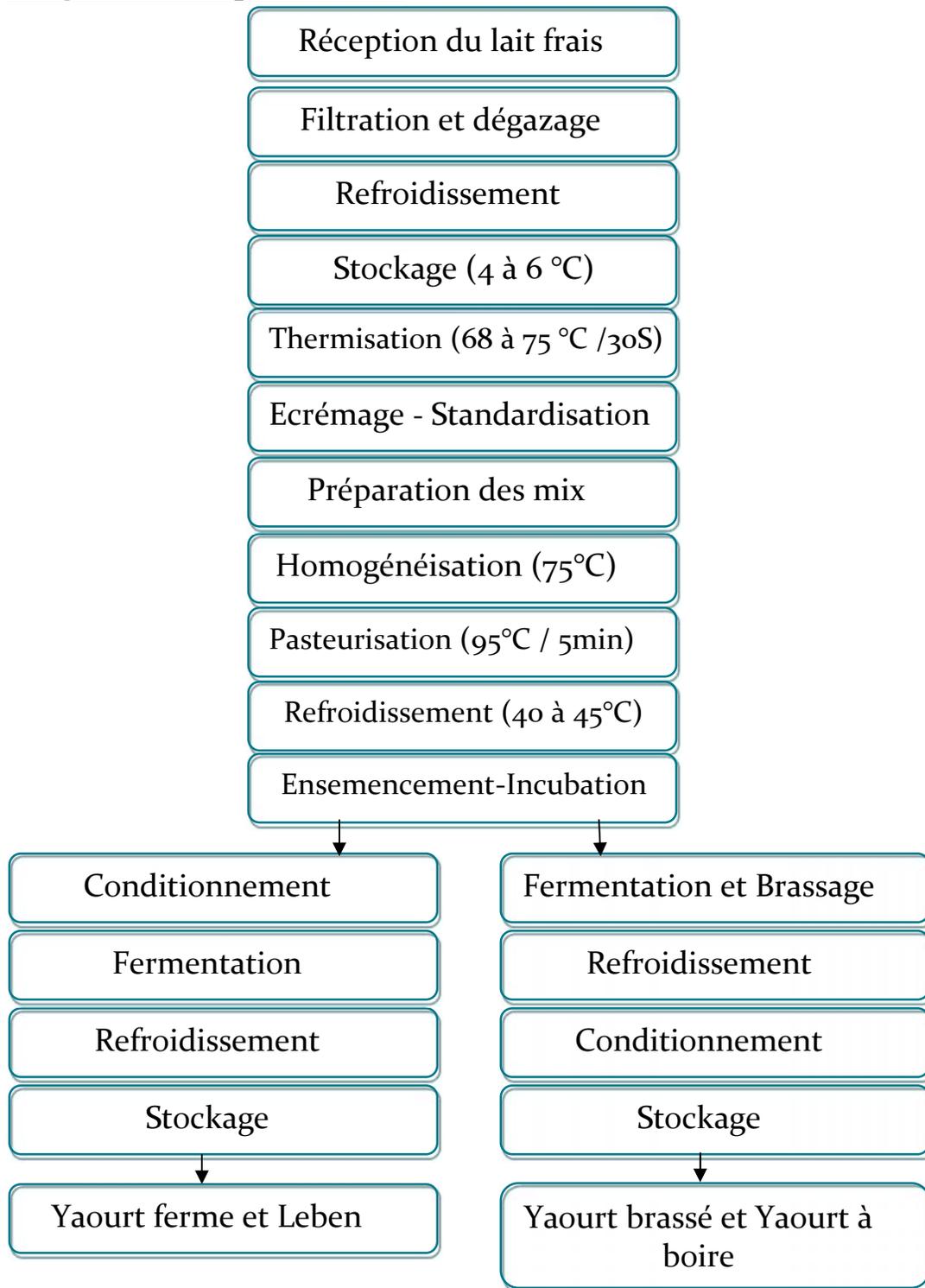


Figure 2 : Diagramme de production du yaourt au Domaine DOUIET

CHAPITRE II :

PROCESSUS DE

PURIFICATION DE L'EAU

I. Introduction

L'eau est l'élément essentiel sur notre planète car elle entretient la vie sur la terre. Pour l'homme, l'eau est destinée à la consommation et constitue un élément fondamental pour les processus industriels comme l'agroalimentaire mais aussi l'agriculture. Malgré l'importance de l'eau, elle peut être source de maladies. Les maladies infectieuses causées par les bactéries, les virus ou des parasites hydriques restent encore aujourd'hui une des principales causes de mortalité à l'échelle mondiale. C'est pourquoi un des objectifs majeurs de traitement de l'eau est de pouvoir fournir une eau saine du point de vue microbiologique.

La contamination microbienne de l'eau potable constitue une source de maladies d'origine hydrique comme la diarrhée, le choléra, la fièvre typhoïde, l'hépatite A, la dysenterie bacillaire et amibienne.

Les sources et les eaux souterraines sont traditionnellement les ressources en eau privilégiées pour l'eau potable. Elles sont plus à l'abri des pollutions que les eaux de surface.

Toutefois, certaines caractéristiques minimales sont exigées pour qu'elles puissent servir à la production d'eau potable qui doit-elle même satisfaire à des normes de qualité physicochimique et biologique. La production d'eau potable à partir des eaux naturelles nécessite en général un traitement adapté aux paramètres de qualité à corriger. Dans le cas des eaux souterraines de bonne qualité physico-chimique, la chloration est une étape suffisante.

Il est bien connu que la chloration a pour objectif l'élimination des germes pathogènes, l'oxydation de la matière organique et de quelques éléments minéraux, mais également le maintien d'un résiduel désinfectant capable d'assurer la protection microbiologique de l'eau pendant son stockage.

II. Eaux de procédés

Le choix de l'approvisionnement en eau dépend de plusieurs facteurs (qualité adaptée à l'utilisation, disponibilité, sécurité par rapport au risque de pollution accidentelle, coût...). Pour ces raisons les constructeurs de l'usine ont choisis de l'implanter dans une région qui est riche en eau souterrains (Oued NJA).

