

3/02



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique

École Nationale Polytechnique



*Département du
Génie de l'Environnement*

Projet de fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie de l'Environnement

Quantification et
caractérisation des effluents de
l'unité A.B.C. Pepsi-Rouiba.
Essais d'épuration

Proposé et encadré par

M. A.CHERGUI

Etudié par

Mlle RAIS Samira

Année Universitaire 2001/2002

REMERCIEMENTS



Mes remerciements vont au Pr KERBACHI pour avoir accepté de présider le jury, ainsi qu'aux membres du jury : Mme ABDI, M.YEDDOU et M.LOUNES.

Mes remerciements s'adressent à M.CHERGUI pour m'avoir encadrée au cours de ce projet, pour m'avoir aidée, conseillée et encouragée mais aussi pour avoir mis à ma disposition les moyens nécessaires à l'aboutissement de ce travail.

Je remercie M.YEDDOU pour m'avoir accueillie dans son laboratoire, pour m'avoir conseillée et orientée.

Je remercie aussi M.LOUNES pour m'avoir accueillie dans son laboratoire, ainsi que Mme HAMOUCHE et son équipe (Mohammed en particulier).

Je tiens aussi à remercier M.ABOU ZAITOUNA pour son aide précieuse et ses renseignements.

Un grand merci à Karim LAKHCHINE qui n'a pas lésiné d'efforts pour m'aider au cours de mon stage, ainsi qu'à M. le directeur des travaux neufs.

Un autre grand merci à l'équipe de traitement des eaux, en particulier Réda, Nadim et Mourad, pour leur soutien, encouragements et conseils tout au long de mon stage.

DEDICACE



A ma grand-mère, Yemma

A mes parents

A mon oncle, tonton Hassan, et ma tante Bibicha et ses enfants

A ma sœur et mon frère

A mon Salim et sa famille

A mes amis (les S en particulier)

A la mémoire de ma petite sœur Wassila

"On ne va jamais aussi loin que quand on ne sait pas où on va"

Christophe Colomb

LISTE DES ABREVIATIONS ET NOMENCLATURES

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

A.B.C.	Atlas Bottling Corporation
A.F.NOR.	Association Française de NORmalisation
A.N.R.H.	Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
C.A.P.	Charbon Actif en Poudre
Cond.	Conductivité
C.R.D.	Centre de Recherche et Développement
D.B.O₅	Demande Biochimique en Oxygène après cinq jours d'incubation
D.C.O.	Demande Chimique en Oxygène
F.C.	Filtre à Charbon
Fe_T	Fer total
F.F.	Filtre Final
F.S.	Filtre à Sable
Hebd.	Hebdomadaire
I.C.E.	Ingénierie Conception Expertise
I.S.O.	International Standardising Organisation
M.E.S.	Matières En Suspension
N.B.	Nota Bene
P.C.I.	Pepsi Cola International

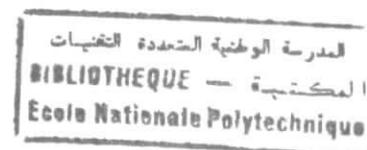
P.F.	Pré-Filtre	المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات المكتبة — BIBLIOTHEQUE Ecole Nationale Polytechnique
pH	potentiel Hydrogène	
p.p.m.	Partie par million	
p.p.t.	Partie par trillion	
S.T.E. (le)	Service Traitement des Eaux	
S.T.E. (la)	Station de Traitement des Eaux	
S	Surpresseur	
T°	Température	
T.D.S.	Total Dissolved Matiers	
T.H.	Titre Hydrométrique	
Turb.	Turbidité	
U.V.	Ultra Violet	

LISTE DES UNITES

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

bar	bar
°C	Degrés Celcius
cm	centimètre
g	gramme
h	heure
j	jour
Kg	kilogramme
L	Litre
m	mètre
m²	mètre carré
m³	mètre cube
mg	milligramme
ml	millilitre
mn	minute
N.T.U.	Nephremetric Turbidity Unit

RESUMES



Résumé

Cette étude a pour objectif le diagnostic des problèmes liés à l'eau dans l'unité de production A.B.C. Pepsi-Rouiba, par la quantification et la caractérisation des effluents, et ce afin de formuler une variante de traitement adaptée aux cadences de production.

Le traitement par coagulation floculation avec du chlorure de fer additionné de charbon actif en poudre a donné des résultats satisfaisants quant à l'abattement de la teneur en matières en suspension, de la turbidité, de la demande biologique et biochimique, et des résidus de fer; conformant ainsi l'effluent aux normes algériennes de rejet.

Mots clés : A.B.C. Pepsi-Rouiba, effluent, eaux résiduaires, normes de rejet algériennes, traitement, coagulation-floculation, chlorure de fer ferrique, charbon actif en poudre.

Summary

The aim of this study is to diagnostic water problems at A.B.C. Pepsi-Rouiba by the quantification and caractérisation of the effluent of this factory in order to developpe the most adapted traitement according to the way of production.

Coagulation floculation using iron chloride and actif carbon gave good results by reducing suspended matiers, turbididty, chemical et biochemical oxygen demand, and also iron residues; that is the way to make the effluent conformed to algerian wastewater standards.

Key words : A.B.C. Pepsi-Rouiba, effluent, wastewater, algerian standards, treatment, coagulation- floculation, iron chloride, actif carbon.

