

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université A. MIRA – BEJAIA
Faculté de Technologie
Département de Génie des Procédés



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

En Génie Alimentaire

Thème

Etude et analyse des eaux utilisées dans une unité de fabrication laitière. Cas de l'usine CANDIA TCHIN-LAIT de Bejaia

Présenté par

BOUDRA Amina

HADDAHOUM Lydia

Soutenu le 27 juin 2018

Devant le jury composé de

Mme BELKACEMI Hayette	Maître de conférences. Université de Bejaia.	Présidente
Mr SAOU Hamid	Maître de conférences. Université de Bejaia.	Examineur
Mr KETRANE Rachid	Maître de conférences. Université de Bejaia.	Encadreur
Mr ATHMANI Hamid	Chef de service de laboratoire CANDIA	Invité

Remerciements

Grace à l'aide d'Allah, le clément et le miséricordieux, nous sommes parvenues au terme de notre formation avec, à la clé, ce modeste travail à soumettre à l'appréciation du jury.

Nous tenons à remercier particulièrement Monsieur **Rachid KETRANE**, professeur à l'université Abderrahmane Mira de Bejaia pour nous avoir proposé ce sujet si intéressant, pour la qualité de son encadrement, pour toutes les connaissances scientifiques, pour son suivi permanent de notre travail et pour les conseils précieux qu'il nous a apportés.

Nous exprimons nos respectueux remerciements à Madame **Hayet BELKACEMI**, professeur à l'université de Bejaia pour l'honneur qu'elle nous fait de présider le jury.

Nous remercions Monsieur **Hamid SAOU**, professeur à l'université de Bejaia d'avoir accepté d'examiner notre travail.

Nous tenons à adresser nos plus vifs remerciements à Monsieur **Hamid ATMANI** pour nous avoir accueillis dans son équipe au sein du laboratoire physico-chimique de l'unité Candia Tchîn-Lait.

Que Monsieur **Farouk BOUCHENOUA**, chef de service du laboratoire physico-chimique de Candia Tchîn-Lait, accepte en ces lignes nos sincères remerciements pour nous avoir guidées et encouragées tout au long du stage.

Que Madame **Assia BRAHMI** et **Leila AMMARI**, qui ont contribué à l'encadrement de notre stage, trouvent ici nos plus vifs remerciements pour leur grande contribution à la réalisation de ce travail et notamment sur la partie analyse. Leurs conseils, leur patience et leur grande disponibilité ont été très fructueux.

Nous remercions Monsieur **Fares DJERMOUNI** pour ses qualités humaines et sa bonne humeur permanente qui ont permis de rendre le stage agréable.

Que Monsieur **Farid TOUNSI** trouve ici nos sincères remerciements pour tous les efforts et explications qu'il a fournies pour nous aider à mieux assimiler le fonctionnement de l'unité Tchín-Lait et notamment sur la partie technique.

Nous tenons à adresser les plus vifs remerciements à toutes les équipes de quart du laboratoire physico-chimique de l'unité Candia Tchín-Lait et notamment l'équipe sétifienne, pour leur aide, leur bonne humeur, leur grande sympathie et leurs encouragements.

Que tous nos enseignants du primaire à ce jour, qui ont contribué à la formation de notre cursus, trouvent ici l'expression de nos plus vifs remerciements.

Amina BOUDRA

Lydia HADDAHOUM

Dédicaces

Que ce travail témoigne de mes respects :

A mes parents qui ont consacré leurs vies pour bâtir la mienne. Grâce à leurs encouragements et leurs grands sacrifices, ils ont pu créer le climat affectueux et propice à la poursuite de mes études, je leur serai éternellement reconnaissante.

A mon tendre frère Adel et à mes très chères sœurs et belle-sœur Amel, Narymen et Khalida pour leur amour, leur patience, leur soutien et leurs encouragements.

A mes adorables neveux : Israe, Mohamed, Lokmane et Younes.

A tous mes cousins et cousines, et en particulier à Meissa.

A toutes mes merveilleuses copines : Asma, Lydia, Nesrine, et Imene qui m'ont supportées et soutenues tout au long de ce travail.

A mon binôme Lydia qui me supporte et m'aide continuellement.

Amina BOUDRA

DEDICACE

A mes très chers parents
aucune dédicace ne saurait exprimer
l'affection et l'amour que j'éprouve envers vous
puisse ce travail soit la récompense de vos soutiens moraux
et tous les sacrifices que vous avez imposé
pour assurer mon bien être et mon éducation
que dieu vous accorde santé, bonheur et longue vie.

A ma chère sœur Sofia.

A toute ma famille.

A mes copines.

A mon binôme Amina.

Qui me supporte et m'aide continuellement.

HADDAHOUM Lydia

Liste des abréviations

ADE : Algérienne des eaux.

A_w : activité de l'eau.

C.I.D.I.L : Centre Interprofessionnel de Documentation et Information Laitières.

°C : degré Celsius.

°D : degré dornic.

DPD : N, N-diéthylphénylène-1,4 diamine.

DHWB : Direction de l'Hydraulique de la Wilaya de Bejaia.

DCO : Demande Chimique en Oxygène.

DBO : Demande Biochimique en Oxygène.

DBO5 : Demande Biochimique en Oxygène après 5 jours.

EDTA : Acide Ethylène Disodique Tétra acétique.

°f : degré français.

ICP-AES : Spectroscopie d'émission par plasma à couplage inductif.

J.O.R.A.D.P : Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire.

K : conductivité.

MES : matières en suspension.

MG : matière grasse.

Mo : molybdène.

NET : Noir d'ériochrome T.

TA : titre alcalimétrique.

TAC : titre alcalimétrique complet.

TH : titre hydrométrique.

TDS : total des solides dissous.

UHT : ultra haute température.

UV : ultraviolet.

OMS : organisation mondiale de la santé.

pH : potentiel d'hydrogène.

RSI : Indice de saturation de Ryznar.

SAA : Spectrophotométrie d'absorption atomique

β : coefficient de sursaturation.

Liste des figures

Figure 1 : Organigramme de l'entité Candia Tchín-Lait.....	06
Figure I.1 : Structure interne d'une membrane à spirale.....	18
Figure II.1 : Différents faciès des variétés cristallographiques du carbonate de calcium....	22
Figure II.2 : Solubilité apparente du carbonate de calcium en fonction du pH.....	25
Figure III.1 : Composition globale du lait.....	30
Figure III.2 : Composition minérale du lait.....	30
Figure IV.1 : Colorimètre.....	53
Figure IV.2 : spectrophotomètre d'absorption atomique Thermo scientifique de type ICE 3500.....	56
Figure IV.3 : ICP-AES de paillasse Thermo scientifique de type ICE 3500.....	58
Figure IV.4 : photo illustrative de l'essai effectué au marbre.....	61
Figure IV.5 : Organigramme de l'application Excel.....	62
Figure V.1 : Schéma synoptique du circuit d'eau de l'unité Candia Tchín-Lait.....	65
Figure V.2 : variation du pH en fonction du temps.....	67
Figure V.3 : variation de la conductivité k en fonction du temps.....	68
Figure V.4 : Variation de l'alcalinité en fonction du temps.....	69
Figure V.5 : Variation des [Cl ⁻] en fonction du temps.....	70
Figure V.6 : Variation des TH en fonction du temps.....	71
Figure V.7.1 : Variation des sulfites en fonction du temps des eaux de la chaudière 1.....	72
Figure V.7.2 : Variation des sulfites en fonction du temps des eaux de la chaudière 2.....	72
Figure V.7.3 : Variation des sulfites en fonction du temps des eaux de la chaudière 3.....	73
Figure V.8 : Analyse des orthophosphates.....	74
Figure V.9.1 : Analyse des eaux du BAC 1 du 18-04-2018.....	75
Figure V.9.2 : Analyse des eaux du BAC 2 18-04-2018.....	75
Figure V.9.3 : Analyse des eaux du BAC 3 18-04-2018.....	76
Figure V.10 : Comparaison entre pHi et pHs.....	76
Figure V.11.1 : Variation β du en fonction du temps du BAC1.....	77
Figure V.11.2 : Variation β du en fonction du temps du BAC2.....	77
Figure V.11.3 : Variation du β en fonction du temps du BAC3.....	78
Figure V.12.1 : Variation des métaux lourds par SAA et ICP.....	80

Figure V.12.2 : Variation des métaux lourds par SAA et ICP.....	81
--	-----------

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Normes d'eau potable selon l'Algérie et selon l'OMS.....	07
Tableau II.1 : Solubilité dans l'eau pure des différentes formes de CaCO_3	24
Tableau II.2 : Concentration du CO_2 dissous dans l'eau en fonction de la température.....	24
Tableau III.1 : Certaines propriétés physiques du lait de vache.....	33
Tableau III.2 : Composition des laits en poudre (en %) massique.....	39
Tableau IV.1 : Identification des paramètres A, B, C, D pour le calcul de RSI.....	59
Tableau IV.2 : Interprétation des valeurs de l'indice de saturation de Ryznar (RSI).....	60
Tableau V.1 . Comparaison de l'eau brute de Candia et de l'ADE pendant la période Mars-Avril 2018.....	66

Sommaire

Introduction générale.....	01
Présentation de l'entreprise Tchén-Lait/ Candia.....	04
1. Historique.....	04
2. Site.....	04
3. Organisation.....	04
4. Organigramme de l'entreprise.....	06
Partie 1 : Etude bibliographique	
Chapitre I : Généralités sur l'eau	
I.1. Définition.....	07
I.2. Eau potable.....	07
I.3. Eaux en Algérie.....	08
I.4. Substances présentes dans les eaux naturelles.....	09
I.4.1. Matières colloïdales.....	09
I.4.2. Matières organiques dissoutes.....	09
I.4.3. Matières minérales dissoutes.....	09
I.4.4. Gaz dissous.....	09
I.4.4.1. Oxygène dissous.....	09
I.4.4.1.1. Demande Chimique en Oxygène.....	09
I.4.4.1.2. Demande Biochimique en Oxygène.....	10
I.4.4.2. Gaz carbonique.....	10
I.5. Propriétés des eaux naturelles.....	10
I.5.1. Propriétés organoleptiques.....	10
I.5.1.1. Turbidité.....	10
I.5.1.2. Couleur.....	11
I.5.1.3. Goût et odeur.....	11
I.5.2. Propriétés physico-chimiques.....	11
I.5.2.1. Dureté ou titre hydrométrique (TH).....	11
I.5.2.2. Acidité.....	11
I.5.2.3. Alcalinité.....	12
I.5.2.4. Conductivité.....	12

I.5.2.5. Potentiel d'hydrogène pH.....	12
I.5.2.6. Température.....	13
I.6. Origine de la pollution des eaux.....	13
I.7. Métaux lourds.....	14
I.7.1. Plomb.....	14
I.7.2. Cuivre.....	14
I.7.3. Cadmium.....	14
I.7.4. Zinc.....	14
I.7.5. Fer.....	15
I.8. Utilisation des eaux.....	15
I.8.1. Besoins agricoles.....	15
I.8.2. Besoins domestiques.....	15
I.8.3. Besoins industriels.....	16
I.9. Traitement des eaux.....	16
I.9.1. Filtration.....	16
I.9.1.1. Filtres à particules.....	16
I.9.1.2. Filtres à charbon actif.....	17
I.9.1.3. Filtres à résine échangeuse d'ions.....	17
I.9.2. Adoucissement.....	17
I.9.3. Osmoseurs.....	17
I.9.3.1. Modules d'osmose inverse.....	18
I.9.4. Système de désinfection par rayonnement ultraviolet.....	19
I.10. Comportement de l'eau dans les installations.....	19
I.10.1. Agressivité.....	19
I.10.2. Corrosivité.....	19
I.10.3. Incrustation.....	20
Chapitre II : Carbonate de calcium et entartrage	
II.1. Cristallographie du carbonate de calcium.....	21
II.1.1. Formes anhydres.....	21
a) Calcite.....	21
b) Aragonite.....	22
c) Vatérite.....	22
II.1.2. Formes hydratées.....	23

a) Carbonate de calcium amorphe.....	23
b) Carbonate de calcium hexa hydraté.....	23
c) Carbonate de calcium monohydraté.....	23
II.2. Système calcocarbonique.....	23
II.2.1. Solubilité dans l'eau.....	24
II.2.2. Principe du système calcocarbonique.....	25
II.2.2.1. Equilibre entre gaz et solution.....	25
II.2.2.2. Equilibre entre espèces dissoutes.....	26
II.2.2.3. Equilibre entre minéraux et solution.....	26
II.3. Phénomène d'entartrage.....	27
II.3.1. Définition.....	27
II.3.2. Paramètres influençant le phénomène d'entartrage.....	27
II.4. Le tartre et le carbonate de calcium.....	28
II.5. Conséquences de l'entartrage.....	28
II.5.1. Conséquences hydrauliques.....	28
II.5.2. Conséquences thermiques.....	28
II.5.3. Conséquences technologiques.....	28
Chapitre III : Le lait	
III.1. Définition du lait.....	29
III.2. Composition chimique du lait.....	29
III.2.1. Eau.....	31
III.2.2. Matières grasses.....	31
III.2.3. Protéines.....	31
III.2.4. Glucides.....	31
III.2.5. Enzymes.....	32
III.2.6. Vitamines.....	32
III.2.7. Sels organiques et minéraux.....	32
III.3. Propriétés physicochimiques.....	33
III.3.1. pH.....	33
III.3.2. Acidité titrable.....	33
III.3.3. Densité du lait.....	33
III.3.4. Température de congélation du lait.....	33
III.4. Propriétés organoleptiques.....	33

III.4.1. Couleur.....	34
III.4.2. Odeur.....	34
III.4.3. Saveur.....	34
III.5. Conservation du lait par la chaleur.....	34
III.5.1. Pasteurisation.....	34
III.5.2. Stérilisation.....	35
III.6. Différents systèmes du traitement U.H.T.....	36
III.6.1. Système indirect.....	36
III.6.2. Système direct.....	36
III.7. Effets du traitement thermique sur les composants du lait.....	36
III.7.1. Effet sur les protéines.....	36
III.7.2. Effet sur les vitamines.....	37
III.7.3. Effet sur les enzymes.....	37
III.7.4. Effet sur la matière grasse.....	37
III.7.5. Effet sur le lactose.....	37
III.7.6. Effet sur les minéraux.....	38
III.8. Laits de consommation.....	38
III.8.1. Lait aromatisé.....	38
III.8.2. Lait fermenté.....	38
III.8.3. Lait concentré.....	39
III.8.4. Lait en poudre.....	39
III.8.4.1. Différents types de poudre de lait.....	39
III.9. Caractéristiques de qualité exigée par la réglementation.....	40

Partie 2 : Mise en œuvre expérimentale

Chapitre IV : Matériels et méthodes

IV.1. Paramètres électrochimiques et thermodynamiques.....	41
IV.1.1. Potentiométrie.....	41
IV.1.2. Conductivité.....	41
IV.1.3. Salinité.....	42
IV.1.4. TDS.....	42
IV.1.5. Redox.....	42
IV.1.6. Turbidité.....	43
IV.2. Paramètres physico-chimiques.....	43

IV.2.1. TH.....	43
a. Dureté calcique.....	45
b. Dureté Magnésienne.....	46
IV.2.2. Chlorures [Cl-].....	46
IV.2.3. Titre alcalimétrique.....	48
IV.2.3.1. Détermination du TA.....	49
IV.2.3.2. Détermination du TAC.....	50
IV.2.4. Sulfites.....	51
IV.2.5. Cl ₂ libre.....	53
IV.2.6. Ortho phosphate.....	53
IV.2.7. Molybdène.....	55
IV.2.8. Spectrophotométrie d'absorption atomique.....	55
IV.2.9. Spectroscopie d'émission par plasma à couplage inductif (ICP-AES) de pailleasse.....	56
IV.3. Equilibre calcocarbonique.....	58
IV.3.1. Indice de saturation de Ryznar (RSI).....	58
IV.3.2. Essai au marbre.....	60
IV.3.3. Calcul du coefficient de sursaturation (β).....	61

Partie 3 : Résultats et discussion

Chapitre V : Résultats et discussion

V.1. présentation de la station de traitement des eaux de l'unité Candia Tchén-Lait.....	64
V.2. pH.....	67
V.3. Conductivité.....	68
V.4. Alcalinité.....	69
V.5. Chlorure.....	70
V.6. Dureté totale.....	71
V.7. Sulfites.....	72
V.8. Ortho phosphates.....	73
V.9. Indice de saturation de Ryznar (RSI).....	74
V.10. Essai au marbre.....	76
V.11. Coefficient de sursaturation β	77
V.12. Métaux lourds.....	78
Conclusion.....	82

Introducción

Introduction

L'eau, molécule simple et indispensable pour la continuité de toute sorte de vie ainsi qu'au développement des populations. Elle est un enjeu vital, économique et culturel.

L'eau est si familière qu'on oublie souvent son rôle, son importance et sa nécessité absolue. Sans l'eau, la terre ne serait qu'un astre mort, et aucune vie humaine, biologique ou animale, n'existerait [1].

La qualité de l'eau destinée à la consommation humaine est une priorité pour toute population, qu'elle soit urbaine ou rurale. Elle constitue l'élément majeur du monde minéral et biologique, c'est également le vecteur privilégié de la vie et de l'activité humaine [2].

L'eau est un corps remarquable parmi ceux qui se trouvent naturellement sur terre. Cette importance toute particulière est non seulement due à la quantité élevée d'eau qui se trouve dans l'atmosphère et la croûte terrestre, mais provient également de ses propriétés physiques, chimiques et biochimiques qui lui permettent une vaste utilité dans divers domaines.

Clé du développement durable, la maîtrise de l'eau constitue un défi mondial. La survie de régions entières, notamment en Afrique, dépend de cette ressource stratégique.

Cependant, l'eau dont nous disposons dans la nature n'est souvent pas directement utilisable ni pour la consommation humaine ni pour l'industrie car elle n'est pas suffisamment pure [2,3].

Le secteur agroalimentaire représente, dans les pays de l'arc méditerranéen, entre 10 et 20 % approximativement de la totalité du secteur industriel. L'Algérie est le seul pays à se situer au-dessous de ce rang avec seulement 2 %. C'est un pays nettement importateur ; il ne produit en effet que 40 % des produits laitiers dont il a besoin. Une des causes principales de la faiblesse du secteur laitier est le développement limité du réseau d'approvisionnement en lait frais issu des fermes. Le lait de consommation en Algérie est du lait reconstitué et il est obtenu principalement du lait écrémé en poudre importé. Le lait frais est rarement disponible sur le marché et les consommateurs achètent normalement du lait reconstitué ou du lait entier en poudre prêt à consommer (26 % de teneur grasse) [4].

La transformation industrielle de la poudre de lait en un lait U.H.T, est un processus délicat dont le but est d'obtenir un produit de qualité demandé par le consommateur, et ce, à moindre coût.

Dans l'industrie laitière, l'eau est la matière première la plus importante, raison pour laquelle son traitement est d'une importance cruciale, car une simple négligence ou mauvais fonctionnement du matériel peut affecter la qualité du produit fini. Pour cela, Candia Tchinq-Lait effectue plusieurs traitements, à savoir une filtration par charbon actif, un adoucissement ou encore l'osmose inverse. Cette dernière présente l'intérêt de pouvoir fonctionner à température ambiante et de produire une eau de bonne et constante qualité quelque soit les variations de la quantité de l'eau brute.

Afin d'assurer une protection optimale des équipements et une conformité absolue de la qualité de l'eau utilisée dans le process, Candia Tchinq-lait fait le suivi des différentes eaux par des analyses quotidiennes au sein du laboratoire physico-chimique.

L'objectif de ce travail consiste à effectuer une étude continue des eaux utilisées dans la reconstitution du lait et des boissons fabriquées par l'unité Candia Tchinq-Lait de Bejaia.

Une collecte quotidienne de différentes eaux de l'unité seront traitées en mesurant différents paramètres physico-chimiques.

Une étude sera consacrée aux bacs à glace, exposés au problème de corrosion, en se référant à des paramètres expérimentaux et de modélisation. L'étude est complétée au niveau des laboratoires LPMTSR du Département de Génie des Procédés de l'université de Bejaia afin de déterminer la teneur des métaux lourds présents dans les eaux utilisées dans l'unité de Candia Tchinq-Lait.

Le présent mémoire est subdivisé en trois parties.

La première partie comprend trois chapitres.

Au cours du premier chapitre, des généralités sur l'eau, ses propriétés et les substances la contenant ainsi que le comportement de l'eau dans les installations, seront présentés aux côtés des traitements effectués.

Le second chapitre donnera un aperçu du système calcocarbonique, la relation entre le carbonate de calcium et l'entartrage.

Dans le troisième chapitre seront exposés, des généralités sur le lait, sa composition, ses propriétés, les traitements subis et leurs effets.

La deuxième partie sera consacrée aux méthodes d'analyse effectuées au sein du laboratoire physico-chimique de Candia Tchén-Lait et aux laboratoires du département de Génie des procédés de l'université de Bejaia.

La dernière partie de ce présent mémoire englobera l'ensemble des résultats obtenus ainsi que leurs discussions et interprétations.

Une conclusion regroupera l'essentiel des résultats de cette étude.

« Jusqu' à ce que la douleur le lui enseigne, l'homme ne sait pas quel trésor est l'eau » Lord Byron (1788- 1824).

*PRESENTATION DE
L'ORGANISME
D'ACCUEIL*

Présentation de l'entreprise Tchín-Lait/ Candia

1. Historique

Tchín-Lait est une société privée de droit Algérien, située à l'entrée de la ville de Bejaia. Elle a été fondée par M. Fawzi BERKATI en 1999, implantée sur l'ancien site de la limonaderie Tchín-Tchín qui était, à l'origine, une entreprise familiale de production régionale de boissons gazeuses dans les années 1950.

C'est face à l'explosion des grandes firmes multinationales sur le marché des boissons gazeuses, l'importation des grandes marques de boissons gazeuses en Algérie a créé une importante concurrence que la société a révisée sa stratégie d'où l'idée de reconversion vers le lait UHT qui a donné naissance à Tchín lait sous label « Candia ». Le 18 avril 2001, jour pour jour, Tchín-Lait a signé un contrat de partenariat avec le leader Candia.

2. Site

Tchín Lait produit et commercialise le lait longue conservation UHT (Ultra Haute Température) sous le label Candia, depuis mai 2001. En 2015, Générale Laitière Jugurta, deuxième site de production, dont le siège est Baraki (Alger).

En novembre 2017, fusion des deux sociétés, Tchín-Lait et Générale Laitière Jugurta en société par actions, dénommées « SPA Tchín-Lait ».

Cette laiterie moderne construite sur une superficie totale de 3000 m². Les installations des machines ont été effectuées par la société française Tétra pack. L'unité est dotée d'un équipement ultra moderne, de très grande capacité sous la marque Candia.

3. Organisation

La laiterie est gérée par un PDG qui dirige les différents services incluant l'administration générale, service technique et commercial.

L'unité fonctionne avec un effectif total de plus de 120 personnes entre cadres, agents de maîtrise et ouvriers de production, 24/24 heures avec trois équipes de production :

- Première équipe, 5 heures du matin à 13 heures,
- Deuxième équipe, 13 heures à 21 heures,
- Troisième équipe, 21 heures à 5 heures du matin.

La gestion de l'unité est subdivisée en plusieurs directions :

- Direction commerciale.
- Direction administration générale.
- Direction finances et comptabilité.
- Direction marketing.
- Direction production.
- Direction maintenance.
- Direction laboratoire.

4. Organigramme de l'entreprise

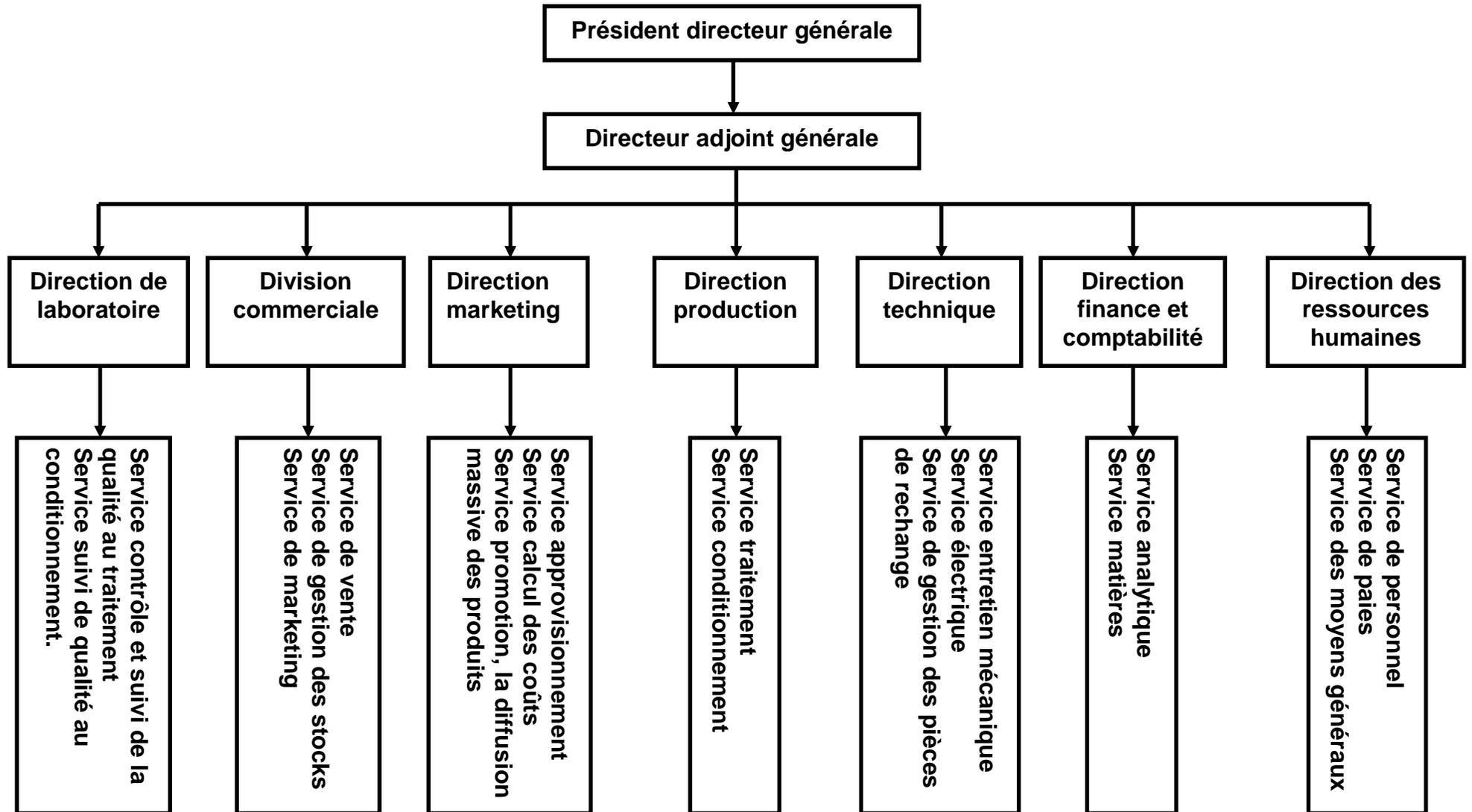


Figure 1 : Organigramme de l'entité Candia Tchín-lait

Partie I

Etude

bibliographique

CHAPITRE I

Chapitre I

Généralités sur l'eau

L'eau est l'une des ressources la plus abondante sur la Terre, elle recouvre les trois quarts de la surface de notre planète, c'est un corps remarquable parmi ceux qui se trouvent naturellement sur terre. Cette importance toute particulière est non seulement due à la quantité élevée d'eau qui se trouve dans l'atmosphère et la croûte terrestre, mais provient également de ses propriétés physico-chimiques qui lui permettent une vaste utilité dans divers domaines.

I.1. Définition [5]

L'eau est un liquide transparent à l'état pur, incolore, sans odeur et saveur. Sa composition H₂O déterminée en 1798 par Lavoisier et Meusnier, résulte de la combinaison d'un atome d'oxygène et deux d'hydrogène. Indispensable à la vie, catalyseur de nombreuses réactions chimiques, c'est également le principal agent d'érosion et de sédimentation.

I.2. Eau potable [6]

La définition d'une eau potable repose sur des normes établies par une réglementation. Cette dernière varie d'une communauté économique ou d'un pays à l'autre et est évolutive. Selon certaines normes, une eau potable est une eau qui ne porte pas atteinte à la santé.

Les normes d'eau potable selon l'Algérie et selon l'OMS sont données dans le tableau suivant :

Tableau I.1 : Normes d'eau potable selon l'Algérie et selon l'OMS (source ADE)

Paramètre	Unité	Normes Algériennes	Normes OMS
pH	/	6,5-8,5	6,5-9,2
Température	°C	25	-
Conductivité	µs/cm	2800	-
Résidus sec à 180°C	mg.L ⁻¹	2000	1500
Turbidité	NTU	5	5
Dureté totale (TH)	mg.L ⁻¹	500	500
Calcium	mg.L ⁻¹	200	-
Magnésium	mg.L ⁻¹	150	150
Sodium	mg.L ⁻¹	200	-
Potassium	mg.L ⁻¹	20	-

Sulfate	mg.L ⁻¹	400	250
Chlorure	mg.L ⁻¹	500	250
Nitrate	mg.L ⁻¹	50	50
Nitrite	mg.L ⁻¹	0,1	0,1
Aluminium	mg.L ⁻¹	0,2	0,2
Phosphate	mg.L ⁻¹	0,5	0,5
Ammonium	mg.L ⁻¹	0,5	-
Matières organiques	mg.L ⁻¹	3	-
Métaux lourds	mg.L ⁻¹	0,3	-
Fer	mg.L ⁻¹	0,3	0,3
Manganèse	mg.L ⁻¹	0,5	0,1

I.3. Eaux en Algérie [7]

L'Algérie est un pays très contrasté. Le nord est humide et pluvieux et le sud est sec et aride. L'Algérie est considérée comme un pays semi-aride avec une forte irrégularité pluviométrique. La pluviométrie moyenne est de 200 à 400 mm/an, représentant un apport total des précipitations de l'ordre de 100 milliards de m³ par an.

Les ressources en eau disponibles en Algérie sont évaluées à 19 300 millions m³ par an, dont 12 400 millions de m³ constituent l'eau de surface et 6 900 millions de m³ l'eau souterraine. Les ressources renouvelables en eau sont de l'ordre de 665 m³/an par habitant. Selon les normes mondiales (le seuil de la rareté de l'eau se situant à 1000 m³/an/habitant), l'Algérie est un pays qui souffre de la rareté de l'eau. L'irrigation agricole est le principal secteur consommateur d'eau, suivi par les secteurs municipal puis industriel.

Béjaia, ville côtière, fait partie d'une région assez pluvieuse. En effet, elle reçoit en moyenne 670 à 1000 mm de pluie par an. Elle est traversée par plusieurs oueds dont le plus important est l'oued Soummam. Les données statistiques disponibles auprès de la Direction de l'Hydraulique de la Wilaya de Béjaia (DHWB) montrent que les eaux de la région de Béjaia sont en général peu minéralisées. La minéralisation varie selon l'origine de l'eau exploitée.

L'alimentation en eau potable de la ville de Béjaia est assurée à partir des eaux de source et des eaux de la station de pompage de l'oued Djemaa. Le réseau de distribution étant maillé, les eaux de distribution se trouvent être ainsi un mélange d'eau de diverses origines mais sont considérées de bonne qualité d'un point de vue minérale et agréable pour la consommation humaine.

I.4. Substances présentes dans les eaux naturelles

I.4.1. Matières colloïdales [8]

Les matières colloïdales sont des particules de très petites dimensions contenues dans l'eau, dont le diamètre mesure entre 1 et 100 nanomètres. Elles sont responsables entre autre de la couleur et de la turbidité des eaux de surface. L'importance de l'état colloïdale peut être estimée en première approche par la turbidité si non par la couleur de l'eau.

I.4.2. Matières organiques dissoutes [9]

Par définition, ce sont des composés de carbone, d'hydrogène et d'azote. Ces matières proviennent soit par l'érosion des sols, soit de la décomposition de la matière animale ou végétale qui se trouve dans l'eau. Elles se décomposent du fait de leur instabilité chimique et de l'action des micro-organismes de l'eau en formant des composés de plus en plus simples.

I.4.3. Matières minérales dissoutes

Ce sont essentiellement des composés ioniques, anioniques et cationiques [9]. Elles proviennent de la dissolution des roches par l'eau lors de son cheminement dans la nature [8].

I.4.4. Gaz dissous

Lors du contact de l'eau avec l'air, les gaz de l'atmosphère peuvent se dissoudre.

I.4.4.1. Oxygène dissous

Son taux dans l'eau détermine directement la nature de l'écosystème aquatique aérobie ou anaérobie. C'est l'un des paramètres les plus importants et les plus sensibles à l'apport de pollution organique dans un cours d'eau [8].

L'oxygène dissous est un composé essentiel de l'eau car il permet la vie de la faune et il conditionne les réactions biologiques qui ont lieu dans les écosystèmes aquatiques.

La solubilité de l'oxygène dans l'eau dépend de différents facteurs, dont la température, la pression et la force ionique du milieu.

La concentration en oxygène dissous est exprimée en $\text{mg.L}^{-1} \text{O}_2$ [10].

I.4.4.1.1. Demande Chimique en Oxygène [11]

La Demande Chimique en Oxygène (DCO) est la quantité d'oxygène consommée par les matières existant dans l'eau et oxydables dans des conditions opératoires définies. En fait la

mesure correspond à une estimation des matières oxydables présentes dans l'eau quelque soit leur origine organique ou minérale.

I.4.4.1.2. Demande Biochimique en Oxygène

Pratiquement, la Demande Biochimique en Oxygène (DBO) devrait permettre d'apprécier la charge du milieu considéré en substances putrescibles, son pouvoir auto-épurgateur et d'en déduire la charge maximale acceptable, principalement au niveau des traitements primaires des stations d'épuration [11].

La Demande Biochimique en Oxygène après 5 jours (DBO_5) d'un échantillon est la quantité d'oxygène consommé par les microorganismes aérobies présents dans cet échantillon pour l'oxydation biochimique des composés organiques et/ou inorganiques [10].

I.4.4.2. Gaz carbonique

Il intervient dans les propriétés organoleptiques (goût, odeur, ...), c'est aussi un élément majeur de système calcocarbonique. Ainsi il joue un rôle important dans l'équilibre physico-chimique de l'eau [12].

Le dioxyde de carbone occupe une position centrale dans le cycle géochimique. Bien qu'il représente qu'un tout petit réservoir dans l'atmosphère, il joue un rôle primordial dans la biosphère et dans de nombreux processus géochimiques de dissolution de roches et de formation de minéraux [13].

I.5. Propriétés des eaux naturelles

I.5.1. Propriétés organoleptiques [12]

I.5.1.1. Turbidité

La turbidité est la mesure de l'aspect trouble de l'eau. C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes. Elle est causée, dans les eaux, par la présence de matières en suspension (MES), comme les argiles, les limons et les micro-organismes. Une faible part de la turbidité peut être due également à la présence de matières colloïdales d'origine organique ou minérale.

I.5.1.2. Couleur

Elle dépend de la nature et la concentration des matières colorantes, elle provient de la dégradation des matières végétales, les matières organiques colorantes comme l'acide humique et fulvique.

I.5.1.3. Goût et odeur

Les eaux de consommation doivent posséder un goût et une odeur non désagréable. Les odeurs sont causées par la présence dans l'eau de substances relativement volatiles. Ces substances peuvent être inorganiques comme (le chlore, les hypochlorites, ...) ou organiques comme (les esters, les alcools, ...) qui provient de la décomposition de matières animales ou végétales.

I.5.2. Propriétés physico-chimiques

I.5.2.1. Dureté ou titre hydrométrique (TH) [14,15]

La dureté d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques, excepté celles des métaux alcalins (Na^+ , K^+ et H^+). Elle est souvent due aux ions Ca^{2+} et Mg^{2+} . La présence de ces deux cations dans l'eau tend souvent à réduire la toxicité des métaux. La dureté se mesure en mg de CaCO_3 , elle peut être également exprimée en degré français.

Un degré français de dureté correspond à une teneur en calcium et magnésium équivalente à 10 mg de carbonate de calcium (CaCO_3) par litre.

$1^\circ\text{f} = 4 \text{ mg.L}^{-1}$ de Ca^{2+} .

$1^\circ\text{f} = 2,4 \text{ mg.L}^{-1}$ de Mg^{2+} .

$1^\circ\text{f} = 10 \text{ mg.L}^{-1}$ de CaCO_3 .

L'eau est considérée :

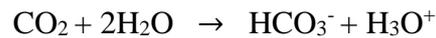
- Douce : de 0 à 18 °f ;
- Mi-douce : de 18 à 30 °f ;
- Dure : + de 30 °f.

I.5.2.2. Acidité [12]

L'acidité d'une eau correspond à la présence d'anhydride carbonique libre, d'acide minéraux, de sel d'acide fort et de base faible.

L'acidité est attribuable à la présence du gaz carbonique provenant de la dissolution de CO_2 atmosphérique et de la respiration des êtres vivants aquatiques.

En solution, cet acide faible, se dissocie comme suit :



I.5.2.3. Alcalinité [12]

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence des bicarbonates, carbonates et hydroxydes. Cette alcalinité est déterminée par la mesure du titre alcalimétrique (TA) et le titre alcalimétrique complet (TAC).

➤ Alcalinité à la phénophtaléine ou titre alcalimétrique (TA)

Le titre alcalimétrique ou TA mesure la teneur de l'eau en alcalins libres et en carbonates alcalins caustiques.

$$\text{Tel que : TA} = [\text{OH}^-] + 1/2 [\text{CO}_3^{2-}]$$

➤ Titre alcalimétrique complet (TAC)

Le titre alcalimétrique complet ou TCA correspond à la teneur de l'eau en alcalin libre, carbonates et hydrogénocarbonates.

$$\text{Avec : TAC} = [\text{OH}^-] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}]$$

I.5.2.4. Conductivité [16]

La conductivité électrique est une expression numérique de la capacité d'une solution à conduire le courant électrique. La plupart des sels minéraux en solution sont de bons conducteurs. Elle peut être comme la somme des conductivités des différents ions présents dans l'eau.

La conductivité électrique standard s'exprime généralement en milli siemens par centimètre (ms/cm).

I.5.2.5. Potentiel d'hydrogène pH [14]

Le pH est une mesure de l'acidité de l'eau c'est-à-dire de la concentration en ions d'hydrogène (H^+). L'échelle des pH s'étend en pratique de 0 (très acide) à 14 (très alcalin) ; la valeur médiane 7 correspond à une solution neutre à 27 °C. Le pH d'une eau naturelle peut varier de 4 à 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés. Des pH faibles (eaux acides) augmentent notamment le risque de la présence de métaux sous une forme ionique plus toxique. Des pH élevés augmentent les concentrations d'ammoniac, toxique pour les poissons.

I.5.2.6. Température

La température joue un rôle dans la solubilité des sels et des gaz, dans la dissociation des sels dissous, donc sur la conductivité électrique et dans la détermination du pH [17].

La température optimale d'une eau d'alimentation se situe entre 9 et 12°C. Les eaux souterraines, qui circulent à des profondeurs moyennes, présentent des températures sensiblement constantes, oscillant autour de 10 à 12°C.

Les eaux de rivières sont sujettes à des variations de température selon les saisons (de 0 à 25°C) [18].

Les eaux du sud algérien d'une grande profondeur sont caractérisées par une température changeant de 25 à 73°C et à une minéralisation forte, menant à une dureté très forte [19].

I.6. Origine de la pollution des eaux [20]

La pollution de l'eau est une altération qui rend son utilisation dangereuse et perturbe le milieu aquatique et l'ensemble des organismes vivants dans ce milieu (ou écosystème aquatique). Elle peut concerner les eaux superficielles et /ou les eaux souterraine. Elle a pour principales origines :

- L'activité humaine ;
- Les industries ;
- L'agriculture ;
- Les décharges des déchets domestiques et industrielles.

La pollution des eaux à essentiellement pour origine les rejets d'eaux urbaines et industrielles ; dont l'abondance et la variété croissent au fil des années sous l'effet de l'urbanisation galopante. Pendant des millénaires, les eaux usées étaient déversées directement dans les cours, les lacs et les mers. Il y a seulement moins d'un siècle, que l'accent a été mis sur le résultat désastreux de telles pratiques.

Les substances polluantes peuvent êtres de natures différentes :

- Matières en suspension «MES» ;
- Matières organiques carbonées ;
- Matières phosphatées et azotées ;
- Agent pathogène comme les bactéries, virus, protozoaires, helminthes et d'autres éléments comme les métaux lourds et les pesticides.

I.7. Métaux lourds

I.7.1. Plomb [21]

Le plomb est un métal grisâtre que l'on retrouve dans la croûte terrestre, il existe sous forme métallique, inorganique et organique, il a longtemps été utilisé dans la fabrication de conduites d'eau. Bien qu'on le retrouve de façon naturelle dans l'environnement, des concentrations très faibles de plomb sont mesurées dans les eaux de surface et souterraines qui servent à alimenter la population en eau potable. La présence du plomb dans l'eau de consommation est habituellement attribuable au phénomène de corrosion qui survient dans les composantes structurales des réseaux de distribution et dans la tuyauterie domestique qui contiennent du plomb. La corrosion du plomb survient en milieu acide lorsque le plomb métallique de la tuyauterie ou des soudures entre en contact avec un agent oxydant (ex. : oxygène dissous ou chlore). Le plomb métallique est alors converti en une forme oxydée (habituellement Pb^{2+}) qui se dissout dans l'eau.

I.7.2. Cuivre [22]

Le cuivre est un métal stable et conducteur, il est présent naturellement dans l'environnement, mais il est aussi abondamment utilisé dans les domaines industriels et domestiques. Il peut être détecté dans les eaux de surface, les eaux souterraines ou l'eau de mer. Depuis longtemps, le cuivre métallique est utilisé dans la fabrication de monnaies, de fils électriques, et de tuyauterie. Sa présence fait suite à l'érosion du sol ou des rochers, ou encore à des activités anthropogéniques, telle que l'activité minière ou agricole, et les effluents provenant des usines de traitement des eaux usées.

I.7.3. Cadmium [23]

Le cadmium métallique est utilisé dans l'industrie de l'acier et de plastique. Les composés du cadmium sont largement utilisés dans la fabrication des piles. La contamination des eaux de boisson peut être provoquée par des impuretés présentes dans les conduites de zinc ou des conduites galvanisées et de quelques garnitures métalliques. La nourriture est la principale source d'exposition quotidienne au cadmium.

I.7.4. Zinc [23]

Le zinc est un oligo-élément essentiel qui se trouve dans presque tous les aliments et dans l'eau potable sous forme de sels ou de complexes organiques. Bien que les niveaux de zinc dans les

eaux de surface et les eaux souterraines ne dépassent pas 0,01 et 0,05 mg .L⁻¹, respectivement, les concentrations dans l'eau du robinet peuvent être beaucoup plus élevées à cause de la dissolution de zinc à partir de tuyaux.

I.7.5. Fer [23]

Le fer est l'un des métaux les plus abondants dans la croûte terrestre. Il se trouve dans l'eau douce naturelle à des niveaux allant de 0,5 à 50 mg.L⁻¹. Le fer peut également être présent dans l'eau de boisson à la suite de l'utilisation de coagulants de fer ou de la corrosion de l'acier et des tuyaux en fonte pendant la distribution de l'eau .Le fer présent dans l'eau potable est un élément essentiel dans la nutrition humaine.

I.8. Utilisation des eaux [24]

Les besoins en eau de l'homme à travers la planète sont considérables et variables. Ils sont principalement liés à trois domaines d'utilisation qui sont les secteurs agricoles, industriels et domestiques.

I.8.1. Besoins agricoles

L'agriculture est très gourmande en eau. Globalement, environ 77% des ressources en eau douce sont utilisées à des fins agricoles. Si l'usage agricole est énorme et en forte croissance, ceci est principalement dû à l'accroissement de la population mondiale et de ses besoin alimentaires.

I.8.2. Besoins domestiques

Ils couvrent un domaine large d'utilisation, même s'ils représentent le secteur le moins consommateur d'eau (8%). Il y a tout d'abord la consommation basique individuelle : l'être humain utilise l'eau pour se désaltérer, se laver, cuisiner, nettoyer, ou arroser son jardin. L'eau est un excellent solvant et un produit de nettoyage très efficace et c'est cette propriété qui explique son utilisation si large. La majeure partie de l'eau à usage domestique n'est pas réellement consommée mais utilisée puis rejetée, polluée ou tout au moins dégradée. En effet, le besoin le plus vital, l'eau de boisson est le moindre. L'homme consomme quelques litres par jour en eau de boisson. La consommation domestique moyenne globale est estimée à environ 150 L/jour/personne, et varie sensiblement suivant le niveau du développement du pays.

I.8.3. Besoins industriels

L'industrie consomme en moyenne 22% des ressources en eau douce du globe. L'industrie utilise l'eau principalement pendant la fabrication, le refroidissement et le nettoyage des produits manufacturés. L'industrie alimentaire, l'industrie métallurgique, les industries du papier et du bois, ainsi que les industries chimiques et pétrolières sont de grandes consommatrices d'eau. Certains pays ont développé des techniques personnelles afin de limiter cette utilisation abusive, ils prélèvent l'eau nécessaire au refroidissement directement dans la mer.

I.9. Traitement des eaux

I.9.1. Filtration

La filtration est un procédé physique qui permet de retenir les microorganismes par rétention à l'aide d'un filtre. Qu'elle soit réalisée sur sable ou sur membrane, cette technique exige une épuration secondaire préalable garantissant une élimination assez poussée des matières en suspension [25].

L'élimination des virus, des bactéries et des protozoaires est fonction du milieu poreux, de la vitesse de percolation, de l'épaisseur du massif filtrant et du niveau d'oxydation de l'eau filtrée [26].

Les filtres à eau sont des dispositifs qui peuvent éliminer le chlore, les mauvais goûts, les mauvaises odeurs et retenir certaines substances chimiques. Ils retiennent également les sédiments et contribuent donc à protéger l'ensemble des appareils d'électroménagers contre une usure prématurée.

On trouve trois grands types de filtres à eau :

- Les filtres à particules ;
- Les filtres à charbon actifs ;
- Les filtres de résine [27].

I.9.1.1. Filtres à particules [27]

Ces filtres retiennent les particules en suspension (impuretés) en les empêchant de traverser une membrane. Ils sont inefficaces sur les contaminants dissouts. Ces filtres sont caractérisés par leur seuil de coupure c'est-à-dire le diamètre de leur pore.

I.9.1.2. Filtres à charbon actif [27]

Le charbon actif réduit le chlore résiduel et retient par adsorption des particules solides et des molécules organiques de faible masse moléculaire (pesticides notamment) qui donnent à l'eau des odeurs et des saveurs désagréables.

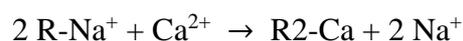
I.9.1.3. Filtres à résine échangeuse d'ions [28]

Ces filtres sont essentiellement destinés à retenir les ions nitrate et les ions métalliques. Le procédé de traitement utilisé est l'échange d'ions. Dans le cas de la dénitrification, les ions qui se substituent au nitrate (NO_3^-) dans l'eau traitée sont les ions chlorures (Cl^-). Il n'y a pas de cycle de régénération prévu pour ce type de dispositif. La cartouche doit simplement être remplacée quand la résine arrive à la saturation.

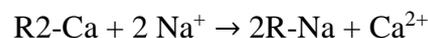
I.9.2. Adoucissement

Les adoucisseurs sont destinés à réduire les possibilités de formation du calcaire de l'eau dont les effets sont bien connus de tous ceux qui effectuent des tâches ménagères : dépôts blanchâtres sur la vaisselle ou le linge, dysfonctionnements des appareils d'électroménagers chauffants l'eau, peau sèche.... Ces appareils sont également appelés conditionneurs ou affineurs [29].

C'est un procédé de traitement destiné à diminuer la dureté de l'eau par échange d'ions. L'eau dure passe par un lit de résine cationique, préalablement chargée d'ions sodium (Na^+), qui échange les ions calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}), responsable de la dureté de l'eau, par 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), sous forme de pastilles, qui conduit à l'évacuation, à l'égout, des ions calcium et magnésium sous forme de chlorure de calcium et de magnésium et à la fixation, à nouveau, des ions sodium [30].