1. Définition

Les eaux de procédés correspondent à toutes les eaux utilisées par une entreprise pour mener à bien les différentes étapes de la production.

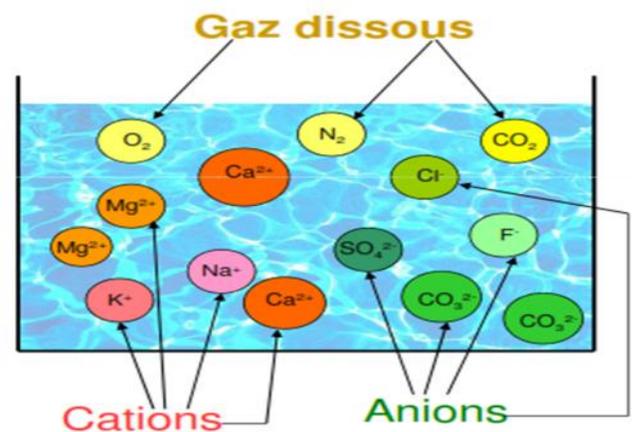
Indépendamment de celle déjà contenue dans les matières premières, l'eau intervient comme:

- ✓ **ingrédient de fabrication**: elle permet la mise en contact et le mélange des autres ingrédients, le démarrage de certaines réactions ; elle est un constituant majeure de certains produits alimentaires.

- ✓ **Vecteur d'échanges thermiques:** elle est utilisée pour les traitements thermiques classiques (cuisson, pasteurisation, stérilisation), pour condenser des buées d'évaporation, pour le refroidissement du matériel ou des produits...
- ✓ **Vecteur d'échange de matière:** en raison de ses propriétés de solvant, elle permet d'extraire ou de transférer un soluté à un solide (extraction du saccharose de la betterave, saumurage..), de régénérer les résines échangeuses d'ions...
- ✓ **Vecteur d'énergie mécanique:** on l'utilise pour véhiculer le lait, par jet à très grande vitesse.
- ✓ **Moyen de lavage:** nettoyage et rinçage des appareils et canalisations des procédés de fabrication, des contenants lors du conditionnement, ou des surfaces.

2. Principaux constituants des eaux

- Dans les eaux naturelles, différents sels sont présents sous forme d'ions.
- Certains gaz peuvent également se trouver dissous dans l'eau.
- Ces sels et gaz sont inoffensifs ou même bons pour la santé (jusqu'à certaines doses).
- Ils sont en revanche nocifs pour les équipements techniques.



III. Procédés de traitement des eaux

1. Les différentes étapes du traitement de l'eau

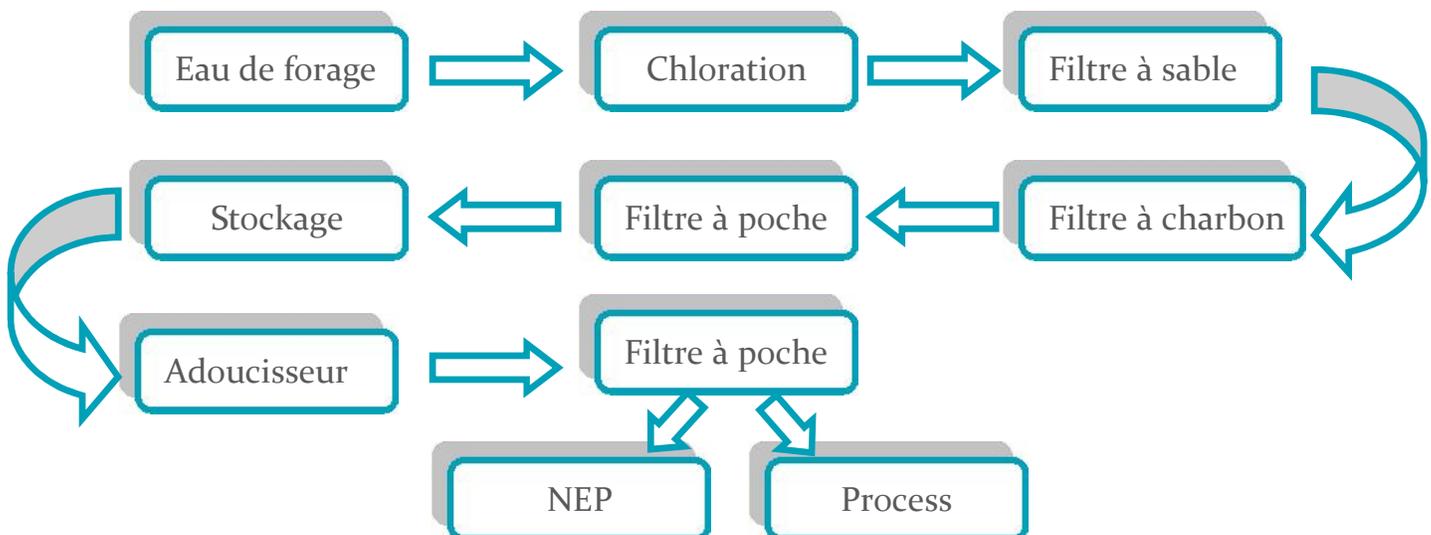


Figure 3 : Les étapes de traitement des eaux à l'usine Oued NJA

2. Désinfection de l'eau par le chlore

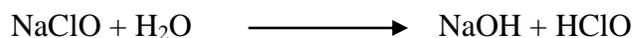
La désinfection est un procédé chimique ou physique utilisé pour inactiver (tuer ou empêcher la reproduction) les organismes nocifs ou susceptibles de causer une maladie, appelés agents pathogènes, vivant dans l'eau. Les *E. coli* en sont un exemple, ayant causé la mort des milliers de personnes.