ملخص

إن الهدف من عملنا هذا هو تحسين
 المشكل المتعلق بالماء في الوحدة الإنتاجية
 لـ A.B.C. Pepsi-Rouiba وهذا عن طريق التصفين
 والتصين للسوائل، بهدف إيجاد أحسن
 طريقة معالجة نظراً إلى طريقة الإنتاج
 المعالجة بالتهدئيم الكيميائي بأملح الحديد
 إضافة إلى مسحوق الفحم أعطت نتائج
 مرضية بتقليص نسبة المواد العنبر راسبة،
 الطلب البيولوجي والبيو كيميائي في الأكسجين
 والحديد، هذا يجب السائل للنظام
 الجزائري المتعلق بالسوائل العينة

الكلمات المفتاح :

A.B.C. Pepsi-Rouiba ، سائل ، مياه عينة ، معالجة ،
 النظام الجزائري لسوائل ، تهدئيم كيميائي
 ملح الحديد ، مسحوق الفحم

SOMMAIRE



INTRODUCTION	17
CHAPITRE I	19
<u>L'EAU DANS L'INDUSTRIE DES BOISSONS (CAS DE L'UNITE A.B.C. PEPSI-ROUIBA)</u>	<u>19</u>
I.1. L'eau dans l'industrie agro-alimentaire en Algérie	20
I.1.1. La consommation en eau	20
I.1.2. Les rejets	20
I.2. Les besoins en eau, la consommation et les rejets dans l'industrie des boissons	21
I.3. L'industrie et la politique algérienne en matière d'eau	22
I.4. Diagnostic et positionnement du problème dans le cas de l'unité A.B.C. Pepsi-Rouiba	25
I.4.1. Présentation générale de l'unité de production A.B.C. Pepsi-Rouiba	25
I.4.2. Formulation de la problématique	28
I.4.2.1. Le volet rentabilité et rendement	28
I.4.2.2. Le volet environnemental	28
I.4.2.3. Le volet étique et culture d'entreprise	28
CHAPITRE II	30
<u>LA DEMARCHE EXPERIMENTALE</u>	<u>30</u>
II.1. La procédure de caractérisation (quantification et caractérisation physico-chimique et biologique)	31
II.2. Les outils statistiques et méthodes de sondage	32
II.2.1. Les méthodes empiriques [7]	32
II.2.1.1. La méthode des quotas	32
II.2.1.2. La méthode des unités types	33
II.2.2. Les méthodes aléatoires [7]	33
II.2.2.1. La méthode élémentaire	33
II.2.2.2. Le sondage stratifié	33
II.2.2.3. Le sondage systématique	33
II.2.2.4. Le sondage par grappes	33
II.2.2.5. Le sondage à probabilités égales	34
II.2.2.6. Le sondage à plusieurs degrés	34
II.3. Les paramètres de quantification des effluents	34
II.4. Les paramètres de caractérisation physico-chimique et biologique	34
(voir annexe A2)	34

II.4.1. La température (T°)	34
II.4.2. Le pH	35
II.4.3. La conductivité (cond.) et le T.D.S.	35
II.4.4. La couleur	35
II.4.5. La turbidité (turb.)	35
II.4.6. Les Matières En Suspension (M.E.S.)	35
II.4.7. Les matières décantables	36
II.4.8. Le Titre Hydrométrique T.H.	36
II.4.9. La Demande Biochimique au bout de 5 jours d'incubation (D.B.O. ₅)	36
II.4.10. La Demande Chimique en Oxygène (D.C.O.)	36
II.4.11. Les minéraux	37
CHAPITRE III	38
LE PROCESSUS DE PRODUCTION	38
III.1. L'alimentation en eau souterraine	39
III.1.1. Le processus d'alimentation en eau souterraine	39
III.1.2. Les caractéristiques physico-chimiques et biologiques de l'eau d'alimentation	41
III.2. La station de traitement des eaux	41
III.2.1. La S.T.E. n°1	41
III.2.1.1. Le prétraitement	41
III.2.1.2. L'osmose inverse	42
III.2.1.3. Le stockage et l'alimentation des services de production	42
III.2.2. La S.T.E. n°2	43
III.2.2.1. Le prétraitement	43
III.2.2.2. Le stockage de l'eau prétraitée	43
III.2.2.3. L'osmose inverse	43
III.2.2.4. Le stockage et l'alimentation des services de production	44
III.3. Le système de chaufferie	45
III.4. La siroperie	47
III.4.1. La dissolution du sucre	47
III.4.2. La filtration	47
III.4.3. Le refroidissement et le contrôle du Brix	47
III.4.4. L'addition de parfums, acides et conservateurs, et la distribution	48
III.5. La ligne Sidel P.E.T.	50
III.5.1. La carbonatation	50
III.5.2. La boisson finie	50
III.5.3. Les bouteilles	50
III.5.4. Le conditionnement	50
III.6. La ligne Sidel verre et Kronos	50