I.9.3. Osmoseurs

Ces appareils permettent d'obtenir une eau presque totalement déminéralisée et faiblement chargée en matières organiques. L'osmose inverse est un procédé de séparation par membrane

semi-perméable, dont la structure particulière ne laisse passer ni les microorganismes, ni les molécules organiques, ni les sels minéraux. La charge minérale peut ainsi être réduite de 90% [31].

Lorsque deux solutions de concentration différentes sont séparées par une membrane semi perméable (diamètre des pores < 50 nm), l'eau passe de la solution la moins concentrée vers la solution la plus concentrée. Il en découle une augmentation de la pression exercée sur la membrane par la solution la plus concentrée. Ce phénomène appelé Osmose se poursuit jusqu'à ce que l'augmentation de pression soit suffisante pour empêcher le passage de l'eau. Cette valeur de pression est appelée : pression osmotique [29].

Si par contre, on applique à la solution la plus concentrée une pression supérieure à la pression osmotique, l'eau passera alors de la solution la plus concentrée vers la solution la moins concentrée. C'est le phénomène d'osmose inverse [31].

I.9.3.1. Modules d'osmose inverse

En osmose inverse, les modules spiralés sont majoritairement employés, ainsi que les fibres creuses. Ces deux types de modules ont l'avantage d'être compacts et peu chers, ils présentent de faibles volumes morts et nécessitent une faible consommation énergétique [32].

Actuellement, les modules spiralés représentent 95 % du marché de membranes osmose inverse [33].

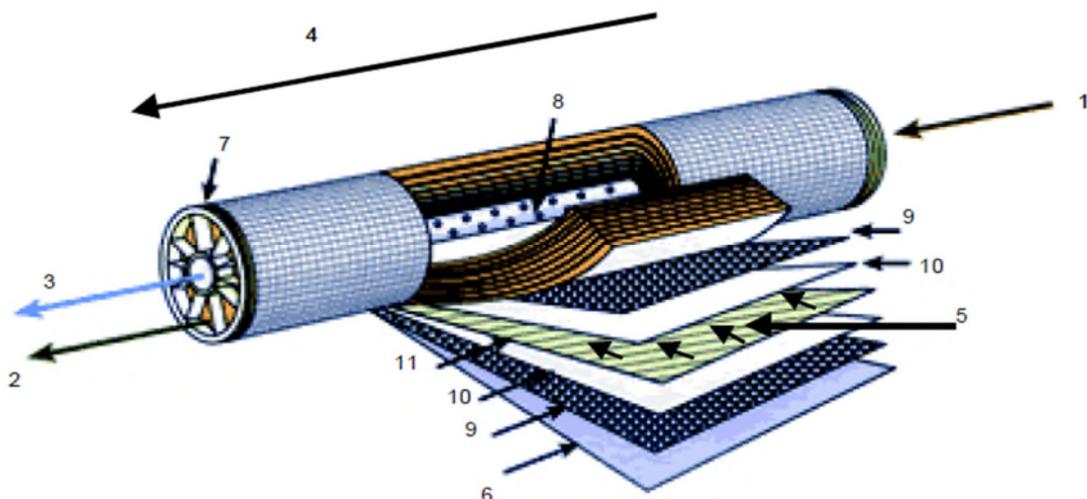


Figure I.1 : Structure interne d'une membrane à spirale

- 1 : Entrée d'eau ;
- 2 : Sortie de concentrât ;
- 3 : Sortie de perméat ;

- 4 : Sens d'écoulement de l'eau brute ;
- 5 : Sens d'écoulement du perméat ;
- 6 : Matériau de protection ;
- 7 : Joint d'étanchéité entre module et enveloppe ;
- 8 : Perforations collectant le perméat ;
- 9 : Espaceur ;
- 10 : Membrane ;
- 11 : Collecteur de perméat.

I.9.4. Système de désinfection par rayonnement ultraviolet [31]

Ces systèmes permettent d'éliminer les organismes vivants, bactéries, virus. Ces appareils sont recommandés pour une désinfection supplémentaire. L'un des principaux avantages de ce procédé est l'absence d'ajout de réactif. Les systèmes de traitement aux rayons UV ne sont pas censés à eux seuls traiter une eau qui apparaît contaminée en une eau potable sûre.

I.10. Comportement de l'eau dans les installations [34]

Les différents désordres qui se manifestent dans les installations ont pour principales origine l'aptitude de l'eau à déposer ou dissoudre du calcium, d'une part, à provoquer la corrosion, d'autre part, le comportement est en grande partie lié à un ensemble de réactions chimiques qui se manifestent entre les éléments dissous et les matériaux en contact avec l'eau.

I.10.1. Agressivité [34]

Les eaux agressives ou plus généralement les eaux présentant un excédent d'acidité sont susceptibles d'entraîner la dissolution du calcaire et d'autres minéraux. L'agressivité est liée à la présence dans l'eau de gaz carbonique excédentaire par rapport aux concentrations requises pour l'équilibre calcocarbonique.

I.10.2. Corrosivité [35]

La corrosion est l'aptitude d'une eau à dissoudre les métaux, liée à sa composition physico-chimique (pH, résistivité, teneur en oxygène, chlorures et sulfates). La corrosivité d'une eau augmente avec la température.

I.10.3. Incrustation [35]

Une eau est dite incrustante si elle tend à former un dépôt plus ou moins épais de composés insolubles dans les conduites. On y trouve souvent :

- Du carbonate de calcium et magnésium ;
- De l'hydroxyde de calcium et de magnésium.

Cette partie sera détaillée dans le chapitre suivant.

CHAPITRE II

Chapitre II

Carbonate de calcium et entartrage

Le carbonate de calcium est le composé majeur de la couche du tartre, il est donc important de connaître quelques-unes de ses propriétés, relatives à ses formes cristallines, à sa solubilité et à sa thermodynamique. Quand le tartre est formé seulement de CaCO_3 , par la combinaison des ions calcium (Ca^{2+}) et carbonate (CO_3^{2-}), le dépôt formé est dit un dépôt carbonaté.

L'entartrage est un phénomène naturel qui met un temps long à se manifester. Dans la plupart des cas, l'entartrage a lieu par élévation du pH suite à la perte du CO_2 , souvent occasionné par élévation de température ou par agitation du milieu, selon un processus homogène ou hétérogène. Ce phénomène a suscité la mise au point de plusieurs techniques pour estimer le pouvoir entartrant des eaux ou encore pour prévenir la formation du tartre dans un temps assez court.

II.1. Cristallographie du carbonate de calcium [7]

Le carbonate de calcium est le principal constituant du tartre. Il est à priori l'un des minéraux les plus répandus dans l'écorce terrestre et constitue un élément essentiel des roches sédimentaires.

Le carbonate de calcium se présente sous plusieurs formes qu'on peut diviser en deux groupes, les formes anhydres et les formes hydratées.

II.1.1. Formes anhydres

Elles sont peu solubles et se distinguent par leur structure cristalline. Elles sont au nombre de trois : calcite, aragonite et vatérite.

a) Calcite

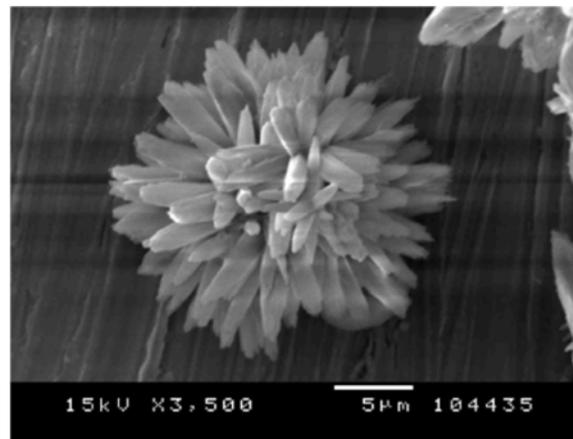
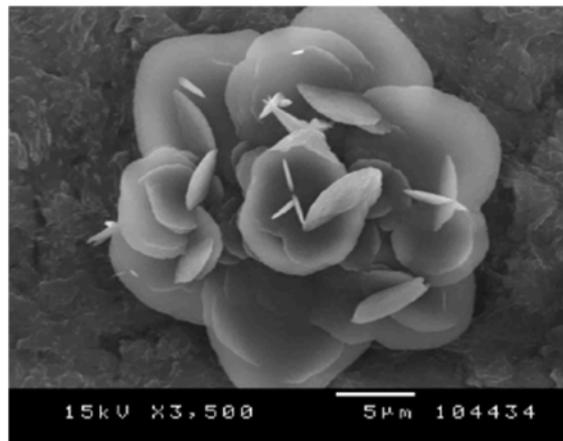
La calcite est de structure rhomboédrique à face centrée et se présente habituellement sous forme de cristaux quasi-cubiques, incolores et blancs (Figure II.1). C'est la forme la plus stable du point de vue thermodynamique. Elle est soluble dans l'acide chlorhydrique dilué froid, avec une vive effervescence. Elle reste stable jusqu'aux plus hautes températures, subissant seulement une recristallisation et une augmentation de la taille des grains.

b) Aragonite

C'est la forme la moins stable. Sa structure cristalline est peu différente de la calcite avec une maille orthorhombique pseudo-hexagonale et se présente généralement sous formes d'aiguilles plus au moins allongées (Figure II.1). Elle est métastable à la température ambiante et peut se transformer en calcite après précipitation aux températures supérieures à 60°C.

c) Vatérite

Cette variété se cristallise dans le système hexagonal et présente une grande sensibilité au contact de l'eau à température ambiante. Elle est donc la moins stable et pratiquement inexistante à l'état naturel et n'est observable qu'à des températures basses (figure II.1).

**Photo 1 :** calcite**Photo 2 :** aragonite**Photo 3 :** Vatérite**Figure II.1 :** Différents faciès des variétés cristallographiques du carbonate de calcium [7]

II.1.2. Formes hydratées

Les formes hydratées sont beaucoup moins étudiées, probablement à cause de leur faible stabilité dans les conditions ordinaires.

a) Carbonate de calcium amorphe

Le carbonate de calcium amorphe qui contient une molécule d'eau par molécule de CaCO_3 est la forme la plus instable. Sa forme peut facilement être obtenue par précipitation très rapide d'une solution de carbonate de calcium, c'est-à-dire par simple évaporation rapide à basse température, on obtient un précipité blanc gélatineux, très hydraté et instable qui évolue rapidement vers la calcite.

b) Carbonate de calcium hexa hydraté

Le carbonate de calcium hexa hydraté semble plus stable que la forme amorphe et peut se conserver dans cet état à des températures voisines de 0°C pendant quelques jours. Il est très instable au contact de l'eau, il cristallise dans le système monoclinique selon un faciès en plaquettes ou sous forme de prisme.

c) Carbonate de calcium monohydraté

Le carbonate de calcium monohydraté, lui aussi découvert au laboratoire avant d'être identifié en milieu naturel, cristallise dans le système hexagonal. Il semble invariablement précipiter sous forme de sphérule.

II.2. Système calcocarbonique [36]

L'eau contient naturellement du dioxyde de carbone d'origine atmosphérique, rhizosphérique et/ou volcanique. Cet apport de CO_2 à l'eau l'acidifie.

L'eau, lors de son infiltration et de sa percolation dans les couches géologiques sédimentaires, peut, du fait de son pH acide, solubiliser les sels minéraux constitutifs de ces couches. Une eau en contact avec un excès de carbonate de calcium le dissolva jusqu'à atteindre un état d'équilibre chimique, dit équilibre calcocarbonique et noté $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-CaCO}_3$.

Il est bon d'observer que la présence de CO_2 donne une saveur plus agréable à l'eau et ne présente aucun inconvénient pour la santé.

II.2.1. Solubilité dans l'eau [37]

Le carbonate de calcium n'est que très faiblement soluble dans l'eau exempte de CO₂. Sa solubilité augmente en présence de CO₂ par suite de la réaction (I) :



Le tableau II.1 rassemble la solubilité du carbonate de calcium à deux températures dans l'eau pure.

Tableau II.1 : Solubilité dans l'eau pure des différentes formes de CaCO₃ [7].

Forme cristalline	Solubilité (mg.L ⁻¹)	
	25 ° C	60°C
Calcite	14,33	15,04
Aragonite	15,28	16,17
CaCO ₃ amorphe	14,40	15,15

Bien que la solubilité du carbonate de calcium augmente avec la température, on observe en fait un entartrage beaucoup plus important à chaud qu'à froid. En réalité, ce phénomène est en relation avec la diminution de la solubilité du CO₂ quand la température s'élève, ce qui induit une élévation du pH.

Le tableau II.2 donne la concentration du CO₂ dissous exprimé en mmol.L⁻¹ en fonction de la température.

Tableau II.2 : Concentration du CO₂ dissous dans l'eau en fonction de la température [7].

Température (°C)	Concentration de CO ₂	
	mmol.L ⁻¹	mg. L ⁻¹
15	45,5	2,00
20	39,1	1,72
25	34,1	1,50
30	30,0	1,32
35	26,6	1,17

La solubilité du carbonate de calcium est minimale pour des pH compris entre 8,5 et 12. Dans ce domaine de pH la solubilité du CaCO₃ est minimale, c'est-à-dire que sa précipitation est maximale, pour des concentrations respectives [Ca²⁺]=10⁻³M, [CO₃²⁻]=10⁻³M. (Figure II.2).

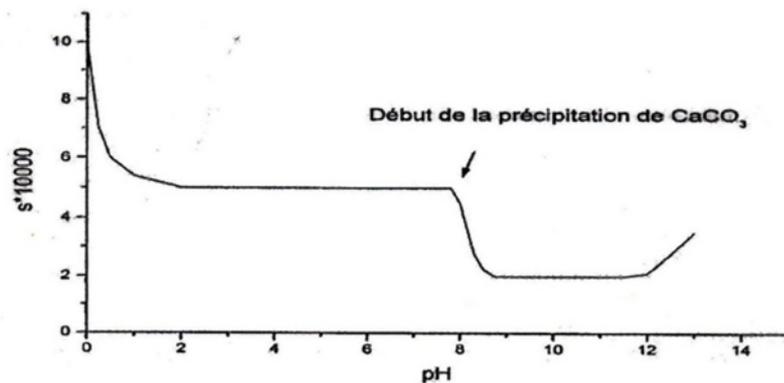


Figure II.2 : Solubilité apparente du carbonate de calcium en fonction du pH [7].

II.2.2. Principe du système calcocarbonique

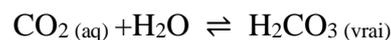
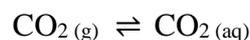
Le système calcocarbonique est l'ensemble formé par trois types de composés chimiques :

- Dans l'atmosphère : le gaz carbonique (CO_2) ;
- Dans l'eau : les composés de l'acide carbonique (H_2CO_3 , HCO_3^- et CO_3^{2-}) ;
- Dans les roches : les minéraux carbonatés (surtout CaCO_3 sous forme de calcite et de la dolomite $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) [7].

Dans le cas où le sens de la réaction est le sens (a), le CO_2 attaque la couche calcaire présente dans les canalisations, l'eau est donc agressive. Dans le cas contraire, le manque du dioxyde de carbone par dégazage et/ou échauffement, la réaction peut être déplacée dans le sens (b) et donne lieu à une précipitation de CaCO_3 qui, s'il adhère aux parois va constituer le tartre. C'est-à-dire une partie de $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ se dépose en calcaire et augmente la teneur en CO_2 libre, l'eau est donc incrustante ou entartrante [38].

II.2.2.1. Equilibre entre gaz et solution [19]

Ce sont les équilibres de dissolution ou d'évasion de gaz carbonique.



Si l'on considère le CO_2 libre (H_2CO_2) on aura l'équilibre suivant :



Cet équilibre est défini par la loi d'HENRY, dont la constante est H_{CO_2} tel que :

$$H_{\text{CO}_2} = \frac{H_2\text{CO}_3}{P_{\text{CO}_2}}$$

Notons que H_2CO_3 représente l'activité de CO_2 libre.

P_{CO_2} représente la pression partielle du CO_2 dans le milieu gazeux avec lequel l'eau est en contact.

Cette constante varie avec la température (exprimée en °C) selon l'expression suivante :

$$\text{Log } H_{CO_2} = 1,46 + 0,0127 (t - 25)$$

- $t=25^\circ\text{C}$ $H_{CO_2}=10^{-1,46}$
- $t=60^\circ\text{C}$ $H_{CO_2}=10^{-1,9045}$

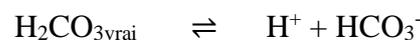
II.2.2.2. Equilibre entre espèces dissoutes [19]

Ces équilibres concernent principalement le dioxyde de carbone CO_2 et sont régis par la loi d'action de masse.



$$K = \frac{(H_2CO_3)_{\text{vrai}}}{(CO_2)_{\text{aq}}}$$

La constante $K = 10^{-1,5}$ à la température ordinaire, cette valeur indique qu'il n'existe que 3% du dioxyde de carbone sous forme de $H_2CO_3 (\text{vrai})$. Ce dernier se comporte comme un acide faible. -dissociation de l'acide carbonique en ion hydrogénocarbonate et hydrogène.



$$K'_1 = \frac{(HCO_3^-)(H^+)}{(H_2CO_3)_{\text{vrai}}}$$

-dissociation de l'ion hydrogénocarbonate en ion carbonate et hydrogène.



$$K_2 = \frac{(CO_3^{2-})(H^+)}{(HCO_3^-)}$$

-il y a lieu de considérer aussi le solvant eau qui est dissocié en ions hydroxyde.



$$K_e = (H^+) (OH^-)$$

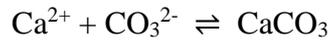
II.2.2.3. Equilibre entre minéraux et solution [19]

L'ion calcium est susceptible de réagir avec les anions présents en solution : l'ion hydroxyle, l'ion hydrogénocarbonate ou l'ion carbonate pour donner à l'interface liquide-solide l'un des trois précipités correspondants, les trois produits de solubilité sont notés par définition :

$$(Ca^{2+}) \cdot (OH^-)^2 = P$$



Le composé dont le produit de solubilité est le plus faible dans les conditions de travail utilisées, imposera la limite de solubilité réagissant l'équilibre du système triphasé. Le carbonate de calcium est le seul composé rencontré dans les eaux naturelles.



Π dépend de la température, de la force ionique de la solution, de la variété cristallographique. - $[\text{Ca}^{2+}] [\text{OH}^-]^2 < \pi$, les eaux peuvent dissoudre du carbonate de calcium (agressivité vis-à-vis du carbonate de calcium.

- $[\text{Ca}^{2+}] [\text{OH}^-]^2 > \beta \pi$, avec $\beta > 1$, elles sont saturées en carbonate de calcium (eaux calcifiantes).

II.3. Phénomène d'entartrage

II.3.1. Définition

L'entartrage est un phénomène complexe, qui met un temps assez long à se manifester dans les conduites des installations industrielles ou domestiques [39]. Il peut se définir comme étant un dépôt cristallin dont l'apparition est gênante lorsque les cristaux formés adhèrent aux parois [33]. Compte tenu des ions présents dans les eaux naturelles (calcium, magnésium, bicarbonate, sulfate), ces dépôts sont constitués principalement par du carbonate de calcium (CaCO_3), d'hydroxydes de magnésium ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) et de sulfate de calcium (CaSO_4) et en quantité faible, il y a aussi du carbonate de magnésium, de la silice, des silicates des oxydes de métaux constituant le circuit... [19].

II.3.2. Paramètres influençant le phénomène d'entartrage [37,39]

L'entartrage est un phénomène naturel influencé par plusieurs paramètres extérieurs tels que le changement de la pression atmosphérique mais aussi la variation de la température du milieu. Vue la complexité du problème d'entartrage il est difficile de prédire la susceptibilité du dépôt sur la surface solide en contact avec l'eau.

La précipitation du carbonate de calcium est favorisée :

- Par l'augmentation de la concentration en calcium liée à un phénomène d'évaporation ;
- Par l'augmentation de la température qui joue à la fois sur la diminution du produit de solubilité, et sur la transformation des bicarbonates en carbonates ;
- Par l'élévation du pH qui entraîne une augmentation de la concentration en carbonates ;

- Par évaporation du gaz carbonique par un dégazage lié à une élévation de température ou à une modification de la pression partielle de ce gaz.

II.4. Le tartre et le carbonate de calcium [37]

Le carbonate de calcium (CaCO_3) est le constituant majeur du tartre que l'on trouve dans les canalisations d'eaux et dans différents ouvrages en contact avec les eaux naturelles ou de distribution. Il peut être accompagné de divers sels peu solubles selon l'origine de l'eau, les traitements qu'elle a subit, la température, la nature et l'état de corrosion des tuyauteries.

On citera principalement CaSO_4 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ et des sels de divers métaux.

II.5. Conséquences de l'entartrage [19]

La formation du tartre qui s'observe dans les innombrables installations industrielles et domestiques a des effets néfastes, conduisant à des surcoûts parfois spectaculaires. Les principales conséquences rencontrées sont :

II.5.1. Conséquences hydrauliques

L'apparition du tartre dans les conduites, réduit les sections de passage, dégrade les états de surface et perturbe le régime d'écoulement, ce qui provoque une augmentation accélérée des pertes de charge et par conséquent les dépenses énergétiques liées à la circulation de l'eau. Ce problème se répercute directement sur la non disponibilité de l'eau.

II.5.2. Conséquences thermiques

Tout dépôt apparaissant au contact d'une paroi au travers de laquelle se fait un échange thermique amène la résistance de transfert à croître très rapidement étant donné le mauvais coefficient de conductibilité thermique. Aussi à titre d'exemple, les tartres carbonatés sont à 15 à 30 fois moins conducteurs que l'acier.

II.5.3. Conséquences technologiques

L'entartrage peut avoir pour conséquences :

- Le blocage des organes des manœuvres des robinetteries ;
- L'impossibilité d'obtenir l'étanchéité siège-clapet des robinetteries ;
- Les blocages des soupapes de sécurité ;
- Les diminutions de volumes utiles des réservoirs ;
- L'entraînement des particules en suspension qui peuvent être abrasives.

CHAPITRE III

Chapitre III

Le lait

Etant une matière première riche en ressources, le lait demeure l'élément le plus essentiel à la nutrition humaine. De plus, le développement de nombreux procédés au cours du temps a permis à cet aliment d'être transformé, donnant ainsi naissance à de nombreux produits dérivés (yaourts, fromages, laits de consommation fermentés, lait en poudre...).

L'industrie doit exploiter toutes les richesses de cette matière première à la fois si simple en apparence et si complexe dans sa composition. C'est pourquoi l'étude de ses composés sera très succincte

III.1. Définition du lait [40]

Le lait a été défini en 1908, au cours du congrès international de la répression des fraudes à Genève comme étant :

«Le produit intégral de la traite totale et interrompue d'une femelle laitière bien portante, bien nourrie et non surmenée. Le lait doit être recueilli proprement et ne doit pas contenir de colostrum ».

En 1999, le codex alimentarius, le définit comme étant la sécrétion mammaire normale d'animaux de traite obtenue à partir d'une ou plusieurs traites, sans rien y ajouter ou en soustraire, destinée à la consommation comme lait liquide ou à un traitement ultérieur.

III.2. Composition chimique du lait [41]

Le lait est un sérum comportant une émulsion de matières grasses, une suspension de matière protéique caséuse, du lactose, des sels et minéraux, des protéines solubles et des traces d'éléments divers.

Les principaux constituants du lait sont donc par ordre décroissant :

- De l'eau très majoritairement ;
- Des glucides principalement représentés par le lactose ;
- Des lipides essentiellement des triglycérides rassemblés en globules gras ;
- Des protéines : caséines rassemblées en micelles, albumines et globulines solubles ;
- Des sels et minéraux à l'état ionique et moléculaire ;

- Des éléments à l'état de traces mais au rôle biologique important : enzymes, vitamines, oligo-éléments.

Les figures suivantes représentent la composition globale et minérale du lait.

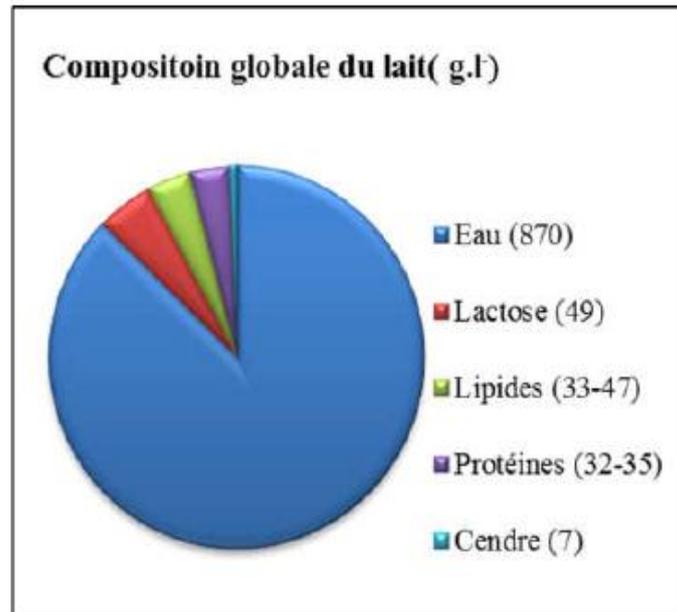


Figure III.1. .Composition globale du lait [41].

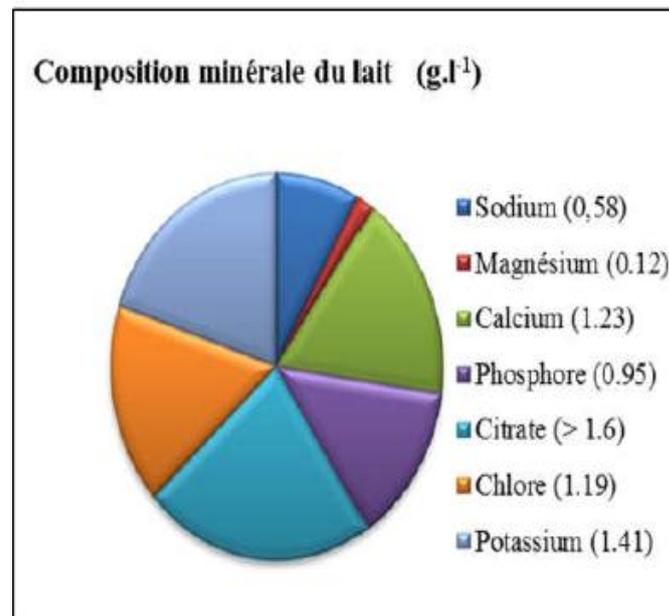


Figure III.2. Composition minérale du lait [41].

Ainsi, la composition du lait varie selon les espèces animales mais aussi selon différents facteurs tels que l'individualité, la race, la période de lactation, l'alimentation, la saison et l'âge. En règle générale, l'eau est le constituant principal du lait. La proportion des autres constituants varie selon les espèces.

III.2.1. Eau [42]

L'eau est le constituant le plus important du lait, en proportion. La présence d'un dipôle et deux électrons libres lui confère un caractère polaire. Ce caractère polaire lui permet de former une solution vraie avec les substances polaires telles que les glucides, les minéraux et une solution colloïdale avec les protéines hydrophiles du sérum. Puisque les matières grasses possèdent un caractère non polaire ou (hydrophobe), elles ne pourront se dissoudre et formeront une émulsion de type huile dans l'eau. Il en est de même pour les micelles de caséines qui formeront une suspension colloïdale puisqu'elles sont solides.

III.2.2. Matières grasses [40]

La matière grasse est présente dans le lait sous forme de globules gras de diamètre de 0,1 à 10 μ m et essentiellement constitué de triglycéride (98%). La matière grasse du lait de vache représente à elle seule la moitié de l'apport énergétique du lait. Elle est constituée de 65% d'acides gras saturés et de 35% d'acides gras insaturés.

III.2.3. Protéines

Le lait de vache contient 3,2 à 3,5 % de protéines réparties en deux fractions distinctes :

- Les caséines qui précipitent à pH 4.6, représentent 80% des protéines totales ;
- Les protéines sériques solubles à pH 4.6, représentent 20% des protéines totales [43].

Cette teneur varie selon l'alimentation de l'animal, la saison et le cycle de lactation [44].

III.2.4. Glucides [41,44].

Le lait contient des glucides libres dont le principal est le lactose et des glucides associés aux protéines.

Le lactose est un disaccharide constitué d'une unité galactose et d'une unité glucose.

Avec une concentration de 48 à 50 g.L⁻¹, le lactose représente environ 97% des glucides totaux du lait de vache. Il participe au maintien de la pression osmotique dans le système mammaire en association avec les éléments minéraux du lait (K⁺, Na⁺, Cl⁻ pour l'essentiel).

Le lactose est le constituant du lait, le plus rapidement attaqué par action microbienne, les bactéries transforment le lactose en acide lactique, cette transformation parfois gênante est souvent utilisée en industrie laitière et notamment pour l'obtention des laits fermentés et yaourt

III.2.5. Enzymes [45]

Les enzymes sont des substances organiques de nature protidique, produite par des cellules ou des organismes vivants, agissant comme catalyseurs dans les réactions biochimiques. Plus de 60 enzymes principales ont pu être isolées du lait ou dont l'activité a été déterminée. La moitié d'entre elles sont des hydrolases.

Le lait contient de nombreuses enzymes, mais leur étude est difficile car on ne peut pas toujours facilement séparer les enzymes naturelles du lait de celles qui sont sécrétées par les microbes présents dans le liquide.

III.2.6. Vitamines

Ce sont des molécules complexes de taille plus faible que les protéines, de structures très variées ayant un rapport étroit avec les enzymes, car elles jouent un rôle de coenzyme associée à une apoenzyme protéique [40].

Ce sont des substances organiques qui, à l'état de trace, permettent la croissance, l'entretien, le fonctionnement de l'organisme ; celui-ci est généralement incapable de les synthétiser. Le lait figure parmi les aliments qui contiennent la plus grande variété de vitamines, toutefois, les teneurs sont souvent assez faibles [46].

III.2.7. Sels organiques et minéraux [47]

La matière minérale et saline du lait, d'environ 9 g.L⁻¹, répartie de manière complexe est fondamentale d'un point de vue nutritionnel et technologique. En effet, le lait contient tous les éléments minéraux indispensables à l'organisme.

Le lait est riche en phosphore, calcium, sodium et chlorures ; il contient peu de soufre et il est très pauvre en fer et en oligoéléments ;

Le lait contient également d'autres oligo-éléments indispensables pour l'organisme humain tels que le zinc, le cuivre, le fluor, l'iode et le molybdène.

III.3. Propriétés physicochimiques

Quelques valeurs essentielles des constantes physiques les plus usuelles pour la détermination de la qualité du lait sont illustrées dans le tableau III.1

Tableau III.1. Certaines propriétés physiques du lait de vache [48].

Constantes	Valeurs
pH à 20°C	6,65-6,71
Acidité (%)	0,15-0,18
Densité	1,0231-1,0398

III.3.1. pH [41]

Sa mesure nous renseigne précisément sur l'état de fraîcheur du lait. Un lait frais normal est neutre ou à tendance légèrement acide vis-à-vis de l'eau pure (pH 7 à 20°C). En présence de bactéries lactiques actives, une partie du lactose du lait sera dégradée en acide lactique ce qui augmente la concentration du lait en ions hydronium (H_3O^+) et puis une diminution du pH.

III.3.2. Acidité titrable

Elle est exprimée conventionnellement en degrés dornic (°D). 1°D = 0,1g d'acide lactique par litre de lait.

L'acidité naturelle du lait frais, est liée à sa richesse en matière sèche.

III.3.3. Densité du lait [49]

Elle est surtout liée à sa richesse en matières sèches. Un lait pauvre aura une densité faible, il faut cependant nuancer cette remarque, car le lait contient de la MG de densité inférieure à 1 (0,93 à 20°C). Il en résulte qu'un lait enrichi en MG a une densité qui diminue ; à l'opposé, un lait écrémé à une densité élevée.

III.3.4. Température de congélation du lait

Elle est variable dans une plage limitée, en fonction des conditions zootechniques. Sa mesure permet une approche de l'appréciation de la quantité d'eau éventuellement ajoutée au lait.

III.4. Propriétés organoleptiques

L'aspect, l'odeur, la saveur et la texture ne peuvent être précisés qu'en comparaison avec un lait frais.

III.4.1. Couleur [43]

Le lait est de couleur blanc mat, qui est due en grande partie à la matière grasse, aux pigments de carotène (la vache transforme le β -carotène en vitamine A qui passe directement dans le lait).

III.4.2. Odeur [50]

Elle est caractéristique. Le lait, du fait de la matière grasse qu'il contient, fixe des odeurs animales. Elles sont liées à l'ambiance de la traite, à l'alimentation (les fourrages à base d'ensilage favorisent la flore butyrique, le lait prend alors une forte odeur), à la conservation (l'acidification du lait par l'acide lactique lui donne une odeur aigrelette).

III.4.3. Saveur

Cette caractéristique évolue en fonction de la température de dégustation et de l'alimentation de l'animal. Les laits industriels font en général l'objet d'une désaération antérieure aux traitements thermiques ; de ce fait les odeurs et les saveurs sont diminuées et homogènes.

III.5. Conservation du lait par la chaleur

III.5.1. Pasteurisation

La pasteurisation est un traitement thermique qui consiste à chauffer le lait jusqu'à une température définie et à la maintenir pendant un temps donné [51]. On distingue [41] :

- La basse pasteurisation à 65°C/30 minutes : utilisée en fromagerie et en laiterie
- La haute pasteurisation à 72°C/15 secondes : réservée aux laits de bonne qualité hygiénique
- Flash pasteurisation (85-90°C/1-2 secondes) : elle est destinée pour les laits crus de qualité moyenne.

Selon le Centre Interprofessionnel de Documentation et d'Information Laitières C.I.D.I.L. (1999), la pasteurisation de l'ordre de 72°C à 85°C pendant 15 à 20 secondes sur le lait entier, demi écrémé ou écrémé conserve toutes les gustatives du lait cru. Ce lait pasteurisé doit être conservé à +4°C, et consommé dans les sept jours qui suivent son conditionnement.

Elle permet ainsi la destruction de la totalité des microorganismes thermosensibles à savoir [44] :

- Les formes végétatives des microorganismes pathogènes ;
- Les microorganismes responsables de certaines altérations ;
- Les levures et moisissures ;
- Les bactéries gram négatif.

III.5.2. Stérilisation

La stérilisation est définie comme le procédé par lequel on obtient la destruction ou l'éradication totale des germes microbiens saprophytes et pathogènes, qu'ils soient sous leur forme végétative ou sporulée [53].

La stérilisation du lait, au préalable homogénéisé, est obtenue par deux méthodes différentes ; simple et U.H.T :

- Dans le cas de la stérilisation simple, les bouteilles de lait hermétiques passent dans une stérilisation en continue ou elles sont chauffées pendant 15 minutes à 115°C. Le lait ainsi traité porte la mention << lait stérilisé >>.

- Dans le cas de la stérilisation U.H.T. (ultra haute température), les températures sont de l'ordre de 135°C, pendant 10 à 15 secondes, ou 140°C à 150°C pendant 1 à 3 secondes. Le lait est ensuite refroidi [54].

Le traitement à ultra-haute température (UHT) est un procédé de plus en plus répandu dans l'industrie agro-alimentaire, spécialement pour la stérilisation du lait [53], mis au point en 1953, développé par la société suédoise Tétra Pack.

C'est un traitement par la chaleur pendant un temps très bref, à une température élevée, qui permet de détruire ou d'inhiber les enzymes, les microorganismes et leurs toxines. Le succès de ce procédé est lié au fait que le lait U.H.T peut se conserver à une température ambiante pendant plus de trois mois [54].

Le traitement à ultra haute température a été conçu pour donner des produits stériles commerciaux qui sont exempts d'éléments pathogènes et avec lesquels il devrait y avoir peu de chance de détérioration pendant le transport et le stockage dans des conditions recommandées. Contrairement aux laits pasteurisés dont certains ne sont pas homogénéisés, tous les laits U.H.T sont ainsi homogénéisés afin de prévenir la floculation des crèmes durant la période de stockage [55].

La technique U.H.T est basée sur le traitement du lait à des températures supérieures à 130°C, c'est la chaleur nécessaire à la stérilisation complète du lait et qui réduit la formation de couleur et la détérioration de saveur que dans le cas de stérilisation classique à 110°C pendant 30 minutes ; La plupart des réglementations exigent que le lait U.H.T doit être obtenu à partir d'un traitement à la chaleur d'au moins 132°C pendant au moins 1 seconde. En effet le traitement U.H.T tombe habituellement dans la gamme 135 à 150°C avec des temps de maintien de 2 à 5 secondes [56].

III.6. Différents systèmes du traitement U.H.T

Il y a deux systèmes de base pour atteindre la température nécessaire : un système indirect en utilisant des échangeurs de chaleur, ou le système direct en utilisant une injection de vapeur ou infusion [57].

III.6.1. Système indirect

La caractéristique principale de la méthode de chauffage indirect c'est qu'il n'y ait aucun contact entre le lait et le fluide de chauffage qui est généralement l'eau [56].

Le chauffage indirect se fait par des échangeurs de chaleur semblables à ceux utilisés pour la pasteurisation, mais adaptés aux conditions du traitement [58].

Les échangeurs de chaleurs utilisés pour le traitement U.H.T indirect sont de type plaque ou tubulaire, où le moyen de chauffage se fait généralement sous pression de la vapeur d'eau chaude [56].

Alors le lait passe dans des tubulaires ou des plaques qui sont de très faible diamètre ou épaisseur, favorisant un échange rapide de chaleur entre le lait et la paroi chauffée par le circuit d'eau qui est porté à haute température limitée à 145°C pendant 3 à 4 secondes [59].

III.6.2. Système direct [58]

Le chauffage direct se fait par mélange intime de lait et de vapeur, ce qui assure une élévation quasi instantanée de la température du lait vers 140 à 150°C pendant 2 secondes [58].

III.7.Effets du traitement thermique sur les composants du lait [60]

Dès la traite et jusqu'à son utilisation en industrie, le lait subit de nombreuses manipulations, au cours de son transport, de sa conservation, de son stockage et de sa charge thermique suffisamment élevée pour détruire les micro-organismes et les enzymes. Mais au cours de ce traitement certains composants peuvent subir des modifications indésirables, nuisibles à la qualité organoleptiques et nutritionnelles du lait.

III.7.1.Effet sur les protéines [63]

Les premières répercussions d'un traitement thermique concernent la structure et les propriétés physiques des protéines du lactosérum et de la caséine.

La dénaturation consiste en une modification de leur structure qui leur fait perdre leurs propriétés électrophorétiques. Elle se déroule en deux étapes, d'abord la molécule initialement

sous forme de dimère se dissocie et se présente à l'état de monomère puis, dans un deuxième temps, on assiste au déploiement de la chaîne moléculaire. Ce dernier phénomène est dû à des modifications chimiques concernant particulièrement les ponts sulfurés.

III.7.2. Effet sur les vitamines

Les vitamines liposolubles A, D et E sont relativement thermostables, la riboflavine hydrosolubles (B2) l'est aussi [60].

Seules les thiamines (B1), cobalamines (B12) et l'acide ascorbique (vitamine C) sont réellement thermosensibles. Les autres vitamines sont peu ou pas détruites à l'abri de l'air ou de la lumière. Les procédés actuels de pasteurisation, de stérilisation en continu (procédé UHT) ou de séchage par atomisation ne modifient pas les teneurs en vitamines du lait [41].

III.7.3. Effet sur les enzymes [58]

Les enzymes endogènes (phosphatase alcaline, peroxydase) sont très thermosensibles.

Leur disparition sert d'indice d'efficacité de la méthode thermique utilisée.

Certaines enzymes supportent la pasteurisation, mais pas le traitement UHT. Le chauffage long et à des températures élevées nécessaire à la destruction des enzymes exogènes, abîme aussi le lait. Leur persistance favorise l'apparition dans le lait UHT d'acide gras, cause d'acidité et de rancissement.

III.7.4. Effet sur la matière grasse

La matière grasse est sensiblement atteinte par la chaleur surtout au-dessus de 100°C ; la couche visqueuse qui entoure les globules gras est nettement attaquée. Pratiquement cet inconvénient n'est pas considérable [62]. Cependant, lors du chauffage du lait, les acides cétoniques et hydroxylés naturels sont convertis respectivement en méthyl-cétones et en lactones, qui modifient les propriétés organoleptiques du lait [58].

III.7.5. Effet sur le lactose

En plus des pertes causées par la réaction de Maillard [41], le lactose subit une isomérisation en lactulose qui se produit très facilement au cours d'un traitement thermique. Après ouverture du cycle, l'unité D-glucopyranose du lactose s'isomère en une unité D-fructofuranose.

III.7.6. Effet sur les minéraux

La composition en minéraux ne subit que peu de modifications notables sous l'influence d'un processus thermique [60].

Les modifications portent à la fois sur les teneurs en minéraux, particulièrement le phosphore et le calcium, et sur les formes liées aux protéines [63].

La conséquence majeure au niveau minéral d'un traitement thermique de lait est une diminution de la solubilité de phosphate de calcium [64].

III.8. Lait de consommation [65]

Le terme "Lait de consommation" désigne les différentes catégories de laits vendus à l'état liquide. Ces laits sont présentés obligatoirement en emballages fermés jusqu'à la remise au consommateur.

III.8.1. Lait aromatisé [66]

VIERLING (1999) rappelle que cette dénomination est réservée aux boissons stérilisées préparées à l'avance, constituées exclusivement de lait écrémé ou non, sucré ou non, additionné à des colorants généralement autorisés et de substances aromatiques naturelles qui peuvent être renforcées artificiellement : abricot, ananas, fraise, prune, cerise, framboise.

Les laits aromatisés peuvent avoir subi l'addition d'agar-agar, alginates, carraghénanes et pectines comme stabilisants. Les laits aromatisés sont généralement obtenus par stérilisation en récipients ou par stérilisation UHT.

III.8.2. Lait fermenté [67]

D'après *FREDOT (2006)*, la dénomination lait fermenté est réservée au produit laitier préparé avec des laits écrémés ou non ou des laits concentrés ou en poudre écrémés ou non sous forme liquide, concentré ou en poudre. Ils pourront être enrichis avec des constituants tels que la poudre de lait ou les protéines de lait. Le lait subit alors un traitement thermique au moins équivalent à la pasteurisation et estensemencé avec des microorganismes caractéristiques de chaque produit. La coagulation des laits fermentés ne doit pas être obtenue par d'autres moyens que ceux qui résultent de l'activité des microorganismes qui sont pour la plupart probiotique c'est-à-dire bénéfique pour la santé.

III.8.3.Lait concentré

Les laits concentrés sont des produits dont la concentration en solides de lait est environ le double de celle du lait frais.

La stabilité du lait peut être assurée par réduction de l'activité de l'eau (A_w), on y parvient par élimination partielle de l'eau et ajout de sucre. Le principe consiste à effectuer une évaporation sous vide afin d'abaisser la température d'ébullition [68].

Ils sont de deux types : lait concentré non sucré et lait concentré sucré [45].

III.8.4.Lait en poudre

Les laits en poudre sont des produits résultant de l'élimination partielle de l'eau du lait et l'évaporation autant que possible de sorte que l'eau est perdue et le lait devient poudre [69].

On distingue trois catégories de lait en poudre : entier, partiellement écrémé et totalement écrémé dont la composition est donnée au Tableau III.2.

Tableau III.2. Composition des laits en poudre (en %) massique : (FAO, 2008)

Composants	Lait en Poudre entier	Lait en poudre partiellement écrémé	Lait en poudre Ecrémé
Matières grasses	26 - 40	1,5 – 26	≤ 1,5
Eau maximum	5	5	5

III.8.4.1. Différents types de poudre de lait

La poudre de lait industrielle contient au maximum 5% d'eau et 0,15% d'acide lactique (J.O.R.A.D.P, 2008).

La poudre de lait se présente sous l'aspect d'une poudre de couleur blanche ou légèrement crème, homogène ne contenant pas d'impureté, de grumeaux ni de parcelles colorées. Il est franc d'odeur et de saveur. On distingue 3 types de poudre de lait :

Poudre de lait entier qui correspond à un lait dont la teneur en matières grasses laitières est égale au minimum 26% en poids.

Poudre de lait partiellement écrémé à son tour correspond à un lait dont la teneur en matières grasses laitières est supérieure à 1,5% et inférieure à 26% en poids.

Poudre de lait écrémé qui est un lait dont la teneur en matières grasses laitières ne doit pas excéder 1.5% en poids (J.O.R.A.D.P, 1998).

III.9. Caractéristiques de qualité exigées par la réglementation (J.O.R.A.D.P, 1993).

Selon la réglementation nationale, le lait stérilisé et le lait stérilisé UHT demi-écrémé doivent répondre aux caractéristiques suivantes :

- Leurs teneurs en matière grasses sont comprises entre 0.15% et 2% (15 g.L⁻¹ à 20 g.L⁻¹ de matières grasses).
- Les laits stérilisés et stérilisé UHT, doivent rester stables jusqu'à leur date limite de consommation, Ils ne doivent pas :
 - Présenter des défauts organoleptiques tels que la protéolyse et les anomalies du goût ou d'odeur, coaguler, précipiter ou flocculer à l'ébullition.
 - Présenter une acidité titrable supérieure à 1,8 g.L⁻¹ d'acide lactique,
 - Avoir une variation de pH supérieure à 0,2 unités du fait de l'incubation,
 - Contenir un nombre de microorganismes aérobies à 30 °C supérieur à 10 par 0,1 ml,

Les dates limites de consommation des laits stérilisés et les laits stérilisés UHT sont fixés respectivement à cent cinquante (150) jours et quatre-vingt-dix (90) jours à compter de leur date de fabrication.

Partie II

*Mise en œuvre
expérimentale*

CHAPITRE IV

Matériels et méthodes

Chapitre IV

Matériels et méthodes

Dans ce chapitre, nous allons résumer le protocole analytique suivi ainsi que le matériel utilisé durant la période de notre stage au sein du laboratoire physico-chimique de l'unité Candia Tchén-Lait Bejaia.

IV.1. Paramètres électrochimiques et thermodynamiques

La détermination des paramètres électrochimiques nécessite l'utilisation de certains appareils décrits ci-dessous.

IV.1.1. Potentiométrie

Le pH mesure l'acidité ou la basicité d'une solution. Ainsi, dans un milieu aqueux à 25°C :

- Une solution de $\text{pH}=7$ est dite neutre ;
- Une solution de $\text{pH} < 7$ est dite acide ;
- Une solution de $\text{pH} > 7$ est dite basique ;

Matériels et réactifs

pH-mètre de type WTW 3110 ;

Bécher de 100 ml de forme haute ;

Eau distillée ;

Eau à analyser ;

Solutions tampon ($\text{pH}=4$ et $\text{pH}=7$) ;

Mode opératoire

Après avoir allumé l'appareil et installé l'électrode dans les solutions tampon afin de l'étalonner ; l'électrode et le bécher sont rincés avec de l'eau distillée. L'électrode est alors émergée dans l'échantillon et les valeurs du pH peuvent être notées.

IV.1.2. Conductivité

La conductivité détermine l'ensemble des minéraux présents dans une solution. Elle est exprimée en micro siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

IV.1.3.Salinité

La salinité désigne la concentration des sels minéraux dissous dans l'eau. Elle est exprimée en pourcentage de NaCl.

IV.1.4.TDS

Le total des solides dissous TDS représente la concentration totale des substances dissoutes dans l'eau. Elle est exprimée en ppm.

Matériels et réactifs

Conductivimètre de type HANNA Instrument 9835 ;

Bécher de 150 ml de forme haute ;

Eau distillée ;

Eau à analyser ;

Solution tampon (12,88 mS/cm).

Mode opératoire

Après avoir allumé l'appareil et installé l'électrode dans les solutions tampon afin de l'étalonner ; l'électrode et le bécher sont rincés avec de l'eau distillée. L'électrode est alors émergée dans l'échantillon. Le mode de mesure sera choisi et les valeurs peuvent être notées.

IV.1.5. Redox

Le potentiel d'oxydoréduction est la mesure qui définit si une substance est oxydante ou plutôt agent antioxydant. Il est exprimé en millivolts (mV).

Matériels et réactifs

Multimètre de type HACH Q30d,

Bécher 100 ml de forme haute ;

Eau distillée ;

Eau à analyser ;

Solution tampon.

Mode opératoire

Après avoir allumé l'appareil et installé l'électrode dans les solutions tampon afin de l'étalonner ; l'électrode et le bécher sont rincés avec de l'eau distillée. L'électrode est alors émergée dans l'échantillon et les valeurs du pH peuvent être notées.