Les désinfectants couramment utilisés sont des produits chimiques à base de chlore, comme le chlore (gaz), la chloramine, le dioxyde de chlore et l'hypochlorite de sodium. Les désinfectants chimiques inactivent les microorganismes pathogènes par la décomposition de leurs parois cellulaires, provoquant ainsi leur rupture.

a. Chloration par l'hypochlorite de sodium

L'hypochlorite de sodium (NaClO) en solution est un désinfectant utilisé depuis le siècle XVIII, et populairement connu comme eau de Javel. Dans l'industrie, ceci est obtenu par réaction du chlore gazeux avec une solution d'hydroxyde de sodium. Après la réaction on obtient des solutions aqueuses de couleur jaune verdâtre, qui ont une concentration donnée de chlore actif par litre. Il est commercialisé en dissolutions de concentrations entre 3 et 15% en poids. L'hypochlorite de sodium est un oxydant très puissant et instable.

Quand l'hypochlorite de sodium se dissout dans l'eau, il se produit une dissociation du sel d'accord avec la réaction suivante:



Finalement il se forme l'acide hypochloreux, qui est vraiment le désinfectant. Cependant, celui-ci se dissocie d'accord avec l'équilibre suivant:



L'équilibre de cette réaction est fonction du pH et de la température comme l'indique la Figure 4. À un pH compris entre 4 et 6 le chlore se trouve sous la forme d'acide hypochloreux qui est un oxydant énergétique et un puissant bactéricide alors que l'augmentation du pH se traduit par l'ionisation de l'acide hypochloreux, à pH 10 le Chlore se trouve combiné sous forme d'ion hypochlorite ClO⁻ qui est peu bactéricide.

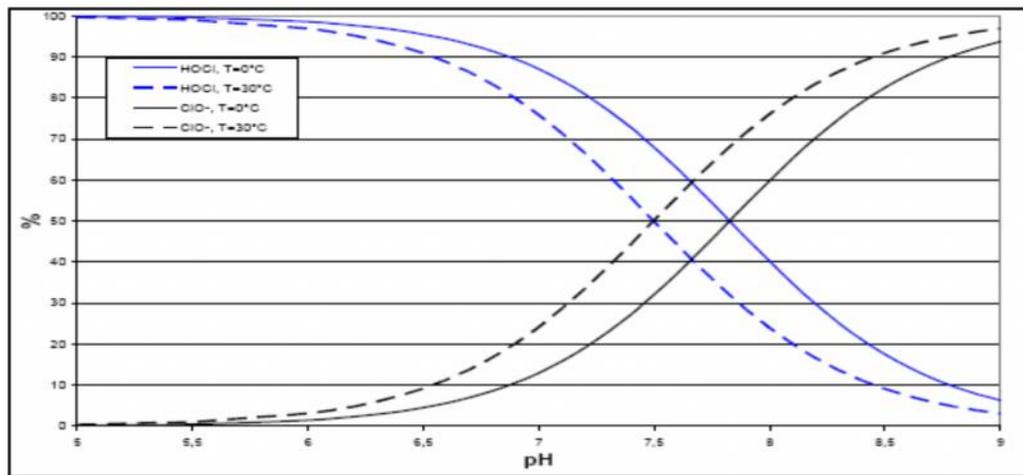


Figure 4 : Variation de la concentration en pourcentage de HOCl et de ClO⁻ en fonction du pH et de la température

b. La demande en chlore

Pour que la désinfection par le chlore et ses dérivés soit appliquée correctement, il faut que la quantité de Chlore ajoutée à l'eau brute soit bien calculée. En effet une dose trop forte laisserait à l'eau une saveur désagréable et une dose trop faible ne serait pas suffisante pour assurer la désinfection. La dose nécessaire ou la demande en Chlore est déterminée expérimentalement par la méthode dite au break point, cette méthode consiste à introduire dans une série de flacons, ayant la même capacité et contenant le même volume d'eau brute, des doses croissantes de chlore. Après un temps de contact correspondant en général à la durée de séjour de l'eau dans l'installation, on procède à la mesure du chlore résiduel dans chaque flacon et on établit la courbe représentative du chlore résiduel en fonction du chlore introduit à partir de laquelle on déduit le break point ou point de rupture, celui-ci correspond à la dose de Chlore minimum de la courbe pour laquelle il ne subsiste plus de chloramine dans l'eau.

En effet l'action du chlore passe par trois étapes :

- Dans la première étape le chlore réagit chimiquement avec les radicaux minéraux disponibles dans l'eau (le Fer, les sulfures, les sulfites, les nitrites...) puis avec la matière organique et donne des composés chlorés,
- Dans la deuxième étape le chlore ajouté participe à la destruction de ces composés chlorés,
- Dans la troisième étape le chlore introduit forme le chlore résiduel libre (l'acide hypochloreux et l'hypochlorite).

2. Filtration à sable

a. Définition

La filtration peut jouer plusieurs rôles au sein de la filière de traitement en fonction des caractéristiques du matériau filtrant utilisé et des conditions de mise en œuvre.

Son application première est de retenir les particules en suspension dans l'eau, que celles-ci existent dans l'eau brute ou qu'elles aient été formées lors des étapes préalables de traitement (chloration).

Parmi les matériaux granulaires utilisés en traitement d'eau, le sable est le média le plus couramment mis en œuvre, qu'il s'agisse de production d'eau destinée à la consommation humaine ou pour utilisations industrielles, ou de filtration des eaux usées. Le sable doit répondre à certaines exigences afin d'être apte à la filtration. Il convient de plus de connaître ses caractéristiques afin de choisir le sable le mieux adapté à l'application pour laquelle il est destiné.

b. Principe de fonctionnement

Une cuve est remplie de sable aux trois quarts. L'eau est projetée sur le dessus du filtre à travers un disperseur comparable à une douche. Elle est récupérée au fond du filtre par une crépine en forme d'étoile, branchée sur une cheminée qui permet à l'eau de remonter par le centre du filtre. La filtration a lieu lors de la traversée du sable du haut vers le bas.

Le sable utilisé doit résister à la présence du chlore ainsi qu'aux différences de pH pouvant exister.