III.6.1. Le bain de préchauffage	51
III.6.2. Les bains de soude	51
III.6.2.1. Le premier bain de soude	51
III.6.2.2. Le second bain de soude	51
III.6.3. Les bains de rinçage	51
CHAPITRE IV	53
<hr/>	
QUANTIFICATION ET CARACTERISATION DE LA PRODUCTION, DE LA CONSOMMATION EN EAU ET DES REJETS PAR ETAPE DE PRODUCTION	53
<hr/>	
IV.1. L'alimentation en eau souterraine	54
IV.1.1. Les fréquences de rejet	54
IV.1.2. Les débits de rejet	54
IV.1.3. Les caractéristiques physico-chimiques des eaux de rejet	55
IV.2. La station de traitement des eaux	55
IV.2.1. Les rejets des osmoseurs	55
IV.2.1.1. Les débits de rejet concentrat	56
IV.2.1.2. Les caractéristiques physico-chimiques des rejets concentrats	63
IV.2.2. Les rejets de l'adoucisseur	63
IV.2.2.1. Les débits et fréquences de rejets	63
IV.2.2.2. Les caractéristiques physico-chimiques des rejets de l'adoucisseur	65
IV.2.3. Les rejets de sanitation, de contre-lavages et d'entretien de la station	66
IV.3. Le dispositif de chaufferie	67
IV.3.1. La consommation en eau au niveau du service	67
IV.3.2. Les rejets	68
IV.3.2.1. Les fréquences de rejet	68
IV.3.2.2. Les débits de rejet	68
IV.3.2.3. Caractéristiques physico-chimiques des rejets	68
IV.4. La siroperie	69
IV.4.1. Les fréquences de rejet	69
IV.4.2. La procédure de sanitation	70
IV.4.3. Les débits de rejet	71
IV.4.4. Les caractéristiques physico-chimiques des rejets	72
IV.5. La ligne Sidel P.E.T.	73
IV.5.1. Les fréquences de rejet	73
IV.5.2. Les débits de rejets, les consommations et la production	73
IV.5.3. Les caractéristiques physico-chimiques des rejets	75
IV.6. La ligne Sidel verre	76
IV.6.1. Les rejets permanents de la laveuse Sidel	76
IV.6.1.1. Les débits des rejets permanents de la laveuse Sidel	76

IV.6.1.2. Les caractéristiques physico-chimiques et biologiques des rejets permanents de la laveuse Sidel	80
IV.6.2. Les rejets mensuels de la laveuse Sidel	82
IV.6.2.1. Les débits des rejets mensuels de la laveuse Sidel	82
IV.6.2.2. Les caractéristiques physico-chimiques des rejets mensuels de la laveuse Sidel	82
IV.6.3. Les rejets de sanitation de la laveuse Sidel	82
IV.7. La ligne Kronos	83
IV.7.1. Les rejets permanents de la laveuse Kronos	83
IV.7.2. Les rejets mensuels	84
CHAPITRE V	85

QUANTIFICATION ET CARACTERISATION DE L'EFFLUENT GLOBAL 85

V.1. La quantification des consommations en eaux	86
V.2. La quantification des rejets	92
V.3. La valorisation des eaux	93
V.4. La caractérisation physico-chimique des eaux résiduaires	94

CHAPITRE VI 100

LA FILIERE DE TRAITEMENT 100

VI.1. La régulation du débit de l'effluent (le bassin tampon)	102
VI.2. Le dégrillage	104
VI.3. Le déshuilage	105
VI.4. La décantation	105
VI.5. La neutralisation (ou ajustement du pH) [8]	106
VI.5.1. Aspects théoriques	106
VI.5.2. Le choix de l'acide	106
VI.5.3. Mise en œuvre et paramètres de contrôle	107
VI.6. La coagulation-floculation	108
VI.6.1. La coagulation	108
VI.6.1.1. Aspects théoriques	108
VI.6.1.2. Choix du coagulant	112
VI.6.1.3. Essais de coagulation (détermination de la dose optimale de coagulant)	113
VI.6.1.4. Conduite de l'essai	114
VI.6.1.5. Résultats et interprétations	117
VI.6.2. La coagulation-floculation	119
VI.6.2.1. Aspects théoriques	124
VI.6.2.2. Le choix du floculant	124
VI.6.2.3. Essai de coagulation-floculation (déterminaton de la dose optimale de floculant)	124
	125

VI.6.2.4. Conduite de l'essai	125
VI.6.2.5. Résultats et Interprétation	125
VI.6.2.6. En résumé	135
VI.6.2.7. Mise en œuvre et paramètres de contrôle	135
VI.6.2.8. Conclusion	137
VI.7. La désinfection[8]	138
VI.8. Le traitement des boues	138
VI.9. Valorisation de l'eau traitée	139
CONCLUSION	141
ANNEXES	I
ANNEXE A1	II
A1.1. Le pollueur payeur	ii
A1.2. Le principe du pollueur payeur	ii
A.1.3. Commentaires	iii
ANNEXE A2	IV
A2.1. Mesure de la Demande Biochimique en Oxygène au bout de 5 j (D.B.O.) [15]	iv
A2.1.1.Principe	iv
A2.1.2. Echantillonnage et conservation	v
A2.1.3. Limites et interférences	v
A2.2. Détermination de la Demande Chimique en Oxygène (D.C.O.) [16]	v
A2.2.1. Principe	vi
A2.2.2. Echantillonnage et conservation	vi
A2.2.3. Limites et interférences	vi
A2.3. Mesure de la conductivité et du T.D.S.	vi
A2.4. Les M.E.S. [17]	vi
A2.5. Dosage des minéraux (par spectrophotométrie)	vii
A2.5.1. Dosage des ions chlorures	vii
A2.5.2. Dosage des ions Fe ²⁺ (ou le fer ferreux)	vii
A2.5.3. Dosage du fer total (Fe _T)	vii
A2.5.4. Dosage des ions sulfates	vii
A2.6. Mesure du pH	vii
A2.7. Mesure de la température	viii
A2.8. Mesure du T.H. [15]	viii
A2.9. Mesure de la turbidité	viii

A2.10. L'essai en Jar-Test

A2.10.1 Conduite de l'essai de coagulation

A2.10.2. Conduite de l'essai de coagulation-floculation

A2.11. Les matières décantables[17]