IV.1.6. Turbidité

La turbidité désigne la teneur d'un fluide en matières qui le troublent. Elle est généralement causée par des matières en suspension et des particules colloïdales qui absorbent, diffusent et/ou réfléchissent la lumière. Elle est exprimée en Néphélométrie Turbidity Unite (NTU).

Matériels et réactifs

Photomètre de type HACH DR900 ;

Tubes ;

Eau distillée ;

Eau à analyser ;

Papier absorbant.

Mode opératoire

Après avoir mis en marche l'appareil, le tube est rincé puis rempli avec de l'eau distillée pour l'essai à blanc. Après l'attente du zéro, l'échantillon est agité et rempli dans le tube essuyé pour être introduit dans l'appareil et prélever les valeurs affichées.

IV.2. Paramètres physico-chimiques

La détermination des paramètres physico-chimiques nécessite l'utilisation de réactifs chimiques et aussi dans certains cas des appareils adéquats, qui seront cités ci-dessous.

IV.2.1. TH

Principe

La mesure est un dosage volumétrique par un réactif titrant complexant, l'EDTA (sel tétrasodique de l'acide éthylène diamine tétra-acétique).

L'EDTA a la propriété de se combiner avec les ions calcium puis magnésium pour former des composés solubles, les chélates. Elle se détermine à un pH de 10.

La fin du dosage est décelée par la couleur bleue de l'indicateur coloré noir eriochrome T (Indicateur Net), étant violet tant que les ions magnésium restent à l'état libre en solution.

Matériels et réactifs

-Bécher ;

-Fiole de 100 ml ;

-Erlenmeyer 250 ml ;

-Burette de 25 ml ;

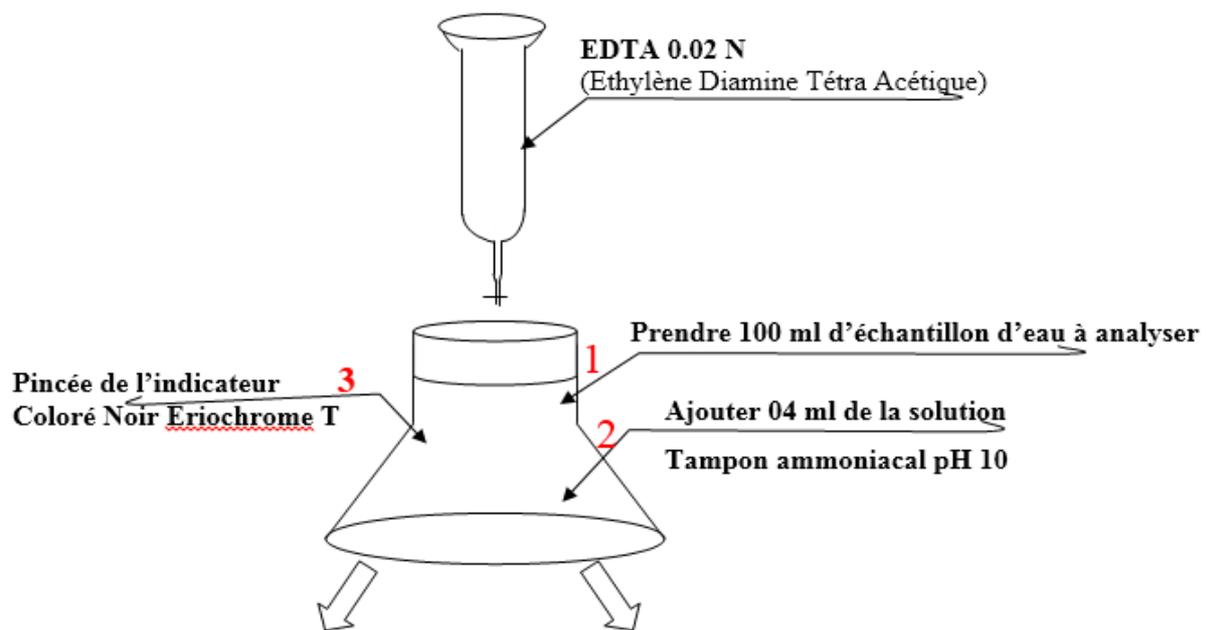
-Solution d'eau (échantillon) 100 ml ;

-Solution tampon ammoniacal (4 ml) d'un pH de 10 ;

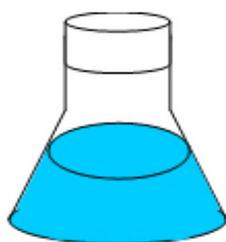
-Indicateur coloré NET ;

-Solution EDTA à 0,02 N.

Mode opératoire

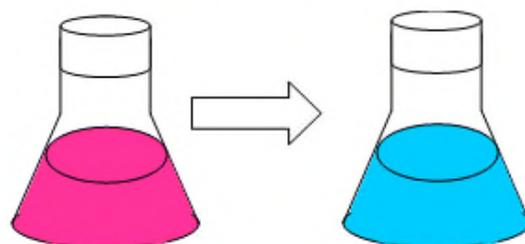


1^{er} cas : Coloration Bleue (TH=0 °f)
implique pas de titrage



TH = 0 °f

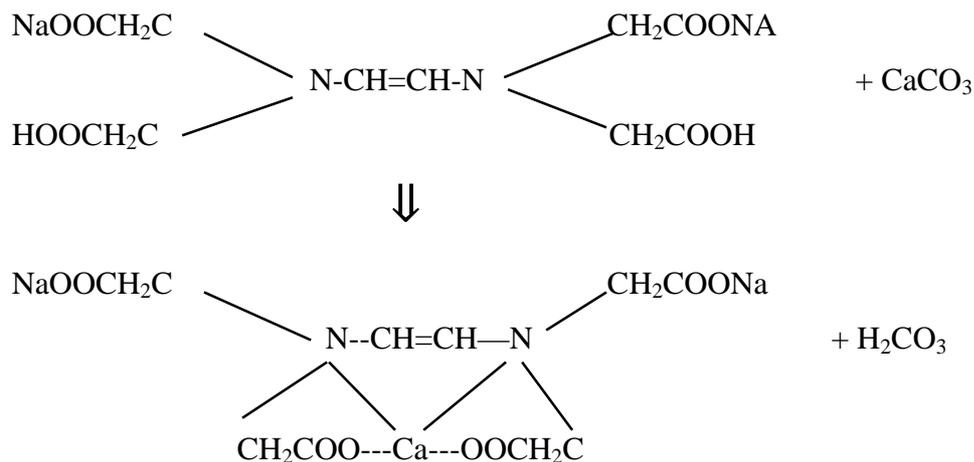
2^{ème} cas : Coloration rose violet
implique il y a titrage avec EDTA 0.02 N jusqu'à coloration **bleue France**



TH = chute de burette (°f)

Prendre 100 ml de l'échantillon à analyser, ajouter 04 ml du tampon ammoniacal à pH=10 et ajouter une pincée de l'indicateur coloré Noir Eriochrome T puis titrer avec de l'EDTA jusqu'à apparition d'une couleur bleue.

Réactions chimiques



a. Dureté calcique

C'est la concentration en ion de calcium. Elle se détermine par titrage par l'EDTA à pH > 12 afin de faire précipiter l'hydroxyde de magnésium en utilisant le murexide comme indicateur coloré de fin de réaction.

Matériels et réactifs

- Bécher ;
- Fiole de 50 ml ;
- Erlenmeyer 250 ml ;
- Burette de 25 ml ;
- Solution d'eau (échantillon) 50 ml ;
- Indicateur coloré « murexide » ;
- Soude à 2 N ;
- Solution EDTA à 0,02 N.

Mode opératoire

Prendre 50 ml de l'échantillon d'eau à analyser auquel sera ajouté 2 ml de la solution d'hydroxyde de sodium et ajouter une pincée d'indicateur coloré « murexide », titrer ensuite avec une solution d'EDTA à 0,02 N jusqu'à apparition d'une teinte mauve.

Expression des résultats

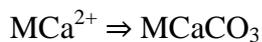
$$[\text{Ca}^{2+}] = \frac{V \cdot 0,4008 \cdot 1000}{50}$$

$[\text{Ca}^{2+}]$: concentration de Ca^{2+} en mg.L^{-1}

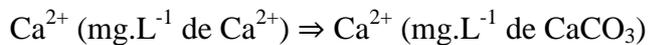
V : volume de l'EDTA utilisé lors du titrage

M Ca^{2+} en $\text{mg.L}^{-1} = 0.4008$; Prise d'échantillon : 50 ml.

Pour la conversion de la masse des ions Ca^{2+} et Mg^{2+} de mg.L^{-1} de Ca^{2+} à mg.L^{-1} de CaCO_3 et mg.L^{-1} de Mg^{2+} on procède aux calculs comme suit :



$$20(\text{g}/\text{éq}) \Rightarrow 50(\text{g}/\text{éq})$$



Avec : 1°f = 10 mg.L^{-1} de CaCO_3 .

b. Dureté Magnésienne

La dureté magnésienne correspond à la teneur globale en sels de magnésium ; La différence entre la dureté totale et la dureté calcique donne directement la dureté magnésienne de l'eau analysée.

Expression des résultats

$$\text{TH} = [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] \Rightarrow [\text{Mg}^{2+}] = \text{TH} - [\text{Ca}^{2+}]$$

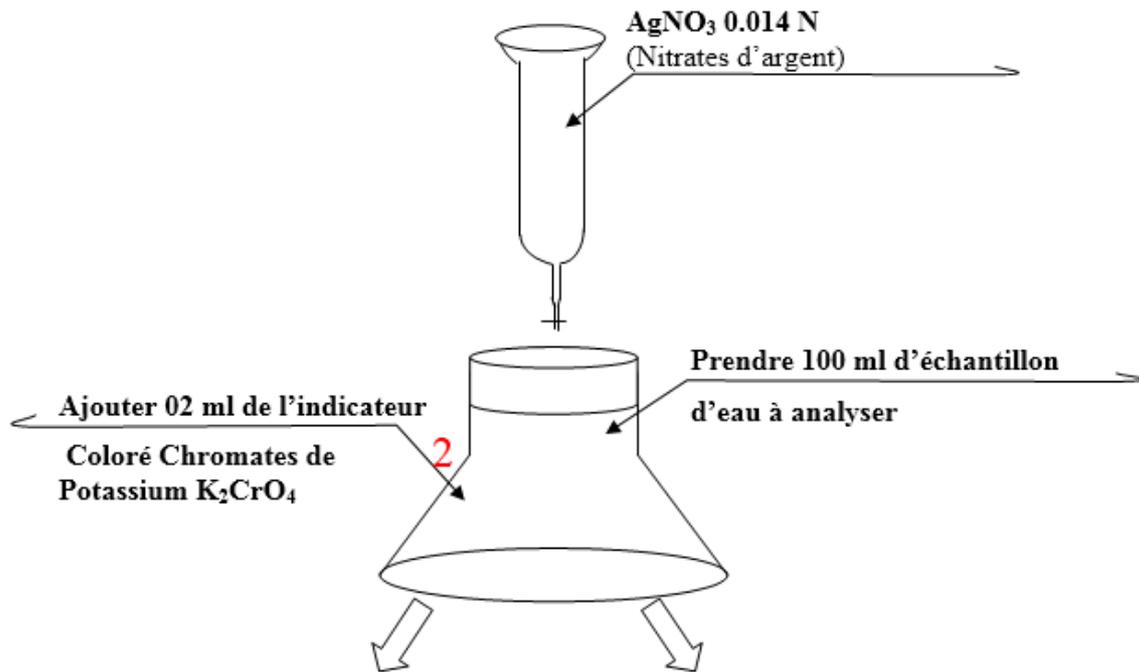
IV.2.2.Chlorures [Cl⁻]**Principe**

Les chlorures sont dosés en milieu neutre, pH=6,7 ou 7 par solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge brique caractéristique du chromate d'argent.

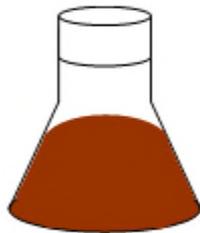
Matériels et réactifs utilisés

- Bécher ;
- Fiole de 100 ml ;
- Erlenmeyer ;
- Burette de 25 ml ;
- Solution d'eau (échantillon) 100 ml ;
- Solutions d' AgNO_3 et de K_2CrO_4 (2 ml).

Mode opératoire

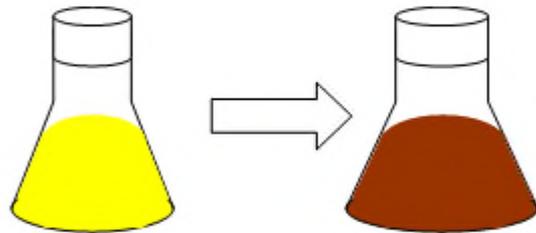


1^{er} cas : Coloration rouge brique
alors pas de titrage ce qui implique
[Cl⁻] = 0 mg/l



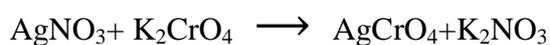
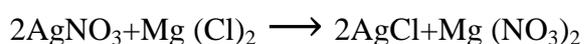
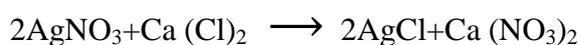
[Cl⁻] = 0 mg/l

2^{ème} cas : Coloration Jaune implique il
y a titrage avec AgNO₃ (0.014 N) jusqu'à
disparition de la coloration jaune citron.



[Cl⁻] = 4.97 x chute burette

Prendre 100 ml de l'échantillon à analyser, ajouter 02 ml de l'indicateur coloré Chromate de potassium et titrer avec des nitrates d'argent jusqu'à apparition d'une couleur rouge brique.

Réactions chimiques

IV.2.3. Titre alcalimétrique

Principe

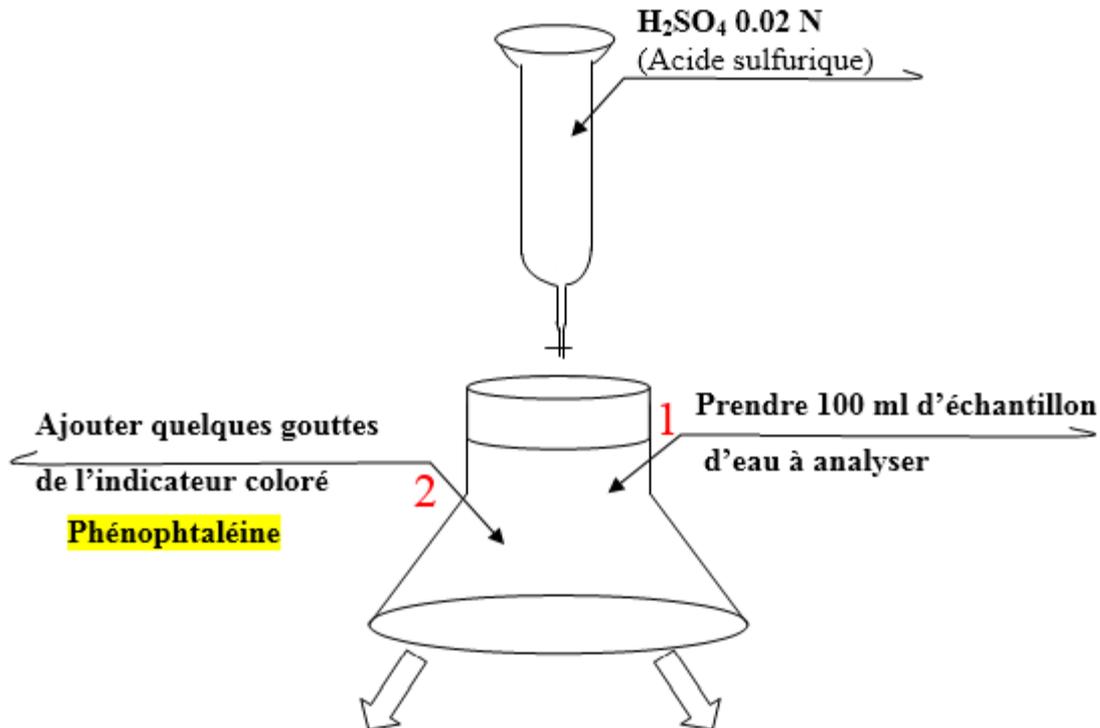
L'alcalinité d'un échantillon est déterminée par un titrage avec une solution d'acide sulfurique. Au fur et à mesure du titrage, le pH diminue légèrement. Lorsque l'échantillon contient des carbonates, un premier point d'équivalence peut être observé aux environs de pH 8,3. Il s'agit du titre alcalimétrique simple TA. Ce point correspond à la transformation des ions carbonates en bicarbonates. Cependant, l'alcalinité est mesurée au deuxième point d'équivalence, soit celui correspondant à la transformation du bicarbonate en acide carbonique. Ce point d'équivalence se trouve aux environs de pH 4,3. On parle alors du titre alcalimétrique complet TAC.

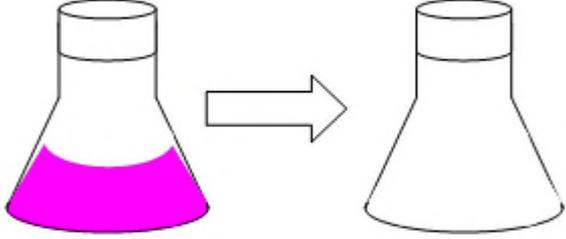
Matériels et réactifs utilisés

- Bécher ;
- Fiole de 100 ml ;
- Erlenmeyer 250 ml ;
- Burette de 25 ml ;
- Eau distillée ;
- Solution d'eau (échantillon) 100 ml ;
- Indicateur coloré phénolphtaléine ;
- Indicateur coloré méthylorange.
- Solution acide sulfurique H_2SO_4 0,02N.

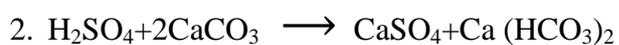
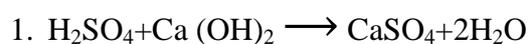
IV.2.3.1. Détermination du TA

Mode opératoire



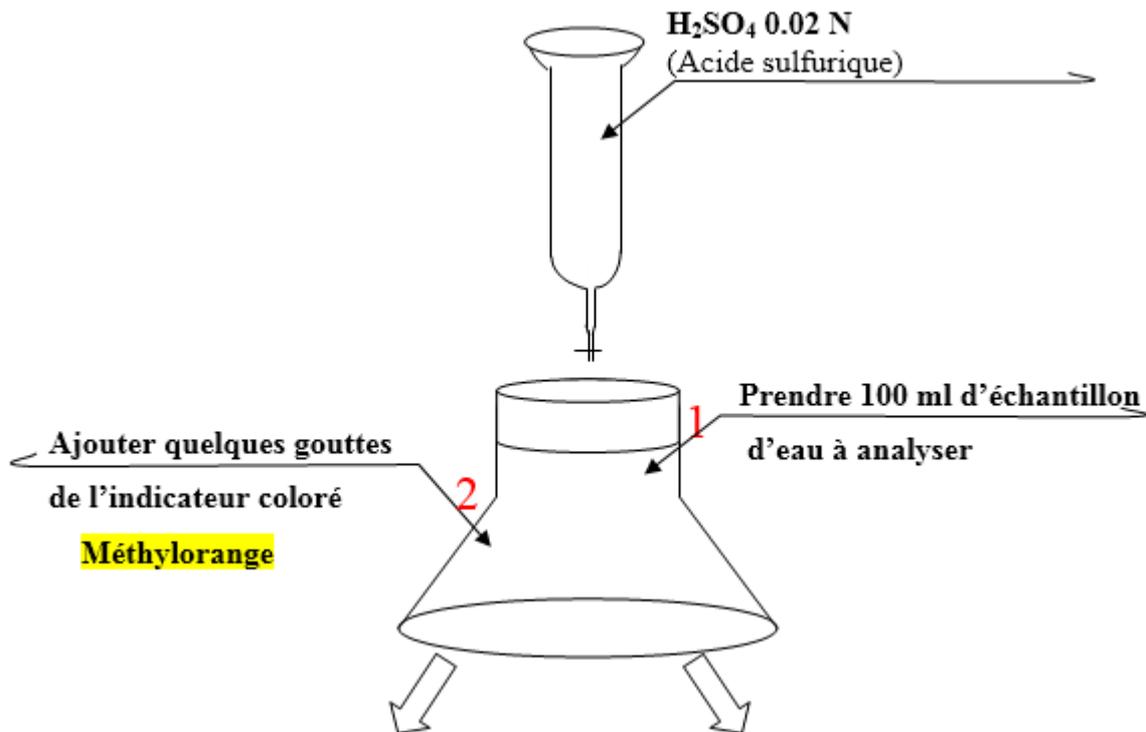
<p>1^{er} cas : Pas de Coloration (TA = 0°f) alors pas de titrage</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">TA = 0°f</p>	<p>2^{ème} cas : Coloration Rose implique qu'il y a titrage avec H₂SO₄ (0.02 N) jusqu'à décoloration</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">TA = chute de burette</p>
--	---

Réactions chimiques

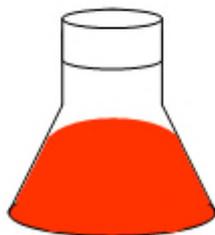


IV.2.3.2. Détermination du TAC

Mode opératoire

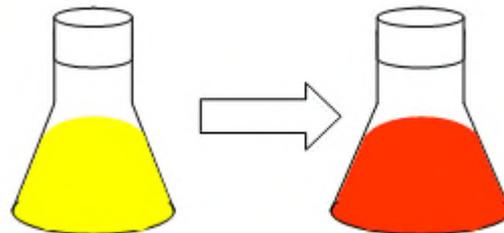


1^{er} cas : Coloration rose orangée
(TAC=0°f) alors pas de titrage



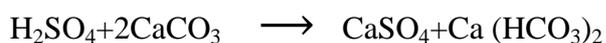
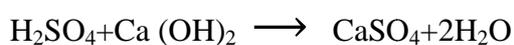
TAC = 0 °f

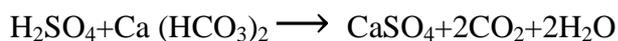
2^{ème} cas : Coloration Jaune implique
qu'il y a titrage avec H₂SO₄ (0.02 N) jusqu'à
apparition de la coloration rose orangée.



TAC = chute de burette (°f)

Prendre 100 ml de l'échantillon à analyser, ajouter quelques gouttes de l'indicateur coloré phénolphthaléine puis titrer avec de l'acide sulfurique jusqu'à apparition d'une couleur transparente (c'est le TA) ; ajouter quelques gouttes de l'indicateur coloré methyl orange et titrer jusqu'à apparition d'une couleur rose orangée (c'est le TAC).

Réactions chimiques



IV.2.4.Sulfites

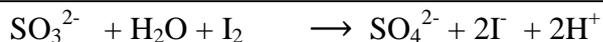
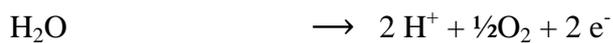
Principe

En milieu acide, les ions iodures sont oxydés en iode par titrage avec une solution de iodate de potassium contre de l'amidon comme indicateur. Cet iode lui-même oxyde les ions sulfites en ions sulfates. A la fin du titrage l'iode excédentaire forme avec l'indicateur un complexe bleu. La concentration en sulfites résulte de la consommation de solution de titrage (dosage iodométrique).

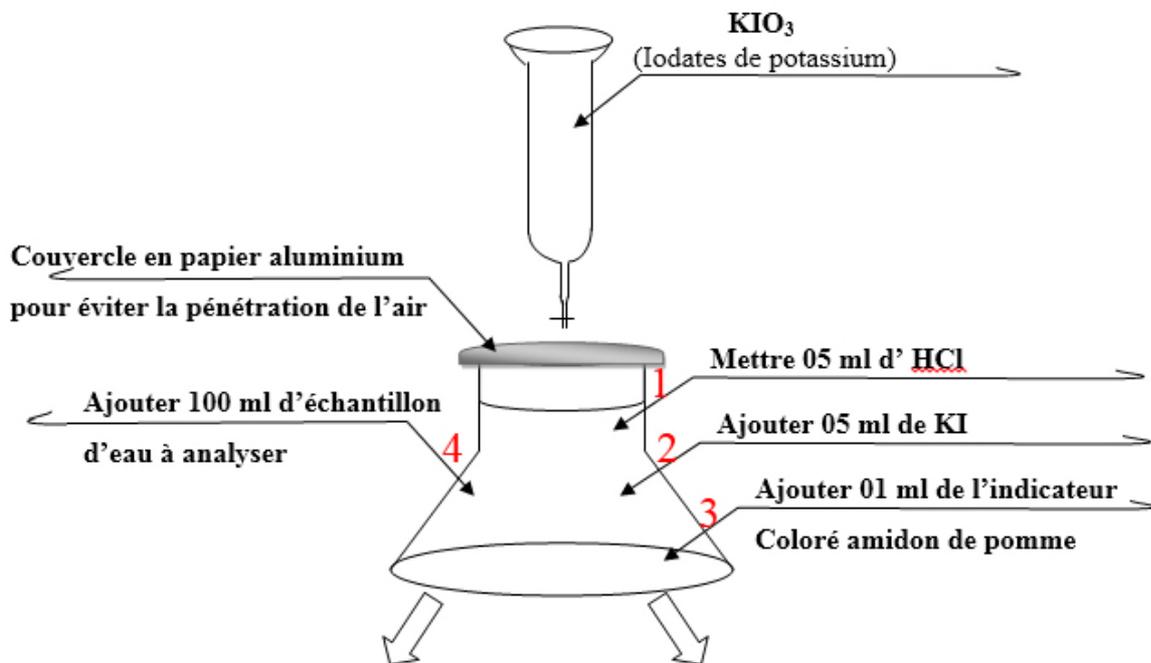
Matériels et réactifs utilisés

- Bécher ;
- Fiole de 100 ml ;
- Erlenmeyer 250 ml ;
- Burette de 25 ml ;
- Pipette de 5 ml ;
- Pipette de 1 ml ;
- Solution d'eau (échantillon) 100 ml ;
- Solution KIO₃ ;
- Solution HCl (5 ml) ;
- Solution KI (5 ml) ;
- Indicateur amidon de pomme (1 ml).

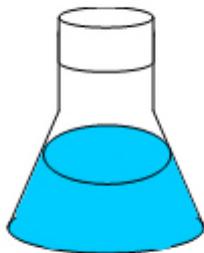
Réactions chimiques



Mode opératoire

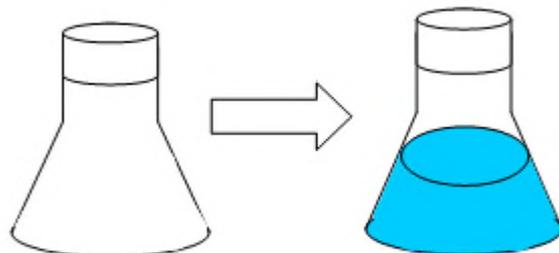


1^{er} cas : Coloration bleue alors pas de titrage



$$[\text{SO}_3^{2-}] \text{ mg/l} = 0$$

2^{ème} cas : Pas de coloration bleue implique qu'il y a titrage avec **KIO₃** jusqu'à coloration bleue.



$$[\text{SO}_3^{2-}] \text{ mg/l} = \text{chute burette} \times 10$$

Prendre 100 ml de l'échantillon à analyser, bien couvrir avec de l'aluminium, ajouter 05 ml de HCl, 05 ml de KI et 01 ml de l'indicateur coloré amidon de pomme, puis titrer avec du KIO₃ jusqu'à apparition d'une couleur bleue.

IV.2.5. Cl₂ libre

Le réactif DPD donne en présence de chlore un complexe de coloration rose, d'intensité croissante avec la concentration.

Matériels et réactifs

- colorimètre ;
- tubes à essais ;
- Echantillon d'eau à analyser ;
- Pilule DPD.

Mode opératoire

Après avoir rincé les tubes avec de l'eau distillée, prendre 10 ml de l'eau à analyser et ajouter une pilule de DPD, ensuite agiter jusqu'à dissolution complète puis placer le tube dans le colorimètre et faire la lecture.



Figure IV.1 : Colorimètre

IV.2.6. Ortho phosphate

Principe

Le phosphore présent sous des formes organiques et condensées inorganiques (méta-pyro- et autres poly phosphates) doit être converti en ortho phosphate réactif avant l'analyse. Le prétraitement de l'échantillon par l'acide à chaud fournit les conditions pour l'hydrolyse des formes inorganiques condensées. Le phosphore organique est converti en ortho phosphate à chaud par le persulfate en milieu acide. Le phosphore organiquement lié est ainsi déterminé

indirectement en soustrayant le résultat d'une analyse de phosphore hydrolysable en milieu acide du résultat d'une analyse de phosphore totale.

Cette technique doit être suivie par l'une des techniques d'analyse du phosphore réactif (ortho phosphate) pour la détermination de la teneur en phosphore de l'échantillon.

Matériels et réactifs

- Eprouvette de 25 ml ;
- Erlenmeyer de 125 ml ;
- Micropipette de 2 ml ;
- Plaque chauffante ;
- Solution d'eau (échantillon) 25 ml ;
- Eau distillée ;
- Persulfate de potassium (poudre) ;
- Solution d'acides sulfurique 5,25 N ;
- Solution d'hydroxyde de sodium 5,0 N ;
- Photomètre de type HACH DR900 ;
- Tubes.

Mode opératoire

Mesurer 25 ml d'eau à l'éprouvette et verser dans un erlenmeyer de 125 ml puis ajouter le contenu de persulfate de potassium (poudre) et agiter pour mélanger ensuite ajouter 2 ml de solution d'acide sulfurique. Placer alors l'erlenmeyer sur une plaque chauffante faire bouillir doucement pendant 30 minutes ; refroidir l'échantillon préparé à la température ambiante et ajouter 2 ml de solution d'hydroxyde de sodium, toujours agiter pour mélanger.

Verser l'échantillon préparé dans une éprouvette graduée de 25 ml, ajouter l'eau distillée pour ramener le volume à 25 ml puis verser l'échantillon dans les tubes et placer enfin le tube dans le photomètre et faire la lecture.

Expression des résultats

- Rendement osmoseurs (%) : $R = \text{Débit perméat} / (\text{Débit perméat} + \text{Débit concentrât})$;
- Taux de concentration (mg.L^{-1}) : $Tc = 1 / (1 - \text{Rendement})$;
- Teneur (mg.L^{-1}) = (Teneurs $\text{P}_2\text{O}_5 \cdot 15,5) / 2$.

IV.2.7. Molybdène

Anticorrosion et antitartre dispersant destinés aux circuits fermés. Inhibiteur anodique non oxydant.

Matériels et réactifs

- Becher ;
- Echantillon d'eau à analyser ;
- Bandelette-test molybdène.

Mode opératoire

Plonger la zone réactionnelle de la bandelette-test pendant 1 minute dans l'échantillon d'eau à mesurer, ensuite la retirer, la secouer pour en éliminer l'excédent de liquide et identifier la zone colorée de l'étiquette se rapprochant le plus de la couleur de la zone réactionnelle. Lire enfin le résultat correspondant en mg.L^{-1} de Mo.

IV.2.8. Spectrophotométrie d'absorption atomique

La spectrométrie d'absorption atomique (SAA) est une technique décrite pour la première fois par Walsh (1955). La SAA étudie les absorptions de lumière par l'atome libre. C'est une des principales techniques mettant en jeu la spectroscopie atomique dans le domaine UV-visible utilisée en analyse chimique. Elle permet de doser une soixantaine d'éléments chimiques (métaux et non-métaux). Les applications sont nombreuses étant donné qu'on atteint couramment des concentrations inférieures au mg.L^{-1} (ppm).

Principe

L'absorption atomique de flamme est une méthode qui permet de doser essentiellement les métaux en solution. Cette méthode d'analyse élémentaire impose que la mesure soit faite à partir d'un analyte (élément à doser) transformé à l'état d'atomes libres. L'échantillon est porté à une température de 2000 à 3000 degrés pour que les combinaisons chimiques dans lesquelles les éléments sont engagés soient détruites. La spectrométrie d'absorption atomique est basée sur la théorie de la quantification de l'énergie de l'atome. Celui-ci voit son énergie varier au cours d'un passage d'un de ses électrons d'une orbite électronique à une autre : $\Delta E = h \cdot \nu$ où h est la constante de Planck et ν est la fréquence du photon absorbé. Généralement seuls les électrons externes de l'atome sont concernés. Les photons absorbés étant caractéristiques des éléments absorbants, et leur quantité étant proportionnelle au nombre d'atomes d'élément absorbant selon la loi de distribution de Boltzmann, l'absorption permet de mesurer les concentrations des éléments à doser. L'analyse par absorption atomique utilise la

loi de Beer-Lambert. S'il y a plusieurs éléments à doser, on réalise cette manipulation pour chaque élément de l'échantillon en se plaçant à une longueur d'onde fixée. Il faut donc à chaque manipulation choisir une source adaptée pour éclairer l'élément que l'on cherche à exciter.

Procédure expérimentale

Les observations SAA ont été réalisées grâce au spectrophotomètre d'absorption atomique de marque *Thermo Scientific* de type *ICE 3500* (figure IV.2).

Le contrôle des analyses effectuées par SAA est assuré par un essai à blanc et par l'étalonnage grâce à des solutions étalons préparées à partir de solutions mères.



Figure IV.2 : spectrophotomètre d'absorption atomique Thermo scientific de type ICE 3500

IV.2.9. Spectroscopie d'émission par plasma à couplage inductif (ICP-AES) de paillasse

L'ICP-AES (Inductively Coupled Plasma – Atomic Emission Spectrometry) est une technique analytique aussi bien qualitative que quantitative, qui permet un dosage des éléments métalliques et semi métalliques. C'est une méthode dont le principe est basé sur l'émission de radiations lumineuses par les éléments atomisés et excités dans un plasma d'argon.

Principe

Exciter un atome par une source lumineuse ou une source de chaleur conduit au passage d'un de ses électrons externes de l'état fondamental à un état excité. Ce passage correspond à une absorption d'énergie. C'est le cas des méthodes d'adsorption telle que la SAA (Spectroscopie d'absorption atomique). En retournant à son état fondamental, l'atome peut réémettre

l'excédent d'énergie reçu sous forme d'un ou plusieurs photons ; c'est la spectroscopie d'émission. Cette intensité lumineuse réémise, à une longueur d'onde donnée, est spécifique de l'élément.

Dans le cas de la technique ICP-AES, la source d'excitation est une torche à plasma alimentée par un flux d'argon. La torche à plasma est un dispositif simple, très utilisé, qui permet d'atteindre une température très élevée (4000-20000 K) rendant ainsi tous les atomes émissifs. Elle présente ainsi l'avantage de réduire les risques d'interférences chimiques en isolant totalement l'élément de sa matrice. Elle permet également d'améliorer les limites de détection en augmentant la population des espèces dans les différents niveaux atomiques excités.

L'échantillon à analyser, sous forme liquide, est acheminé grâce à une pompe péristaltique vers un nébuliseur qui le divise en aérosol qui est alors dirigé vers la torche où il sera vaporisé, atomisé et excité par le plasma. La lumière émise tant par l'argon que pour les autres atomes est ensuite réfléchiée par un miroir sur un réseau spectral qui la décompose en raies monochromatiques de différentes longueurs d'onde. Cette analyse multi-élémentaire. La quantification, quant à elle, est basée sur l'intensité des raies spectrales qui sont directement reliées au nombre d'atomes émetteurs donc à la concentration de l'élément. La quantification est généralement basée sur un étalonnage externe. Il est à noter que la technique ICP-AES présente le grand avantage de pouvoir détecter les éléments à de très faibles teneurs, de l'ordre du nano gramme par litre.

Procédure expérimentale

Les analyses chimiques élémentaires par ICP-AES des métaux lourds ont été réalisées à l'aide d'un appareil de marque *Thermo Scientific de type ICE 3500 (figure IV.3)*.

La préparation des échantillons est effectuée à partir d'une solution de commerce pour préparer la courbe d'étalonnage.



Figure IV.3 : ICP-AES de paillasse Thermo scientific de type ICE 3500

IV.3. Equilibre calcocarbonique

Toutes les eaux contiennent en quantité plus ou moins importante de l'acide carbonique, des ions mono hydrogénocarbonates et carbonates. Toutes ces espèces chimiques sont indépendantes. Il s'agit de l'équilibre calcocarbonique. Le comportement d'une eau dépend du fait qu'elle soit ou non équilibrée lors de son parcours dans les canalisations, elle fera tout pour le retrouver.

Afin de déterminer cet équilibre, nous avons procédé par trois méthodes différentes : indice de saturation de Ryznar, essai au marbre ainsi que le coefficient de sursaturation β .

IV.3.1. Indice de saturation de Ryznar

L'indice de saturation de Ryznar détermine le risque de précipitation du CaCO_3 . Cet indice est basé sur la notion de saturation de carbonate de calcium dans l'eau à pH donné ; il est défini par l'équation suivante :

$$\text{RSI} = 2\text{pH}_s - \text{pH}.$$

$$\text{Tel que : } \text{pH}_s = 9,3 + A + B - (C + D)$$

- pH : pH initial ;
- pH_s : pH de saturation ;
- A : Facteur de T.D.S (totalité des sels dissous) ;
- B : Facteur de température ;
- C : facteur de dureté du calcium exprimé en °f ;

- D : Facteur d'alcalinité totale (au méthylorange) TAC exprimé en °f.

Ainsi, directement à partir d'une analyse de l'eau, le tableau suivant permet le calcul du pH de saturation :

Tableau IV.1 : Identification des paramètres A, B, C, D pour le calcul de RSI

Valeur de A (facteur de totalité des sels dissous)		Valeur de B (facteur de température)		Valeur de C (facteur de dureté du calcium)		Valeur de D (facteur de l'alcalinité totale)	
TDS en ppm	A	T en °C	B	TH en °f	C	TAC en °f	D
				1 à 1,1	0,6	1 à 1,1	1,0
				1,2 à 1,3	0,7	1,2 à 1,3	1,1
		0 à 1	2,6	1,4 à 1,7	0,8	1,4 à 1,7	1,2
		2 à 5,5	2,5	1,8 à 2,2	0,9	1,8 à 2,2	1,3
		6,5 à 9	2,4	2,3 à 2,7	1	2,3 à 2,7	1,4
		10 à 13,5	2,3	2,8 à 3,4	1,1	2,8 à 3,5	1,5
		14,5 à 16,5	2,2	3,5 à 4,3	1,2	3,5 à 4,4	1,6
		17,5 à 21	2,1	4,4 à 5,5	1,3	4,5 à 5,5	1,7
		22 à 26,5	2	5,6 à 6,9	1,4	5,6 à 6,9	1,8
		27,5 à 31	1,9	7,0 à 8,7	1,5	7 à 8,8	1,9
85 à 425	0,1	32 à 36,5	1,8	8,8 à 11	1,6	8,9 à 11	2
425 à 10 000	0,2	37,5 à 43,5	1,7	11,1 à 13,8	1,7	11,1 à 13,9	2,1
		44,5 à 50	1,6	13,9 à 17,4	1,8	14 à 17,6	2,2
		51 à 56	1,5	17,5 à 22	1,9	17,7 à 22,2	2,3
		56,5 à 63,5	1,4	23 à 27	2	23 à 27	2,4
		64,5 à 71	1,3	28 à 34	2,1	28 à 35	2,5
		72 à 81	1,2	35 à 43	2,2	36 à 44	2,6
		82 à 89	1,1	44 à 55	2,3	45 à 55	2,7
		90 à 96	1	56 à 69	2,4	56 à 69	2,8
		96 à 100	0,9	70 à 87	2,5	70 à 88	2,9
				88 à 100	2,6	89 à 100	3

Les risques de précipitation ou de corrosion selon l'indice de Ryznar (RSI) sont présentés dans le tableau IV.3.2.

Tableau IV.2 : Interprétation des valeurs de l'indice de saturation de Ryznar (RSI)

Valeurs de RSI	Référence Interprétation
RSI<6	Précipitation de CaCO ₃ , la tendance de précipitation augmente avec la diminution de la valeur du RSI.
6<RSI<7	Eau équilibrée (stable)
RSI>7	Précipitation de CaCO ₃ et aucune protection contre la corrosion sur la surface.
RSI>8	Eaux très agressives

Dans le but de calculer la valeur de l'indice de Ryznar, nous avons fait appel au logiciel EQUILWIN.

Le logiciel EQUILWIN est un logiciel qui permet de calculer les équilibres calco-carboniques dans les eaux. Il permet de caractériser une eau ou un mélange de plusieurs eaux, d'établir si une eau est entartrante, agressive ou à l'équilibre et de déterminer un traitement adéquat pour ramener cette eau à l'équilibre.

Ce logiciel a été développé sous l'égide de Pierre RAVARINI, ingénieur/hydrologue, spécialiste du traitement de l'eau et en particulier des équilibres carboniques.

IV.3.2. Essai au marbre

Principe

Lorsqu'une eau atteint son équilibre, elle peut :

- soit déposer des sels : elle est alors dite " *incrustante ou entartrante* " ;
- soit en fixer : elle est alors dite " *agressive* " ;
- soit ne manifester aucune de ces propriétés, elle est dite " *inactive ou inerte* " .

L'essai au marbre a pour but de déterminer cette propriété.

Matériels et réactifs

Fiole de 250 ml ;

Entonnoir ;

Spatule ;

Eau à analyser ;

Poudre de marbre.

Mode opératoire

Dans une fiole de 250 ml, mettre un tiers de poudre de marbre, et remplir d'eau à analyser en l'introduisant au fond du récipient au moyen d'un entonnoir. Faire déborder largement en évitant toute introduction d'air.

Boucher le flacon hermétiquement sans bulles d'air.

Laisser en contact 48 heures en agitant de temps en temps par renversement.

Filtrer et mesurer sur le filtrat le pH.



Figure IV.4 : photo illustrative de l'essai effectué au marbre

Expression des résultats

Soit :

- pH_i , le pH initial ;
- pH_s , le pH de saturation ou d'équilibre.

Les propriétés de l'eau peuvent être déduites des relations suivantes :

Si :

- $pH_s > pH_i$, eau agressive ;
- $pH_s = pH_i$, eau inerte ou en équilibre (à l'équilibre) ;
- $pH_s < pH_i$, eau incrustante.

IV.3.3. Calcul du coefficient de sursaturation (β) :

Afin de calculer le coefficient de sursaturation, nous avons fait appel à une application développée et mise en œuvre par Monsieur R. KETRANE. Cette application est une

combinaison de modèles mathématiques qui régissent le système calcocarbonique basés sur des notions de chimie analytique et qui nécessite un certain nombre de paramètres d'entrés comme le montre l'organigramme suivant :

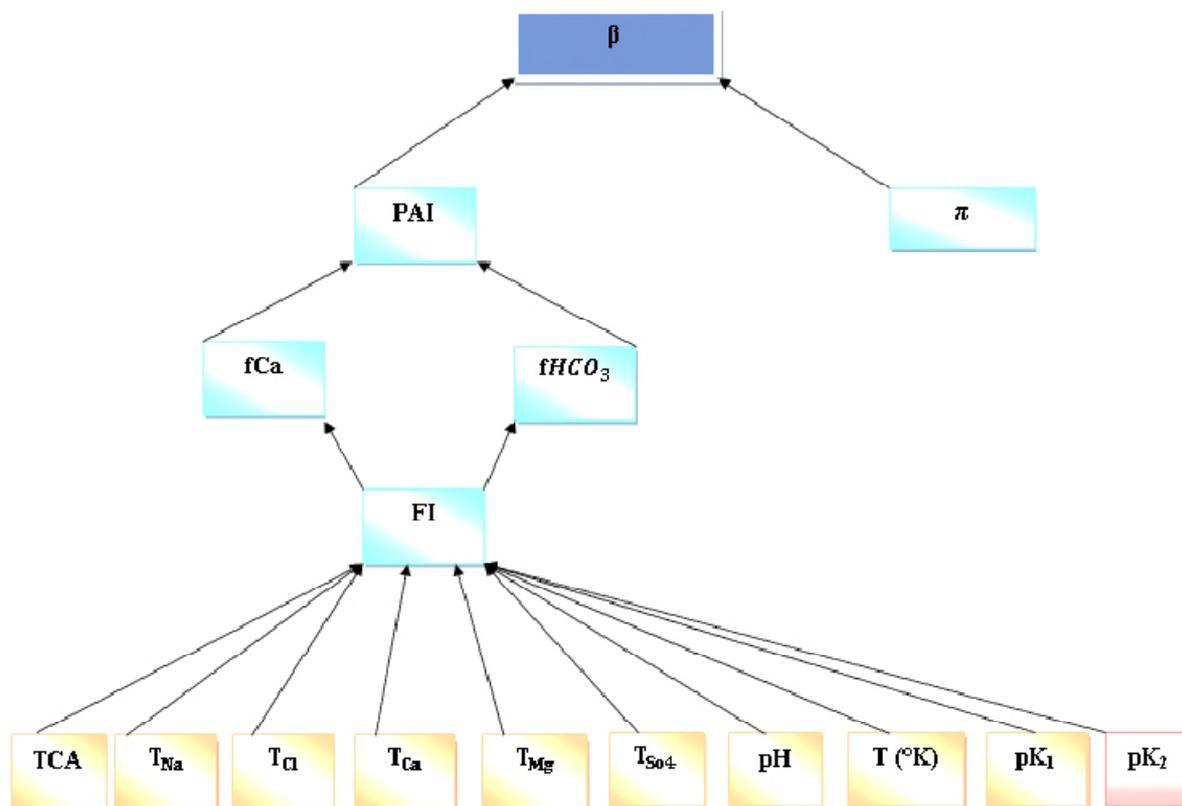


Figure IV.5 : Organigramme de l'application Excel

Les paramètres illustrés sur l'organigramme ci-dessous représentent :

- π : produit de solubilité de la calcite.
- \mathbf{pK}_1 : logarithme de la 1ère constante de dissociation de l'acide carbonique.
- \mathbf{pK}_2 : logarithme de la 2ème constante de dissociation de l'acide carbonique.
- \mathbf{K} : une constante d'équilibre qui caractérise l'état d'équilibre d'une réaction. Elle représente donc un état qui ne peut pas évoluer de manière spontanée. La valeur de la constante d'équilibre dépend uniquement de la réaction chimique considérée et de la température. Les constantes d'équilibre sont généralement données à 25 °C.
- \mathbf{TAC} : titre alcalimétrique complet (°f).
1 °f = 10 mg.L⁻¹ de CaCO₃
- \mathbf{TCa} : titre calcique de la solution (°f)
1 °f = 4 mg.L⁻¹ de Ca²⁺

- **TMg** : Titre Magnésien de la solution (°f)

$$1 \text{ °f} = 2.4 \text{ mg.L}^{-1} \text{ de Mg}^{2+}$$

- **TCl** : Titre de Chlore de la solution (°f)

$$1 \text{ °f} = 7.1 \text{ mg.L}^{-1} \text{ de Cl}$$

- **Force ionique (FI)** : La force ionique notée (FI), est l'un des principaux facteurs influençant l'activité des ions en solution aqueuse son expression est :

$$FI = 0,0001 \times (TAC + T_{Na} + T_{Cl} + 2T_{Ca} + 2T_{Mg} + 2T_{SO_4})$$

- **Activité ionique calcique (fCa)** :

$$f_{Ca} = 10^{-(1,82 \times 1000000 \times (80 \times T)^{-1,5} \times 4\sqrt{(FI)} / (1 + \sqrt{(FI)})}$$

- **Activité ionique des hydrogénocarbonates (fHCO₃)** :

$$f_{HCO_3} = 10^{(-1,82 \times 1000000 \times (80 \times T)^{-1,5} \times \sqrt{(FI)} / (1 + \sqrt{(FI)} + 0,3 \times FI}$$

- **Produit d'Activité Ionique (PAI)** :

$$PAI = 0,00000001 \times Tca \times TAC \times f_{Ca} \times f_{HCO_3} \times 10^{(pH-K_2)}$$

- **Coefficient de sursaturation (β)** :

$$\beta = \frac{PAI}{\pi}$$

Si :

β=1 : l'eau est à l'équilibre calcocarbonique.

β<1 : l'eau est dite agressive, elle peut dissoudre le carbonate de calcium.

β>1 : l'eau est sursaturée, et elle peut déposer du carbonate de calcium. Elle est dite calcifiante.

CHAPITRE V

Résultats et interprétations

Chapitre V

Résultats et discussion

Durant le stage pratique qui a eu lieu à Candia Tchín-Lait de Bejaia du 25 Mars au 26 Avril 2018, et qui a porté sur le traitement des eaux utilisées dans l'industrie laitière Candia Tchín-Lait, nous avons établi un schéma synoptique du circuit d'eau (figure.V.1).