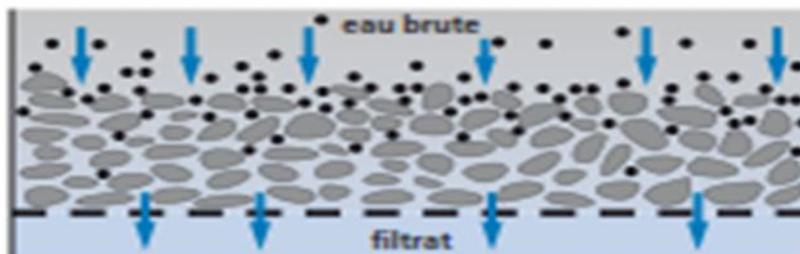


Figure 5 : Schéma d'une filtration sur lit. Les particules pénètrent dans le matériau de filtration, où elles sont retenues par des processus physicochimiques.

c. Avantages de la filtration à sable

Dans les circonstances appropriées, la filtration lente sur sable est non seulement la technologie la moins onéreuse et la plus simple de filtration, mais aussi la plus efficace pour le traitement des eaux.

Ses avantages pratiques ont été démontrés sur une longue période, et elle est encore la méthode privilégiée pour la purification de l'eau dans certaines industries, parmi les avantages de la filtration sur sable on peut citer :

- ✓ Production d'une eau de grande qualité ;
- ✓ Nécessite pas l'ajout de produit chimique ;
- ✓ Aucun élément mécanique ;
- ✓ Nécessite des maintenances périodique ;
- ✓ Fonctionnement en continu ;

3. Déchloration

L'eau de procédé a des exigences particulières par rapport aux eaux potables car elles interviennent dans les productions. L'eau issue de l'étape de filtration contient encore des molécules désinfectantes, une eau de procédé doit donc avoir une composition bien définie et constante.

Pour se débarrasser du chlore résiduel l'eau doit passer par un filtre à charbon actif qui adsorbe l'excès de chlore et élimine les odeurs, couleurs et saveurs. C'est un procédé intéressant qui ne génère pas des sous-produits, toutefois il est nécessaire d'éviter sa saturation ce qui engendrerait le relâchement d'éléments polluants.

❖ Principe de fonctionnement du filtre à charbon :

Le principe du traitement par filtration sur charbon actif est l'adsorption qui est un phénomène physique par lequel un solide attire les molécules sur sa surface sous l'action des forces physiques. Les molécules polluantes viennent ainsi se "fixer" à la surface du charbon actif. Aucune réaction chimique n'est mise en jeu (pas de création de liaison covalente entre atomes ou molécules).

Il y a deux principaux systèmes par lesquels le charbon actif enlève des contaminants de l'eau, par adsorption, et par réduction catalytique, les composés organiques sont enlevés par adsorption et les désinfectants résiduels tels que le chlore et les chloramines sont enlevés par réduction catalytique.

La propreté du filtre à charbon est assurée par un lavage à contre-courant avec de l'eau. Le lit de charbon actif doit être changé lorsqu'il ne parvient plus à éliminer le chlore (une fois après 3 mois de fonctionnement).

A la sortie du filtre à charbon on trouve un filtre à poche (25 μ), chargé d'éliminer les particules de charbon actif éventuellement présentées dans l'eau déchlorée.

4. Adoucissement

Ce procédé vise à réduire la dureté de l'eau. En effet, une dureté pose des problèmes d'ordre pratique aux utilisateurs (qu'ils soient domestiques ou industriel) comme :

- l'entartrage des chaudières, et circuits d'eau chaude ;
- l'entartrage à long terme des canalisations d'eau ;

L'objectif après le traitement est d'obtenir une eau à l'équilibre calco-carbonique.

La technique utilisée est celle d'échanges d'ions : échange des cations (Ca^{2+} et Mg^{2+}) par des Na^+ .

a. Eléments favorisant le mécanisme d'entartrage :

- ❖ La température de l'eau : La réaction chimique qui provoque la précipitation du carbonate de calcium est largement favorisée par l'élévation de la température qui, en libérant du gaz carbonique, accélère la précipitation du tartre. Il n'y a pas ou très peu d'entartrage sur les canalisations d'eau froide. En revanche, les circuits d'eau chaude sanitaire représentent un terrain favorable à l'entartrage.
- ❖ La présence dans l'eau d'éléments favorisants : Le phénomène tient à la présence dans l'eau en quantité infinitésimale susceptible de déclencher le phénomène d'entartrage. Ainsi, la présence dans l'eau d'ions cuivre ou d'ions zinc freine le dépôt de tartre qui reste en suspension dans l'eau. En revanche l'ion Fe^{2+} est connu pour être un élément favorisant. Les quantités nécessaires sont très faibles, de l'ordre de quelques dizaines à quelques centaines de microgrammes par litre.
- ❖ Influence de la nature de la canalisation : Dans le cas des eaux moyennement ou peu entartrantes, le cuivre peut empêcher l'apparition des premières traces de tartre et bloquer ainsi le développement naturel du processus d'entartrage. Le cuivre a donc un avantage décisif sur les autres matériaux avec lesquels il y a toujours amorce d'entartrage. Dans le cas des eaux très entartrantes, il y a aussi un avantage au cuivre mais d'un autre ordre. Le tartre déposé sur un tube de cuivre contient lui-même des traces de cuivre qui jouent pleinement leur rôle bactéricide vis-à-vis des eaux transportées par la canalisation. On sait que le tartre favorise le développement de certaines bactéries comme celles de la légionellose, mais si la canalisation est en cuivre, la présence de ces traces de cuivre dans le tartre va inhiber le risque de prolifération de ces micro-organismes.