BIBLIOGRAPHIE

المدرسة الوطنية للعلوم التطبيقية	Sommaire
المكتبة	viii
BIBLIOTHEQUE	viii
Ecole Nationale Polytechnique	ix
	x
	xi

LISTE DES FIGURES

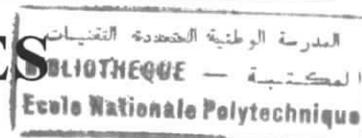


Figure 1 - La répartition de la consommation en ressources hydriques en 2000 par secteur d'activité...	20
Figure 2 - Schéma de la distribution spatiale des lignes de production.....	26
Figure 3 - Schéma descriptif du processus d'alimentation en eau souterraine.....	40
Figure 4 - Schéma de fonctionnement de la chaudière.....	46
Figure 5 - Schéma descriptif de la procédure de préparation des sirops finis.....	49
Figure 6 - Schéma du dispositif de lavage des bouteilles en verre.....	52
Figure 7 - Histogramme des débits de rejet concentrat au cours de la journée du samedi de la semaine de pleine production.....	56
Figure 8 - Histogramme des débits de rejet de concentrat au cours de la journée du dimanche de la semaine de pleine production.....	57
Figure 9 - Histogramme des débits de rejet concentrat au cours de la journée du lundi de la semaine de pleine production.....	57
Figure 10 - Histogramme des débits de rejet concentrat au cours de la journée du mardi de la semaine de pleine production.....	58
Figure 11 - Histogramme des débits de rejet concentrat au cours de la journée du mercredi de la semaine de pleine production.....	58
Figure 12 - Histogramme des débits de rejet concentrat au cours de la journée du jeudi de la semaine de pleine production.....	59
Figure 13 - Histogramme des débits de rejet concentrat au cours de la journée du vendredi de la semaine de pleine production.....	59
Figure 14 - Histogramme des débits moyens de rejet concentrat par tranche horaire de production pour les différentes journées de la semaine de pleine production.....	61
Figure 15 - Histogramme des débits de rejet concentrat journaliers moyens au cours d'une semaine de pleine production.....	62
Figure 16 - Histogramme des débits journaliers d'eau consommée au niveau de l'adoucisseur au cours de la semaine de pleine production.....	64
Figure 17 - Histogramme des débits journaliers d'eau rejetée (de régénération) au niveau de l'adoucisseur au cours de la semaine de pleine production.....	65
Figure 18 - Schéma descriptif de la procédure de sanitation au niveau de la siroperie.....	71
Figure 19 - Variations des volumes d'eau consommée et d'eau rejetée en fonction des volumes de boisson produite.....	74
Figure 20 - Variations du rapport volumique <i>boisson produite/eau consommée</i> en fonction du volume de boisson produite (m ³).....	75
Figure 21 - Histogramme des débits de rejet de la laveuse Sidel au cours de la journée du samedi de la semaine de pleine production.....	77
Figure 22 - Histogramme des débits de rejet de la laveuse Sidel au cours de la journée du dimanche de la semaine de pleine production.....	77

Figure 23 - Histogramme des débits de rejet de la laveuse Sidel au cours de la journée du lundi de la semaine de pleine production	78
Figure 24 - Histogramme des débits de rejet de la laveuse Sidel au cours de la journée du mardi de la semaine de pleine production.....	78
Figure 25 - Histogramme des débits de rejet de la laveuse Sidel au cours de la journée du mercredi de la semaine de pleine production	79
Figure 26 - Histogramme des débits moyens de rejet de la laveuse Sidel par tranche horaire de production pour les différentes journées de la semaine de pleine production.....	79
Figure 27 - Histogramme des débits de rejet journaliers moyens de la laveuse Sidel au cours d'une semaine de pleine production	80
Figure 28 - Histogramme des volumes d'eau totale consommée au cours de la journée du samedi de la semaine de pleine production.....	86
Figure 29 - Histogramme des volumes d'eau totale consommée au cours de la journée du dimanche de la semaine de pleine production	87
Figure 30 - Histogramme des volumes d'eau totale consommée au cours de la journée du lundi de la semaine de pleine production	87
Figure 31 - Histogramme des volumes d'eau totale consommée au cours de la journée du mardi de la semaine de pleine production.....	88
Figure 32 - Histogramme des volumes d'eau totale consommée au cours de la journée du mercredi de la semaine de pleine production	88
Figure 33 - Histogramme des volumes d'eau totale consommée au cours de la journée du jeudi de la semaine de pleine production	89
Figure 34 - Histogramme des volumes d'eau totale consommée au cours de la journée du vendredi de la semaine de pleine production	89
Figure 35 - Histogramme des débits moyens d'eau d'alimentation ou consommation totale par tranche horaire au cours d'une semaine de pleine production.....	90
Figure 36 - Histogramme des débits journaliers moyens de la consommation totale en eau au cours d'une semaine de pleine production	91
Figure 37 - Histogramme des débits de rejet journaliers moyens au cours d'une semaine de pleine production.....	92
Figure 38 - Variations des volumes d'eau totale consommée et d'eau de process en fonction des volumes de boisson produite.....	93
Figure 39 - Variations des volumes d'eau consommée et d'eau rejetée en fonction des volumes de boisson produite.....	94
Figure 40 - Variations de la température de l'effluent global en fonction du temps	95
Figure 41 - Variation du pH de l'effluent global en fonction du temps	95
Figure 42 - Variation de la conductivité de l'effluent global ($\mu\text{s}/\text{cm}$) en fonction du temps	96
Figure 43 - Variation de la turbidité de l'effluent global (N.T.U.) en fonction du temps.....	96
Figure 44 - Variation du T.H. de l'effluent global ($^{\circ}\text{F}$) en fonction du temps.....	97
Figure 45 - Schéma de fonctionnement du dispositif de régulation.....	104
Figure 46 - Schéma de fonctionnement du dispositif de neutralisation.....	108
Figure 47 - Distribution des dimensions des différentes particules présentes dans l'eau	109