V.1. Présentation de la station de traitement des eaux de l'unité Candia Tchín-Lait

L'eau brute alimentée par l'Algérienne des Eaux (ADE) arrive au bassin de 400 m³ de stockage de l'unité Candia Tchín-Lait avec une dureté moyenne de 40°f. Elle passera ensuite par trois filtres à charbons actifs pour obtenir une eau brute filtrée.

Dans un premier temps, l'eau filtrée passera par des filtres à cartouches de 5μ puis par ceux de 1μ avant de subir une déminéralisation par osmose inverse. Le perméat et le concentrât en sont alors récupérés. Le concentrât sera évacué aux égouts, le perméat quant à lui, sera réutilisé.

Dans un second temps, l'eau filtrée passera par d'autres filtres à cartouches de 5μ puis subira une désinfection par des lampes U.V. Cette eau servira pour la reminéralisation du perméat auquel sera ajouté une quantité de chlore : c'est le métigeage.

L'eau métigée subira une désinfection supplémentaire par des lampes U.V afin d'obtenir une eau traitée qui répond aux normes de l'entreprise.

L'eau traitée servira à alimenter les bacs à glace et les adoucisseurs et sera utilisée principalement dans le process de reconstitution du lait.

Afin d'éliminer la dureté totale de l'eau traitée ; cette dernière passera pas deux adoucisseurs fonctionnant par échangeurs d'ions. Cette eau servira à alimenter la bache alimentaire et donc les trois chaudières.

La vapeur obtenue par les chaudières passera par un barillet (collecteur de vapeur) puis par un détenteur afin d'abaisser la pression de 8 bar vers 6 bar, cette vapeur sera utilisée exclusivement dans le process.

Après utilisation de la vapeur, cette dernière sera récupérée dans la bache alimentaire : c'est le retour condensat.

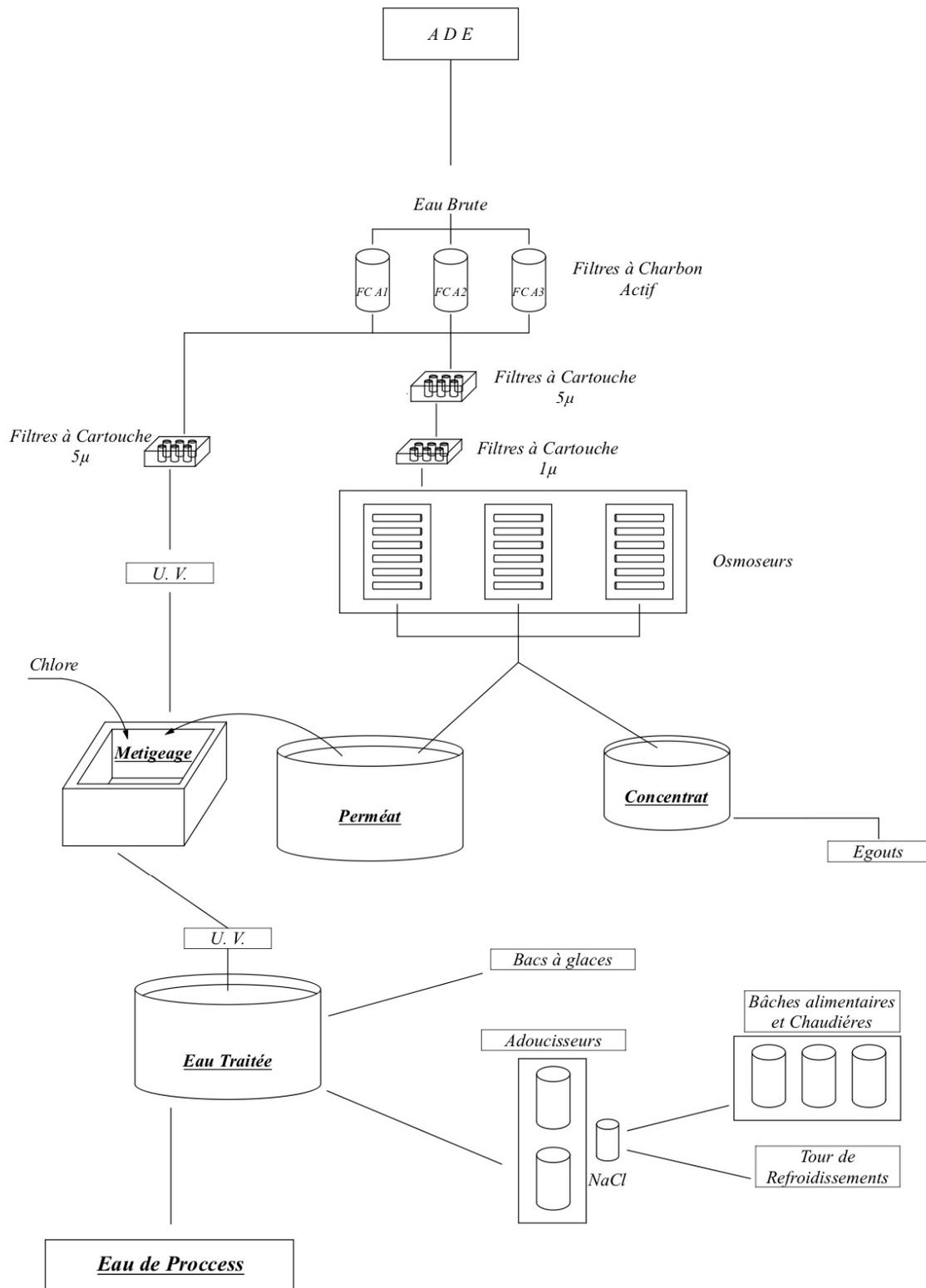


Figure V.1 : Schéma synoptique du circuit d'eau de l'unité Candia Tchén-Lait

Des mesures des paramètres : pH, conductivité, TH, TA, TAC, Cl⁻ et SO₃²⁻ de l'eau ont été effectuées à plusieurs points des installations de l'unité de production laitière Candia Tchîn-Lait de Bejaia.

Les mesures sont réalisées sur les types d'eaux suivantes : brute, adoucie, filtrée, chaudières, bache alimentaire, retour condensat, bacs à glace et condenseurs. L'eau traitée sert à la reconstitution du lait et aux circuits des processus de fabrication.

Dans le but d'évaluer la qualité et la conformité de l'eau de process, l'efficacité des techniques de traitement du point de vue physico-chimique, nous avons effectué des analyses dont les résultats sont comparés à ceux de l'Algérienne des Eaux (ADE) et regroupés dans le tableau V.1 ci-dessous. Ces valeurs correspondent à la période Mars-Avril de l'année en cours, phase relative à la période de notre stage au sein du laboratoire physico-chimique de l'usine laitière Candia Tchîn-Lait de Bejaia.

Tableau V.1. Comparaison de l'eau brute de Candia et de l'ADE pendant la période Mars-Avril 2018.

Paramètre	Eau	Mars	Avril
pH	ADE	7,3	7,62
	Candia	7,56	7,68
K (µs)	ADE	750	1352
	Candia	1112,8	1135,4
TH (°f)	ADE	38	50
	Candia	41,6	42,47
TAC (°f)	ADE	20	/
	Candia	18,96	19,54
[Cl-] (mg.L⁻¹)	ADE	41,3	/
	Candia	88,4	94,59

Les résultats montrent une adéquation entre l'eau émise par l'ADE de Bejaia et l'eau d'arrivée de Candia Tchîn-Lait de Bejaia et ce pour tous les paramètres.

Nous notons, cependant un écart dans la conductivité (k) ainsi que dans le taux de chlorures courant mois de Mars, ceci pourrait être expliqué par le fait qu'il y ait eu une somme de perturbations climatiques (L'eau brute fut trouble durant cette période).

Bien que ces eaux restent conformes pour la potabilité, des traitements sont effectués au niveau de l'unité Candia Tchîn-Lait de Bejaia et ce dans le but de préserver les installations et équipements industriels en vue d'abaisser les valeurs des paramètres considérés.

Dans ce qui suit, seuls les résultats d'analyse de l'eau brute et de l'eau traitée seront exposés et discutés et ce en comparant les valeurs des paramètres opératoires choisis au niveau de l'unité Candia Tchîn-Lait de Bejaia. Le choix s'est porté sur l'eau traitée vu son importance à être utilisée dans la reconstitution du lait destiné à la consommation humaine.

Quant aux résultats d'analyse obtenus sur l'eau des chaudières, bêche alimentaire, retour condensat, filtres, osmoseurs, adoucisseurs ainsi que les bacs à glacière et leurs condenseurs, ils seront exposés en Annexes vu le volume qu'ils occupent.

V.2. pH

La figure V.2 représente la variation moyenne du pH en fonction du temps. Elle montre les fluctuations du pH de l'eau brute ainsi que de l'eau traitée. Les valeurs moyennes de chaque semaine montrent une baisse du pH de l'eau brute constatée dans l'eau traitée. La plus grande valeur notée correspond à une moyenne de 7,9 durant la deuxième semaine du stage contre une valeur de 7,8 durant la troisième semaine.

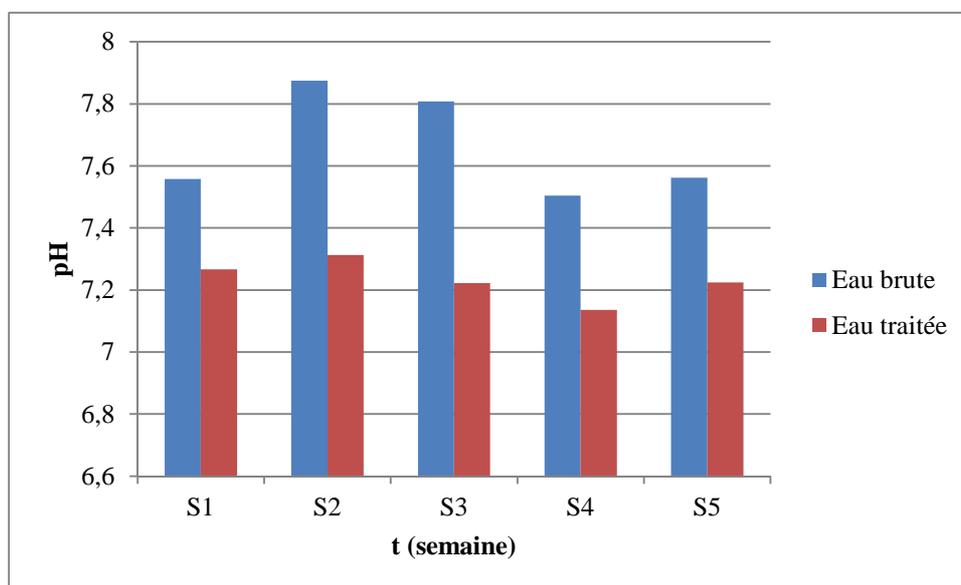


Figure V.2 : variation du pH en fonction du temps

Ces élévations restent conformes aux normes algériennes comprises entre 6.5 et 9 ainsi qu'à celles de l'entreprise, elles sont cependant dues aux intempéries et au changement de source de prélèvement d'eau de ville.

Les valeurs de pH notées en annexe I représentent la même variation au fil du temps avec une tendance à l'alcalinité observée dans les chaudières, le retour condensat ainsi que pour la bêche alimentaire du à l'élévation de la température.

Le contrôle du pH sert à réduire la corrosion et l'entartrage. Cependant, si l'eau a un pH trop bas cela entrainera des problèmes de corrosion des tuyaux dans les systèmes de distribution d'eau et aura un goût légèrement amer et métallique. À l'inverse, si le pH d'une eau est trop haut, elle aura un goût semblable à du bicarbonate de soude. D'autre part, des dépôts de calcaire apparaîtront, diminuant l'efficacité de plomberie. Le pH de l'eau conditionne donc les équilibres physico-chimiques, en particulier l'équilibre calcocarbonique et donc l'action de l'eau sur les carbonates (attaque ou dépôt).

V.3. Conductivité

La figure V.3 représente la variation de la conductivité électrique « K » en fonction du temps. Les résultats moyens hebdomadaires de la teneur en sel, exprimée par la conductivité électrique, montrent les fluctuations en fonction du point d'eau ainsi que du changement atmosphérique. La teneur en sel la plus élevée a été constatée durant la deuxième et troisième semaine atteignant plus de 1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$, cette valeur reste conforme aux normes algériennes de 2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

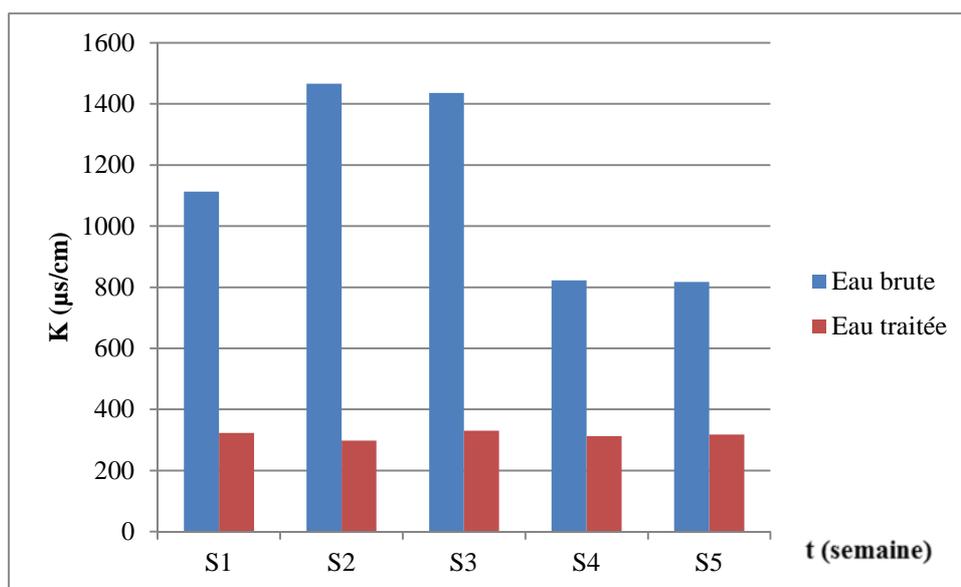


Figure V.3 : variation de la conductivité k en fonction du temps.

Après le passage de l'eau filtrée dans l'unité de l'osmose inverse, la conductivité est abaissée pour atteindre une valeur moyenne d'eau de perméat de $38,7 \mu\text{S}/\text{cm}$, les normes internes indiquent une moyenne de $80 \mu\text{S}/\text{cm}$. Les normes relatives à l'eau traitée doivent quant à elles être inférieure à $400 \mu\text{S}/\text{cm}$. Pour cette raison, l'industrie Candia Tchén-Lait ajoute une quantité d'eau filtrée pour atteindre une valeur moyenne d'eau traitée tournant approximativement autour de $317 \mu\text{S}/\text{cm}$.

La conductivité est un paramètre qui est en relation proportionnelle avec la TDS. Il peut engendrer, selon le cas une accélération de la corrosion au et dépôts de calcaire au niveau des canalisations.

V.4. Alcalinité

La figure V.4 représente la variation de l'alcalinité en fonction du temps. Les valeurs relevées au fil du temps sont conformes aux normes algériennes de $50 \text{ }^\circ\text{f}$ ainsi qu'à celles de l'entreprise. Les résultats montrent une baisse considérable de l'eau traitée.

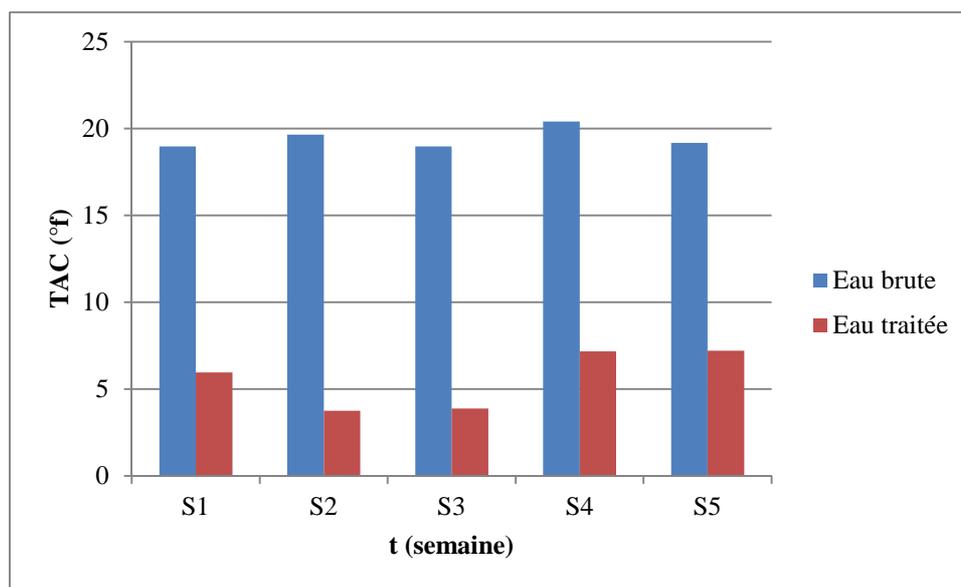


Figure V.4 : Variation de l'alcalinité en fonction du temps

Le titre alcalimétrique permet d'estimer la concentration de tous les carbonates et bicarbonates dans l'eau. La formation d'une couche carbonatée assurant la protection des canalisations contre certains risques de corrosion nécessite une alcalinité minimale.

Si l'alcalinité est trop basse, la capacité de l'eau à résister à des changements de pH diminue. Cela signifie que le pH va connaître un effet de yoyo, changeant d'acide en base assez

rapidement. Les conduites d'eau en métal peuvent être corrodées par l'eau en cas de basse alcalinité.

L'eau avec l'alcalinité élevée a un goût de soude et peut endommager la tuyauterie et le système de distribution d'eau provoquant une augmentation de la consommation d'énergie et ainsi des coûts accrus. Toutefois l'entité Candia Tchir-Lait essaie de maintenir un niveau acceptable d'alcalinité afin d'empêcher la formation d'une eau acide et les dommages conséquents sur les canalisations ainsi que de tout autre équipement de distribution.

V.5. Chlorure

La figure V.5 représente la variation des $[Cl^-]$ en fonction du temps. Une élévation a été constatée durant la seconde et troisième semaine du stage suite aux intempéries rencontrées. Malgré le fait que ces valeurs restent conformes aux normes de l'entreprise et aux normes algériennes de 500 mg.L^{-1} , un traitement au niveau de l'unité Candia Tchir-Lait a permis une diminution considérable enregistrée sur les valeurs de l'eau traitée et ceci dans le but de protéger les équipements et machines de l'entreprise.

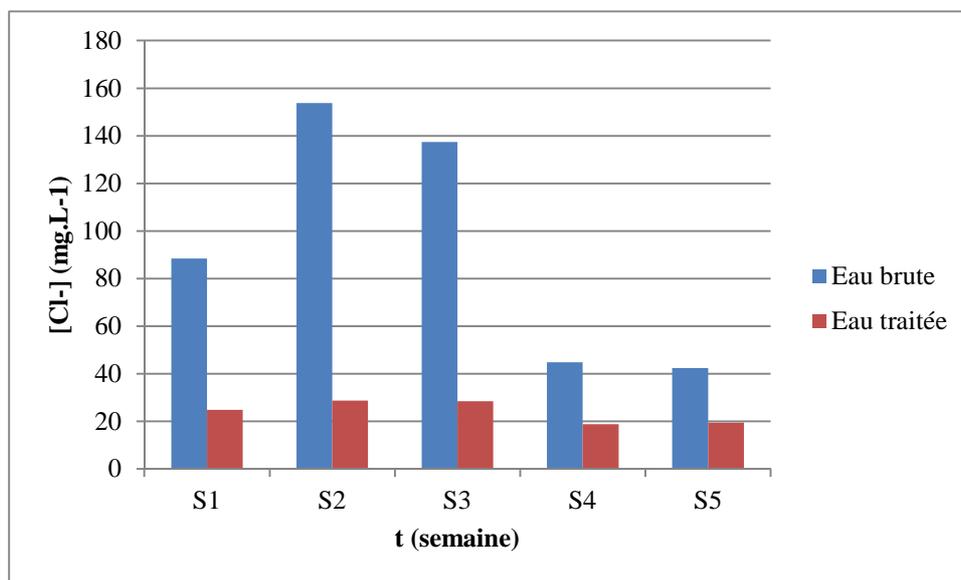


Figure V.5 : Variation des $[Cl^-]$ en fonction du temps.

Des concentrations élevées de chlorures nuisent au goût de l'eau en lui confiant une saveur salée à 250 mg.L^{-1} . Ils sont aussi susceptibles d'amener une corrosion dans les canalisations et les réservoirs.

V.6. Dureté totale

La figure V.6 représente la variation des TH en fonction du temps. La dureté totale de l'eau brute atteint les 50 °f durant la seconde et troisième semaine du stage effectué, ces valeurs restent conformes avec les normes algériennes de 50 °f et celles de l'entreprise. Après traitement par l'osmose inverse, une diminution significative de la dureté de l'eau traitée analysée est constatée aux alentours de 8 et 11.6 °f, ce qui peut être expliqué par l'efficacité du procédé de traitement. L'eau obtenue est une eau déminéralisée qui risque de ne pas être distribuée, d'où la nécessité de la reminéraliser. Cette opération est effectuée par ajout d'eau filtrée (métigeage).

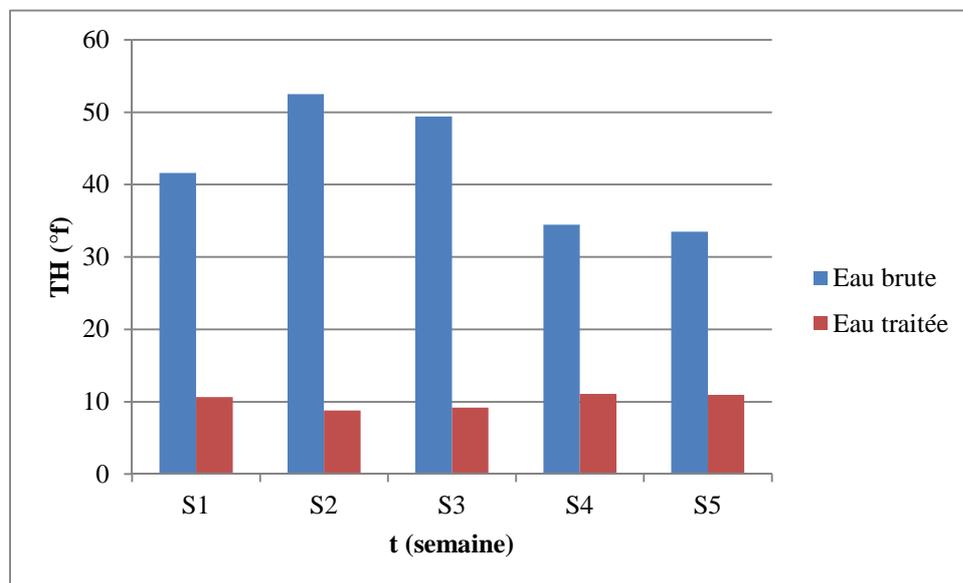


Figure V.6 : Variation des TH en fonction du temps.

La dureté de l'eau influe sur l'état des canalisations et des appareils de chauffage. Une eau dure donne des dépôts de tartre dans les canalisations, les bouilloires, les chauffe-eaux ainsi que dans les filtres des robinets. En revanche, une eau douce est agressive vis-à-vis des canalisations.

La dureté des eaux montre que le phénomène d'entartrage des conduites est essentiellement dû aux conditions de température très favorables. Cette dernière conjuguée à la forte pression des eaux provoque la transformation des bicarbonates en carbonate et la libération du CO_2 et non à la teneur en Ca et Mg, ces derniers, en comparaison avec la norme de l'OMS, respectivement 200 et 150 mg.L^{-1} sont acceptables.

L'observation sur site montre que les chaudières, le retour condensat ainsi que la bûche alimentaire sont les plus concernés par le phénomène d'entartrage où la température et la pression sont très élevés et favorables.

V.7. Sulfites

Les figures V.7.1, V.7.2, et V.7.3 représentent la variation des sulfites en fonction du temps. Les valeurs relevées du dosage des sulfites présents dans les chaudières sont conformes aux normes de l'entreprise. Les pics enregistrés durant la première semaine sur la chaudière 1 correspondent au surdosage du complexe additif des chaudières et une purge fut nécessaire pour la retabilition des valeurs.

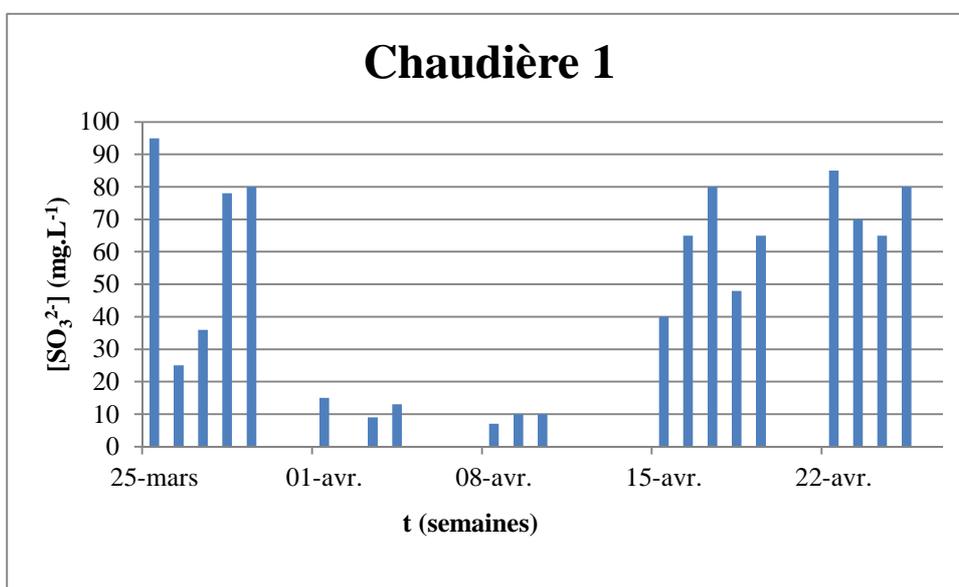


Figure V.7.1 : Variation des sulfites en fonction du temps pour la chaudière 1

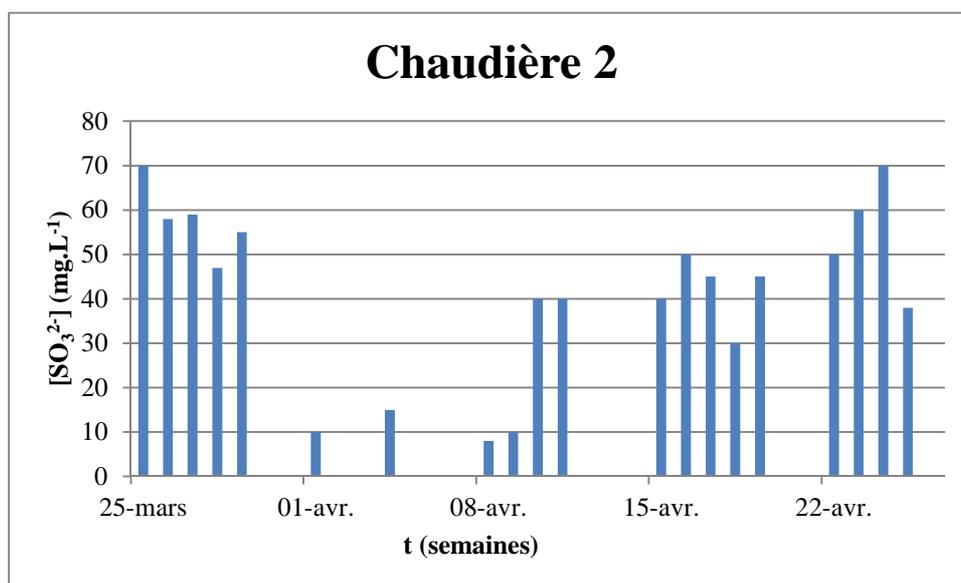
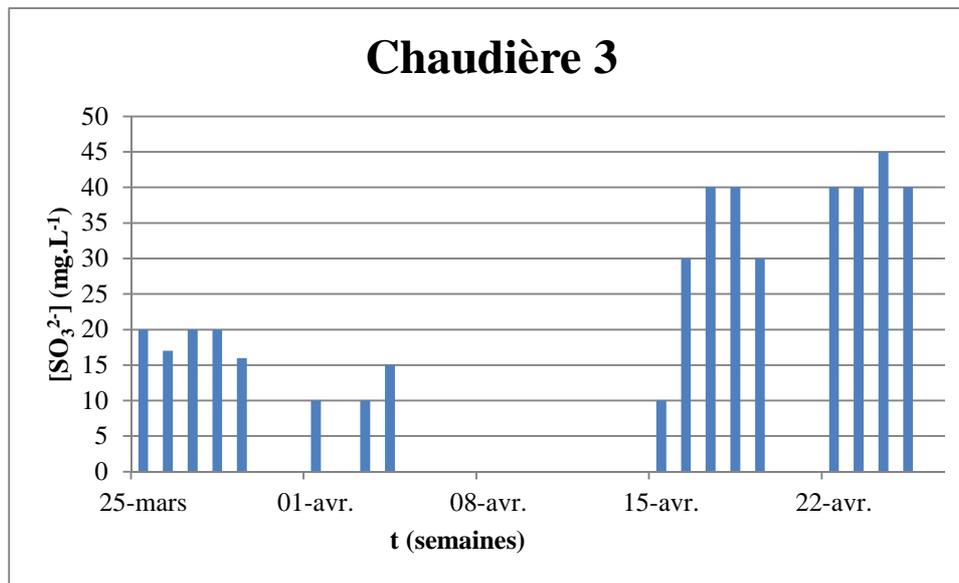


Figure V.7.2 : Variation des sulfites en fonction du temps pour la chaudière 2**Figure V.7.3** : Variation des sulfites en fonction du temps pour la chaudière 3

Pour des valeurs de température élevées, le sulfite a tendance à se décomposer en donnant du dioxyde de soufre SO₂ et de sulfure d'hydrogène H₂S qui contribuent à la corrosion.

Les sulfites sont essentiellement utilisés dans un complexe additif pour le traitement des chaudières dans le but, en cas de fuite de dureté due aux adoucisseurs ou à une pollution des retours de condensats, de précipiter cette dureté sous forme de boues, qui devient elle-même source de dépôts sur les parties chaudes.

Le sulfite de sodium en solution réagit avec l'oxygène dissous pour se transformer en sulfate. La réduction de l'oxygène par les sulfites augmente la salinité totale de l'eau de chaudières, permettant de neutraliser efficacement l'oxygène, facteur de corrosion.

V.8. Orthophosphates

Pour les orthophosphates, les teneurs sont représentées dans la figure V.8.

Le dosage par les orthophosphates permet de connaître l'état de l'osmoseur en prenant compte des teneurs enregistrées des orthophosphates de l'eau de l'entrée de l'osmoseur ainsi que celle du concentrât. Ce dosage montre que le rendement des trois osmoseurs est de plus de 70 %, ceci explique l'efficacité du traitement utilisé.

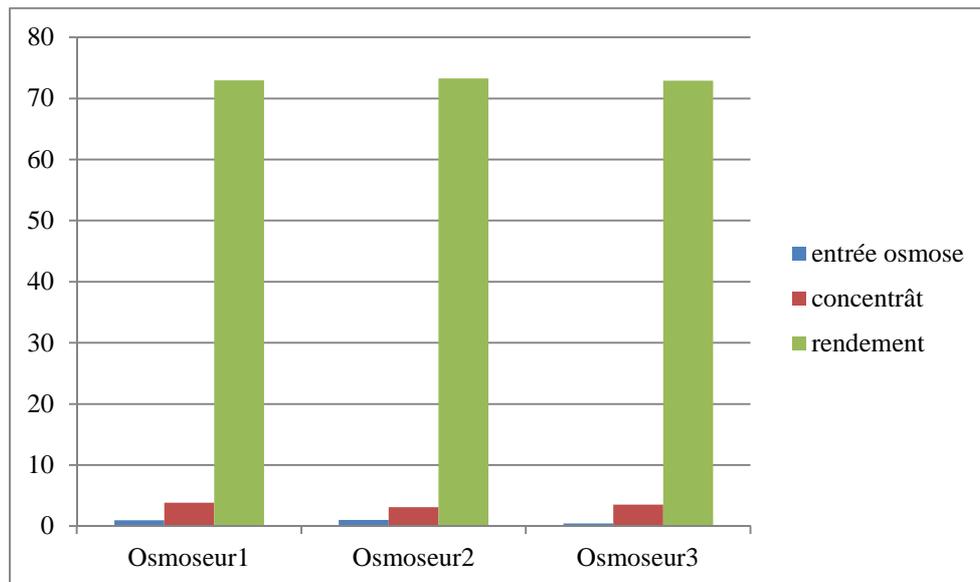


Figure V.8 : Analyse des orthophosphates

Les ortho phosphates proviennent de la dégradation de la matière organique ou des poly phosphates utilisés pour le traitement des eaux ou comme adjuvants actifs dans les détergents.

Les poly phosphates sont des produits minéraux obtenus par polycondensation des ortho phosphates caractérisés par la répétition du même motif structural.

Les poly phosphates complexent de nombreux cations tel que les Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} et agissent comme dispersants ou comme opposants à certaines réactions chimiques. Leurs applications essentielles concernent la prévention de l'entartrage et la stabilisation du fer de manganèse. Ils sont décomposés par l'eau dès leur mise en solution.

V.9. Indice de saturation de Ryznar

Les résultats du calcul de l'indice de saturation de Ryznar (RSI) par l'application EQUILWIN pour les eaux des bacs à glaces de la journée du 18 Avril 2018 sont présentés dans les figures V.9.1, V.9.2 et V.9.3. Les résultats des autres journées sont rapportés en annexe.

Les résultats montrent que toutes les valeurs de RSI sont dans le domaine des eaux corrosives et varient entre 8,17 et 9,91 ce qui provoque une dissolution de CaCO_3 .

Un traitement adéquat est donc nécessaire pour ramener cette eau à l'équilibre.

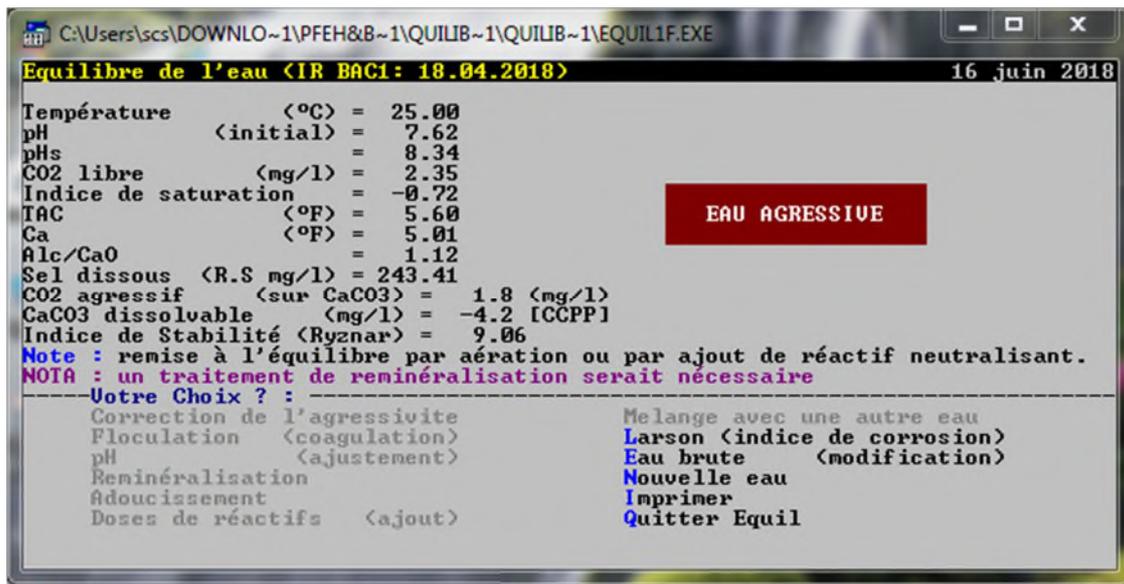


Figure V.9.1 : Analyse des eaux du BAC 1 du 18-04-18

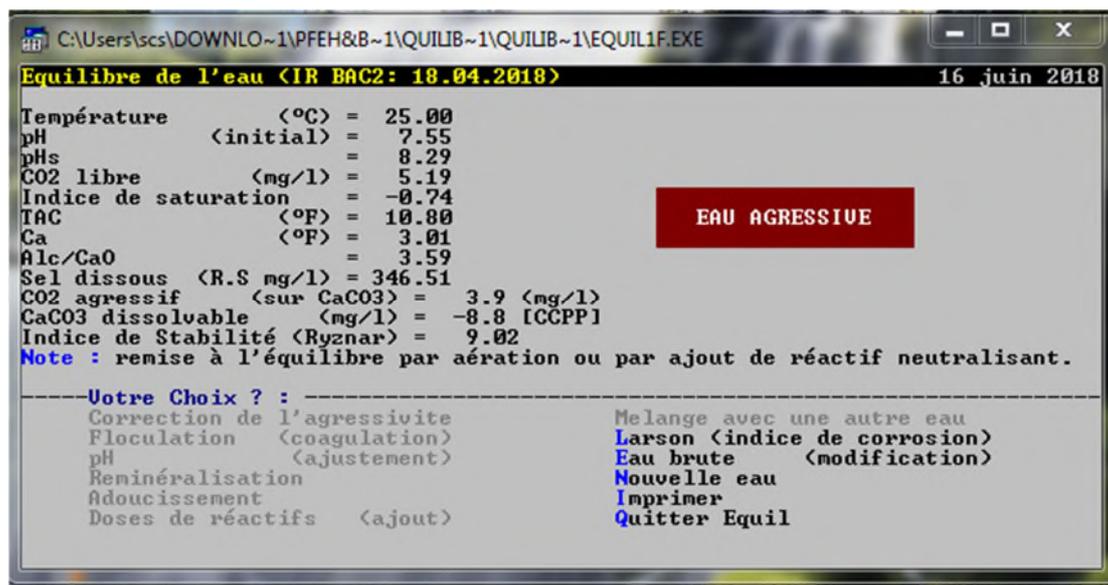


Figure V.9.2 : Analyse des eaux du BAC 2 du 18-04-18

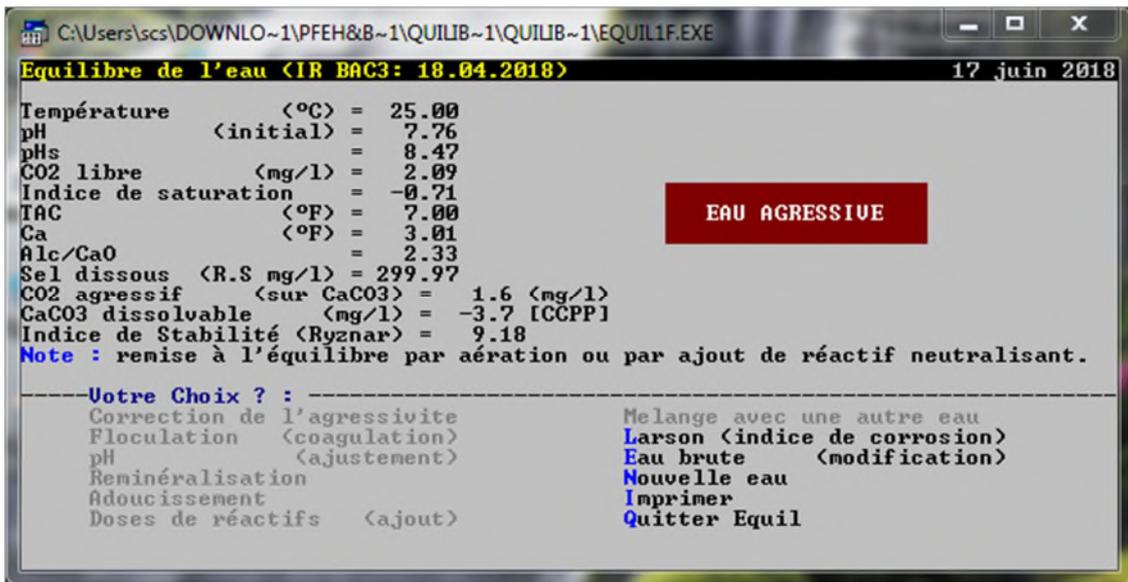


Figure V.9.3 : Analyse des eaux du BAC 3 du 18-04-2018

V.10. Essai au marbre

La figure V.10 représente une variation des pH initiaux et de saturation des trois bacs à glace. Les valeurs montrent des valeurs de pH de saturation supérieurs aux pH initiaux ceci indique qu'en atteignant l'équilibre, l'eau des bacs à glace fixe des sels. Elle est alors agressive.

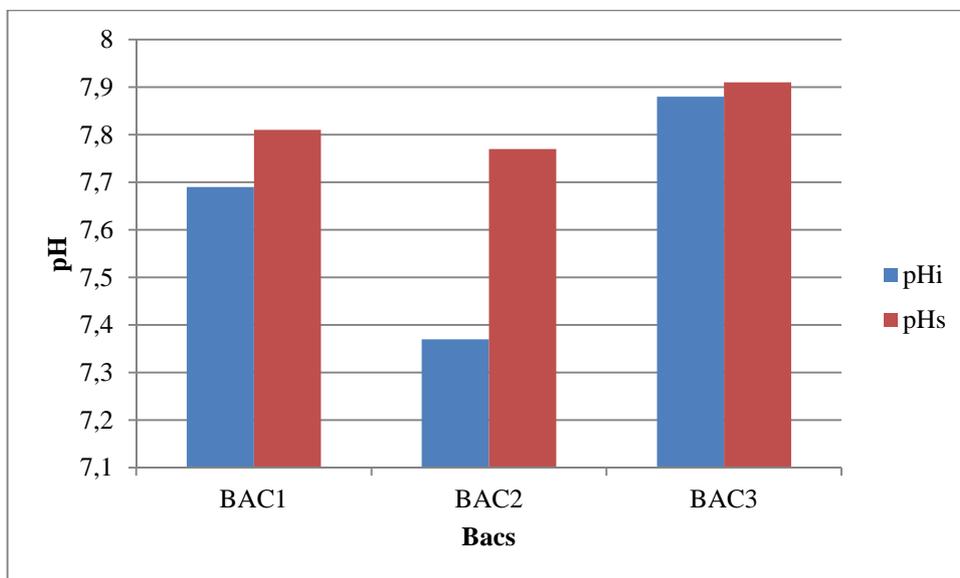


Figure V.10 : Comparaison entre pHi et pHs

V.11. Coefficient de sursaturation β

Ayant fait appel à une application mise en place par Monsieur R. Ketrane permettant de distinguer la nature entartrante ou corrosive de l'eau analysée via un coefficient de sursaturation (β).

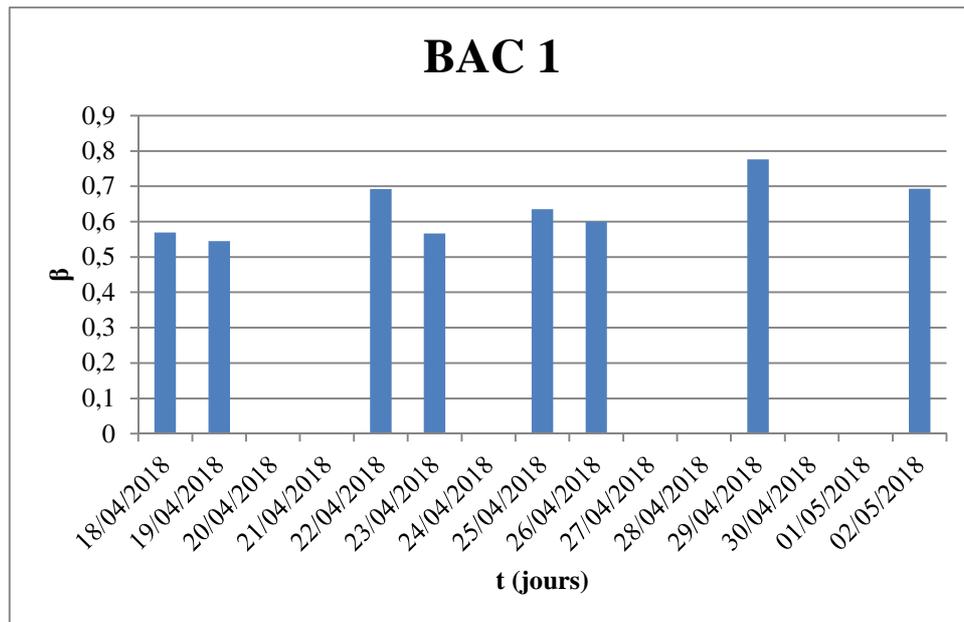


Figure V.11.1 : Variation β du en fonction du temps

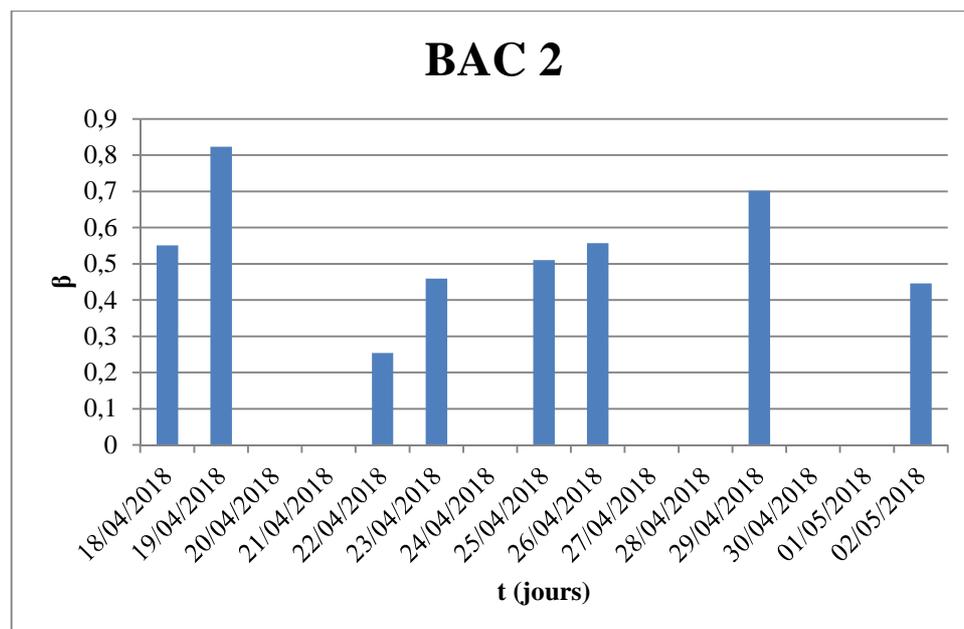


Figure V.11.2 : Variation β du en fonction du temps

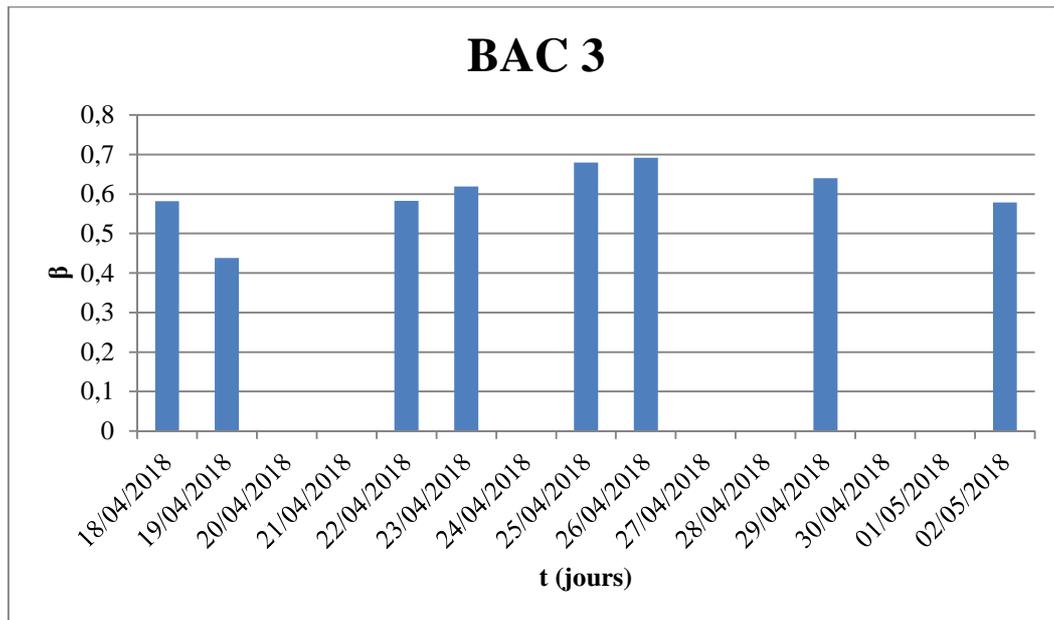


Figure V.11.3 : Variation β du en fonction du temps

Les résultats des trois bacs à glace au fil du temps montrent que la variation du coefficient de saturation β est inférieure à 1. Ceci confirme les résultats obtenus par l'essai au marbre et par calcul de l'indice de Ryznar en affirmant que l'eau est dite agressive et elle peut donc dissoudre le carbonate de calcium.