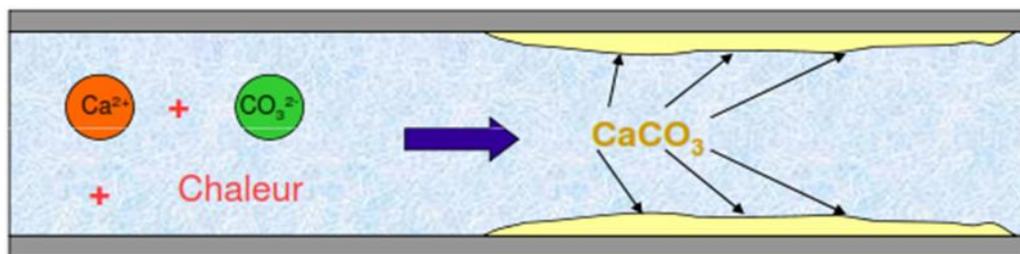


Figure 6: Eléments favorisant le dépôt de calcaire dans les canalisations

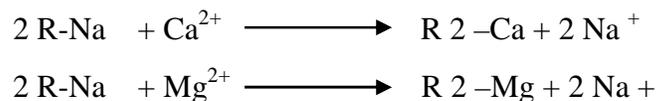


Figure 7: Dépôts de tartre dans des canalisations

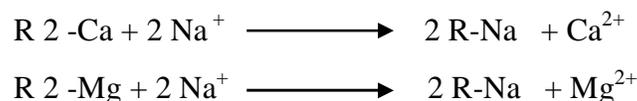
b. Principe de fonctionnement des adoucisseurs

Les adoucisseurs d'eau sont des échangeurs d'ions spécifiques, conçus pour modifier la composition ionique de l'eau à traiter, et ainsi retirer les ions responsables d'une dureté élevée.

L'eau dure passe sur un lit de résine cationique, préalablement chargée de sodium, qui échange les ions calcium (Ca^{++}) et magnésium (Mg^{++}), responsables de la dureté de l'eau, contre des ions sodium (Na^+) :



Lorsque la résine est saturée d'ions calcium et magnésium (substitués aux ions sodium) la régénération de celle-ci se déclenche et se déroule automatiquement selon un processus d'échange ionique à rebours:



La régénération de la résine saturée s'effectue avec du chlorure de sodium (NaCl).

Les ions sodium se fixent à nouveau sur la résine tandis que les ions calcium et magnésium sont évacués à l'égout sous forme de chlorure de calcium et de magnésium.

Le cycle se reproduit périodiquement en fonction d'intervalles de volume d'eau que l'adoucisseur peut traiter.

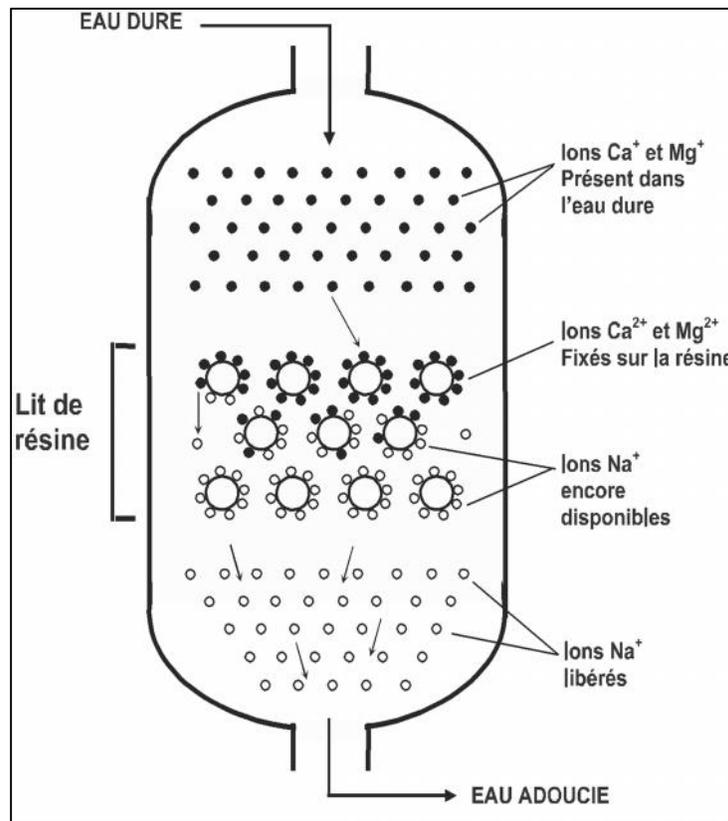


Figure 8: Principe de l'échange d'ions

A la sortie de l'adoucisseur on trouve un filtre à poche (5 μ), chargé d'éliminer les particules qui ont un diamètre supérieure à (5 μ) éventuellement présentées dans l'eau adoucie.

CHAPITRE III :
SUIVI DE LA CHLORATION ET DE
LA DURETE TOTALE DE L'EAU

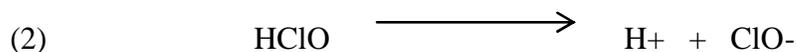
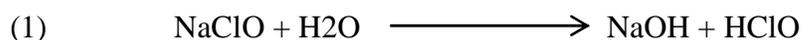
Introduction

Le suivi de la qualité des eaux traitée à l'usine est réalisée par des analyses chimique : le taux de chlore résiduel et la dureté totale pour surveiller en permanence, le bon fonctionnement des différents composants de l'installation et de s'assurer qu'on obtient une eau traitée qui répond aux normes spécifiées par la société.

1. Dosage du chlore résiduel

Dans l'eau potable le chlore résiduel peut se trouver sous différente formes :

- Le chlore libre est la somme des concentrations d'acide hypochloreux (HOCl) et de l'ion hypochlorite (ClO⁻) produit quand le chlore est ajouté à l'eau selon les réactions suivantes :



- Le chlore combiné est la portion de chlore qui a réagi avec l'ammoniac, produisant des chloramines (NH₂Cl, NHCl₂ et NCl₃), ou avec des amines organiques, créant des chloramines organiques.
- Le chlore total est la somme du chlore libre et du chlore combiné.