Figure 48 - Le potentiel zêta.....	111
Figure 49 - Variations de la turbidité résiduelle (N.T.U.) en fonction de la dose du FeCl_3 (mg/L).....	115
Figure 50 - Variations de la turbidité résiduelle (N.T.U.) en fonction de la dose du FeCl_3 (mg/L).....	117
Figure 51 - Variation du pH en fonction de la dose du FeCl_3 (mg/L).....	118
Figure 52 - Variations de la conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$) en fonction de la dose du FeCl_3 (mg/L).....	119
Figure 53 - Variations du T.D.S. (p.p.m.) en fonction de la dose du FeCl_3 (mg/L).....	120
Figure 54 - Variations de la concentration en chlorure résiduel (mg/L) en fonction de la dose du FeCl_3 (mg/L).....	120
Figure 55 - Variations de la concentration en fer ferreux résiduel (mg/L) en fonction de la dose du FeCl_3 (mg/L).....	121
Figure 56 - Variations de la concentration en fer total résiduel (mg/L) en fonction de la dose du FeCl_3 (mg/L).....	121
Figure 57 - Variations de la concentration en sulfate résiduel (mg/L) en fonction de la dose du FeCl_3 (mg/L).....	122
Figure 58 - Variations du T.H. ($^{\circ}\text{F}$) en fonction de la dose du FeCl_3 (mg/L).....	123
Figure 59 - Variations de la turbidité résiduelle (N.T.U.) en fonction de la dose du C.A.P. (mg/L).....	126
Figure 60 - Variations des teneurs résiduelles en M.E.S. (mg/L) en fonction de la dose du C.A.P. (mg/L).....	127
Figure 61 - Variations du pH en fonction de la dose de C.A.P. (mg/L).....	128
Figure 62 - Variations de la D.C.O. résiduelle (mg/L d' O_2) en fonction de la dose du C.A.P. en (mg/L).....	128
Figure 63 - Variations de la D.B.O. ₅ résiduelle (mg/L d' O_2) en fonction de la dose du C.A.P. (mg/L).....	129
Figure 64 - Variations de la conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$) en fonction de la dose du C.A.P. (mg/L).....	130
Figure 65 - Variations du T.D.S. (p.p.m.) en fonction de la dose du C.A.P. (mg/L).....	131
Figure 66 - Variations de la concentration en sulfate résiduel (mg/L) en fonction de la dose du C.A.P. (mg/L).....	131
Figure 67 - Variations de la concentration en fer ferreux résiduel (mg/L) en fonction de la dose du C.A.P. (mg/L).....	132
Figure 68 - Variations de la concentration en fer total (mg/L) en fonction de la dose du C.A.P. (mg/L).....	133
Figure 69 - Variation du T.H. ($^{\circ}\text{F}$) en fonction de la dose du C.A.P. (mg/L).....	133
Figure 70 - Variations de la masse de boues générées (g/L) en fonction de la dose du C.A.P. (mg/L).....	134
Figure 71 - Schéma de fonctionnement du dispositif de coagulation-floculation.....	137

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 - Extrait des normes algériennes de rejet des effluents industriels [6]	24
Tableau 2 - Les capacités de production des lignes de l'unité A.B.C. Pepsi-Rouiba	26
Tableau 3 - La classification des journées de travail en fonction de la cadence de production	27
Tableau 4 - Les caractéristiques physico-chimiques et biologiques de l'eau d'alimentation	41
Tableau 5 - Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau prétraitée et des eaux de process	44
Tableau 6 - La caractérisation des variations des débits de rejet concentrat au cours des journées de la semaine de pleine production	60
Tableau 7 - La caractérisation des variations des débits moyens, par tranche horaire (8 h), des rejets concentrés au cours des journées de la semaine de pleine production	61
Tableau 8 - La caractérisation des variations des débits moyens journaliers de rejet concentrat au cours de la semaine de pleine production	62
Tableau 9 - Les caractéristiques physico-chimiques des rejets concentrés des l'osmoseurs	63
Tableau 10 - Estimation des rejets de l'adoucisseur ainsi que de sa productivité	64
Tableau 11 - Les caractéristiques physico-chimiques des rejets de l'adoucisseur	66
Tableau 12 - Les débits de rejets journaliers au niveau de la S.T.Eau cours de la semaine de pleine production	67
Tableau 13 - La consommation des chaudières en eau selon la cadence de production	68
Tableau 14 - L'estimation des volumes journaliers d'eau rejetée au niveau des chaudières en fonction de la cadence de production	68
Tableau 15 - Les caractéristiques physico-chimiques des eaux de rejet de la chaudière	69
Tableau 16 - L'estimation de la mobilisation des cuves au niveau de la siroperie en fonction des cadences de production	70
Tableau 17 - Les volumes d'eau nécessaires à la sanitation au niveau de la siroperie et ce par étape	72
Tableau 18 - Les caractéristiques générales des eaux de sanitation au niveau de la siroperie, et ce par étape	73
Tableau 19 - Les volumes d'eaux consommées, rejetées et valorisées par la ligne Sidel P.E.T.	74
Tableau 20 - Les caractéristiques physico-chimiques des eaux de rinçage de la ligne Sidel P.E.T.	76
Tableau 21 - Les caractéristiques physico-chimiques et biologiques des eaux de rejet de la laveuse Sidel	81
Tableau 22 - Les caractéristiques physico-chimiques des eaux des bains de soude de la laveuse Sidel	82
Tableau 23 - Les caractéristiques physico-chimiques et biologiques des rejets des bains de préchauffage de la laveuse Kronos	83
Tableau 24 - Les caractéristiques physico-chimiques des eaux des bains de soude de la laveuse Kronos	84
Tableau 25 - La caractérisation des variations des débits de la consommation totale en eau au cours des journées de la semaine de pleine production	90