V.12. Métaux lourds

Afin de déterminer la teneur des métaux lourds présents dans les eaux utilisés à Candia Tchin-Lait de Bejaia, nous avons eu recours à la SAA que nous avons complété par l'étude avec la technique ICP, les résultats relevés sont exprimés en mg.L^{-1} .

Les figures V.12.1 et V.12.2 montrent les résultats du plomb, zinc, cuivre, nickel, cadmium et du fer respectivement sur la SAA et l'ICP en ppm.

Nous constatons que les métaux lourds sont présents à l'état de trace dans toutes les eaux de Candia Tchin-Lait, nous remarquons une nette diminution de leurs teneurs en eau filtrée et traitée comparément à l'eau brute.

Les résultats du plomb, du nickel et du cadmium ne présentent aucune anomalie sur toutes les eaux. Les normes étant de 0,10-0,5 et 3 mg.L^{-1} respectivement.

Les bacs à glace, quant à eux, présentent une teneur supérieure aux normes de 5 mg.L^{-1} en zinc et notamment sur le bac 3. La teneur en cuivre pour ce même bac est légèrement élevée par rapport aux autres eaux mais demeure dans les normes de $0,05 \text{ mg.L}^{-1}$.

Les teneurs en fer révèlent des valeurs supérieures aux normes de $0,3 \text{ mg.L}^{-1}$ pour chacune des chaudières 2, chaudière 3, bac 2 et bac 3.

Une augmentation dans les traitements antitartres et anticorrosion à base de molybdène seraient nécessaire.

Eau	Pb		
	SAA	ICP	SAA
Brute	-0,0603	0,00112554	0,0049
Traitée	-0,0617	2,33E-05	0,0143
Adoucie	-0,0332	7,27E-05	0,0651
Perméat	-0,0446	-5,38E-05	0,0188
Concentrat	0,0614	0,01110262	0,0261
Filtre1	0,0592	0,00028084	0,0154
Filtre2	0,0223	0,00153266	0,1455
Filtre3	0,0285	0,00032399	0,0288
Chaudière 1	0,0384	0,00096235	-0,0085
Chaudière 2	-0,0683	0,00111554	0,0153
Chaudière 3	0,0201	0,00052478	0,0259
Retour Condensat	-0,0775	-0,00038168	-0,0052
Bâche alimentaire	-0,0202	-0,00032743	-0,0103
Bac 1	0,2558	-0,00132061	0,0079
Bac 2	0,0391	-0,01318966	0,0257
Bac 3	-0,004	-0,03872658	-0,0284
Condenseur 1	0,017	0,00255253	4,5162
Condenseur 2	0,018	0,00261966	0,2956
Condenseur 3	0,0144	0,0040474	0,258

Figure V.12.1 : variation des métaux lourds par SAA et ICP

Zn	Cu	
	ICP	SAA
0,00105131	-0,005	-0,00081976
0,0075292	0,0515	-0,00333541
0,00011308	0,0422	-0,00222632
0,00499231	0,0971	-0,00664129
0,00498501	0,1159	0,00249329
0,00110709	0,0042	-0,001323
-0,00204563	0,0714	-0,00453081
-0,00341294	0,0237	-0,00608615
0,01204951	0,023	0,00357421
0,01212664	0,04	0,00175653
0,00516062	0,0021	-0,00265025
-0,00039145	0,0273	-6,47E-05
-0,00097924	0,0036	-0,00403186
0,04611563	0,1685	0,02700892
0,03629921	0,2057	0,71562249
5,63961373	0,1237	1,55744435
2,77551114	0,1186	0,01203902
3,2063636	0,0981	0,01418215
7,28594804	0,0439	0,00898947

Ni			Cd		
SAA		ICP	SAA		ICP
	0,0006	-0,01163716		-0,0175	0,00056168
	0,0018	-0,00393699		-0,0129	0,00044727
	0,0041	-0,00372829		-0,0049	0,00053862
	-0,0028	0,00023534		-0,0209	0,00033392
	-0,0064	-0,07814323		-0,019	0,00065532
	-0,0074	-0,01124408		-0,0166	0,00036811
	0,0032	-0,01104443		-0,0185	0,00043131
	-0,0003	-0,01074719		-0,0154	0,00051107
	-0,07	-0,05605926		-0,015	0,00036824
	-0,0053	-0,08303574		-0,0156	0,00037491
	-0,001	-0,03765639		-0,0164	0,00041101
	0,0075	0,0001155		-0,0175	0,000307
	-0,0064	-0,00252325		-0,0127	0,00043967
	-0,0049	-0,00146798		-0,0124	0,00063048
	0,0236	0,0035708		-0,0131	0,00103459
	-0,0082	0,01475233		-0,015	0,00184084
	0,0063	-0,0122731		-0,018	0,00047712
	0,0083	-0,01070787		-0,0154	0,00037659
	-0,0003	-0,0110263		-0,0164	0,00040516

	Fe	
SAA		ICP
		0,04934973
		0,02859418
		0,00273212
		0,00098134
		0,0246602
		0,00496835
		0,00639063
		0,00477883
		0,09619511
		0,32952581
		0,76298588
		0,01207177
		0,0035288
		0,25501777
		2,09190618
		2,8420944
		0,018538
		0,02980786
		0,08601588

Conclusion

Conclusion

L'eau, élément indispensable à la vie, doit être protégée et sa qualité doit être régulièrement contrôlée.

La présente étude a porté sur l'évaluation de la qualité physico-chimique de l'eau utilisée à Candia Tchín-Lait de Bejaia.

La qualité des eaux est souvent estimée par la mesure des paramètres physico-chimiques qui doivent se plier aux normes préconisées par l'OMS ou normes algériennes.

Les résultats des analyses physico-chimiques de l'eau brute montrent que cette dernière est caractérisée par un pH aux alentours de 7, une moyenne de 1300 à 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour la conductivité ionique, une concentration moyenne de 93 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ en chlorures, un TH moyen de 42°f et une alcalinité moyenne de 19°f. Ces valeurs sont réduites par l'unité Candia Tchín-lait en suivant des normes internes afin de préserver leurs équipements.

Les résultats des analyses des métaux lourds par la spectrométrie d'absorption atomique et par ICP-AES ont révélé que les eaux ne présentent aucune anomalie sur le plomb, le nickel, le cuivre et le cadmium.

L'étude du système calcocarbonique par l'indice de saturation de Ryznar, l'essai au marbre et le coefficient de sursaturation β a montré que les bacs à glace sont sujets à la corrosion et l'analyse des métaux lourds a révélé une présence de zinc et de fer. Un traitement efficace est donc obligatoire.

L'eau traitée semble être conforme avec les directives et les normes de qualité pour les eaux de surface, destinées à la production de l'eau potable. On peut donc avancer que, du point de vue qualité physico-chimique, l'eau utilisée par l'unité Candia Tchín-Lait de Bejaia est apte à satisfaire la plupart des usages, y' compris l'alimentation des eaux de process industriels.

Références
Bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] J.P.MERICQ, « Approche intégrée du dessalement de l'eau de mer : distillation membranaire sous vide pour la réduction des rejets salins et possibilité de couplage avec l'énergie solaire », thèse de doctorat, l'INSA Toulouse (2009).
- [2] N.BENFERHAT, M.BENFERHAT, « L'enjeu de l'eau », revue mensuelle n°05, ed.Marinoor (1997).
- [3] M.FELLRATH, J.TARRADELLAS, « Qualité des eaux », école polytechnique fédérale de Lausanne, publication n°04 (1977).
- [4] « Prévention de la pollution dans l'industrie laitière », Centre d'Activités Régionales pour la Production Propre (CAR/PP), Espagne 2-19 (Mai 2002).
- [5] M.DURANO et P.FAVART, «la cellule» éd. Harman (1972).
- [6] Y. OLIVAUX, «La nature de l'eau», *Ed. Marco Pietteur*. France. p563 (2007).
- [7] R.KETRANE, « Characterization of natural scale deposits formed in southern Algeria groundwater. Effect of its major ions on calcium carbonate precipitation» (2010).
- [8] S.BEN ABDALLAH et A.BOURENANE, « Analyses physico-chimiques de l'eau de générale emballage en vue de son utilisation pour l'élaboration d'une colle », mémoire de master. (2013).
- [9] F.REJSEK, « Analyse des eaux » collection biologie technique science et technique de l'environnement, éd. Scérén.
- [10] F.REJSEK, « Analyse des eaux aspects réglementaires et techniques », éd CRDP, Aquitaine France. (2002).
- [11] J.RODIER, C.BAZIN, J.P.BROUTIN, P.CHAMBON, H.CHAMPSAUR, et L.RODI, « L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer », Ed Dunod, Paris. (2005).
- [12] M.Tardet-Henry, «Chimie des eaux», 1ere édition griffon d'argile INC, Paris. (1984).
- [13] N.ZAIDI, S.SKLAB, « Étude de l'efficacité de l'inhibiteur d'entartrage MEDHYBIT par la technique de dégazage contrôlé. Effet de la dureté, de la température et du substrat ». Mémoire de DEUA, université de Bejaia (2009).
- [14] « Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface », Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement, (Novembre 2005).
- [15] « La dureté de l'eau », Réseau éco-consommation, fiche n°27. Avec le soutien du ministère de l'environnement de France, région wallonne. 29 rue de Montigny, 6000 Charleroi, 071/300.301.

- [16] M.DORE, « Chimie des oxydants et traitement des eaux », édition technique et documentation, Lavoisier, (1995).
- [17] J.RODIER, « Analyse de l'eau, eaux de mer, eaux résiduaire », 7^{ème} édition, Dunode, Paris. (1984).
- [18] A.DUPONT, Hydraulique urbaine, tome 1, Hydrologie-Captage et traitement des eaux, éd 5, Paris. (1981).
- [19] S.CHAMEBREK, M.BEZZI, « Conception et réalisation d'une installation d'étude du phénomène d'entartrage par la méthode de dégazage contrôlé LCGE. Influence de certains paramètres », thèse d'ingénieur, Université Bejaia (2005).
- [20] A.BALASKA, « Traitement de l'eau usée de la laiterie edough-Annaba par des procédés physicochimiques et biologiques », mémoire de magister. (2005).
- [21] K.CHAUSSE, L.NORMANDIN, D.GAUVIN, P.LEVALLOIS, « Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine », Ed. Institut national de santé publique. Québec. (2003). 14 p.
- [22] C.CAMPAGNA, D.PHANEUF, P.LEVALLOIS, « Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine », Ed. Institut national de santé publique. Québec. (2012). 11 p.
- [23] OMS (W.H.O.): WORLD HEALTH ORGANISATION, Background document for preparation of WHO Guidelines for drinking-water quality. Geneva. World Health Organisation. (2003).
- [24] J. ASSOULINE et S.ASSOULINE, « Géopolitique de l'eau », France (2007).
- [25] CSHPF, Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France, « Recommandations sanitaires relatives à la désinfection des eaux usées urbaines Section des eaux », (1995).22 pages.
- [26] J.A.FABY et F. BRISSAUD, « L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation », Office International de l'Eau, (1997).pp76.
- [27] UAE, « Les principaux procédés de traitement de l'eau au point d'utilisation, Aqualogie le magazine des affineurs de l'eau », (Septembre 1997), n°21 pp. 48-51.
- [28] A.MALVOISIN, « Contrôle de l'efficacité et de l'innocuité des appareils de traitement d'eau domestiques », thèse d'ingénieur de génie sanitaire, Ecole nationale de la santé public. Rennes (2004).
- [29] UAE, « L'eau adoucie. Principes de base, Aqualogie le magazine des affineurs de l'eau », (septembre 1996) n°17, pp 21-23.

- [30] A.HADFI, « Evaluation du pouvoir entartrant des eaux du secteur agricole du grand Agadir et mise en évidence de l'effet inhibiteur de quelques engrais phosphatés », Thèse de Doctorat, université Ibn Zohr d'Agadir (2012).
- [31] A.HODIAUMOONT, J.MEHEUUS, P.PEETERS, et al, « Le traitement de l'eau domestique », Belguaqua, (Février 2004).
- [32] J.K.LIOU, « Géométrie des modules in: Les séparations par membrane dans les procédés de l'industrie alimentaire », Lavoisier - Tec & Doc, (1998).
- [33] A.MAUREL, « Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres », Lavoisier - Tec & Doc, (2006).
- [34] M.GAMRASNI ; « Dureté de l'eau », association Française pour l'étude des eaux, (1982).
- [35] « Dictionnaire du traitement de l'eau UAE » Union des entreprises d'Affinage de l'Eau. 22rue de la pépinière 75008 PARIS.
- [36] H.ROQUES, « fondement théorique du traitement chimique des eaux ».Vol I, techniques et documentations-Lavoisier, Paris(1990).
- [37] K.WALHA, « Procédés de lutttes contre l'entartrage par les eaux géothermales du sud tunisien », thèse de doctorat, Université de Sfax (1999).
- [38] Y.HANAFI, « caractérisation électrochimiques et inhibition par l'acide hydroxy prophyndiphosphonique : cas de la pompe à vide de la papeterie de Baba-Ali », mémoire de magister, université de Boumerdes (Octobre 2005).
- [39] M.M.Tlili, « étude des mécanismes de précipitation de carbonate de calcium, application à l'entartrage », thèse de doctorat, université de Sfax (2002).
- [40] N.BENHEDAN, « Qualité microbiologique du lait cru destiné à la fabrication d'un type de camembert dans une unité de l'est algérien », mémoire de magister, Université MENTOURI, Constantine (2012).
- [41] R. JEANTET, T. CROGUENNEC, M.MAHAUT, P.SCHUCK, G. BRULÉ, « Les produits laitiers 2ème Ed », techniques et documentations-Lavoisier, 185 (2008).
- [42] C.WILLIAM W, « Composition and structure of milk lipids »,ed Fox PF,Advanced Dairy Chemistry, Volume 2, Lipids, 2nded, 1-28 (1995).
- [43] E.Fredot « Connaissance des aliments, bases alimentaires et nutritionnelles de la Diététique », techniques et documentations - Lavoisier, Paris, 397 (2007).
- [44] C.Alais « La micelle de caséine et la coagulation du lait », 4ème édition, Ed Sepaic, Paris, 723-764 (1984).

- [45] C.Vignola, « Science et technologie du lait : transformation du lait » Ed école Polytechnique de Montréal. 154-175 (2002).
- [46] M.Apfelbaum, C.Forrat, P.Nillus, « Diététique et nutrition », Ed Masson, Paris, 479 (1995).
- [47] S. POUGHEON, « contribution à l'étude des variations de la composition du lait et ses conséquences en technologie laitière », thèse de doctorat, Université Paul-Sabatier Toulouse (2001).
- [48] Y.W.PARK, M. JUAREZ, M.RAMOS, G.F.W.HAENLEIN, « Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk. Small Ruminant Research », 68, 88–113 (2007).
- [49] M.F. LUQUET, « Laites et produits laitiers : vache, brebis, chèvre : les produits laitiers, transformation et technologies », Collection Sciences et Techniques Agro-Alimentaires, 3-4, 2eme Ed, 1990.
- [50] E.VIERLING, « Aliments et boissons : filières et produits », Ed Doin, 3 ème ed, 15 (2008).
- [51] N.GUEZLANE-TEBIBEL, N.BOURAS Nouredine, M.OULD EL HADJ Mohamed Didi, « Les mycotoxines : un danger de santé public », Algerian Journal of Arid And Environment (AJAE) (2008).
- [52] C. MOHTADJI-LAMBALLAIS, « Les aliments », ED. Moloine, Paris, 24-93 (1989).
- [53] C.ESNAUT, A.MANSOUR, « Un nouveau procédé d'injection de vapeur : application à la mise au point d'un nouveau traitement thermique du lait », 70, 233-254 (1990).
- [54] P.O.FANICA, « Le lait, la vache et le citadin : du XVIIe au XXe siècle », Quae éditions, 400 (2008).
- [55] R.EARLY, « The technology of dairy products », ed Springer, 32-34 (1998).
- [56] M. RANKEN, R.C KILL, C.BAKER « Food industries manual », ed Springer (1997).
- [57] D.F.NEWSTEAD, G.PATERSON, S.G.ANEMA, C.J.COKER, A.R. WEWALA, « Plasmin activity in direct-steam-injection UHT-processed reconstituted milk: Effects of preheat treatment », International dairy journal, 16, 573–579 (2006).
- [58] FAO. (1995) « Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine (Vol. 28) », Food & Agriculture Org, 135-145 (1995).
- [59] J.POUYAT-LECLERE, I.BIRLOUEZ-ARAGON, « Cuisson et santé : la cuisson, c'est capital pour la santé », ed Alpen Editions, 85-89 (2005).
- [60] J.MOTTAR, « Considérations sur la cinétique chimique de réchauffement du lait à ultra-haute température ». Le Lait, Dairy science, 61(608), 503-516 (1981).
- [61] J.ADRIAN, « Les traitements thermiques appliqués aux produits laitiers et leurs conséquences dans le domaine azoté ». Le Lait, Dairy science, 55(541-542), 24-40 (1975).

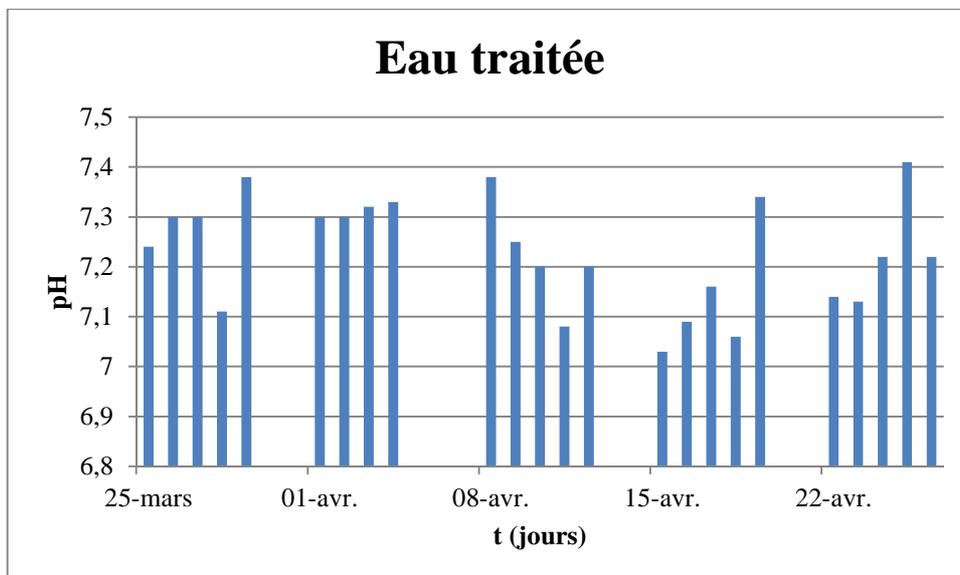
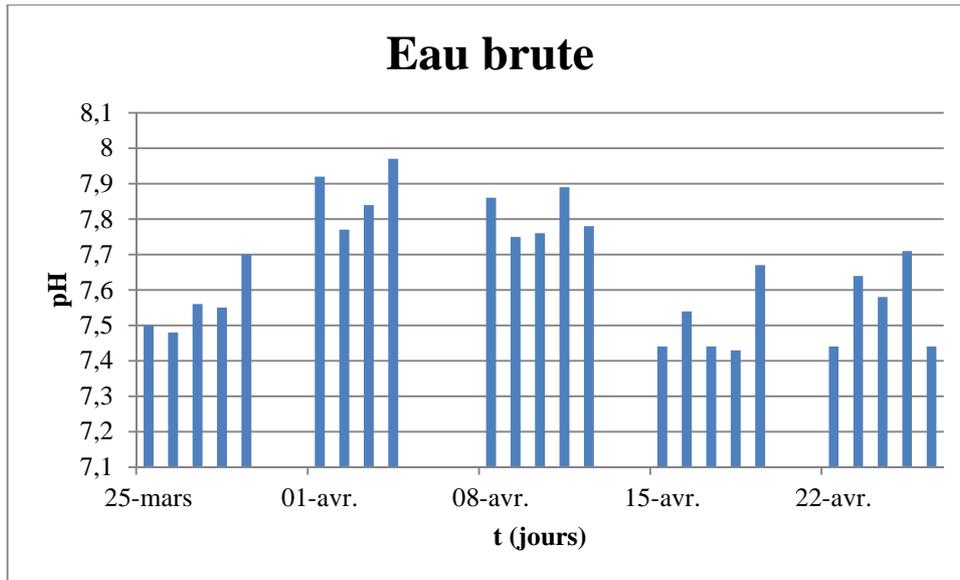
- [62] M.Pellet, « Contribution à l'étude du lait stérilisé », Le lait, Dairy science (1928).
- [63] G.DEBRY, « Lait, nutrition et santé » technique et documentation - Lavoisier, 21-89 (2001).
- [64] F.GAUCHERON, « Minéraux et produits laitiers » techniques et documentations - Lavoisier, Paris, 81-112(2003).
- [65] Centre National de Coordinations des Etudes et Recherches sur la Nutrition et l'Alimentation, « Lait de consommation », Conférence de presse du 5 novembre 1981, Paris.
- [66] E.VIERLING, « Aliment et boisson-science des aliments », ed doin, centre régional de la documentation pédagogique d'Aquitaine, 11 (2007).
- [67] E.FREDOT, « Connaissance des aliments-Bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique », techniques et documentations - Lavoisier, 25 (2006).
- [68] J.Pien, « étude de la stérilisation technique laitière », éd INRA, 746,18-20 (1972).
- [69] F.ARIE, W.SriKumalaningsh, « Process engineering of drying milk powder with Foam mat dryning method», journal of basic and applied scientific research, 3588-3592(2012).

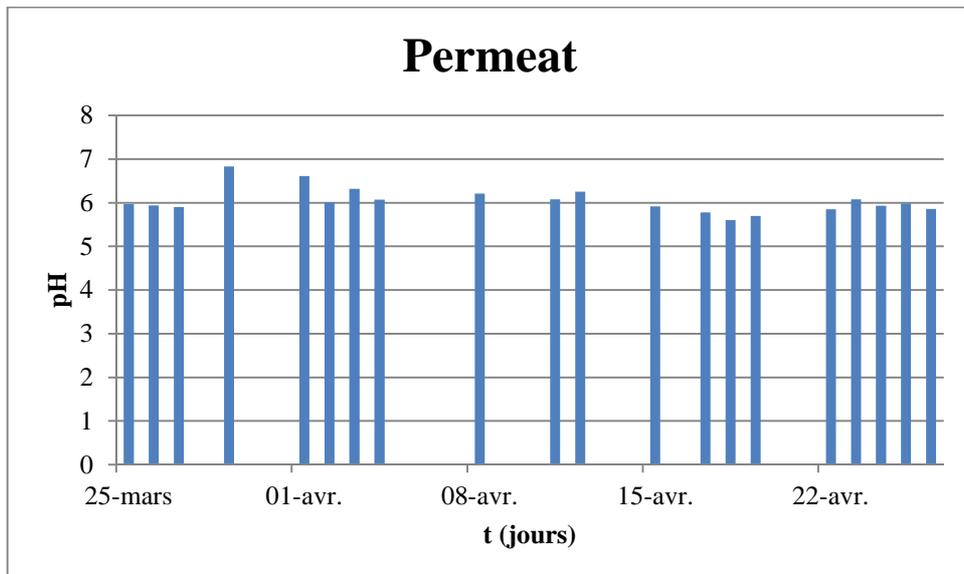
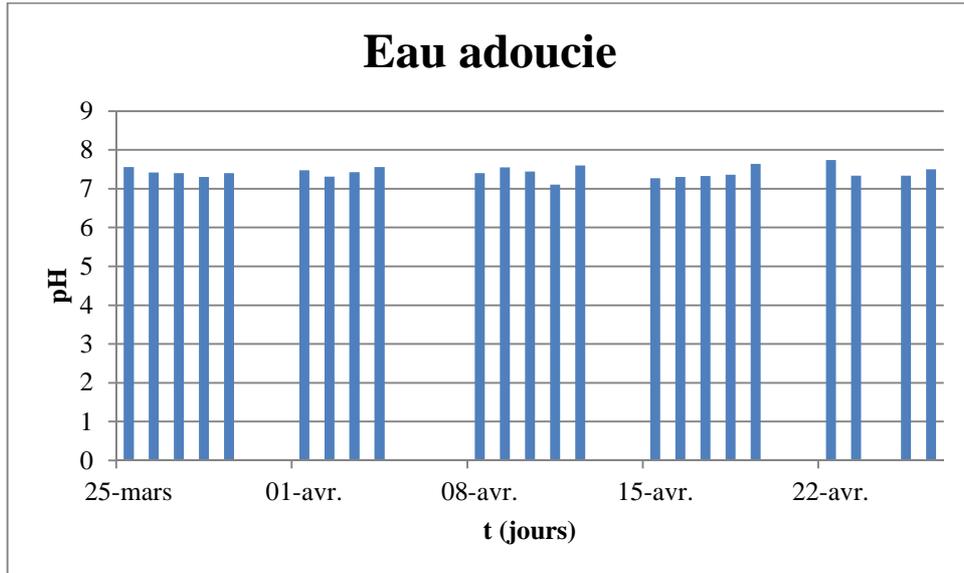
Annexes

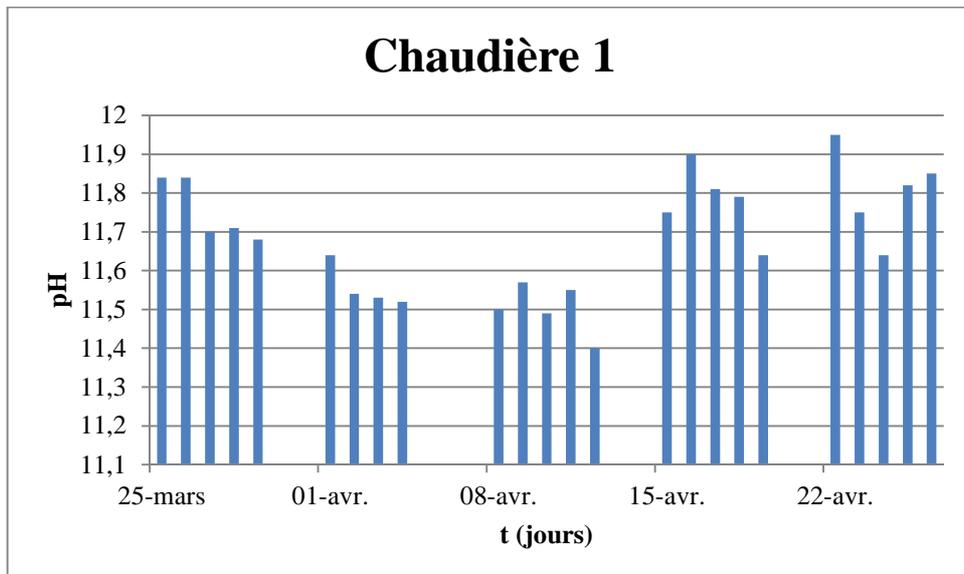
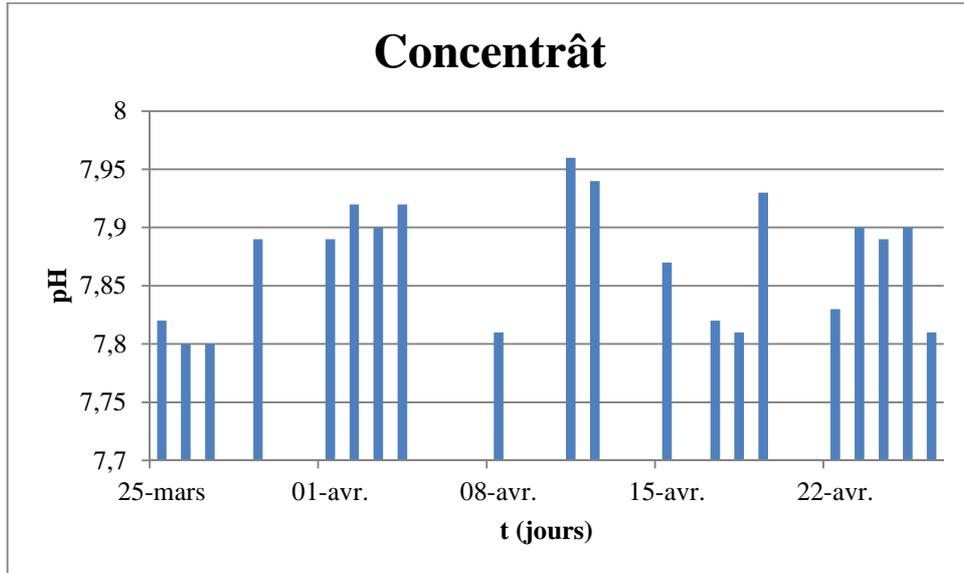
Annexe I

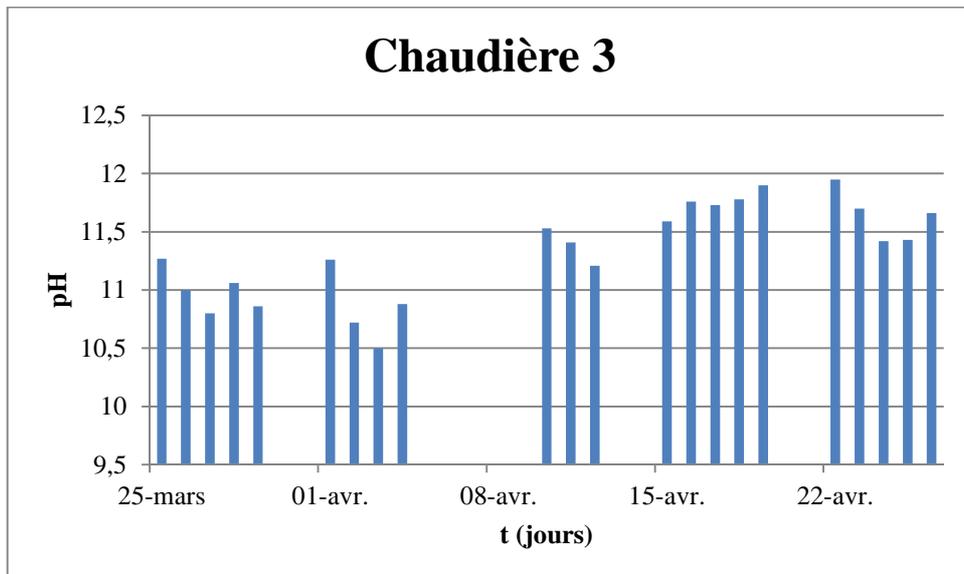
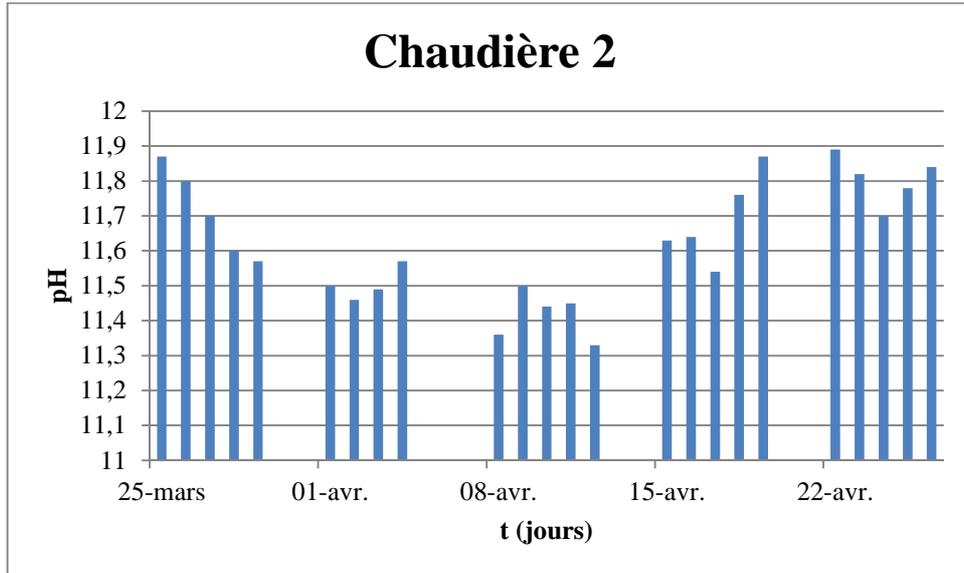
Représentation graphique du pH

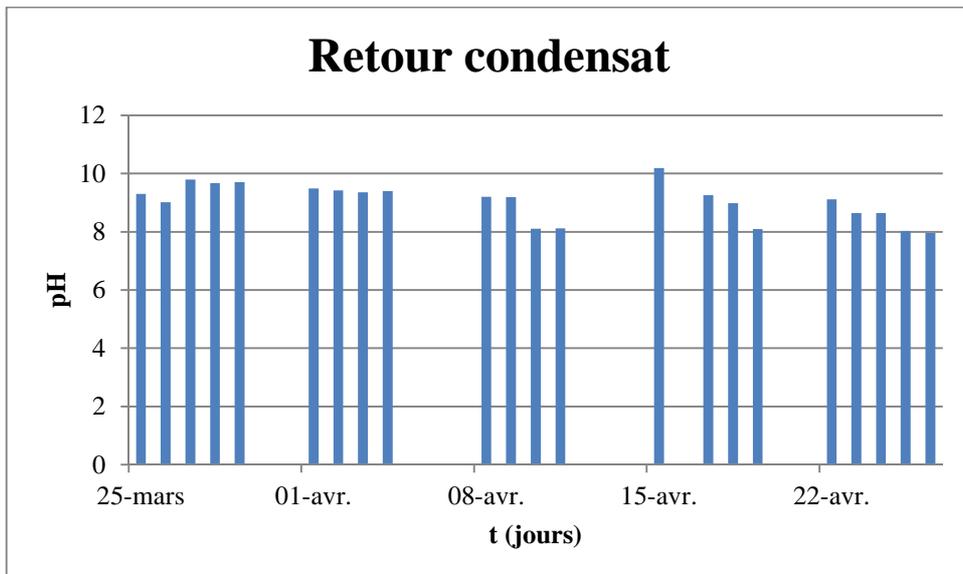
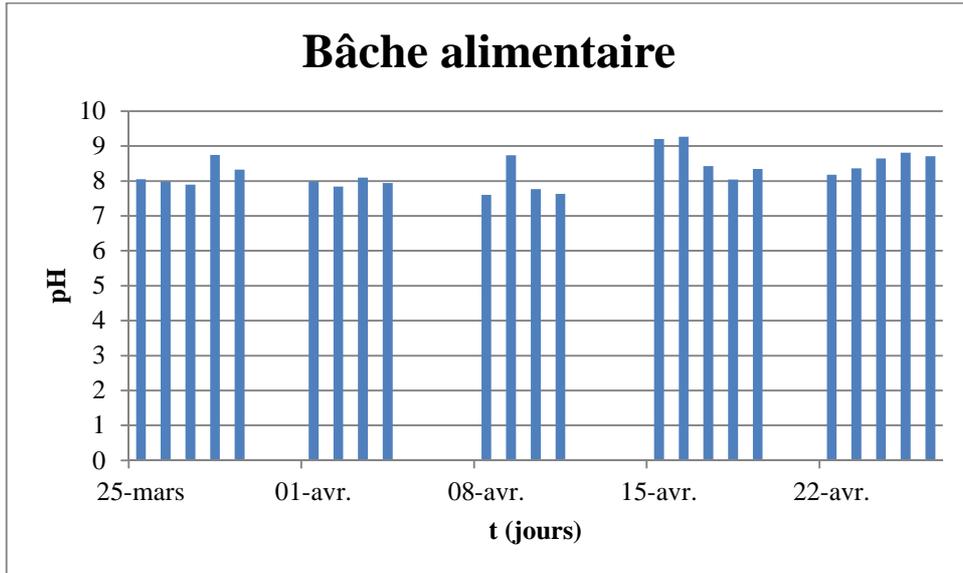
Variation du pH en fonction du temps pour l'eau brute, traitée, adoucie, permeat, concentrât, chaudière1, chaudière2, chaudière3, retour condensat, bêche alimentaire, BAC1, BAC2, BAC3, condenseur1, condenseur2, condenseur3.

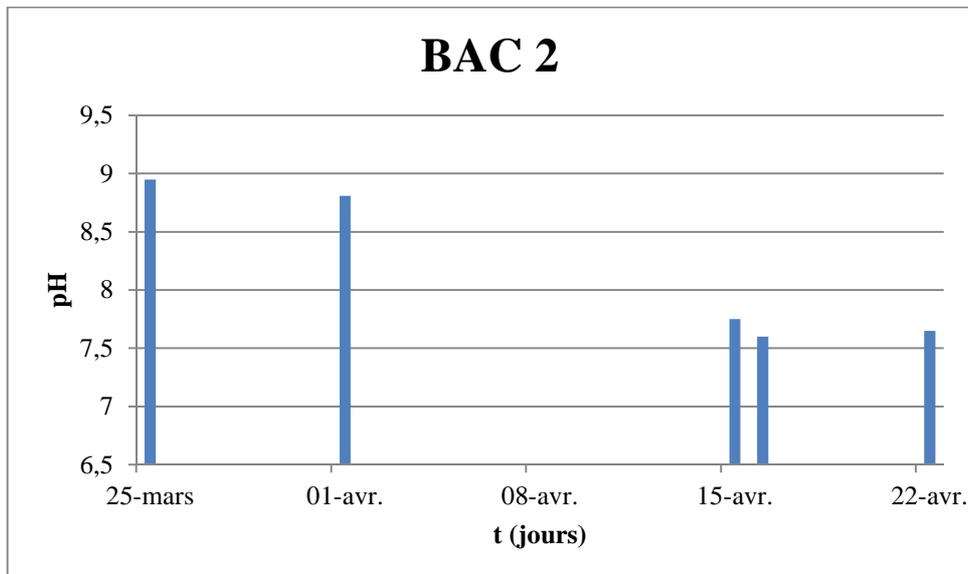
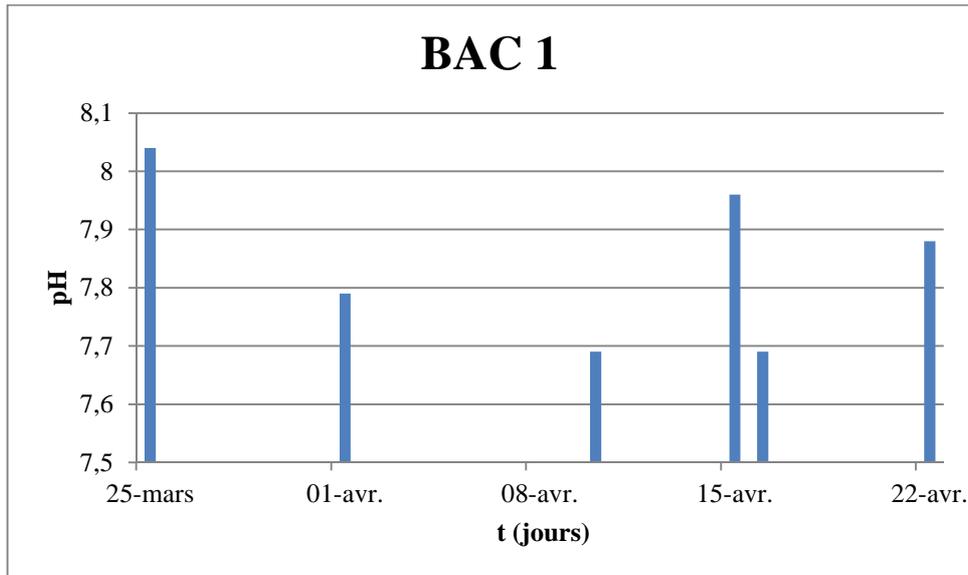


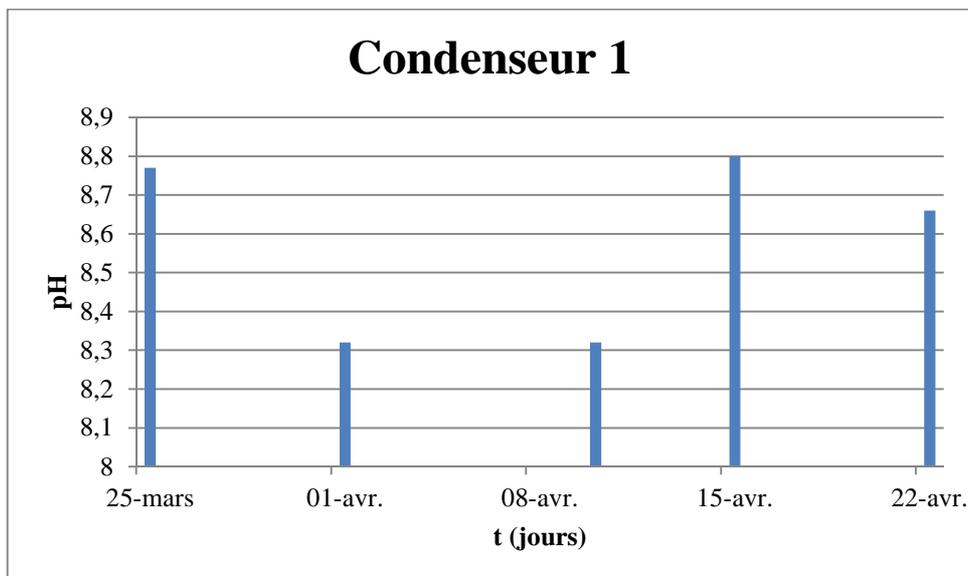
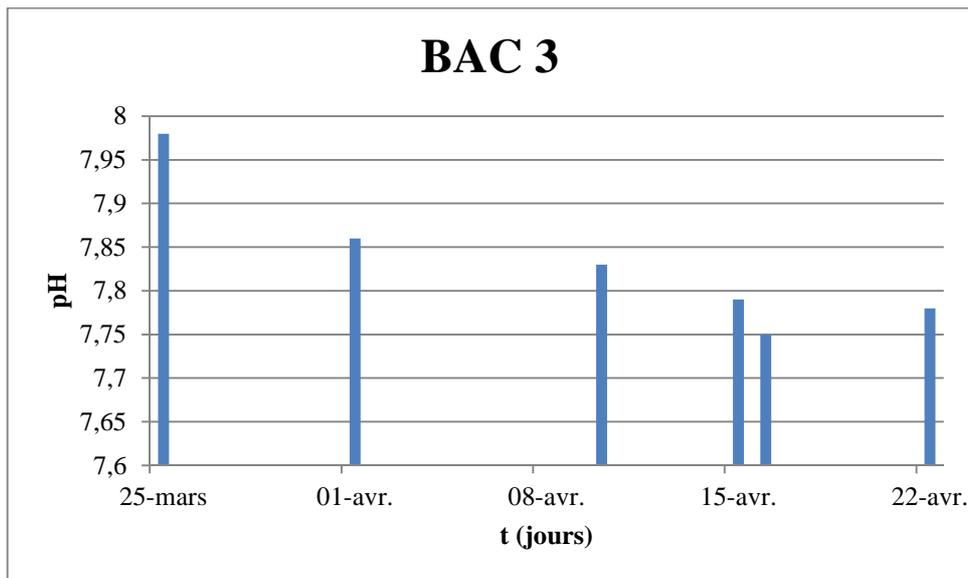


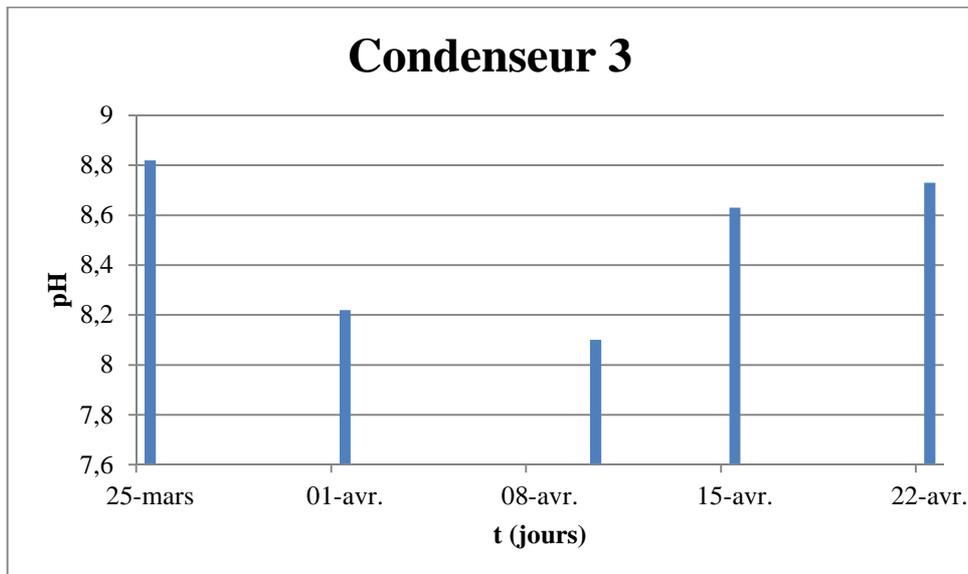
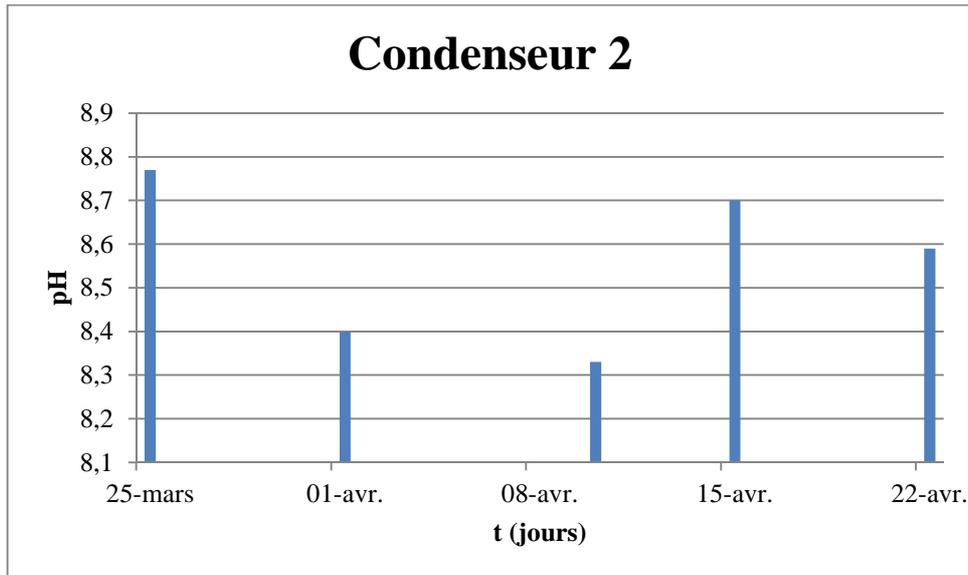