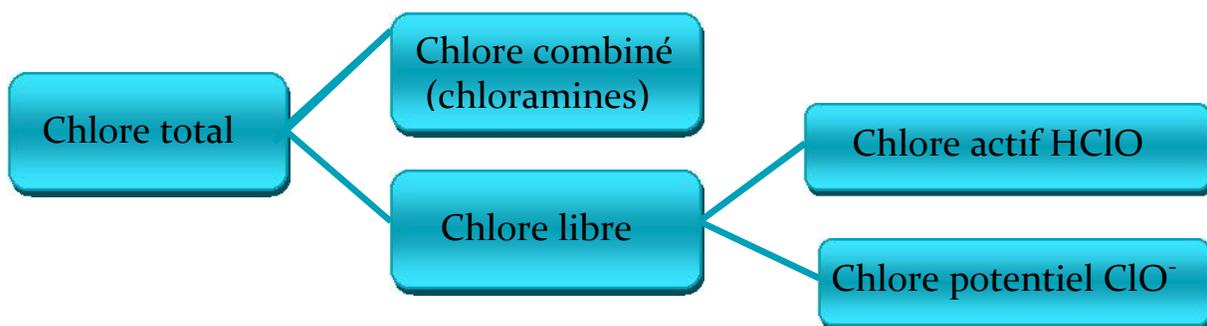


Figure 9: les différentes formes de chlore résiduel

La détermination du chlore résiduel dans l'eau s'effectue par réaction avec la DPD (N, N-diméthyle-p-phényline-diamine) qui permet de déterminer la quantité du chlore libre. La DPD, avec un pH entre 6,2 et 6,5, donne lieu à une coloration rose, proportionnelle à la quantité de chlore libre présente dans le milieu. Par comparaison avec une échelle de couleurs on peut déterminer la quantité de chlore libre. Cette réaction peut être contrôlée au moyen d'un photomètre, qui est un instrument pour effectuer la lecture de l'intensité de couleur, et qui permet de la mettre en rapport directement avec la concentration des produits.



Figure 10: Matériel et Réactifs utilisés pour le dosage du chlore résiduel

2. Détermination de la dureté totale

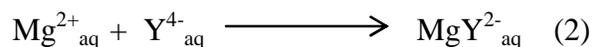
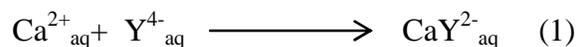
Le titre hydrotimétrique (TH) indique la teneur globale en sel de calcium et de magnésium qui sont responsables de la dureté de l'eau. Dans la plupart des eaux naturelles, le calcium contribue au TH dans la proportion de 70 à 90%. La dureté s'exprime en degré français (°f). 1°f correspond à 10^{-4} mol d'ions Ca^{2+} et Mg^{2+} par litre.

Principe de dosage :

La détermination du TH s'effectue par titrage complexométrique des ions calcium et magnésium avec une solution d'EDTA et en présence de Triethanolamine ($\text{C}_6\text{H}_{15}\text{NO}_3$) pour le dosage simultané du calcium et magnésium.

La stabilité du complexe varie en fonction du pH. Ici le milieu doit être basique d'où l'utilisation d'une solution de soude (1N).

Les réactions mises en jeu sont :



Mode opératoire :

On prend 100 ml de l'eau à analyser, et on lui ajoute 1ml de soude (1N) pour rendre le milieu basique puis on ajoute 3 à 4 gouttes de Triethanolamine ($\text{C}_6\text{H}_{15}\text{NO}_3$) dans le bécher.

Si on obtient une coloration bleu : TH= 0 °f

Si la couleur obtenue est violette : présence de Ca^{2+} et Mg^{2+} on titre avec une solution d'EDTA (10^{-2} mol/l) jusqu'au point de virage.

Calcul de TH

On a $C_0 \times V_{\text{eau}} = C_{\text{EDTA}} \times V_{\text{EDTA}}$ avec $C_0 = [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] = \text{TH}$ et C_{EDTA} = concentration de la solution d'EDTA et V_{EDTA} = volume d'EDTA à l'équivalence

$$\Rightarrow \text{TH} = (C_{\text{EDTA}} \times V_{\text{EDTA}}) / V_{\text{eau}}$$

$$\text{TH} = (10^{-2} \times V_{\text{EDTA}} \times 10^{-3}) / (100 \times 10^{-3})$$

$$\text{TH} = V_{\text{EDTA}} \times 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$$

On sait que 1°f correspond à 10^{-4} mol d'ions Ca^{2+} et Mg^{2+} par litre

$$\Rightarrow \text{TH (°f)} = V_{\text{EDTA}}$$

3. Résultats des suivis effectués :

Date	Heure	Taux de chlore (ppm)			Dureté totale en °f		Observations
		Sortie bassin	Entrée filtre à charbon	Eau stockée déchlorée	Sortie bassin	Sortie adoucisseur	
06/05/2013	06 :00	1,2	1,2	0	30,0	1,5	
	08 :00	0,8	0,8	0	30,0	1,0	
	10 :00	1,2	1,2	0	30,0	0,1	
	12 :00	1	1	0	33,5	0,4	
07/05/2013	06 :00	0	0	0	29,6	1,2	
	08 :00	1,8	0,8	0	30,0	0,2	
	10 :00	4	4	0	31,4	0,2	
	12 :00	4	4	0	32,0	0,5	
08/05/2013	06 :00	2,5	2,5	0	27,4	3,4	
	08 :00	1,2	2,5	0	30,6	5,6	A2 en Reg
	10 :00	3	3	0	34,6	7,5	A2 en Reg
	12 :00	3	3	0	32,4	11,2	A3 en Reg
09/05/2013	06 :00	1	0	0	34,0	10,4	
	08 :00	4	4	0	33,5	1,0	