Tableau 26 - La caractérisation des variations des débits moyens, par tranche horaire (8 h), des consommations totales en eau au cours des journées de la semaine de pleine production.....	91
Tableau 27 - La caractérisation des variations des débits moyens journaliers de la consommation totale en eau.....	92
Tableau 28 - La caractérisation des variations des débits moyens journaliers des eaux de rejet.....	93
Tableau 29 - Les caractéristiques physico-chimiques et biologiques relatives aux journées de demi charge et de sanitation.....	98
Tableau 30 - Les caractéristiques physico-chimiques et biologiques relatives aux journées de pleine production.....	99
Tableau 31 - L'orientation du traitement en fonction du rapport D.B.O. ₅ /D.C.O. [8].....	101
Tableau 32 - Les coagulants et adjuvants de coagulation.....	112
Tableau 33 - Les caractéristiques physico-chimiques et biologiques de l'effluent témoin ou à traiter ..	114
Tableau 34 - Les caractéristiques physico-chimiques des eaux traitées par coagulation.....	117
Tableau 35 - Les caractéristiques physico-chimiques et biologiques des eaux traitées par coagulation-floculation.....	125
Tableau 36 - Les résultats du traitement de coagulation et de coagulation floculation.....	135

INTRODUCTION

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

La pollution de l'environnement compte aujourd'hui parmi les priorités affichées aussi bien par les gouvernements des pays industrialisés que par les gouvernements des pays émergents.

Cependant, les attentions sont concentrées sur la pollution de l'eau, l'eau étant une ressource vitale et un enjeu économique et stratégique.

En Algérie, la pénurie en eau cristallise de plus en plus une prise de conscience environnementale, car outre les nuisances directes causées à l'écosystème aquatique, la pollution de l'eau est un problème de santé publique. En effet, les différents domaines hydrauliques étant connectés par le cycle de l'eau, les eaux résiduaires peuvent nuire à la qualité des eaux de consommation.

Bien que le secteur agricole soit le premier consommateur d'eau, c'est le secteur industriel qui est responsable de la dégradation et de l'eutrophisation des cours d'eau récepteurs des eaux résiduaires industrielles, avec en tête l'industrie agro-alimentaire.

Dans le secteur des industries agro-alimentaires, les limonaderies, comptent parmi les industries polluantes, elles sont de plus de très grandes consommatrices d'eau.

Dans le cas d'A.B.C. Pepsi-Rouiba, un diagnostic de la situation (en terme de consommations et de rejets) amorcerait une bonne approche pour quantifier et caractériser la pollution engendrée par cette unité de production, et donc pour formuler la variante optimale pour le traitement de ces eaux.

L'intérêt de ce travail est de caractériser les eaux résiduaires en faisant un état des lieux qui permettra d'apprécier les principaux paramètres impliqués dans cette pollution.

Ce travail s'inscrit donc sous plusieurs volets.

D'abord situer les besoins, les consommations et les rejets en eau dans les industries des boissons en général pour mieux situer et diagnostiquer la problématique posée dans le cas de l'unité de production A.B.C. Pepsi-Rouiba.

Ensuite, et avant de caractériser la pollution engendrée par cette limonaderie, identifier les cadences de production, ainsi que les processus de fabrication qui seront rigoureusement étudiés car ils permettront d'orienter au mieux la suite du travail.

Après quoi, quantifier et analyser les eaux résiduaires dans un premier temps par étape de production, ce qui nous permettra d'identifier les étapes responsables de cette pollution, dans un second temps à la fin de la production c'est à dire pour le rejet global.

Puis identifier la nature du traitement au vu des résultats obtenus pour le rejet global et optimiser la variante de traitement en réalisant des essais en batch.

Enfin, décrire la filière de traitement avec ses paramètres d'entrée, et formuler des recommandations.

Chapitre I

L'EAU DANS L'INDUSTRIE DES BOISSONS (Cas de l'unité A.B.C. Pepsi-Rouiba)

Dans l'industrie agro-alimentaire, et en particulier dans l'industrie des boissons, l'eau constitue une matière première à tous les niveaux.

Les industries des boissons sont très exigeantes quant à la qualité des eaux, elles en sont de fortes consommatrices ; leurs effluents sont, de ce fait, conséquents.

I.1. L'eau dans l'industrie agro-alimentaire en Algérie

Ces dix dernières années, l'industrie agro-alimentaire a connu une véritable explosion en Algérie, entraînant ainsi l'accroissement des besoins en eau et de leurs rejets.

I.1.1. La consommation en eau

En Algérie, le problème de l'approvisionnement en eau devient de plus en plus handicapant pour l'ensemble du secteur industriel, c'est la raison pour laquelle, beaucoup d'industries agroalimentaires, et surtout l'industrie des boissons, ont choisi de s'alimenter directement en eau souterraine. En effet, les nappes phréatiques présentent, non seulement l'avantage de fournir une eau de très bonne qualité, mais aussi de la fournir en permanence.