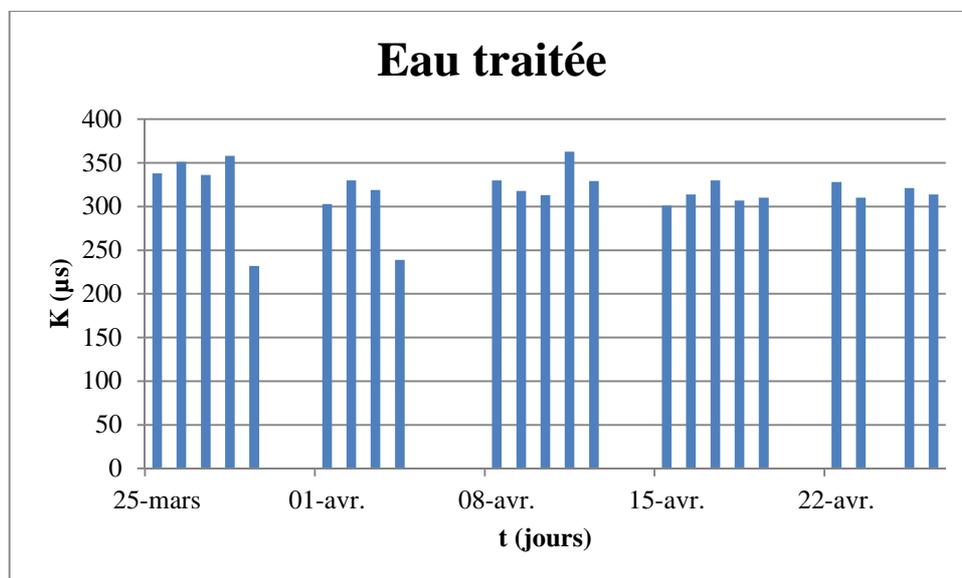
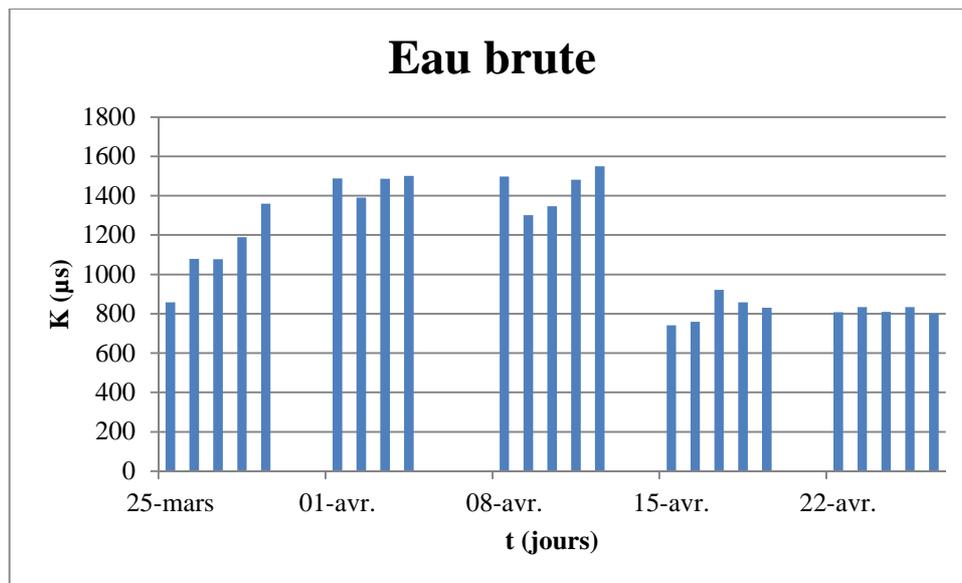


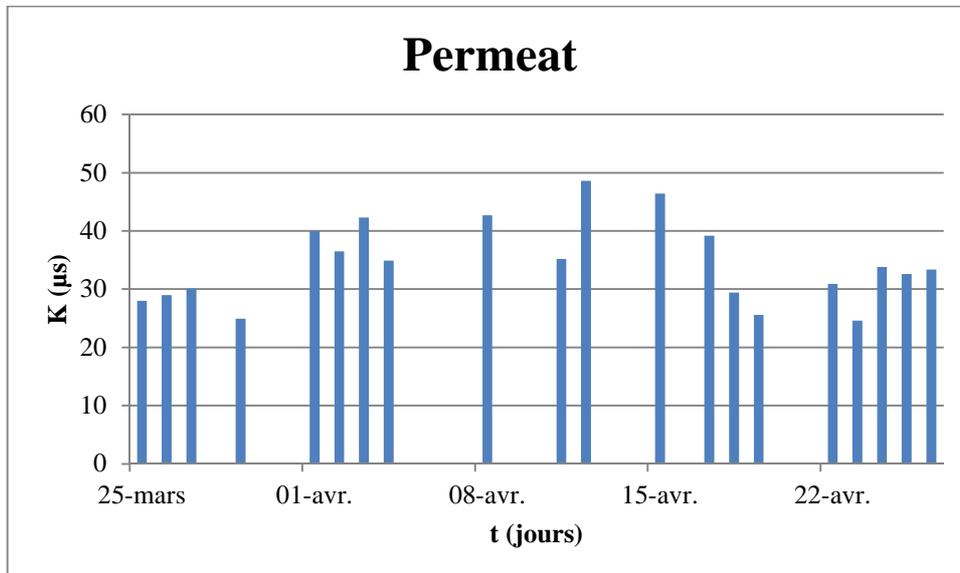
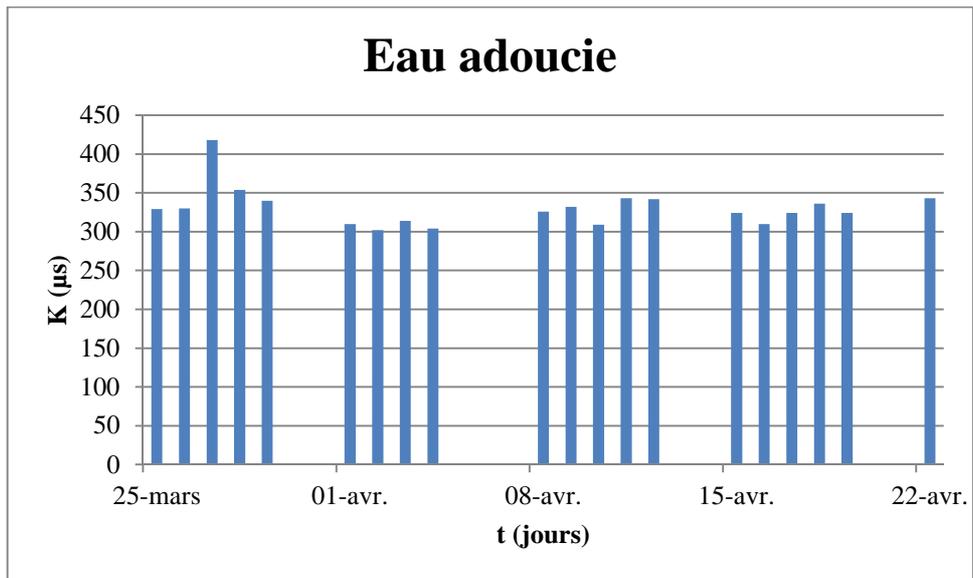


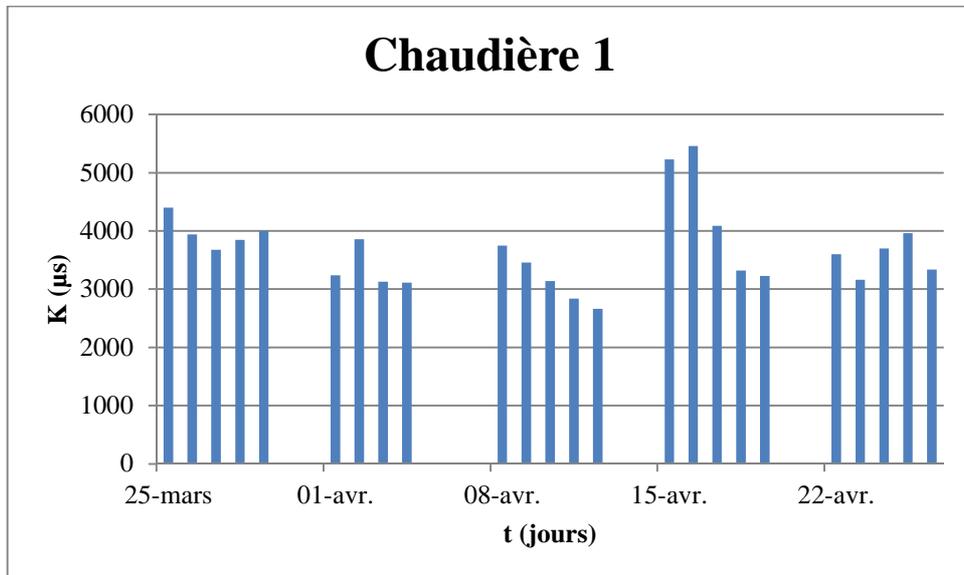
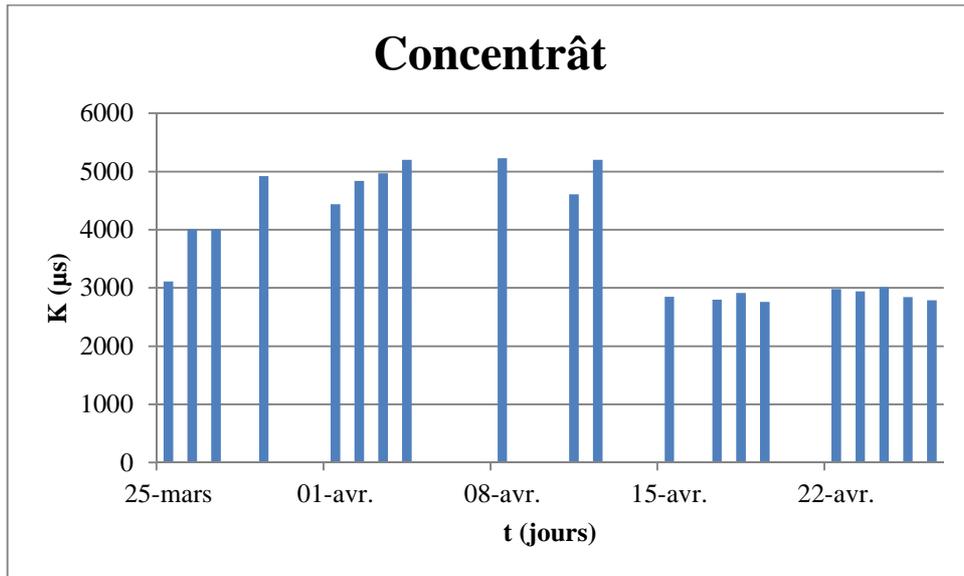


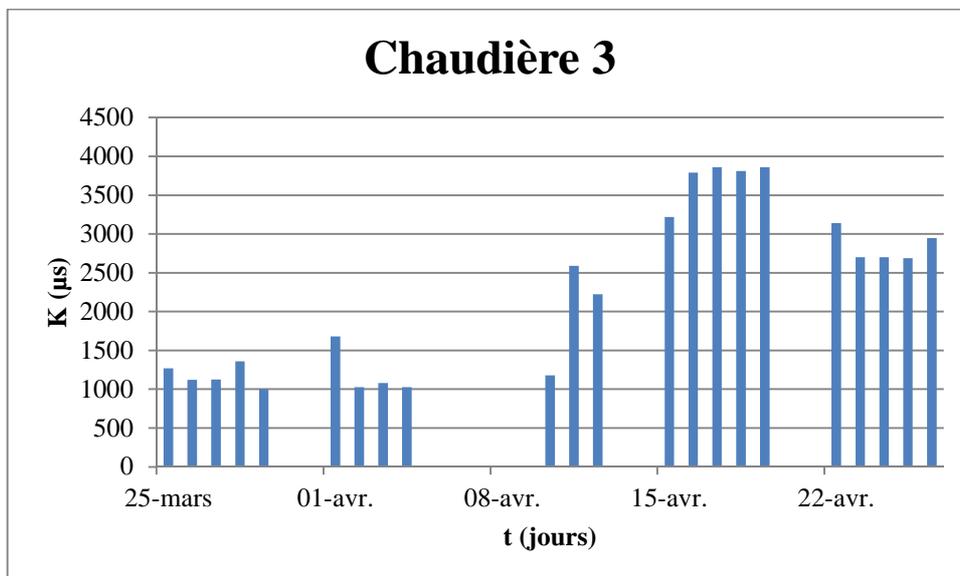
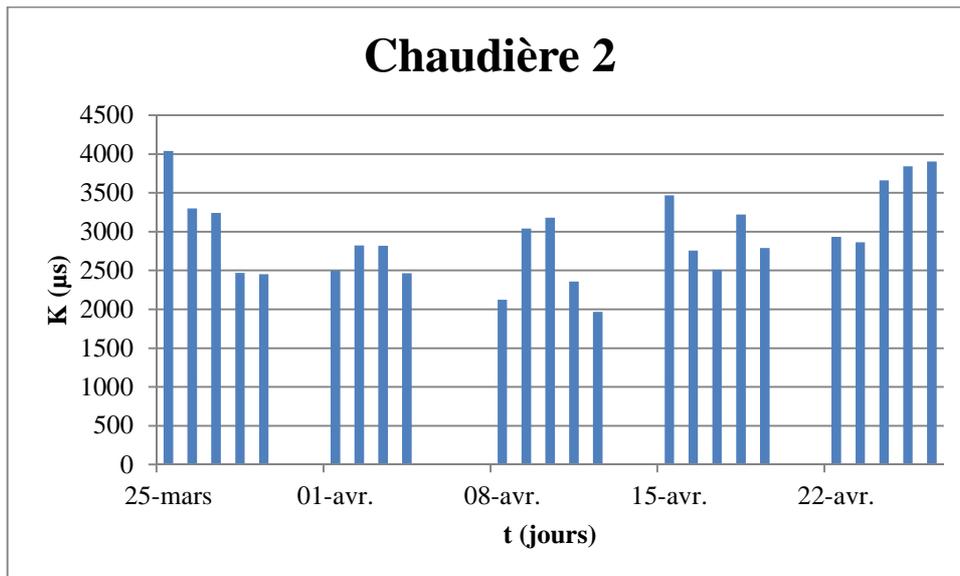
Annexe II**Représentation graphique du K**

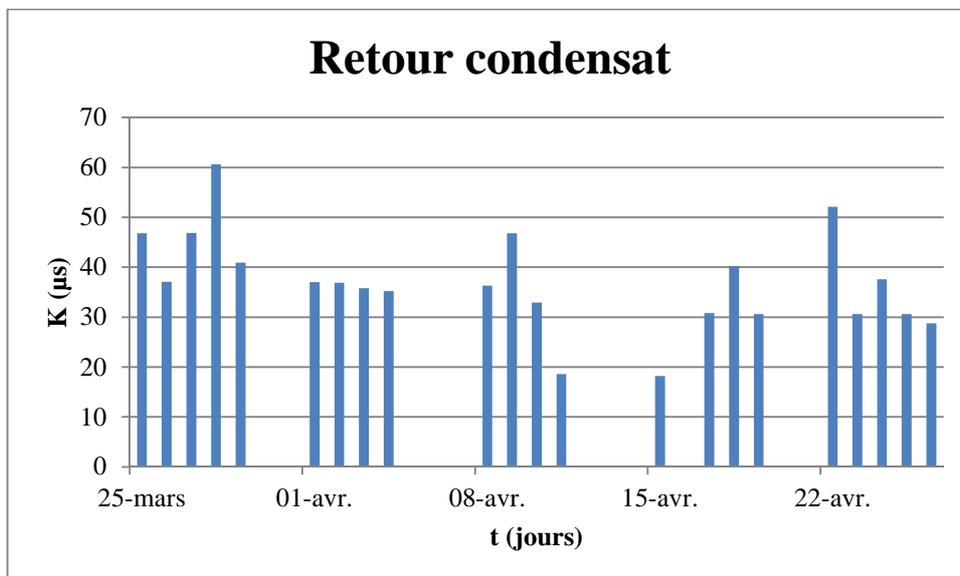
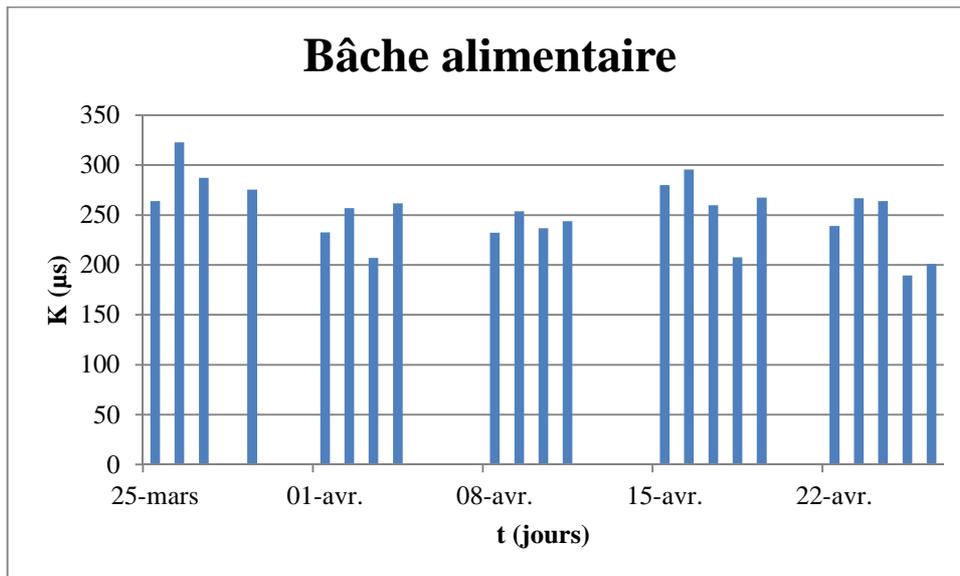
Variation du K en fonction du temps pour l'eau brute, traitée, adoucie, permeat, concentrât, chaudière1, chaudière2, chaudière3, retour condensat, bache alimentaire, BAC1, BAC2, BAC3, condenseur1, condenseur2, condenseur3.

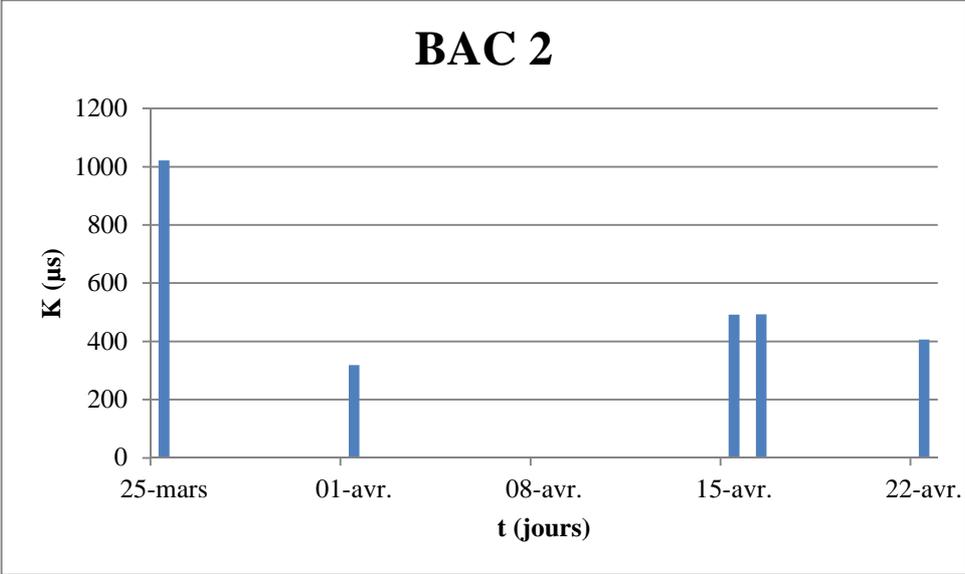
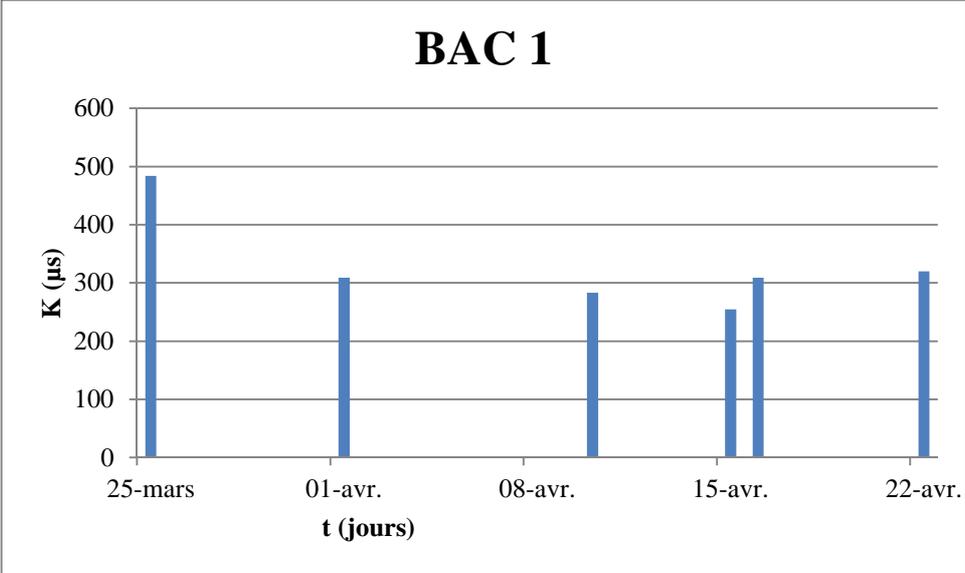


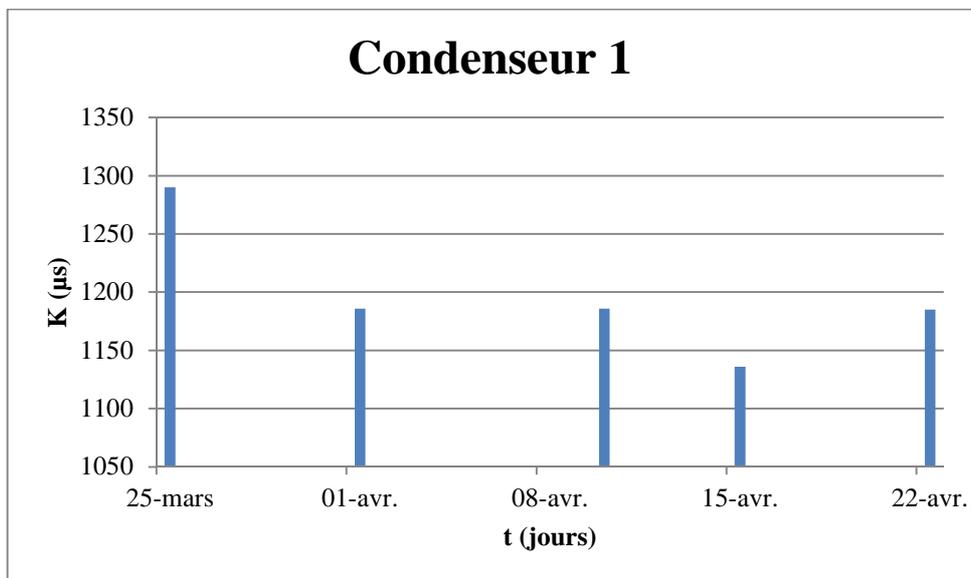
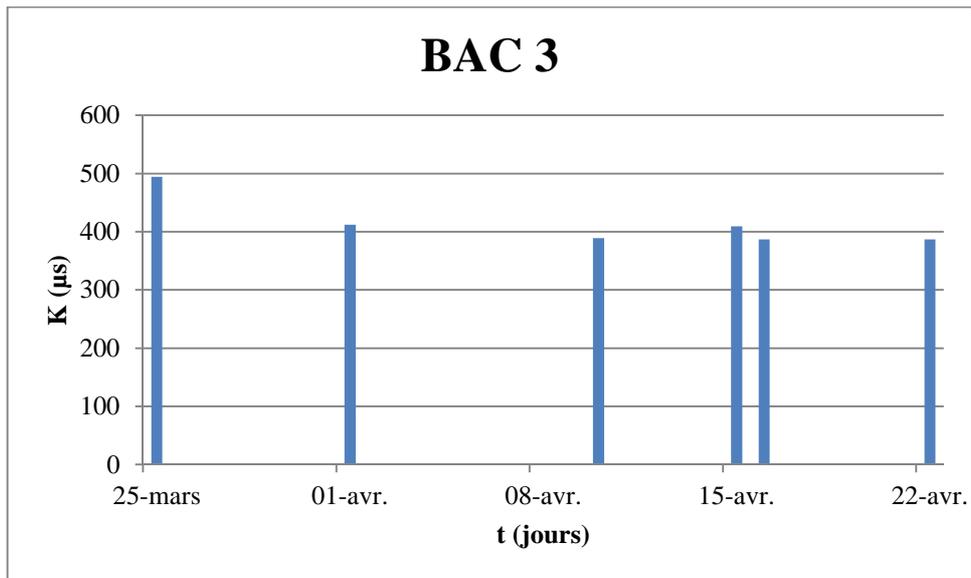


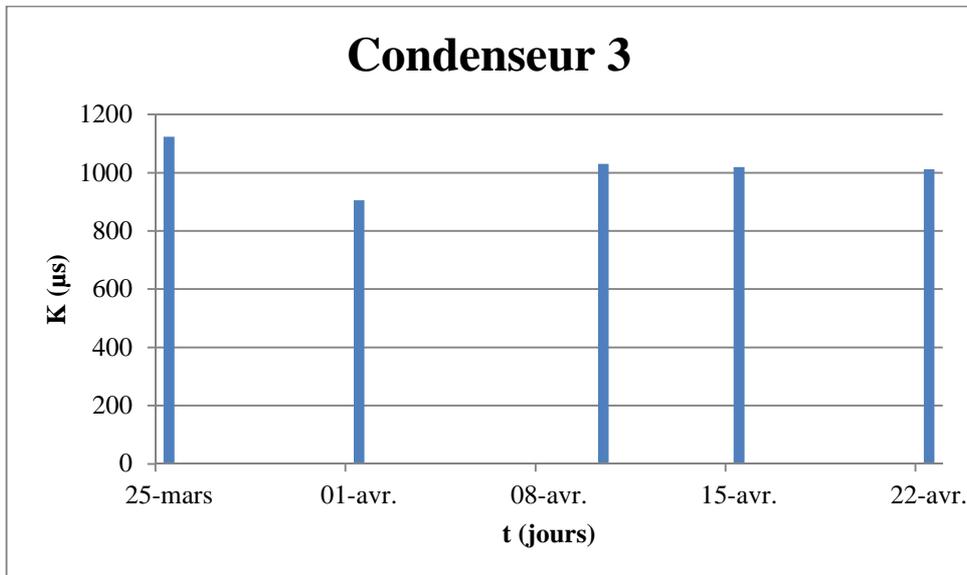
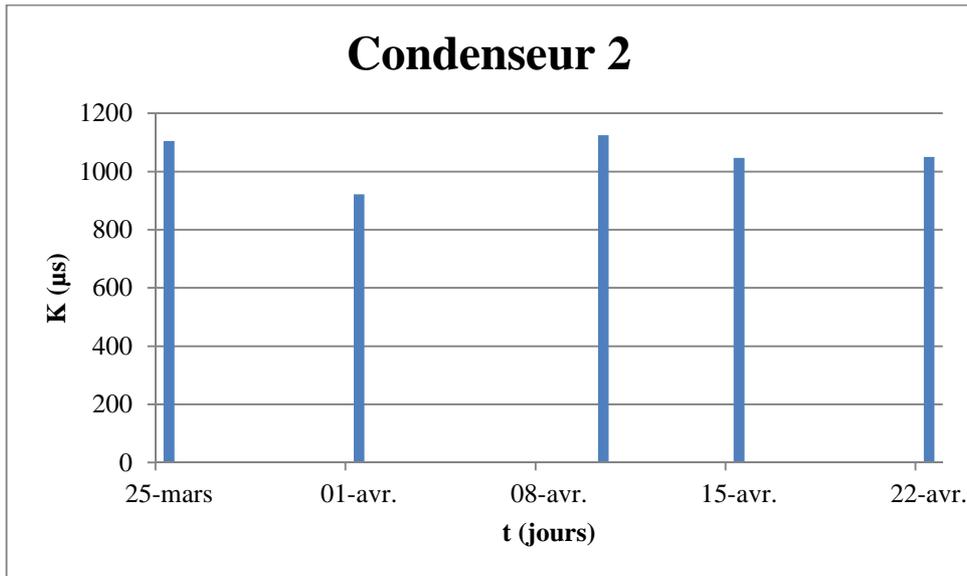








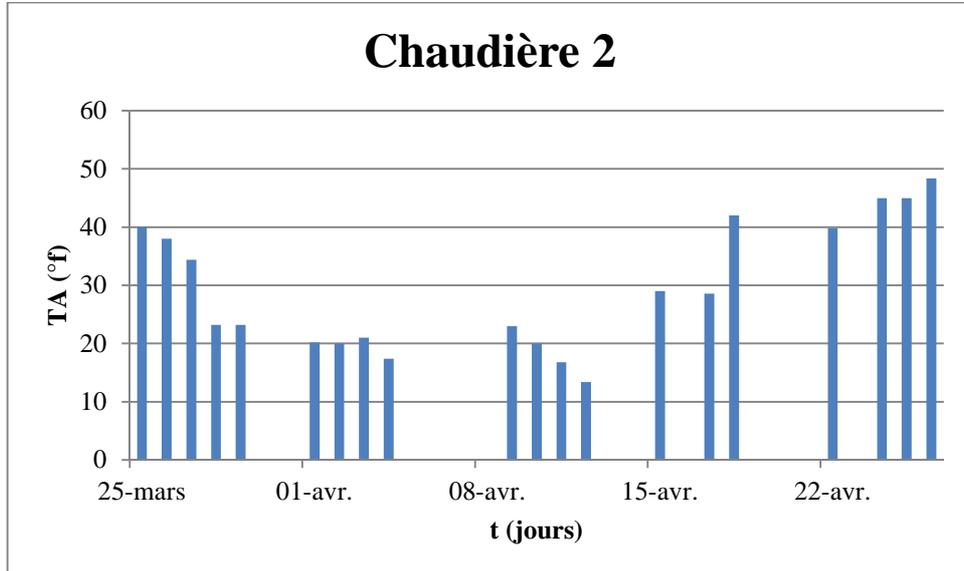
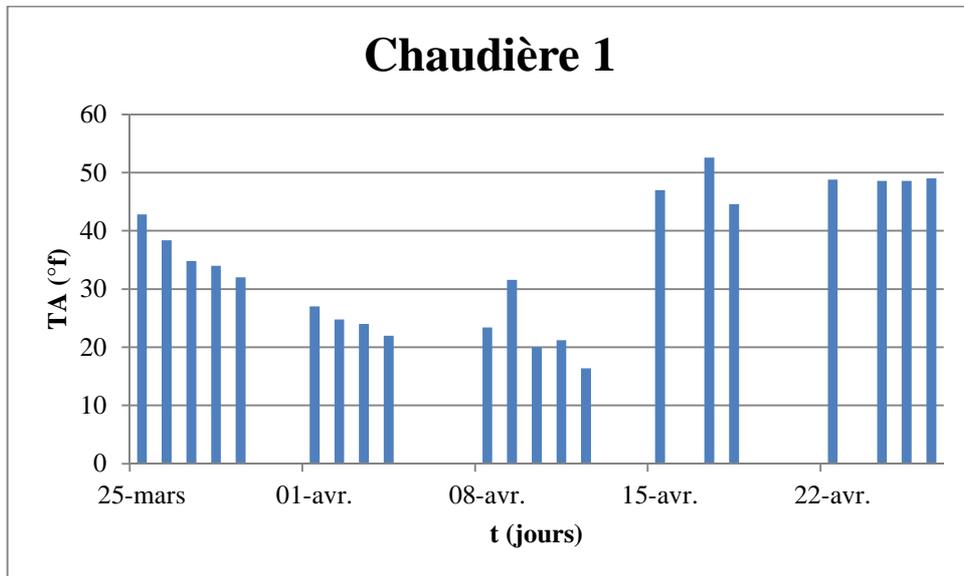


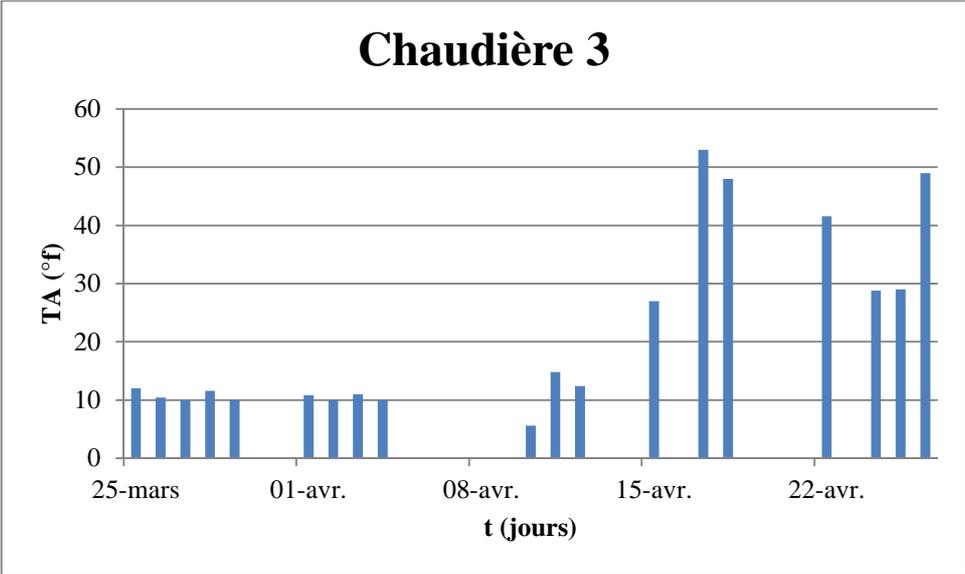


Annexe III

Représentation graphique du TA

Variation du TA en fonction du temps pour les eaux (chaudière1, chaudière2, chaudière3).

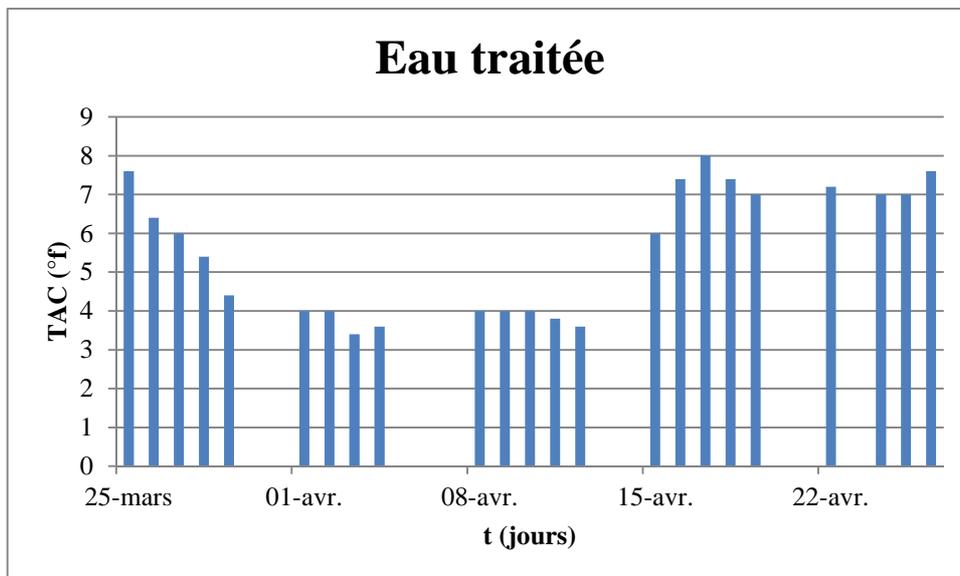
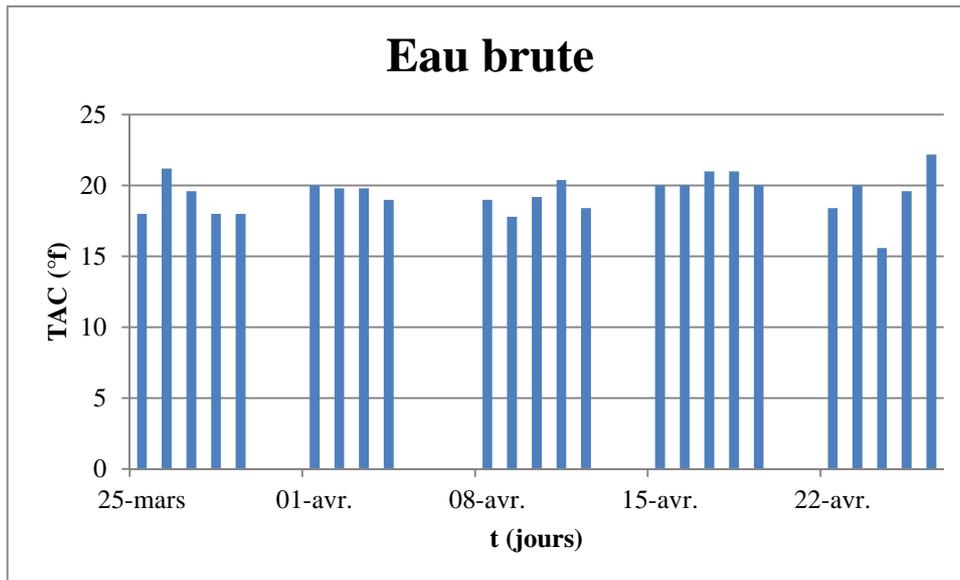


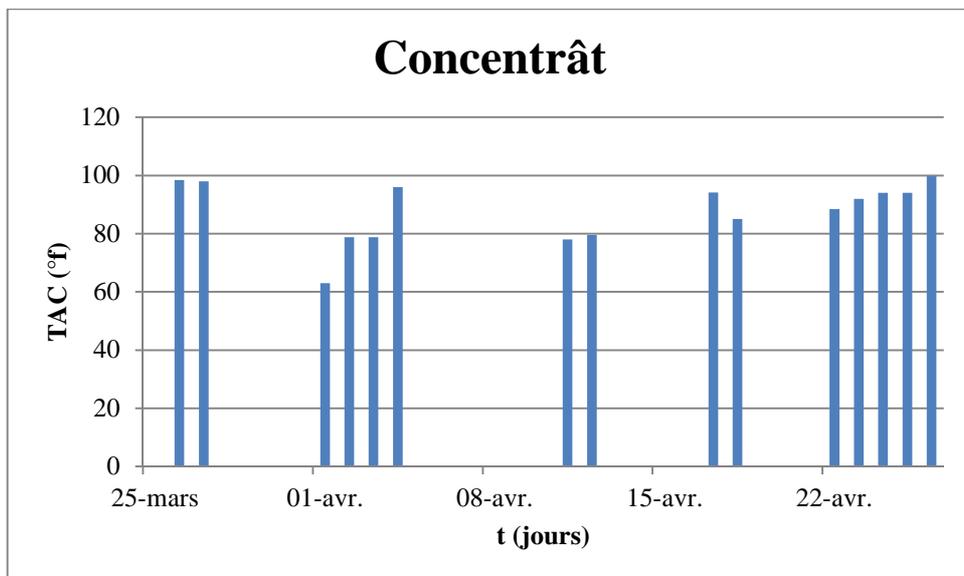
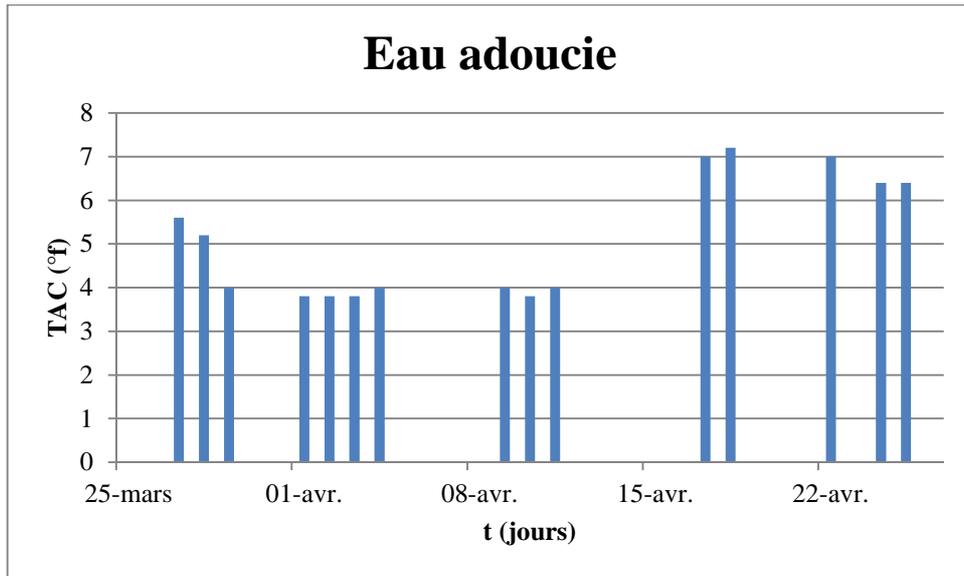


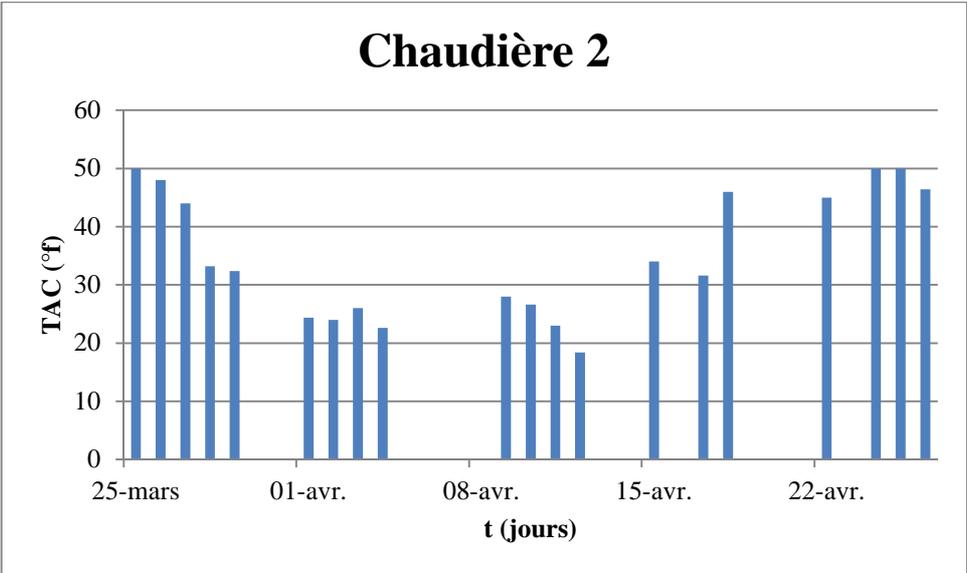
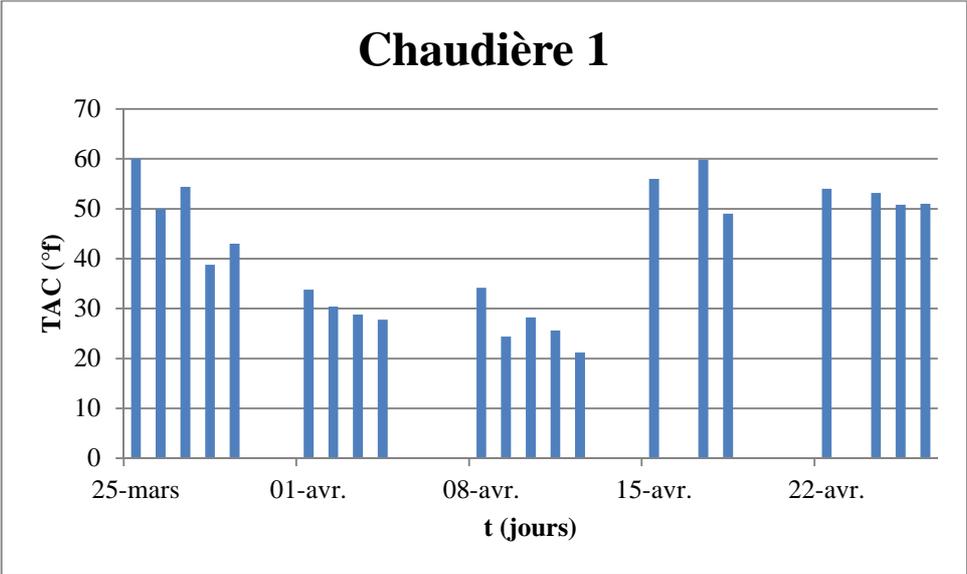
Annexe IV

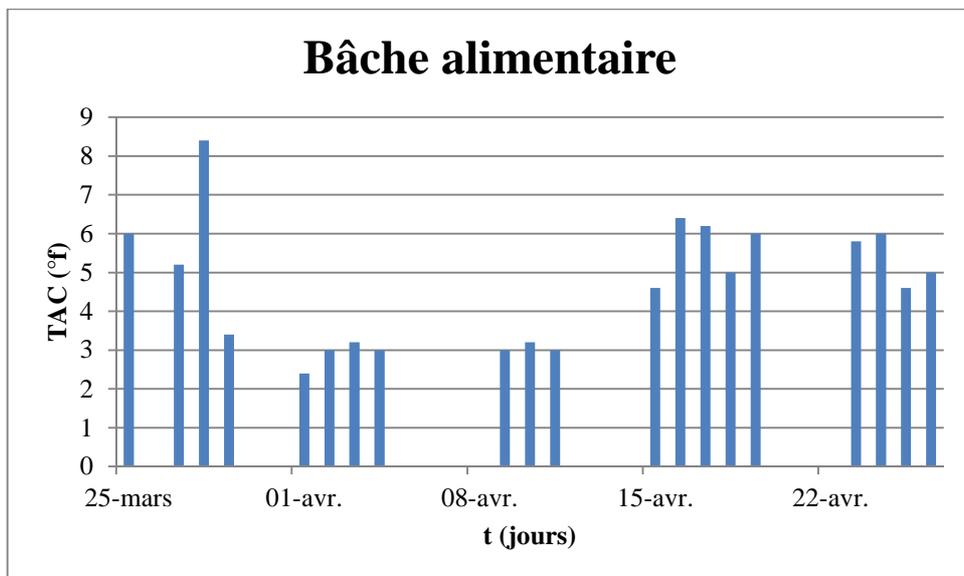
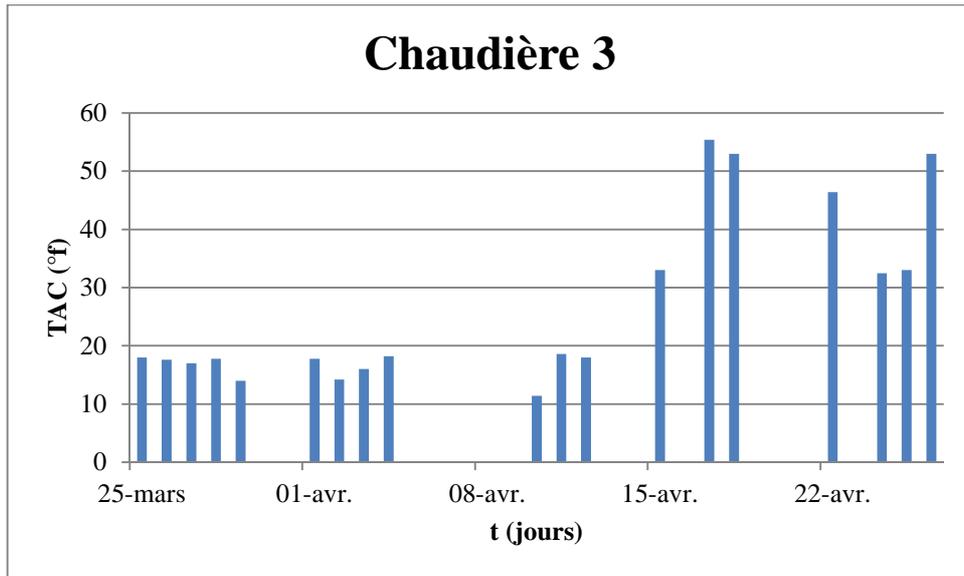
Représentation graphique du TAC

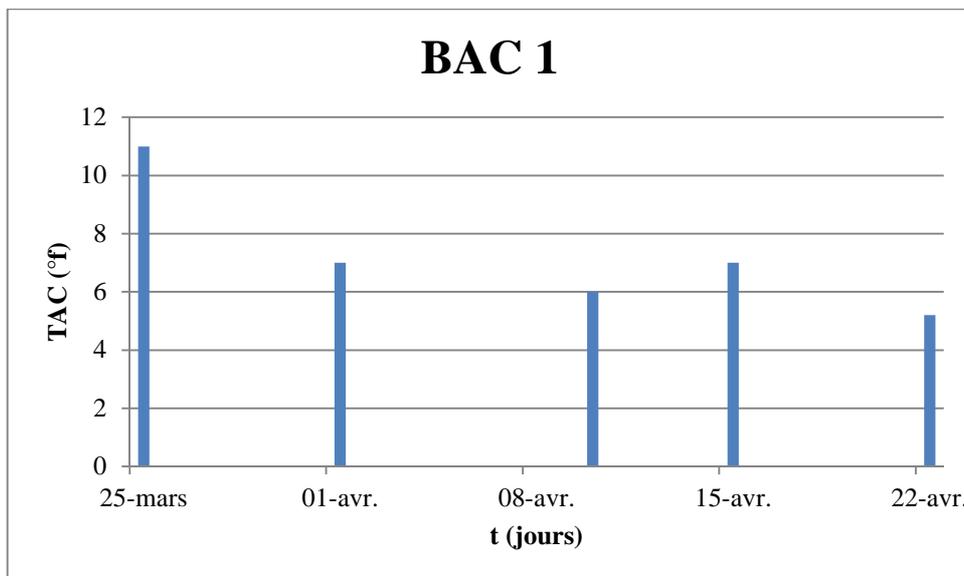
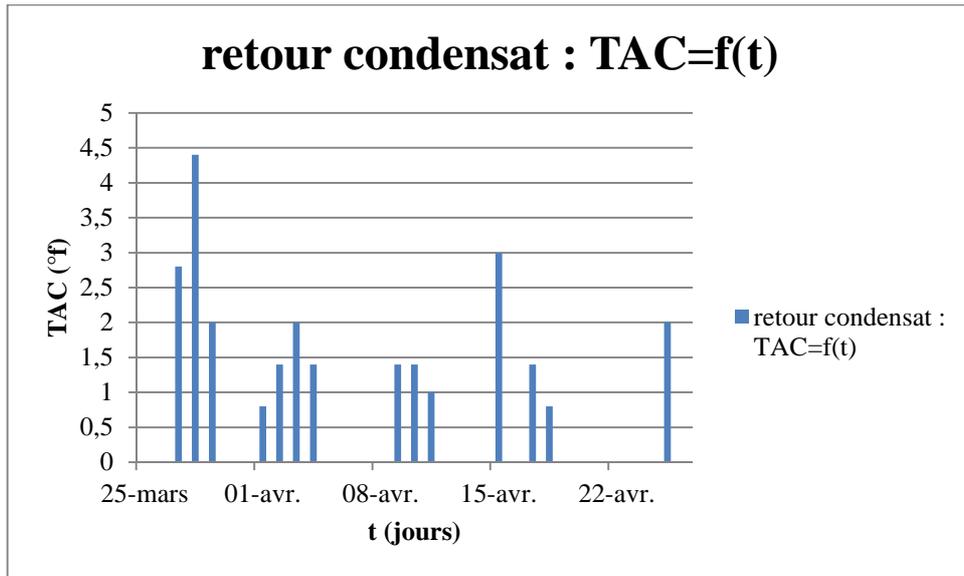
Variation du TAC en fonction du temps pour les eaux (brute, traitée, adoucie, concentrât, chaudière1, chaudière2, chaudière3, retour condensat, bache alimentaire, BAC1, BAC2, BAC3, condenseur1, condenseur2, condenseur3).