	10 :00	4	4	0	29,0	0,7	
	12 :00	4	4	0	33,0	0,5	
13/05/2013	06 :00	0	4	0	32,5	3,0	
	08 :00	4	4	0	33,0	0,4	A1 en Reg
	10 :00	4	4	0	35,0	0,2	A2 en Reg
	12 :00	4	4	0	35,0	1,2	A2 en Reg
14/05/2013	06 :00	4	2	0	30,0	0,0	
	08 :00	2	4	0	29,4	0,5	
	10 :00	2,5	2	0	29,6	0,5	
	12 :00	4	4	0	30,5	0,2	
15/05/2013	06 :00	4	4	0	32,5	1,0	A1 en Reg
	08 :00	4	4	0	30,5	0,5	A1 en Reg
	10 :00	4	4	0	35,5	0,5	A2 en Reg
	12 :00	4	4	0	35,5	0,5	
16/05/2013	06 :00	4	4	0	29,0	0,2	
	08 :00	4	4	0	31,5	0,2	
	10 :00	0	4	0	31,5	0,3	
	12 :00	4	4	0	27,4	0,2	
20/05/2013	06 :00	4	4	0	34,0	6,2	A1 en Reg
	08 :00	4	4	0	33,5	5,5	A1 en Reg
	10 :00	4	4	0	29,0	6,0	A2 en Reg
	12 :00	0	4	0	29,0	6,4	A2 en Reg
21/05/2013	06 :00	4	4	0	33,0	2,4	
	08 :00	4	4	0	25,5	2,6	
	10 :00	4	4	0	32,0	2,1	
	12 :00	4	4	0	35,0	2,0	
22/05/2013	06 :00	0	4	0	33,4	2,0	
	08 :00	4	2,5	0	33,6	0,7	A1 en Reg
	10 :00	4	4	0	32,5	0,7	A3 en Reg
	12 :00	4	4	0	35,2	0,8	A3 en Reg
	06 :00	0,8	4	0	29,7	0,5	
	08 :00	4	4	0	28,9	0,0	

23/05/2013	10 :00	4	4	0	30,5	0,2	
	12 :00	4	4	0	31,2	0,2	
25/05/2013	06 :00	4	4	0	32,6	0,0	
	08 :00	1,6	0	0	32,1	0,1	
	10 :00	2,5	2	0	33,4	0,4	
	12 :00	4	4	0	34,8	0,5	
27/05/2013	06 :00	4	4	0	35	1,4	
	08 :00	4	4	0	34,4	0,4	
	10 :00	4	4	0	34,5	0,7	
	12 :00	4	4	0	29,0	1,1	
28/05/2013	06 :00	4	4	0	27,4	2,9	
	08 :00	4	4	0	25,1	4,1	
	10 :00	4	4	0	29,6	7,0	A3 en Reg
	12 :00	4	4	0	23,9	11,4	A3 en Reg
29/05/2013	06 :00	4	4	0	28,2	1,6	A1 en Reg
	08 :00	4	4	0	27,9	0,6	A3 en Reg
	10 :00	4	4	0	31,0	0,0	A3 en Reg
	12 :00	4	4	0	30,5	0,0	A3 en Reg
30/05/2013	06 :00	4	4	0	26,7	0,4	
	08 :00	4	4	0	23,0	0,7	A1 en Reg
	10 :00	4	4	0	36,2	0,5	A2 en Reg
	12 :00	4	4	0	30,5	0,2	A2 en Reg

Tableau 3: Résultat des analyses chimiques effectuées au cours du stage

Les résultats des analyses effectuées sont illustrés selon les figures suivantes (figure 11 et 12).