Cependant, le secteur industriel ne consomme, en réalité, qu'une faible fraction des ressources hydriques. En 2000, pour une consommation totale en eau de 4700 Km³, la distribution des ressources est illustrée dans la figure 1 [1].

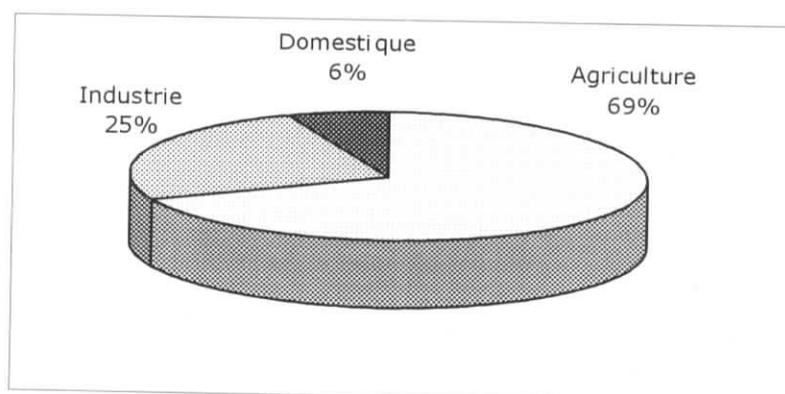


Figure 1 - La répartition de la consommation en ressources hydriques en 2000 par secteur d'activité.

I.1.2. Les rejets

Nombreuses sont les installations industrielles qui déversent leurs eaux usées sans traitement, directement dans les cours d'eau (Oueds), l'unité A.B.C. Pepsi-Rouiba par exemple, comme la plupart des industries de la zone industrielles de Rouiba et

Réghaïa rejettent leurs effluents dans l'Oued Réghaïa sans traitement. L'Oued Réghaïa, aboutissant à la mer via le Lac Réghaïa, est aujourd'hui en complète eutrophisation.

En effet, le débit des Oueds diminue en été, le pouvoir d'autoépuration décroît, c'est ainsi qu'on observe les pics de pollution des eaux d'Oued en période estivale, qui correspond aussi à la période d'augmentation de l'activité des industries et donc de leurs rejets.

Ainsi, le rejet des eaux résiduaires peut provoquer une pollution chronique (observée au bout de quelques mois), et/ou une pollution aiguë (suite à des déversements accidentels).

Dans les deux cas, l'effet toxique sur le milieu récepteur est réel, il dépend, entre autres, des débits de l'eau résiduaire, de ses caractéristiques physico-chimiques ainsi que de la fréquence des rejets.

Les eaux résiduaires présentant une forte coloration, une turbidité élevée et une forte charge organique sont à l'origine de l'eutrophisation du milieu récepteur par la perturbation des cycles biologiques.

De plus, les Oueds participent à la régénération des eaux souterraines, leur pollution entraînerait, à moyen et à long terme, la dégradation de la qualité des eaux aquifères.

L'unité de production A.B.C. Pepsi-Rouiba s'alimente des eaux d'une nappe phréatique profonde de 120 m, c'est donc une nappe libre à substratum perméable très sensible à la lixiviation des polluants.

1.2. Les besoins en eau, la consommation et les rejets dans l'industrie des boissons

Les besoins en eau et en eau de bonne qualité s'observent dans l'industrie agroalimentaire, et principalement dans l'industrie des boissons fortement dominée par l'industrie des boissons gazeuses non alcoolisées.

Les eaux de fabrication des boissons (gazeuses, plates et alcoolisées) font l'objet de recommandations interprofessionnelles très précises, elles doivent répondre aux moins aux normes de l'Organisation Mondiale de la Santé (O.M.S.).

Certaines firmes, comme Pepsi Cola International (P.C.I.), se sont même inspirées des normes O.M.S. ou des Normes Européennes pour établir des normes internes très restrictives dites Standards.

En effet, dans ces industries, l'eau, dite de production ou de process, est présente à chaque étape du processus de fabrication, et ce pour :

- la préparation des sirops simples, des sirops finis (avec parfums) ainsi que des boissons finies ;
- le lavage des cuves, des tronçons ainsi que des dispositifs de préparation
- et le lavage des bouteilles.

Dans l'industrie des boissons alcoolisées, on estime qu'il faut 5 à 6 L d'eau de process pour fabriquer 1 L de boisson, et ce avec la distribution suivante :

- 1,5 L pour la préparation ;
- 3 à 4 L pour le lavage
- et 1 à 2 L pour le refroidissement.

Cependant dans l'industrie des boissons non alcoolisées, ce rapport décroît : il faut 3 L d'eau pour produire 1 L de boisson, les eaux de lavage constituant la plus grande fraction des eaux consommées. [2]

Les industries agro-alimentaires sont en général responsables de la majeure partie de la pollution organique subie par l'environnement, les eaux résiduelles des industries des boissons (ayant un caractère organique plus ou moins prédominant, selon qu'il s'agisse de boissons alcoolisées ou non) ne sont pas en reste.