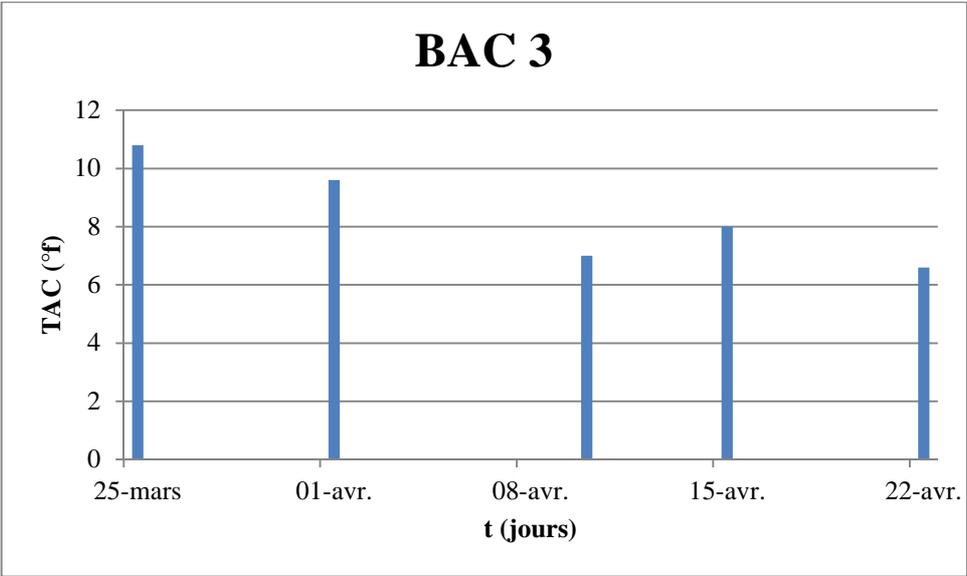
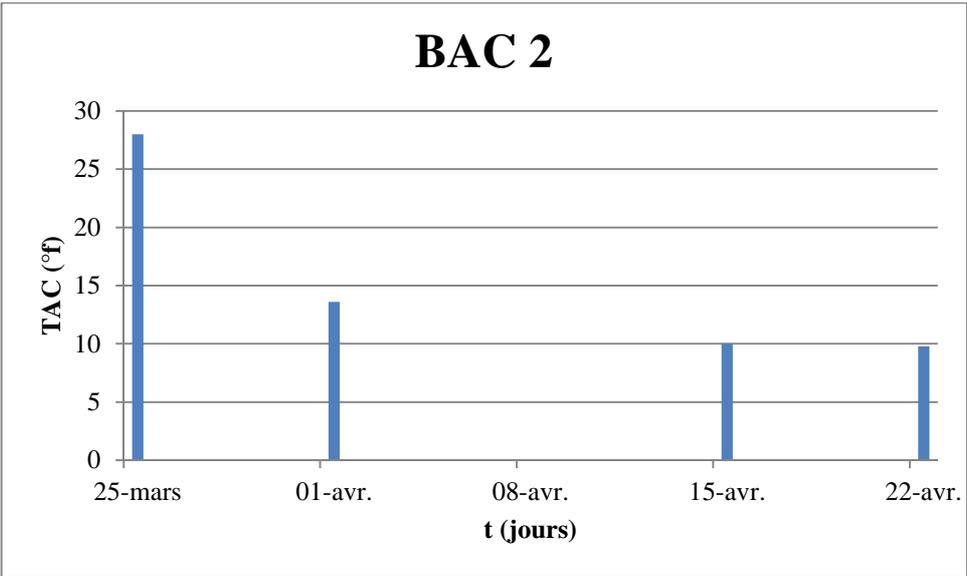


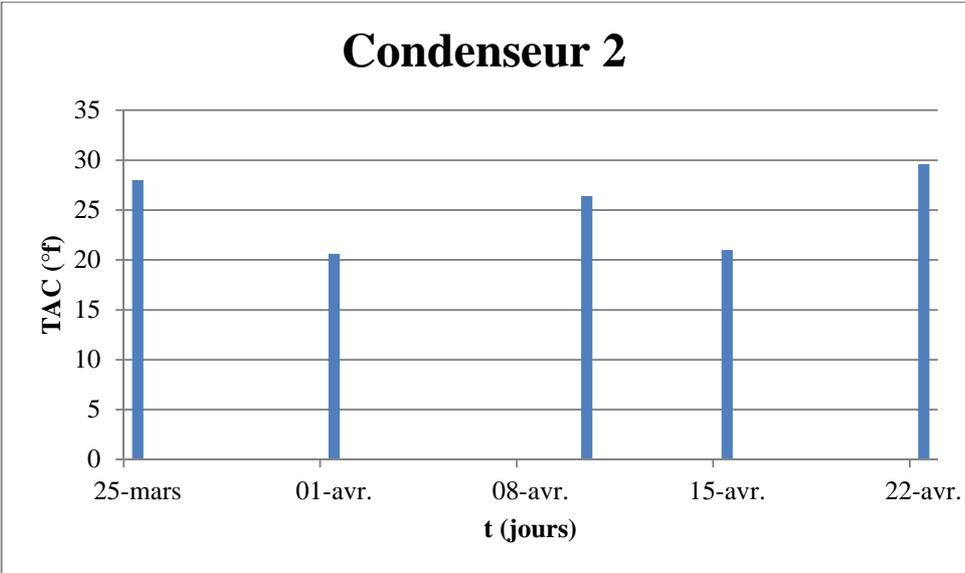
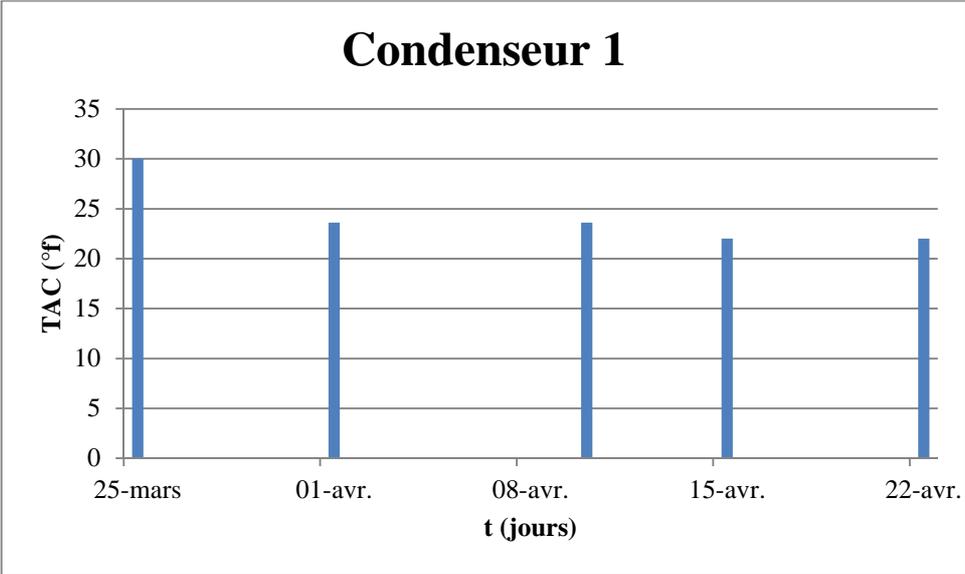


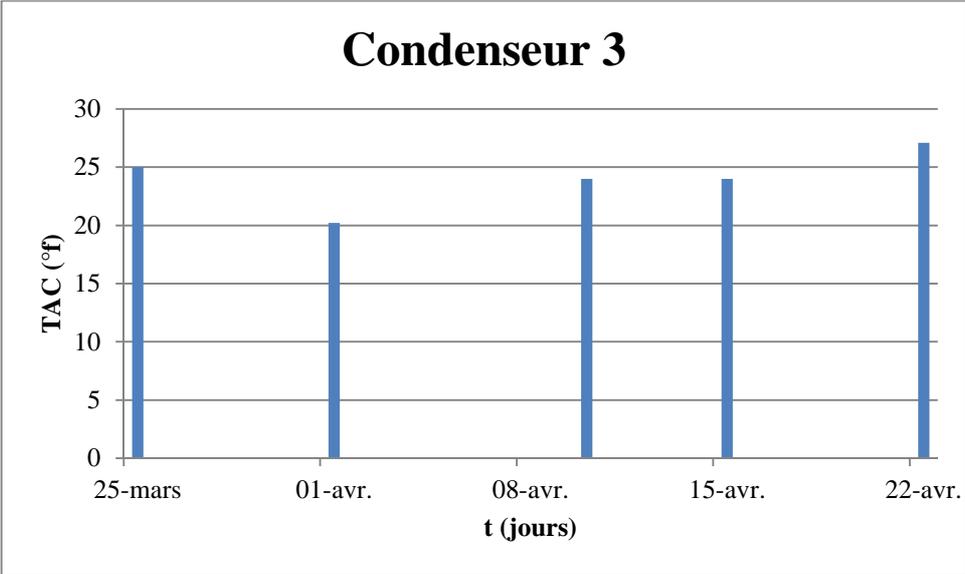






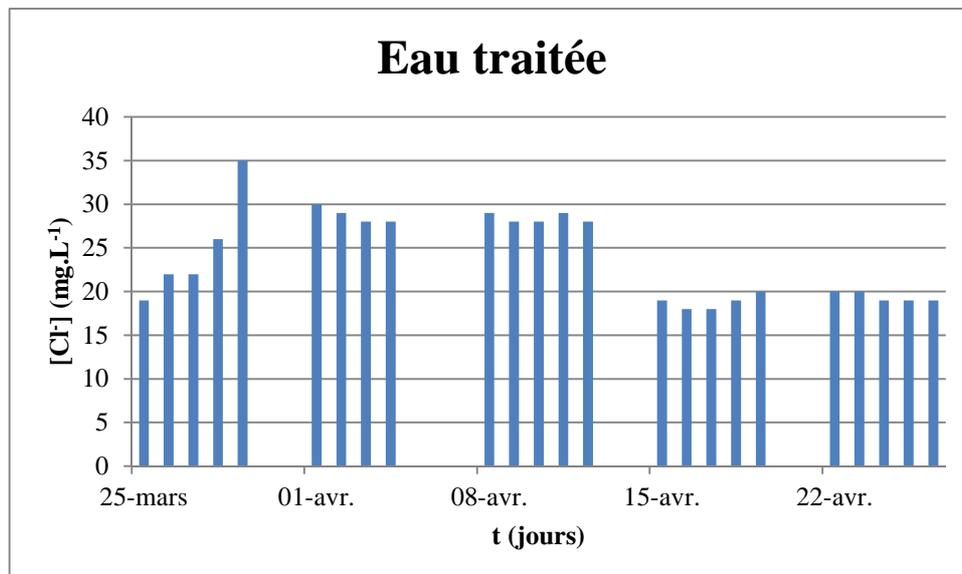
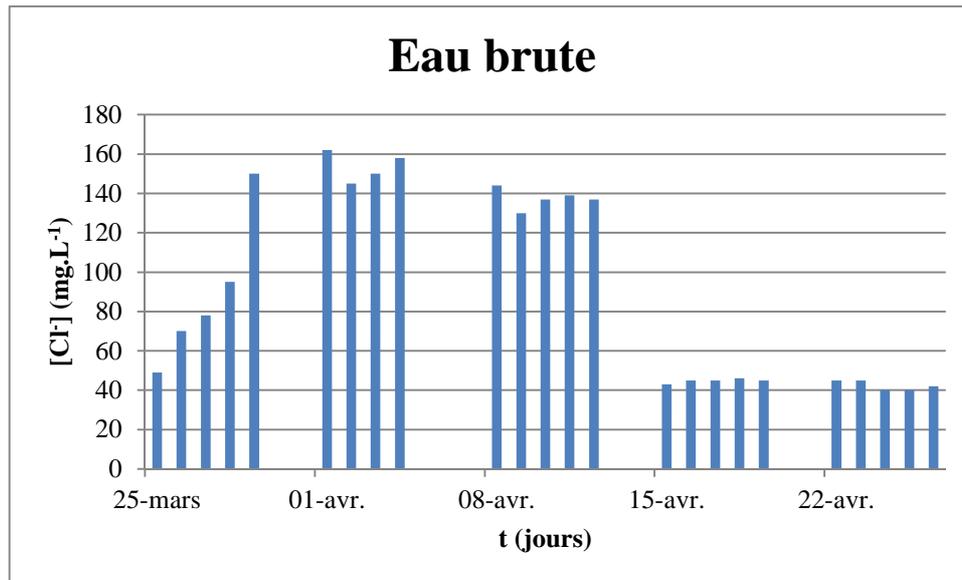


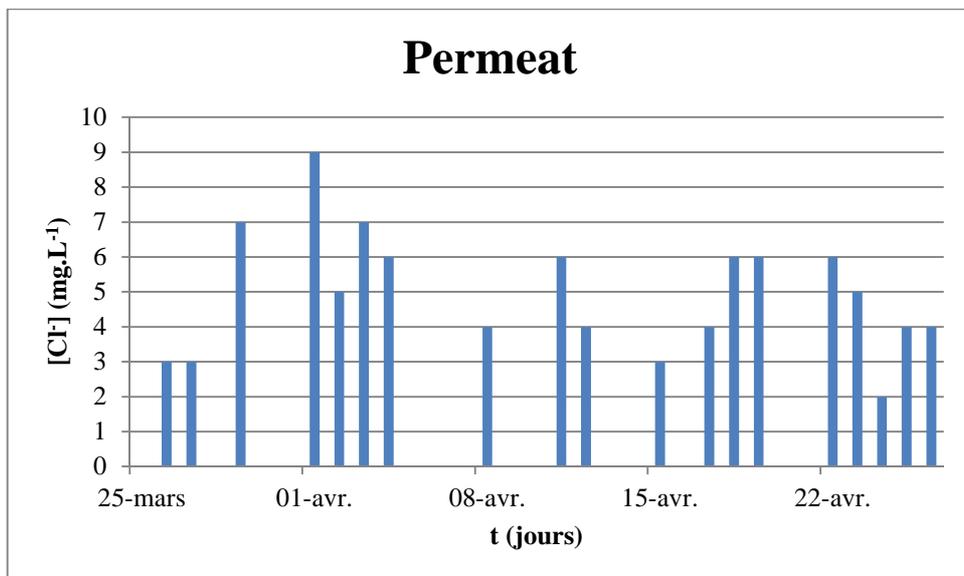
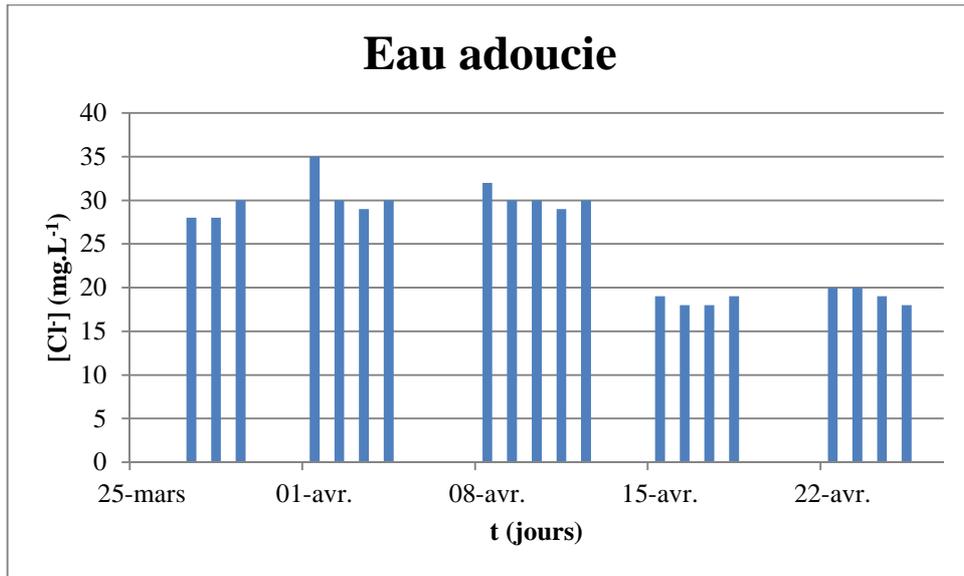


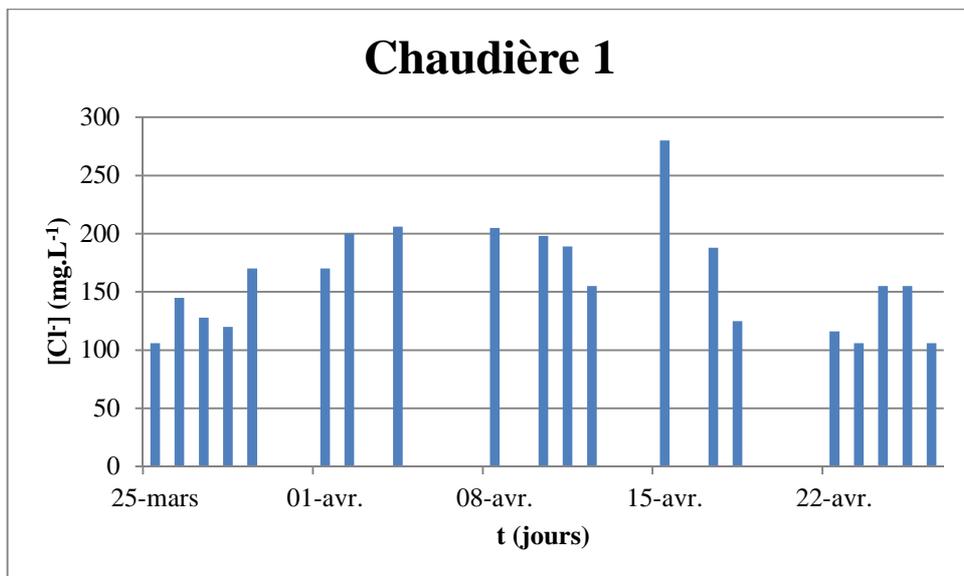
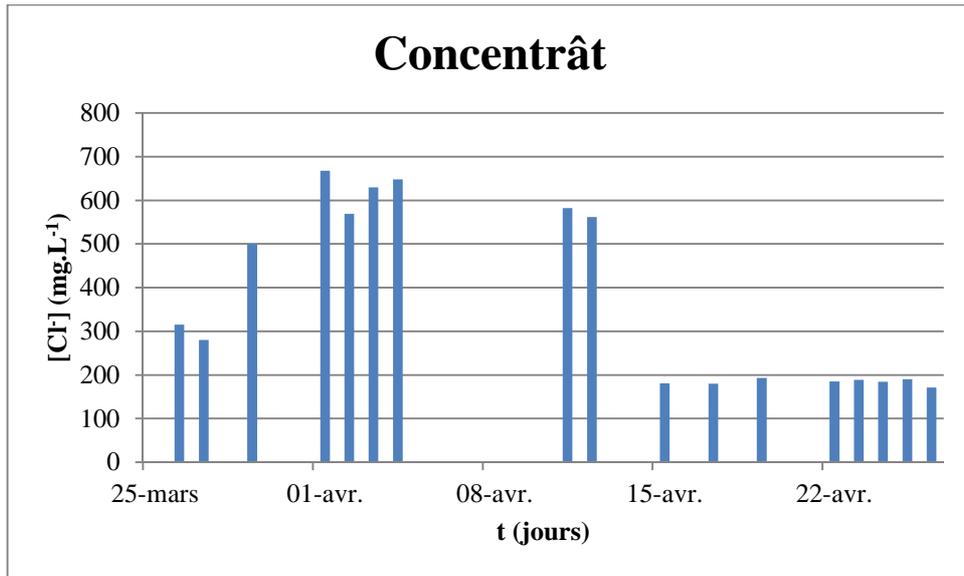


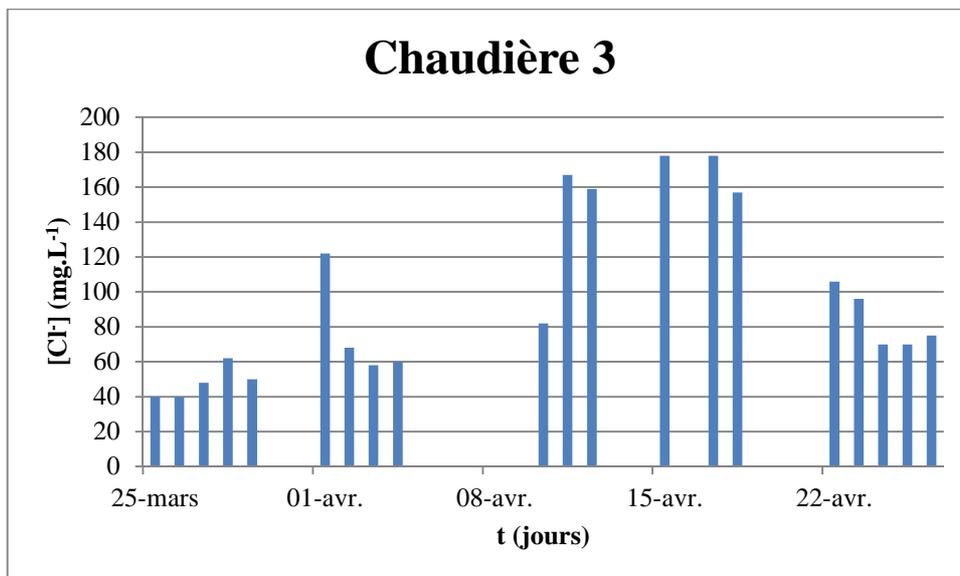
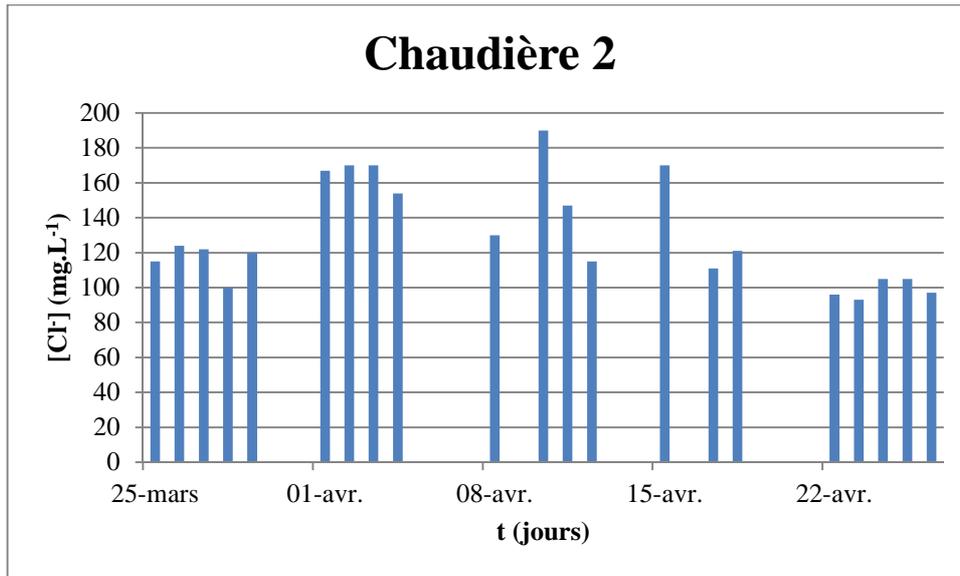
Annexe V**Représentation graphique du [Cl⁻]**

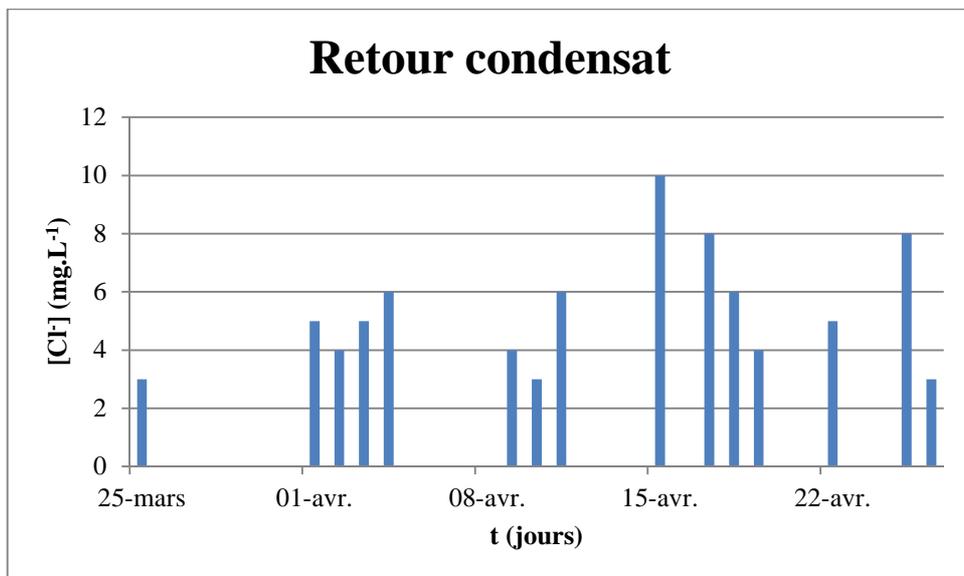
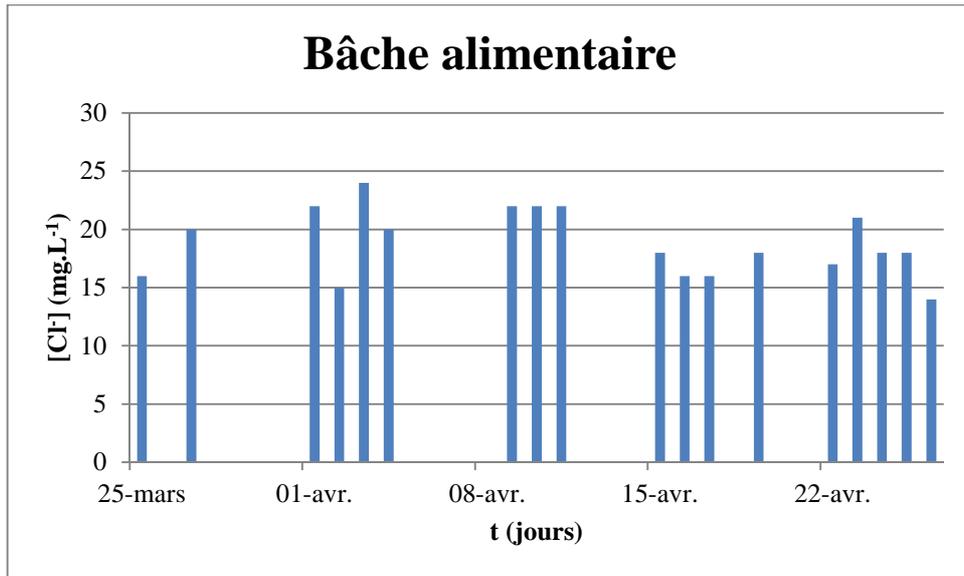
Variation du [Cl⁻] en fonction du temps pour l'eau brute, traitée, adoucie, permeat, concentrât, chaudière1, chaudière2, chaudière3, retour condensat, bache alimentaire, BAC1, BAC2, BAC3, condenseur1, condenseur2, condenseur3.

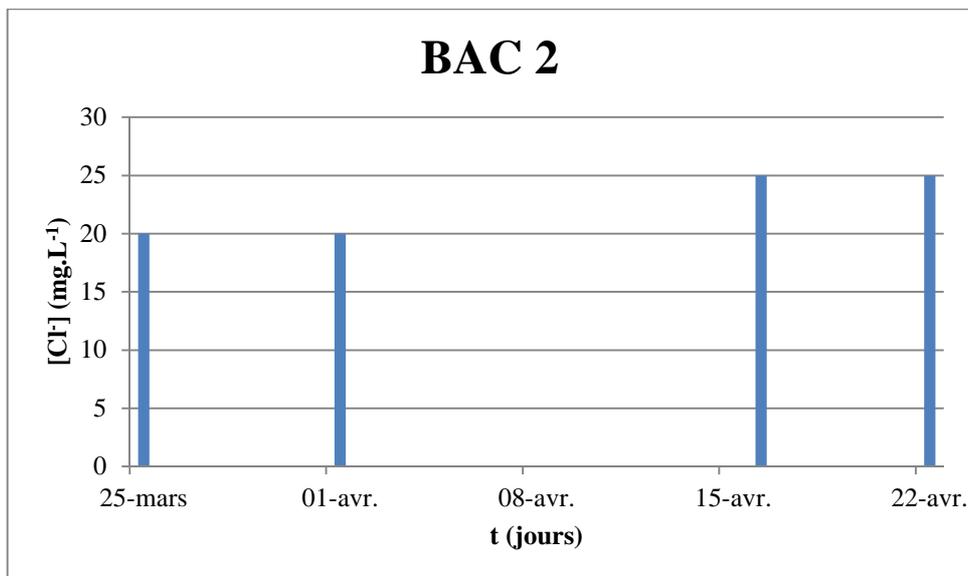
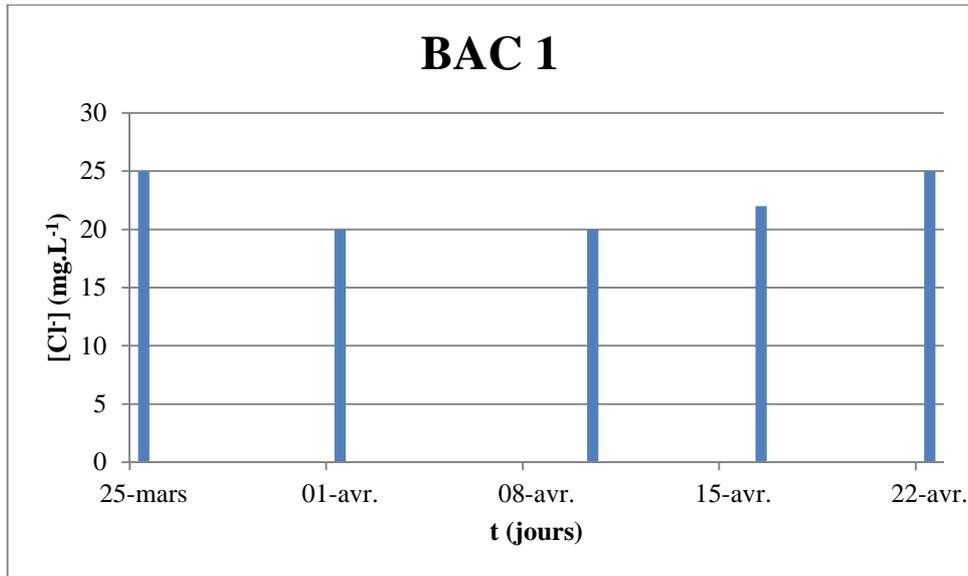


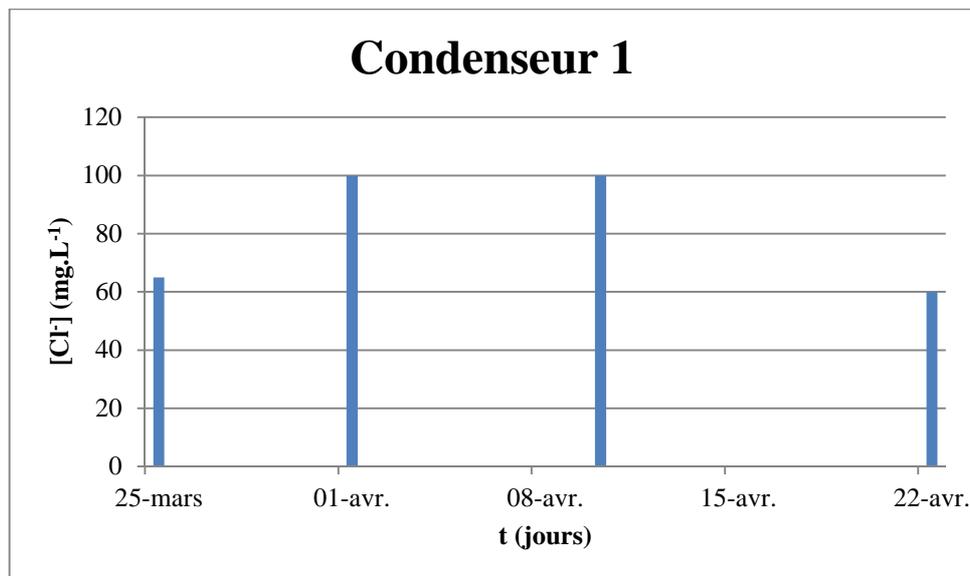
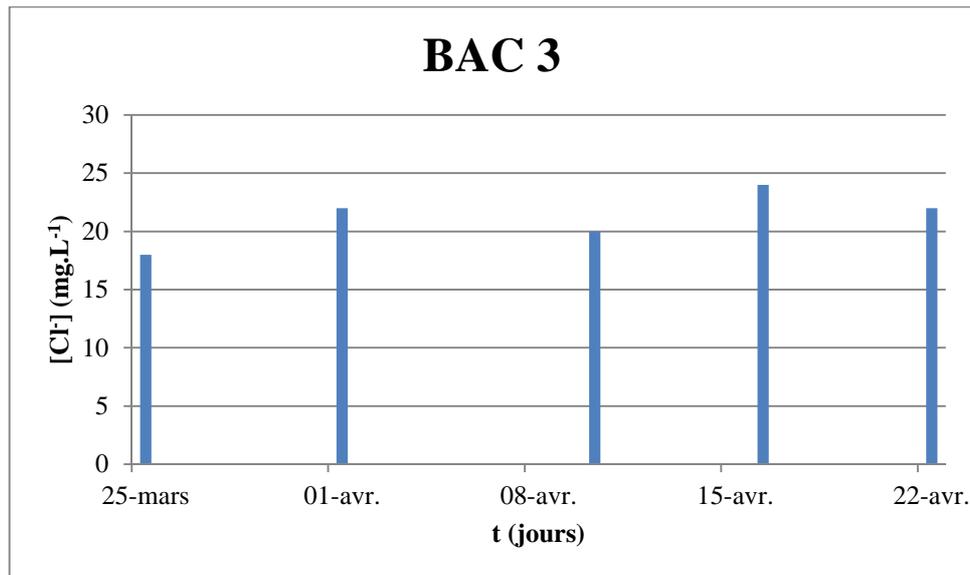


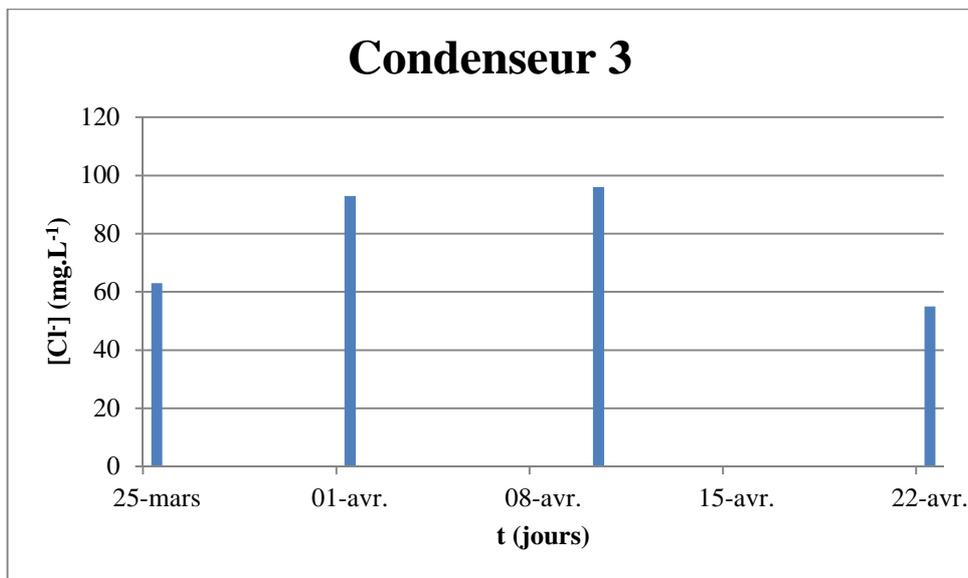
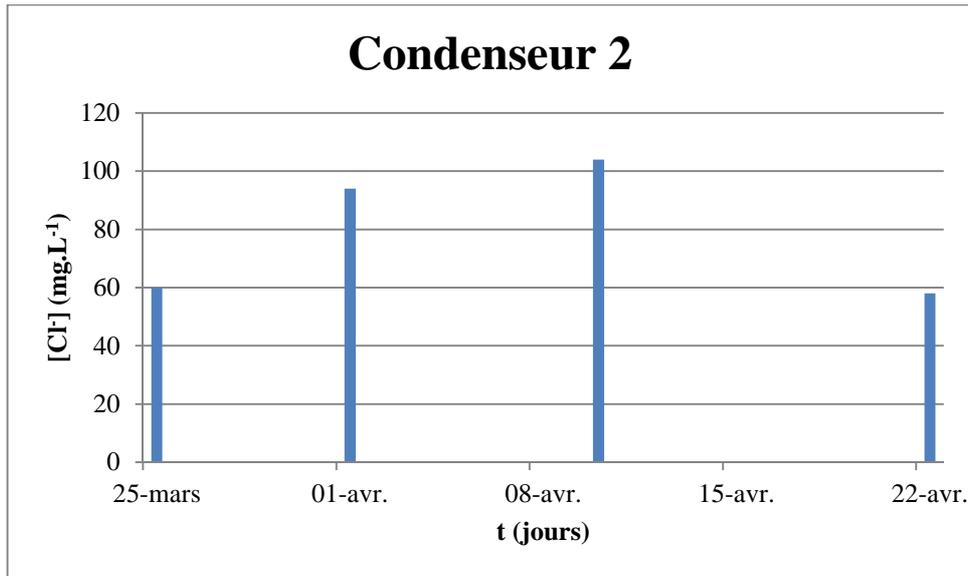






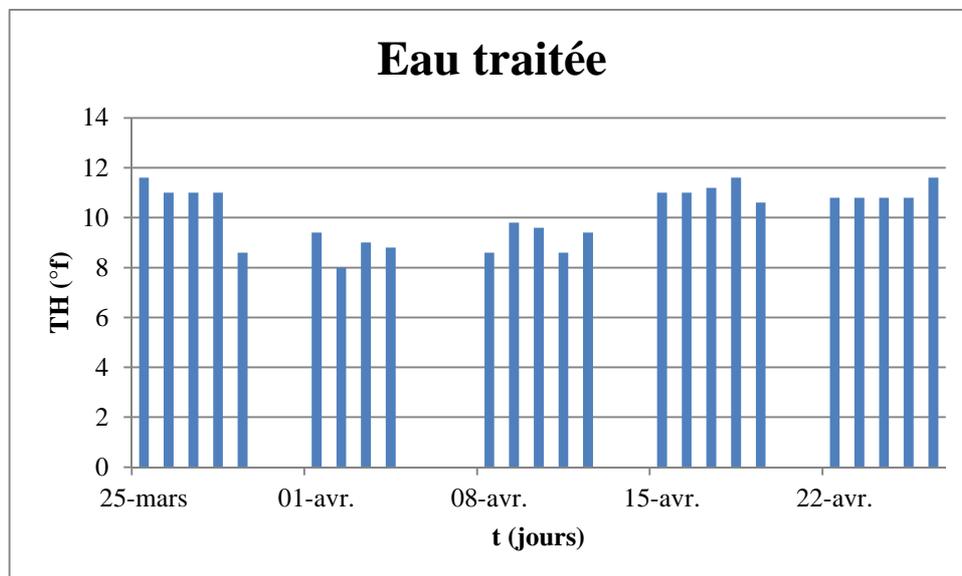
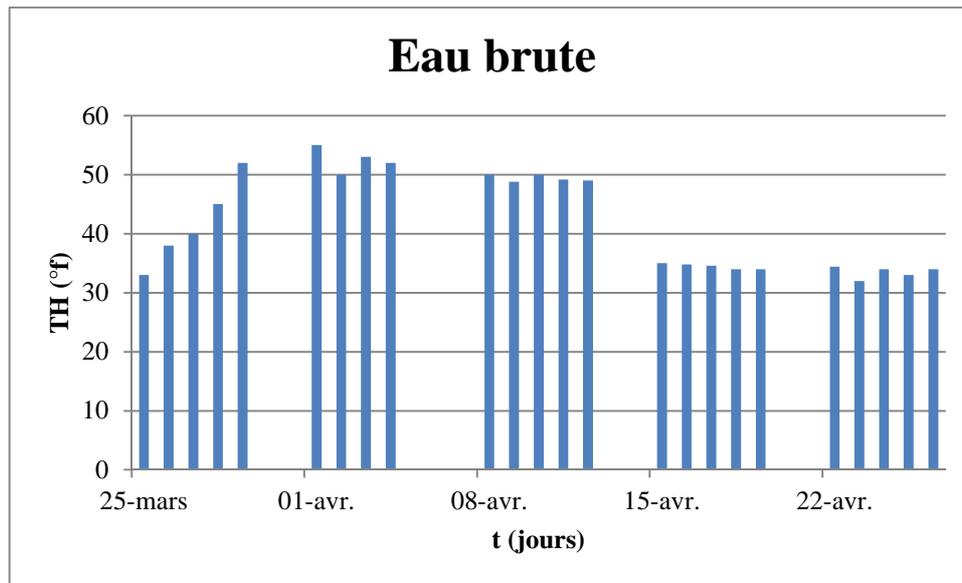


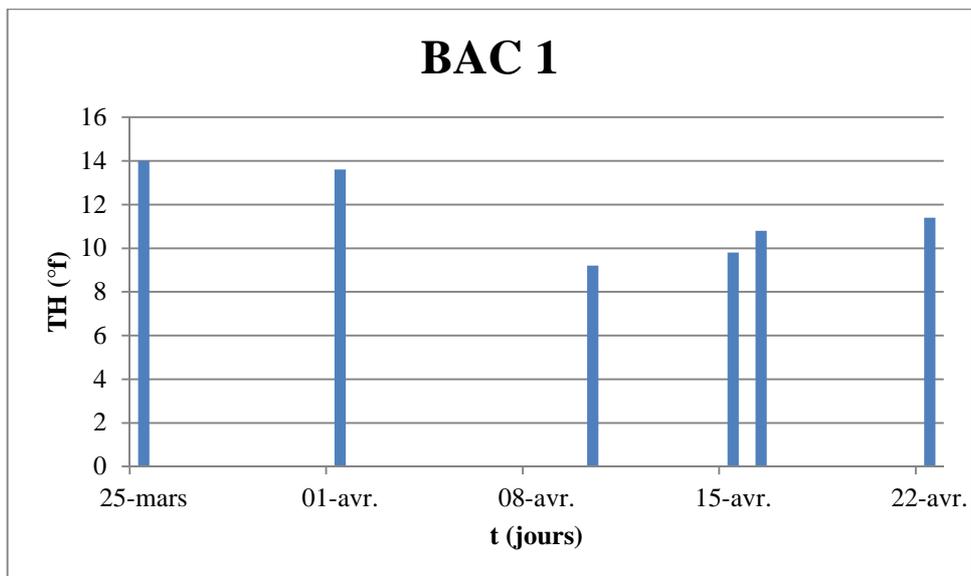
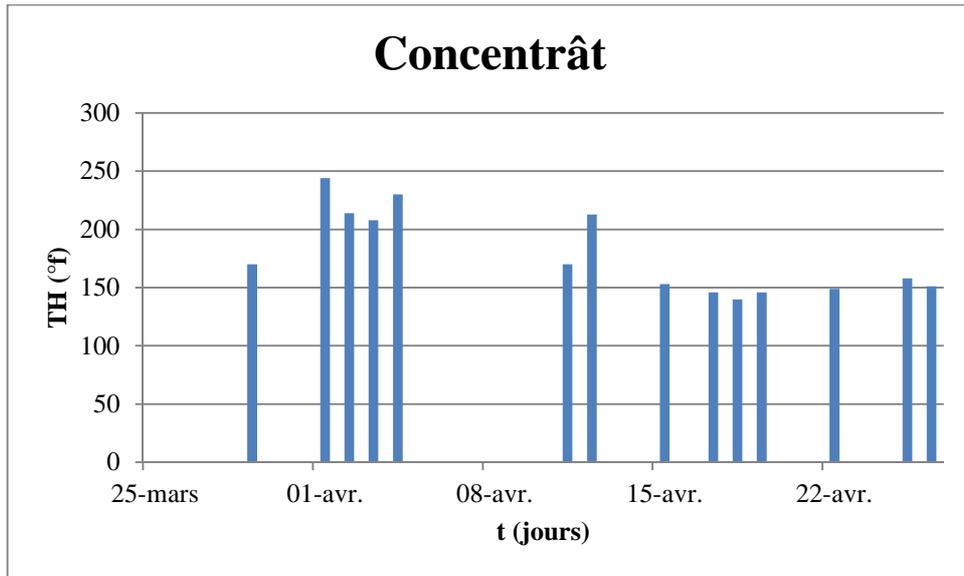