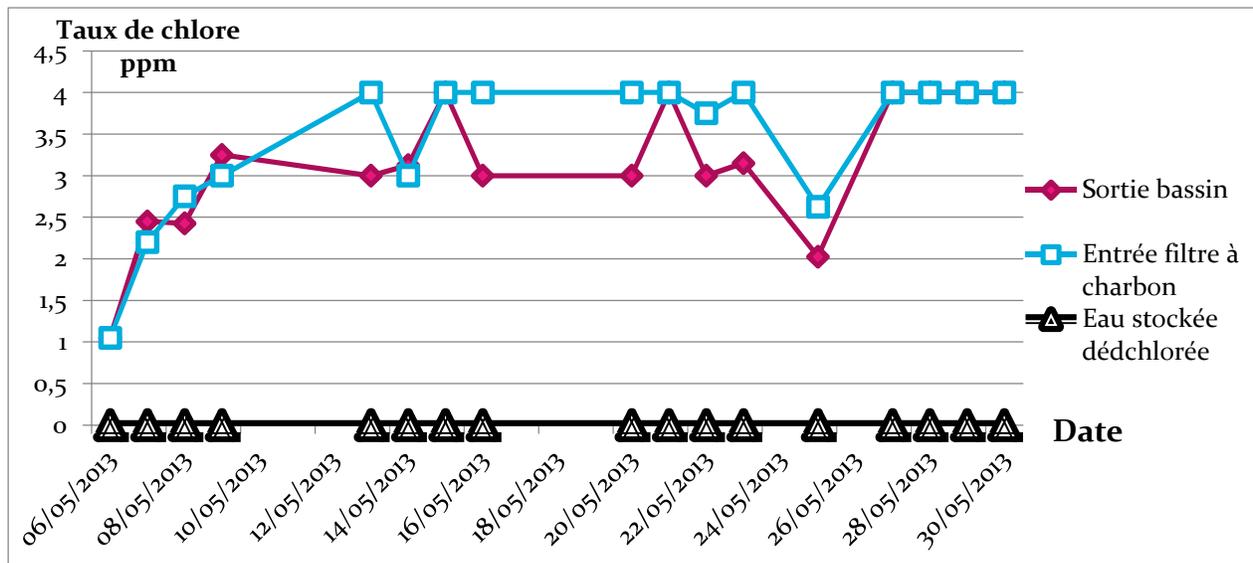


Figure 11: Variation du taux de chlore en fonction du temps

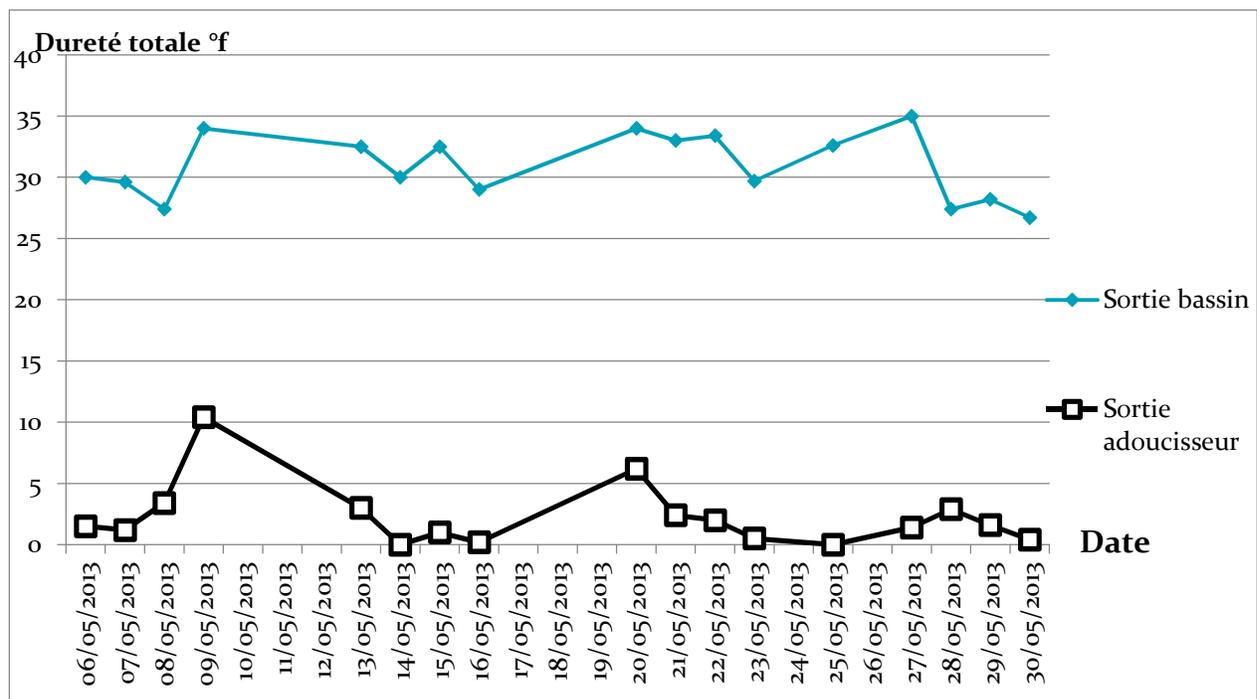


Figure 12: Variation de la dureté totale en fonction du temps

Interprétations :

Le dosage du chlore résiduel au cours de ce stage a permis de déduire les points suivants:

- ✓ Les teneurs en chlore résiduel enregistrées sont très importantes et peuvent même dépasser 4ppm, alors que la demande en chlore indique que la teneur en chlore résiduel doit être comprise entre 1 et 3 ppm.
- ✓ Le chlore est toujours nul à la sortie du filtre à charbon, ce qui montre le fort pouvoir adsorbant du charbon et donc le bon fonctionnement du déchlorateur.
- ✓ La différence entre les teneurs en chlore résiduel enregistrées à la sortie du bassin et à l'entrée du filtre à charbon est presque toujours nul ceci peut être expliqué par la bonne qualité de l'eau pompée du forage.

Le dosage de la dureté totale au cours de ce stage a permis de déduire les points suivants:

- ✓ L'augmentation de la dureté de l'eau à la sortie des adoucisseurs est due au colmatage de la résine par les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} (diminution de la capacité des résines), au manque de sel de régénération et au mauvais réglage des adoucisseurs.
- ✓ La dureté de l'eau de source n'a pas une grande influence sur le fonctionnement des adoucisseurs.

Conclusion

Le travail mené dans le cadre de ce projet de fin d'études est une contribution au traitement de désinfection et à l'adoucissement des eaux impliquées au Domaine de DOUIET (Fès).

D'après la présente étude, la principale conclusion à retenir c'est que l'eau potable, traitée à l'usine d'Oued NJA, présente une qualité chimique satisfaisante (selon les résultats des analyses chimiques effectuées le long de ce stage).

A propos des concentrations en chlore résiduel des eaux traitées, il est préférable que l'usine adopte les moyens nécessaires pour mieux contrôler et homogénéiser les teneurs en chlore, qui est en constante accroissement.

Et en ce qui concerne le processus d'adoucissement, il est recommandé de surveiller en continue la dureté de l'eau traité par les adoucisseurs afin d'anticiper et de détecter toute détérioration de la situation, pour qu'elle soit réglé le plus vite possible.

Il convient, en revanche, de faire des actions d'amélioration des techniques de contrôle de la qualité des eaux produites à l'usine pour veiller au bon fonctionnement de toutes les installations de la station de traitement des eaux, et cela par l'achat de nouveaux appareils et réactifs de suivi des paramètres physico-chimiques.

Pour conclure je veux signaler que cette expérience a été très bénéfique pour moi, elle m'a apporté beaucoup de choses sur le plan professionnel tant que personnel et elle m'a donnée l'opportunité d'appliquer mes connaissances acquises tout au long des années de formation et de s'approcher d'avantage du monde industrielle.

Bibliographie

- Doblî Bennani Fatima Zahra
« Traitement des eaux d'usine au sein de la société laitière centrale du nord »
Rapport PFE, 2012
- Oukili Kaoutar
« Suivi de l'efficacité de traitement des eaux au sein de la CBGN »
Rapport PFE, 2012

Des sites internet :

- Mémotec : Fiche Technique n°14, Désinfection par le chlore.2006 (www.gls.fr)
- Mémotec : Fiche Technique n°30, Le sable de filtration.2006 (www.gls.fr)
- www.talassa.fr
- www.lenetech.fr
- Dureté de l'eau minérale <http://nicole.cortial.net>
- www.google.com