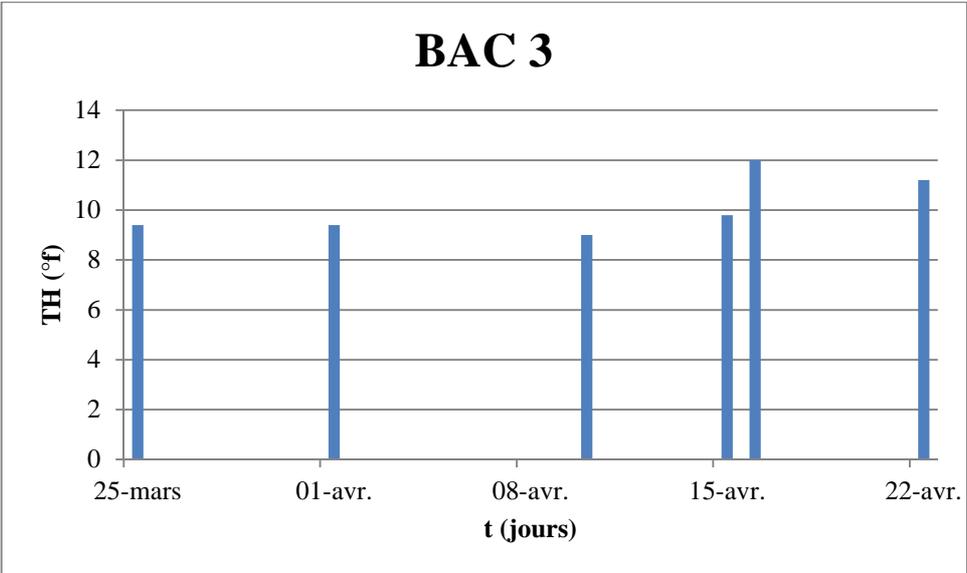
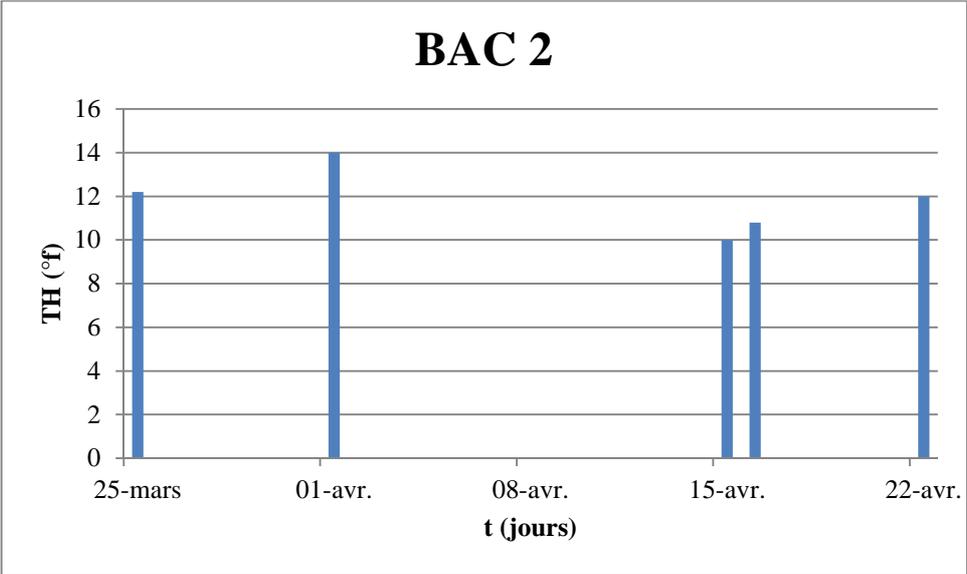


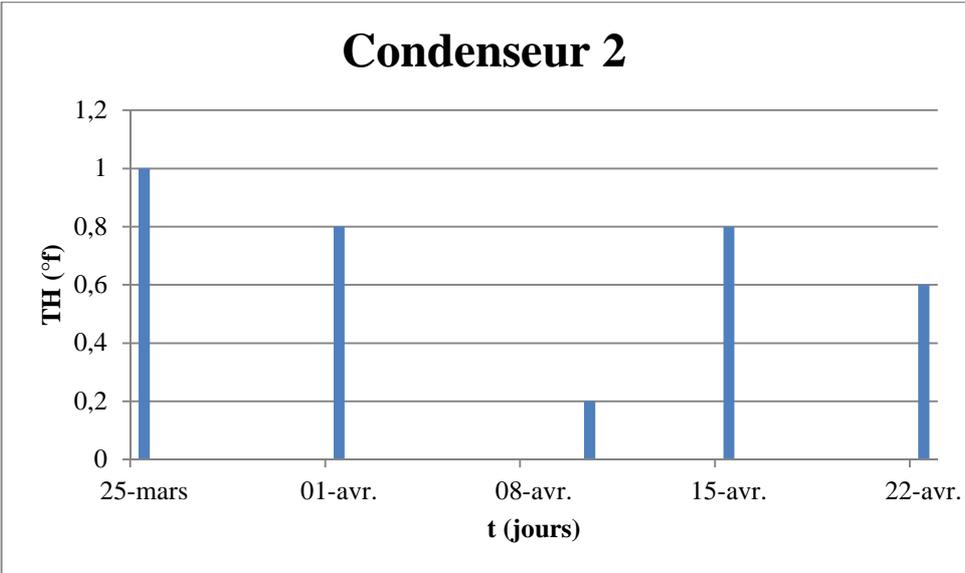
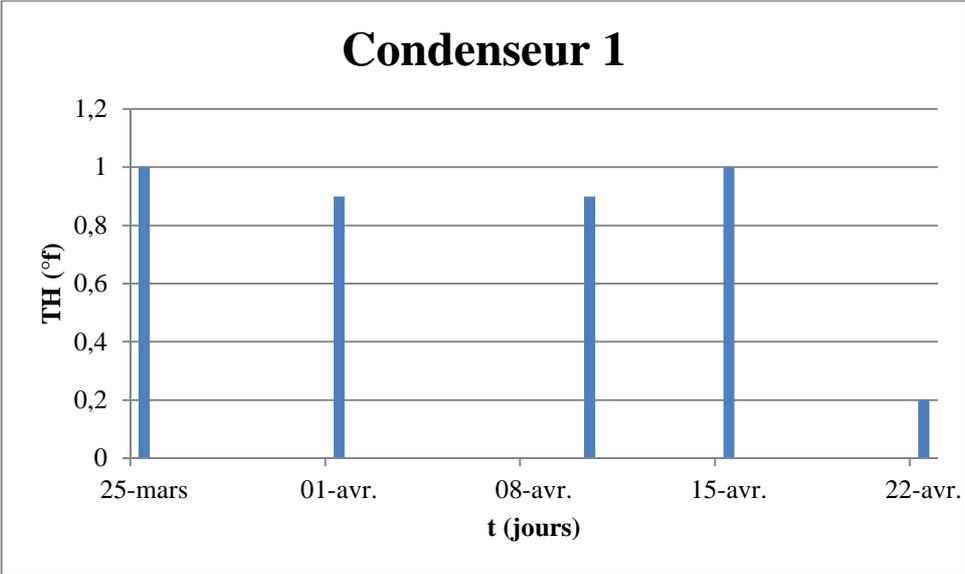
Annexe VI**Représentation graphique du TH**

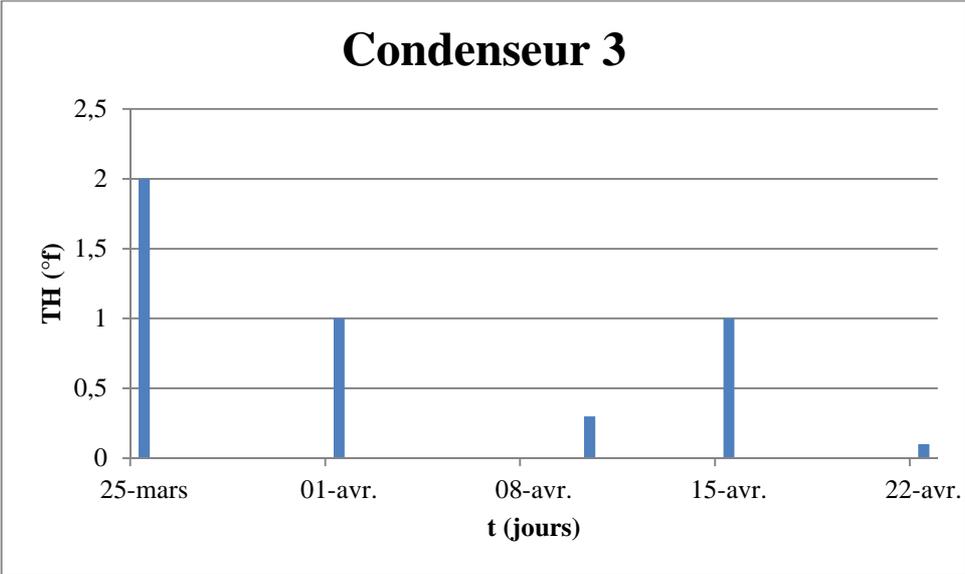
Variation du TH en fonction du temps pour les eaux (brute, traitée, concentrât, BAC1, BAC2, BAC3, condenseur1, condenseur2, condenseur3).





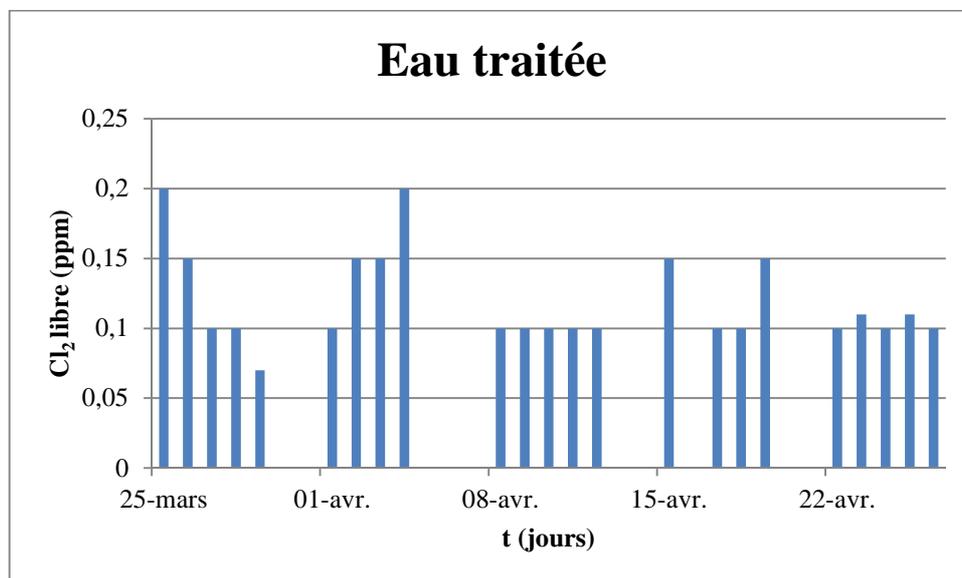
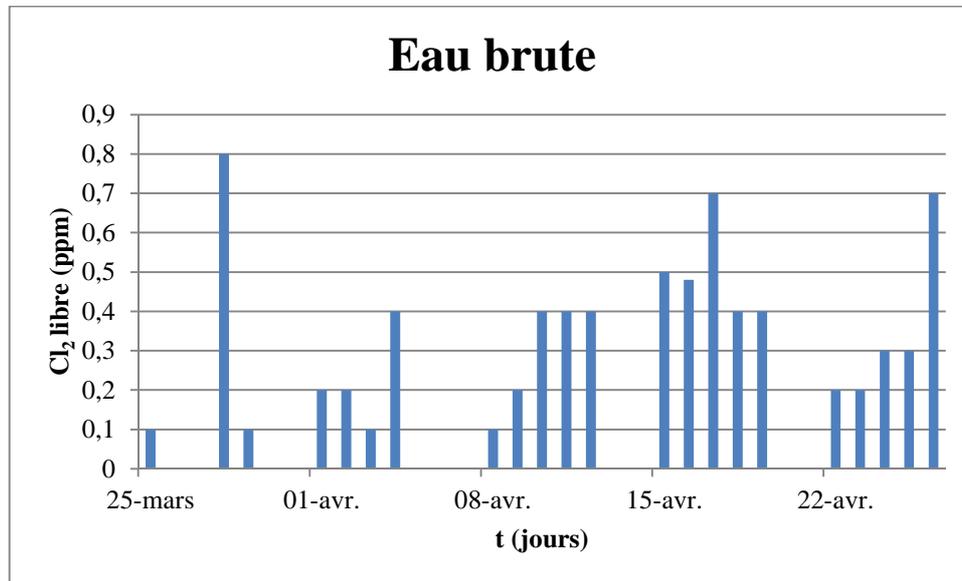






Annexe VII**Représentation graphique du Cl₂ libre**

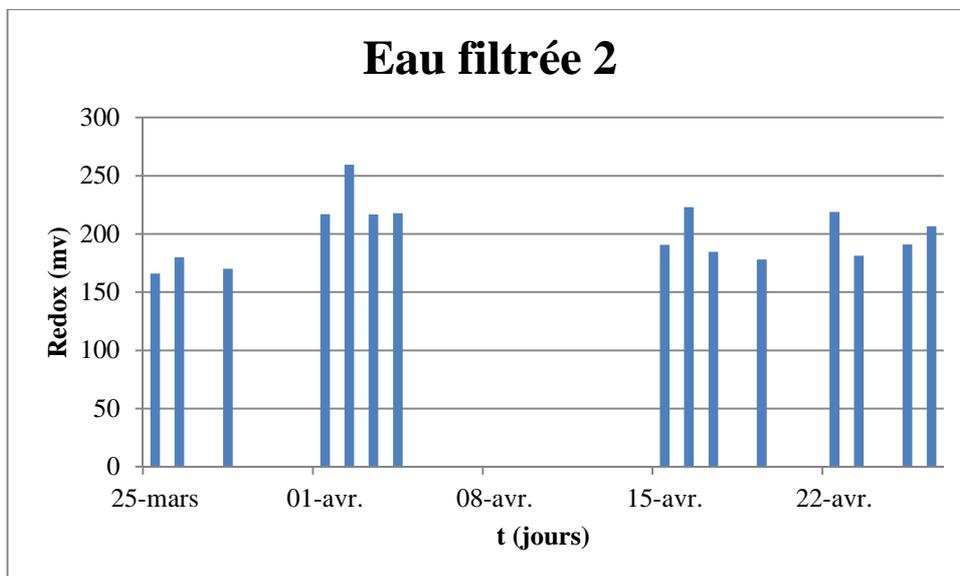
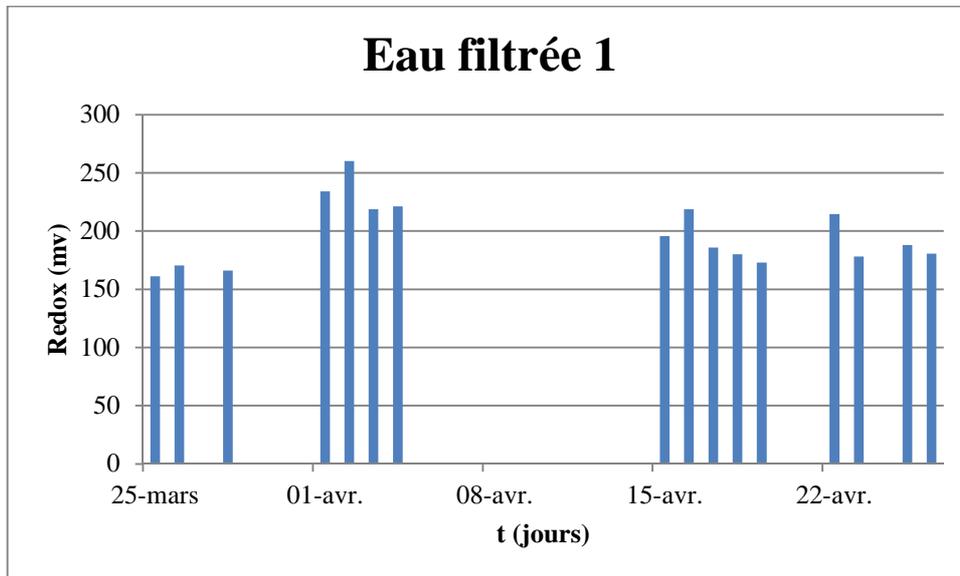
Variation du Cl₂ libre en fonction du temps pour l'eau brute, traitée.

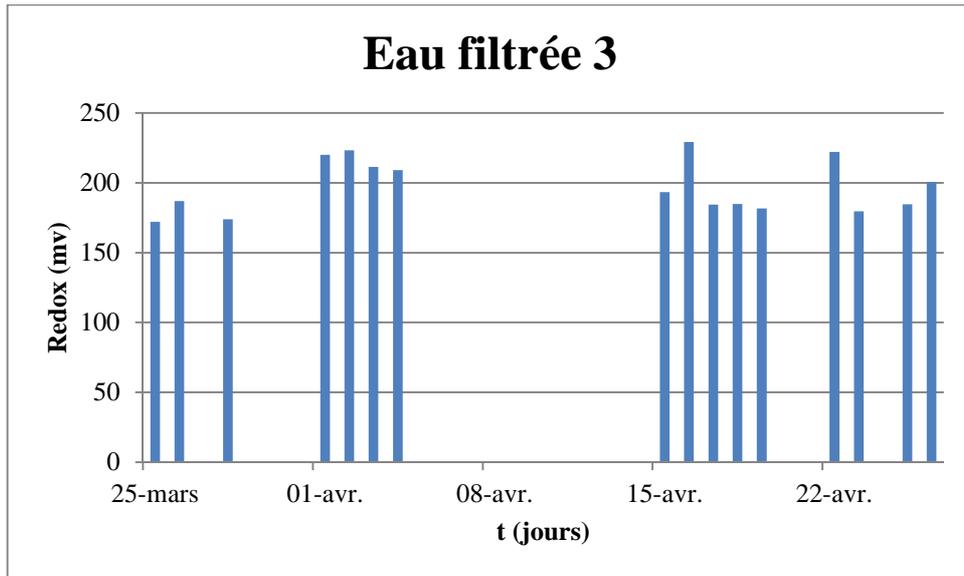


Annexe VIII

Représentation graphique du Redox

Variation du Redox en fonction du temps pour les eaux (filtrée1, filtrée2, filtrée3).





Annexe IX

Analyse des eaux du BAC1 par la méthode de Ryznar en fonction du temps.

```

C:\Users\sca\DOWNLO~1\PFEB&B~1\QUILIB~1\QUILIB~1\EQUIL1F.EXE
Equilibre de l'eau <IR BAC1: 19.04.2018> 16 juin 2018
Température <°C> = 25.00
pH <initial> = 7.59
pHs = 8.33
CO2 libre <mg/l> = 2.69
Indice de saturation = -0.74
IAC <°F> = 6.00
Ca <°F> = 4.81
Alc/CaO = 1.25
Sel dissous <R.S mg/l> = 254.87
CO2 agressif <sur CaCO3> = 2.1 <mg/l>
CaCO3 dissolvable <mg/l> = -4.8 [CCPP]
Indice de Stabilité <Ryznar> = 9.07
Note : remise à l'équilibre par aération ou par ajout de réactif neutralisant.

-----Votre Choix ? :-----
Correction de l'agressivite          Melange avec une autre eau
Floculation <coagulation>           Larson <indice de corrosion>
pH <ajustement>                     Eau brute <modification>
Reminéralisation                     Nouvelle eau
Adoucissement                         Imprimer
Doses de réactifs <ajout>           Quitter Equil
  
```

```

C:\Users\sca\DOWNLO~1\PFEB&B~1\QUILIB~1\QUILIB~1\EQUIL1F.EXE
Equilibre de l'eau <IR BAC1: 22.04.2018> 16 juin 2018
Température <°C> = 25.00
pH <initial> = 7.88
pHs = 8.52
CO2 libre <mg/l> = 1.19
Indice de saturation = -0.64
IAC <°F> = 5.20
Ca <°F> = 3.61
Alc/CaO = 1.44
Sel dissous <R.S mg/l> = 246.26
CO2 agressif <sur CaCO3> = 0.9 <mg/l>
CaCO3 dissolvable <mg/l> = -2.0 [CCPP]
Indice de Stabilité <Ryznar> = 9.16
Note : remise à l'équilibre par aération ou par ajout de réactif neutralisant.
NOTA : un traitement de reminéralisation serait nécessaire

-----Votre Choix ? :-----
Correction de l'agressivite          Melange avec une autre eau
Floculation <coagulation>           Larson <indice de corrosion>
pH <ajustement>                     Eau brute <modification>
Reminéralisation                     Nouvelle eau
Adoucissement                         Imprimer
Doses de réactifs <ajout>           Quitter Equil
  
```


C:\Users\sos\DOWNLO~1\PFEB&B~1\QUILIB~1\QUILIB~1\EQUIL1F.EXE 16 juin 2018

Equilibre de l'eau <IR BAC1: 26.04.2018>

Température (<°C) = 25.00
 pH (<initial) = 7.85
 pHs = 8.15
 CO2 libre (mg/l) = 1.87
 Indice de saturation = -0.30
 TAC (<°F) = 7.60
 Ca (<°F) = 5.81
 Alc/CaO = 1.31
 Sel dissous (R.S mg/l) = 244.84
 CO2 agressif (sur CaCO3) = 0.9 (mg/l)
 CaCO3 dissolvable (mg/l) = -2.0 [CCPP]
 Indice de Stabilité (Ryznar) = 8.44

EAU AGRESSIVE

Note : remise à l'équilibre par aération ou par ajout de réactif neutralisant.

 Votre Choix ? :
 Correction de l'agressivite
 Flocculation (coagulation)
 pH (ajustement)
 Reminéralisation
 Adoucissement
 Doses de réactifs (ajout)

Melange avec une autre eau
 Larson (indice de corrosion)
 Eau brute (modification)
 Nouvelle eau
 Imprimer
 Quitter Equil

C:\Users\sos\DOWNLO~1\PFEB&B~1\QUILIB~1\QUILIB~1\EQUIL1F.EXE 16 juin 2018

Equilibre de l'eau <IR BAC1: 29.04.2018>

Température (<°C) = 25.00
 pH (<initial) = 7.58
 pHs = 8.16
 CO2 libre (mg/l) = 3.14
 Indice de saturation = -0.58
 TAC (<°F) = 6.80
 Ca (<°F) = 6.21
 Alc/CaO = 1.10
 Sel dissous (R.S mg/l) = 231.64
 CO2 agressif (sur CaCO3) = 2.2 (mg/l)
 CaCO3 dissolvable (mg/l) = -4.9 [CCPP]
 Indice de Stabilité (Ryznar) = 8.74

EAU AGRESSIVE

Note : remise à l'équilibre par aération ou par ajout de réactif neutralisant.

 Votre Choix ? :
 Correction de l'agressivite
 Flocculation (coagulation)
 pH (ajustement)
 Reminéralisation
 Adoucissement
 Doses de réactifs (ajout)

Melange avec une autre eau
 Larson (indice de corrosion)
 Eau brute (modification)
 Nouvelle eau
 Imprimer
 Quitter Equil

The screenshot shows a Windows application window with the title bar 'C:\Users\scs\DOWNLO~1\PFEB&B~1\QUILIB~1\QUILIB~1\EQUILIF.EXE'. The main window title is 'Equilibre de l'eau <IR BAC1: 02.05.2018>' and the date '16 juin 2018' is in the top right corner. The window displays a list of water quality parameters and their values:

- Température ($^{\circ}\text{C}$) = 25.00
- pH ($\langle \text{initial} \rangle$) = 7.91
- pHs = 8.04
- CO2 libre ($\langle \text{mg/l} \rangle$) = 1.72
- Indice de saturation = -0.13
- TAC ($^{\circ}\text{F}$) = 8.00
- Ca ($^{\circ}\text{F}$) = 7.01
- Alc/CaO = 1.14
- Sel dissous (R.S mg/l) = 239.83
- CO2 agressif ($\langle \text{sur CaCO}_3 \rangle$) = 0.4 ($\langle \text{mg/l} \rangle$)
- CaCO3 dissolvable ($\langle \text{mg/l} \rangle$) = -1.0 [CCPP]
- Indice de Stabilité (Ryznar) = 8.17

A red box with the text 'EAU AGRESSIVE' is overlaid on the right side of the window. Below the parameters, there is a note: 'Note : remise à l'équilibre par aération ou par ajout de réactif neutralisant.'

At the bottom, there is a menu titled 'Votre Choix ? :'. The menu items are:

- Correction de l'agressivite
- Floculation ($\langle \text{coagulation} \rangle$)
- pH ($\langle \text{ajustement} \rangle$)
- Reminéralisation
- Adoucissement
- Doses de réactifs ($\langle \text{ajout} \rangle$)
- Melange avec une autre eau
- Larson ($\langle \text{indice de corrosion} \rangle$)
- Eau brute ($\langle \text{modification} \rangle$)
- Nouvelle eau
- Imprimer
- Quitter Equil

Annexe X

Analyse des eaux du BAC2 par la méthode de Ryznar en fonction du temps.

C:\Users\sos\DOWNLO~1\PFEB&B~1\QUILIB~1\QUILIB~1\EQUIL1F.EXE

Equilibre de l'eau <IR BAC2: 19.04.2018> 16 juin 2018

Température <°C> = 25.00
 pH <initial> = 7.63
 pHs = 8.19
 CO2 libre <mg/l> = 4.24
 Indice de saturation = -0.56
 TAC <°F> = 10.60
 Ca <°F> = 3.81
 Alc/CaO = 2.78
 Sel dissous <R.S mg/l> = 332.19
 CO2 agressif <sur CaCO3> = 2.8 <mg/l>
 CaCO3 dissolvable <mg/l> = -6.3 [CCPP]
 Indice de Stabilité <Ryznar> = 8.75
Note : remise à l'équilibre par aération ou par ajout de réactif neutralisant.

EAU AGRESSIVE

Uotre Choix ? :
 Correction de l'agressivite
 Floculation <coagulation>
 pH <ajustement>
 Reminéralisation
 Adoucissement
 Doses de réactifs <ajout>

Melange avec une autre eau
 Larson <indice de corrosion>
 Eau brute <modification>
 Nouvelle eau
 Imprimer
 Quitter Equil

C:\Users\sos\DOWNLO~1\PFEB&B~1\QUILIB~1\QUILIB~1\EQUIL1F.EXE

Equilibre de l'eau <IR BAC2: 22.04.2018> 16 juin 2018

Température <°C> = 25.00
 pH <initial> = 7.65
 pHs = 8.72
 CO2 libre <mg/l> = 3.79
 Indice de saturation = -1.07
 TAC <°F> = 9.80
 Ca <°F> = 1.20
 Alc/CaO = 8.17
 Sel dissous <R.S mg/l> = 290.66
 CO2 agressif <sur CaCO3> = 3.2 <mg/l>
 CaCO3 dissolvable <mg/l> = -7.3 [CCPP]
 Indice de Stabilité <Ryznar> = 9.80
Note : remise à l'équilibre par aération ou par ajout de réactif neutralisant.

EAU AGRESSIVE

Uotre Choix ? :
 Correction de l'agressivite
 Floculation <coagulation>
 pH <ajustement>
 Reminéralisation
 Adoucissement
 Doses de réactifs <ajout>

Melange avec une autre eau
 Larson <indice de corrosion>
 Eau brute <modification>
 Nouvelle eau
 Imprimer
 Quitter Equil

C:\Users\sics\DOWNLO~1\PFEB&B~1\QUILIB~1\QUILIB~1\EQUIL1F.EXE 16 juin 2018

Equilibre de l'eau <IR BAC2: 23.04.2018>

Température (°C) = 25.00
 pH (initial) = 7.60
 pHs = 8.42
 CO2 libre (mg/l) = 2.98
 Indice de saturation = -0.82
 TAC (°F) = 7.00
 Ca (°F) = 3.41
 Alc/CaO = 2.05
 Sel dissous (R.S mg/l) = 358.68
 CO2 agressif (sur CaCO3) = 2.4 (mg/l)
 CaCO3 dissolvable (mg/l) = -5.5 [CCPP]
 Indice de Stabilité (Ryznar) = 9.24

EAU AGRESSIVE

Note : remise à l'équilibre par aération ou par ajout de réactif neutralisant.

 Votre Choix ? :
 Correction de l'agressivite
 Flocculation (coagulation)
 pH (ajustement)
 Reminéralisation
 Adoucissement
 Doses de réactifs (ajout)

Melange avec une autre eau
 Larson (indice de corrosion)
 Eau brute (modification)
 Nouvelle eau
 Imprimer
 Quitter Equil

C:\Users\sics\DOWNLO~1\PFEB&B~1\QUILIB~1\QUILIB~1\EQUIL1F.EXE 16 juin 2018

Equilibre de l'eau <IR BAC2: 25.04.2018>

Température (°C) = 25.00
 pH (initial) = 7.46
 pHs = 8.22
 CO2 libre (mg/l) = 6.55
 Indice de saturation = -0.76
 TAC (°F) = 11.00
 Ca (°F) = 3.41
 Alc/CaO = 3.23
 Sel dissous (R.S mg/l) = 315.72
 CO2 agressif (sur CaCO3) = 4.9 (mg/l)
 CaCO3 dissolvable (mg/l) = -11.2 [CCPP]
 Indice de Stabilité (Ryznar) = 8.98

EAU AGRESSIVE

Note : remise à l'équilibre par aération ou par ajout de réactif neutralisant.

 Votre Choix ? :
 Correction de l'agressivite
 Flocculation (coagulation)
 pH (ajustement)
 Reminéralisation
 Adoucissement
 Doses de réactifs (ajout)

Melange avec une autre eau
 Larson (indice de corrosion)
 Eau brute (modification)
 Nouvelle eau
 Imprimer
 Quitter Equil

C:\Users\sca\DOWNLO~1\PFEB&B~1\QUILIB~1\QUILIB~1\EQUIL1F.EXE 16 juin 2018

Equilibre de l'eau <IR BAC2: 26.04.2018>

Température (<°C) = 25.00
 pH (<initial) = 7.57
 pHs = 8.30
 CO2 libre (mg/l) = 4.56
 Indice de saturation = -0.73
 IAC (<°F) = 9.80
 Ca (<°F) = 3.21
 Alc/CaO = 3.05
 Sel dissous (R.S mg/l) = 291.38
 CO2 agressif (sur CaCO3) = 3.4 (mg/l)
 CaCO3 dissolvable (mg/l) = -7.8 [CCPP]
 Indice de Stabilité (Ryznar) = 9.02

Note : remise à l'équilibre par aération ou par ajout de réactif neutralisant.

EAU AGRESSIVE

Votre Choix ? :

Correction de l'agressivite	Melange avec une autre eau
Floculation (coagulation)	Larson (indice de corrosion)
pH (ajustement)	Eau brute (modification)
Remineralisation	Nouvelle eau
Adoucissement	Imprimer
Doses de réactifs (ajout)	Quitter Equil

C:\Users\sca\DOWNLO~1\PFEB&B~1\QUILIB~1\QUILIB~1\EQUIL1F.EXE 16 juin 2018

Equilibre de l'eau <IR BAC2: 29.04.2018>

Température (<°C) = 25.00
 pH (<initial) = 7.83
 pHs = 8.06
 CO2 libre (mg/l) = 2.06
 Indice de saturation = -0.23
 IAC (<°F) = 8.00
 Ca (<°F) = 6.81
 Alc/CaO = 1.17
 Sel dissous (R.S mg/l) = 251.29
 CO2 agressif (sur CaCO3) = 0.8 (mg/l)
 CaCO3 dissolvable (mg/l) = -1.8 [CCPP]
 Indice de Stabilité (Ryznar) = 8.28

Note : remise à l'équilibre par aération ou par ajout de réactif neutralisant.

EAU AGRESSIVE

Votre Choix ? :

Correction de l'agressivite	Melange avec une autre eau
Floculation (coagulation)	Larson (indice de corrosion)
pH (ajustement)	Eau brute (modification)
Remineralisation	Nouvelle eau
Adoucissement	Imprimer
Doses de réactifs (ajout)	Quitter Equil

C:\Users\scs\DOWNLO~1\PFEB&B~1\QUILIB~1\QUILIB~1\EQUIL1F.EXE 16 juin 2018

Equilibre de l'eau <IR BAC2: 02.05.2018>

Température (<°C) = 25.00
pH (<initial) = 7.22
pHs = 8.04
CO2 libre (mg/l) = 8.67
Indice de saturation = -0.82
TAC (<°F) = 8.20
Ca (<°F) = 6.81
Alc/CaO = 1.20
Sel dissous (R.S mg/l) = 247.71
CO2 agressif (sur CaCO3) = 6.5 (mg/l)
CaCO3 dissolvable (mg/l) = -14.8 [CCPP]
Indice de Stabilité (Ryznar) = 8.86

EAU AGRESSIVE

Note : remise à l'équilibre par aération ou par ajout de réactif neutralisant.

Votre Choix ? :
Correction de l'agressivite
Floculation (coagulation)
pH (ajustement)
Remineralisation
Adoucissement
Doses de réactifs (ajout)

Melange avec une autre eau
Larson (indice de corrosion)
Eau brute (modification)
Nouvelle eau
Imprimer
Quitter Equil

Annexe XI

Analyse des eaux du BAC3 par la méthode de Ryznar en fonction du temps.

C:\Users\scs\DOWNLO~1\PFEB&B~1\QUILIB~1\QUILIB~1\EQUIL1F.EXE

Equilibre de l'eau <IR BAC3 19.04.2018> 17 juin 2018

Température (°C) = 25.00
pH (initial) = 7.78
pHs = 8.62
CO2 libre (mg/l) = 1.78
Indice de saturation = -0.84
TAC (°F) = 6.20
Ca (°F) = 2.40
Alc/CaO = 2.58
Sel dissous (R.S mg/l) = 277.78
CO2 agressif (sur CaCO3) = 1.5 (mg/l)
CaCO3 dissolvable (mg/l) = -3.3 [CCPP]
Indice de Stabilité (Ryznar) = 9.46
Note : remise à l'équilibre par aération ou par ajout de réactif neutralisant.

EAU AGRESSIVE

----- Votre Choix ? : -----

Correction de l'agressivite
Floculation (coagulation)
pH (ajustement)
Remineralisation
Adoucissement
Doses de reactifs (ajout)

Melange avec une autre eau
Larson (indice de corrosion)
Eau brute (modification)
Nouvelle eau
Imprimer
Quitter Equil

C:\Users\scs\DOWNLO~1\PFEB&B~1\QUILIB~1\QUILIB~1\EQUIL1F.EXE

Equilibre de l'eau <IR BAC3 22.04.2018> 17 juin 2018

Température (°C) = 25.00
pH (initial) = 7.78
pHs = 8.50
CO2 libre (mg/l) = 1.89
Indice de saturation = -0.72
TAC (°F) = 6.60
Ca (°F) = 3.01
Alc/CaO = 2.19
Sel dissous (R.S mg/l) = 277.06
CO2 agressif (sur CaCO3) = 1.5 (mg/l)
CaCO3 dissolvable (mg/l) = -3.4 [CCPP]
Indice de Stabilité (Ryznar) = 9.21
Note : remise à l'équilibre par aération ou par ajout de réactif neutralisant.

EAU AGRESSIVE

----- Votre Choix ? : -----

Correction de l'agressivite
Floculation (coagulation)
pH (ajustement)
Remineralisation
Adoucissement
Doses de reactifs (ajout)

Melange avec une autre eau
Larson (indice de corrosion)
Eau brute (modification)
Nouvelle eau
Imprimer
Quitter Equil

C:\Users\sos\DOWNLO~1\PFEB&B~1\QUILIB~1\QUILIB~1\EQUIL1F.EXE 17 juin 2018

Equilibre de l'eau <IR BAC3: 23.04.2018>

Température (°C) = 25.00
 pH (initial) = 7.83
 pHs = 8.52
 CO2 libre (mg/l) = 1.32
 Indice de saturation = -0.69
 TAC (°F) = 5.20
 Ca (°F) = 3.61
 Alc/CaO = 1.44
 Sel dissous (R.S mg/l) = 289.23
 CO2 agressif (sur CaCO3) = 1.0 (mg/l)
 CaCO3 dissolvable (mg/l) = -2.4 [CCPP]
 Indice de Stabilité (Ryznar) = 9.21

Note : remise à l'équilibre par aération ou par ajout de réactif neutralisant.
NOTA : un traitement de reminéralisation serait nécessaire

----- Votre Choix ? : -----

Correction de l'agressivite	Melange avec une autre eau
Floculation (coagulation)	Larson (indice de corrosion)
pH (ajustement)	Eau brute (modification)
Reminéralisation	Nouvelle eau
Adoucissement	Imprimer
Doses de réactifs (ajout)	Quitter Equil

EAU AGRESSIVE

C:\Users\sos\DOWNLO~1\PFEB&B~1\QUILIB~1\QUILIB~1\EQUIL1F.EXE 17 juin 2018

Equilibre de l'eau <IR BAC3: 25.04.2018>

Température (°C) = 25.00
 pH (initial) = 7.75
 pHs = 8.40
 CO2 libre (mg/l) = 1.92
 Indice de saturation = -0.65
 TAC (°F) = 6.20
 Ca (°F) = 4.01
 Alc/CaO = 1.55
 Sel dissous (R.S mg/l) = 249.86
 CO2 agressif (sur CaCO3) = 1.4 (mg/l)
 CaCO3 dissolvable (mg/l) = -3.3 [CCPP]
 Indice de Stabilité (Ryznar) = 9.04

Note : remise à l'équilibre par aération ou par ajout de réactif neutralisant.

----- Votre Choix ? : -----

Correction de l'agressivite	Melange avec une autre eau
Floculation (coagulation)	Larson (indice de corrosion)
pH (ajustement)	Eau brute (modification)
Reminéralisation	Nouvelle eau
Adoucissement	Imprimer
Doses de réactifs (ajout)	Quitter Equil

EAU AGRESSIVE

C:\Users\sca\DOWNLO~1\PFEB&B~1\QUILIB~1\QUILIB~1\EQUIL1F.EXE

Equilibre de l'eau (IR BAC3: 26.04.2018) 17 juin 2018

Température ($^{\circ}\text{C}$) = 25.00
 pH (initial) = 7.81
 pHs = 8.45
 CO2 libre (mg/l) = 1.57
 Indice de saturation = -0.64
 TAC ($^{\circ}\text{F}$) = 5.80
 Ca ($^{\circ}\text{F}$) = 3.81
 Alc/CaO = 1.52
 Sel dissous (R.S mg/l) = 241.98
 CO2 agressif (sur CaCO3) = 1.2 (mg/l)
 CaCO3 dissolvable (mg/l) = -2.7 [CCPP]
 Indice de Stabilité (Ryznar) = 9.08

Note : remise à l'équilibre par aération ou par ajout de réactif neutralisant.
NOTA : un traitement de reminéralisation serait nécessaire

Votre Choix ? :

Correction de l'agressivite	Melange avec une autre eau
Floculation (coagulation)	Larson (indice de corrosion)
pH (ajustement)	Eau brute (modification)
Reminéralisation	Nouvelle eau
Adoucissement	Imprimer
Doses de réactifs (ajout)	Quitter Equil

EAU AGRESSIVE

C:\Users\sca\DOWNLO~1\PFEB&B~1\QUILIB~1\QUILIB~1\EQUIL1F.EXE

Equilibre de l'eau (IR BAC3: 29.04.2018) 17 juin 2018

Température ($^{\circ}\text{C}$) = 25.00
 pH (initial) = 7.73
 pHs = 8.40
 CO2 libre (mg/l) = 2.07
 Indice de saturation = -0.67
 TAC ($^{\circ}\text{F}$) = 6.40
 Ca ($^{\circ}\text{F}$) = 3.81
 Alc/CaO = 1.68
 Sel dissous (R.S mg/l) = 257.73
 CO2 agressif (sur CaCO3) = 1.6 (mg/l)
 CaCO3 dissolvable (mg/l) = -3.5 [CCPP]
 Indice de Stabilité (Ryznar) = 9.08

Note : remise à l'équilibre par aération ou par ajout de réactif neutralisant.

Votre Choix ? :

Correction de l'agressivite	Melange avec une autre eau
Floculation (coagulation)	Larson (indice de corrosion)
pH (ajustement)	Eau brute (modification)
Reminéralisation	Nouvelle eau
Adoucissement	Imprimer
Doses de réactifs (ajout)	Quitter Equil

EAU AGRESSIVE

The screenshot shows a Windows application window titled "Equilibre de l'eau <IR BAC3: 02.05.2018>" with a date of "17 juin 2018". The window displays various water quality parameters and a menu for user choices. A red box with the text "EAU AGRESSIVE" is overlaid on the right side of the parameter list.

Equilibre de l'eau <IR BAC3: 02.05.2018> 17 juin 2018

Température (<°C>) = 25.00
pH (<initial>) = 7.31
pHs = 8.02
CO2 libre (<mg/l>) = 7.06
Indice de saturation = -0.71
TAC (<°F>) = 8.20
Ca (<°F>) = 7.21
Alc/CaO = 1.14
Sel dissous (R.S mg/l) = 240.55
CO2 agressif (<sur CaCO3>) = 5.1 (<mg/l>)
CaCO3 dissolvable (<mg/l>) = -11.5 [CCPP]
Indice de Stabilité (Ryznar) = 8.72

Note : remise à l'équilibre par aération ou par ajout de réactif neutralisant.

Votre Choix ? :
Correction de l'agressivite
Floculation (<coagulation>)
pH (<ajustement>)
Remineralisation
Adoucissement
Doses de réactifs (<ajout>)

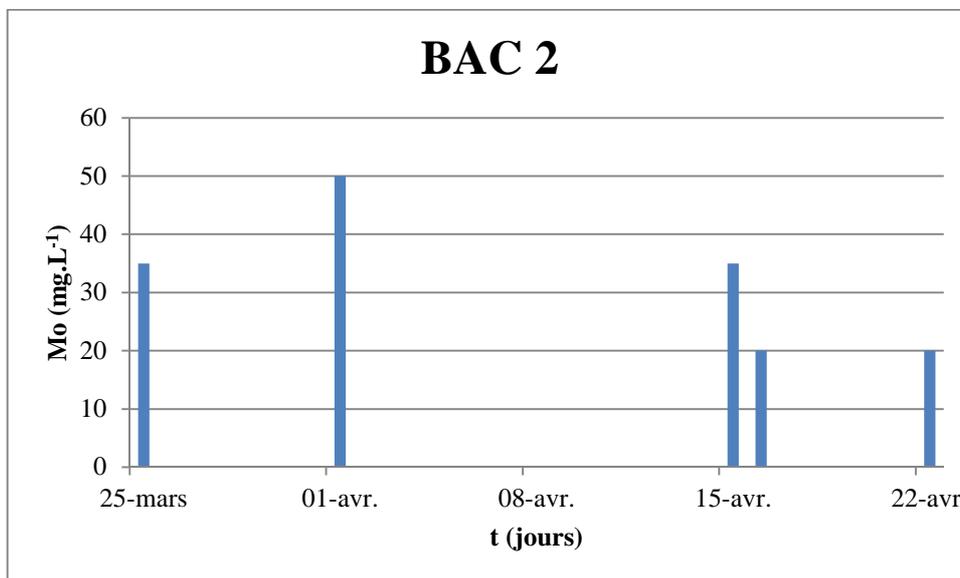
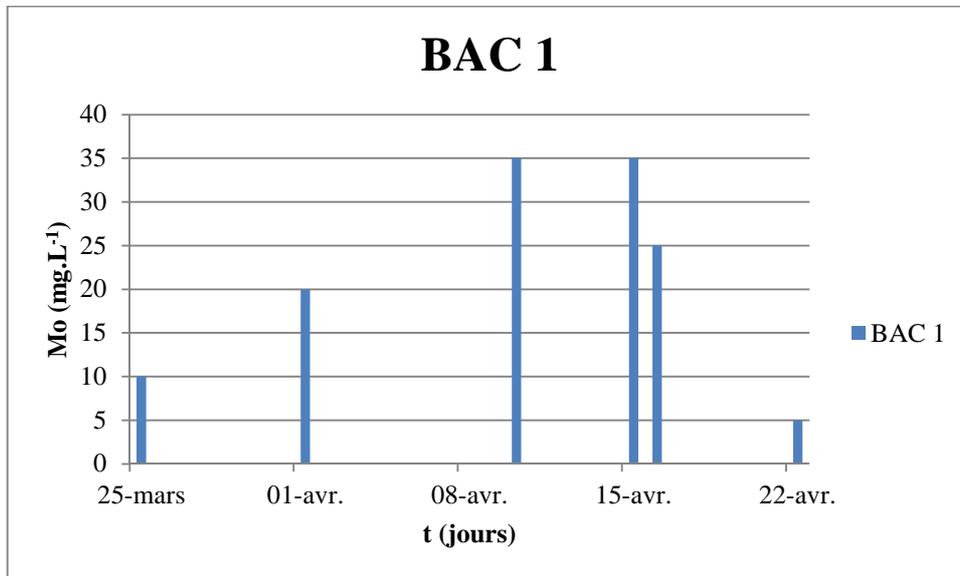
Melange avec une autre eau
Larson (<indice de corrosion>)
Eau brute (<modification>)
Nouvelle eau
Imprimer
Quitter Equil

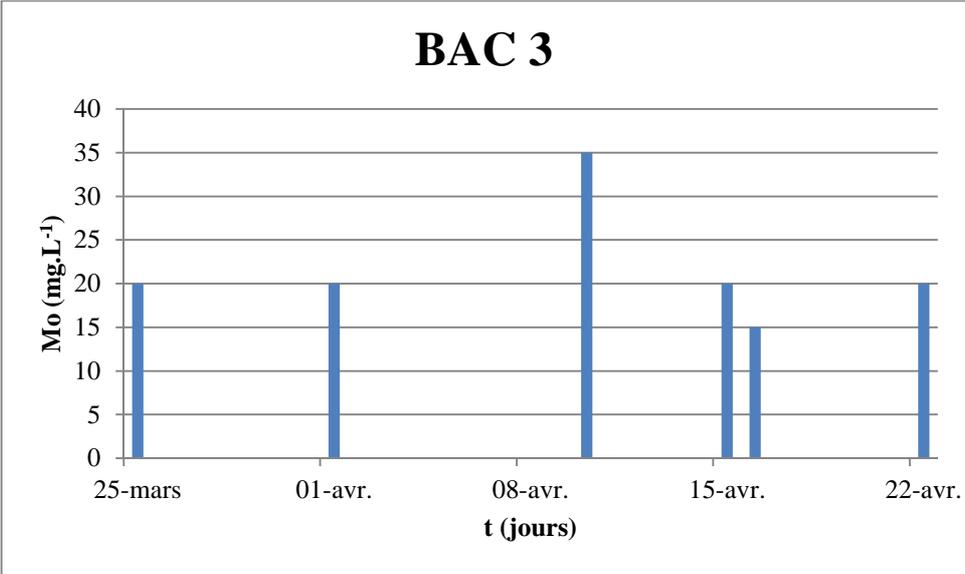
EAU AGRESSIVE

Annexe XII

Représentation graphique des molybdènes

Variation des molybdènes en fonction du temps pour les eaux (BAC1, BAC2, BAC3).





Résumé

L'objectif de ce travail est d'évaluer la qualité physico-chimique de l'eau utilisée dans la reconstitution du lait, les métaux lourds qui les constituent ainsi que leur comportement dans les installations.

Dix paramètres physico-chimiques (pH, conductivité, chlorures, alcalinité, dureté, orthophosphates, sulfites, Redox, Cl₂ libre, molybdène) ont été suivis durant cinq semaines. Le comportement des eaux des tours de refroidissement a été analysé par trois méthodes (indice de sursaturation, indice de Ryznar, essaie au marbre), le dosage des métaux lourds a été effectué par deux analyses (SAA, ICP).

Les résultats des analyses physico-chimiques et le dosage des métaux lourds montrent la bonne qualité de l'eau. Par rapport aux normes fixées par l'entreprise, les résultats des analyses physicochimiques et microbiologiques effectués relèvent une conformité et une stabilité de tous les paramètres suivis.

Par contre l'étude de leur comportement montre que les eaux des bacs à glace sont agressives, des traitements sont effectués afin de diminuer leur corrosivités.

Mots clés : Lait, eau, Ryznar, essaie au marbre, coefficient de sursaturation, ICP.

Abstract

The objective of this work is to evaluate the physico-chemical quality of the water used in the reconstitution of the milk, the heavy metals that constitute them as well as their behavior in the installations.

Ten physicochemical parameters (pH, conductivity, chlorides, alkalinity, hardness, orthophosphate, sulphites, redox, free Cl₂, molybdenum) were monitored for five weeks. The water behavior of the cooling towers was analyzed by three methods (subsaturation index, Ryznar index, marble test), the heavy metals determination was carried out by two analyzes (SAA, ICP).

The results of the physico-chemical analyzes and the determination of the heavy metals show the good quality of the water. Compared to the standards set by the company, the results of the physicochemical and microbiological analyzes carried out indicate conformity and stability of all the parameters monitored.

On the other hand, the study of their behavior shows that the waters of the ice boxes are aggressive, treatments are carried out in order to reduce their corrosivities.

Key words: Milk, water, Ryznar, marble test, sursaturation coefficient, ICP.