I.3. L'industrie et la politique algérienne en matière d'eau

L'Algérie est signataire d'un certain nombre de déclarations et de conventions dans le cadre de la gestion, de la protection et de la réglementation des ressources hydriques, dont :

- la déclaration du Caire 22/10/95;
- la déclaration de Barcelone 18/11/95
- et la déclaration de Marseille 25/11/96. [3]

Vu la crise d'eau que connaît l'Algérie depuis plusieurs années, en particulier depuis deux ans, une cellule nationale de crise a été créée le 9/01/02 mettant en place un dispositif d'urgence pour l'alimentation en eau potable, en effet, la crise est telle que le dessalement de l'eau de mer devient une solution incontournable. [4]

Pour pallier aux problèmes d'eau, l'Algérie a adopté, depuis le début des années quatre vingt, une politique environnementale basée sur la prévention et le principe des trois R : Réduire, Réutiliser, Recycler.

Et c'est dans ce cadre qu'une politique nationale à été mise en place pour assurer la protection des eaux contre la pollution, le gaspillage et la surexploitation.

Ainsi, le droit d'usage du domaine public hydraulique (eaux souterraines, eaux superficielles, cours d'eau) est soumis à conditions, et concédé par ordre de priorité :

- à l'alimentation des populations ;
- au secteur agricole
- et au secteur industriel.

Cette concession étant restrictive à un certain volume d'eau selon les conditions hydroclimatiques; elle est limitée en cas de pénurie. [5]

En outre, le rejet des effluents industriels dans le domaine public sans prétraitement est strictement interdit, et est soumis après traitement à concession d'utilisation du domaine public hydraulique dite : autorisation de déversement. [5]

Les eaux usées épurées peuvent être utilisées à des fins agricoles (sous conditions d'autorisation), excepté pour l'irrigation des crudités. [5]

Les autorisations de déversement ne sont délivrées si et seulement si l'effluent répond à des contraintes techniques, dont les caractéristiques physico-chimiques et biologiques.

Le tableau 1 résume les normes algériennes en la matière. [6]

Tableau 1 - Extrait des normes algériennes de rejet des effluents industriels[6]

Paramètre	Valeur	Unité
Température (T°)	30	°C
pH	5,5-8,5	-
M.E.S.	30	mg/L
D.B.O. ₅	40	mg/L d'O ₂
D.C.O.	120	mg/L d'O ₂
Aluminium	5,0	mg/L
Fer	5,0	mg/L
Huiles et graisses	20	mg/L
Phénol	0,50	mg/L
Chlore actif	1,0	mg/L
Détergent	2,0	mg/L

Cependant, le vide juridique subsiste : les normes de rejets ne sont pas classées par secteur d'activités, elles sont inexistantes pour certains composés pourtant très toxiques, et disproportionnées pour certains paramètres (la température par exemple).

De plus, les amendes sont dérisoires, vient s'ajouter à cela l'absence de contrôle, d'inspection et de normalisation raisonnée.

Par ailleurs, dans ses projets de loi, l'Algérie compte appliquer la politique du "pollueur payeur" (voir annexe A1). En effet, d'après le ministère de l'environnement, le coût des nuisances occasionnées à l'environnement représenteraient 7% du Produit Intérieur Brute (P.I.B.) de l'Algérie.

L'application de cette politique en Algérie prendra, sans doute, beaucoup de temps, car il faudra recenser toutes les industries, les classer, les aider à se conformer aux normes algériennes et à se mettre à niveau en vu d'une éventuelle certification **I.S.O. 9000** ou **I.S.O. 14000**.

En effet, le système de management **I.S.O. 14000** prescrit les exigences relatives à un système de gestion environnementale, pour aider un organisme à formuler une politique lui permettant de se conformer aux exigences législatives, et ce en contrôlant les impacts de ses activités.

Ainsi, la normalisation **I.S.O. 14000** n'instaure pas de critères spécifiques de performance environnementale, mais aide l'organisme à mettre en place un système de management qui s'inscrit dans une politique environnementale générale.

Dans les industries agroalimentaires la réduction des coûts d'exploitation et des taxes sur les eaux suscitent l'intérêt des industriels à adopter cette stratégie de gestion des ressources hydriques.

Cet intérêt n'est pas suscité dans les industries algériennes, étant donné que l'exploitation des ressources hydriques souterraines n'est pas taxée ou peu taxée.

I.4. Diagnostic et positionnement du problème dans le cas de l'unité A.B.C. Pepsi-Rouiba

I.4.1. Présentation générale de l'unité de production A.B.C. Pepsi-Rouiba

Atlas Bottling Corporation (A.B.C.) a été créée en 1995 suite à une franchise exclusive signée avec Pepsi Cola International (P.C.I.), pour la production, la commercialisation et la distribution de tous les produits de la marque Pepsi, et ce sur tout le territoire algérien. L'investissement total représente près de 50 millions de Dollars.

A.B.C. Pepsi a pour stratégie commerciale l'acquisition d'importantes parts de marché par la qualité de ses produits et de son service.

Deux unités de production existent en Algérie : l'une à Alger (zone industrielle de Rouiba) et l'autre à Sétif.

L'unité de production de Rouiba s'étend sur une superficie de 60.000 m², dont 17.000 m² couvert, elle dispose de deux lignes principales de production :

- la ligne Kronos (qui produit la boisson conditionnée dans des bouteilles en verre format 1 L)
- et la ligne Sidel qui se compose elle-même de deux lignes :
 - la ligne Sidel PolyEThylène (Sidel P.E.T., qui produit la boisson dans des conditionnements en plastique de formats : 0,5 L; 1 L; 1,5 L et 2 L)
 - et la ligne Sidel verre (qui produit la boisson dans des bouteilles en verre de format 33 cl).

Cette distribution est représentée dans la figure 2.

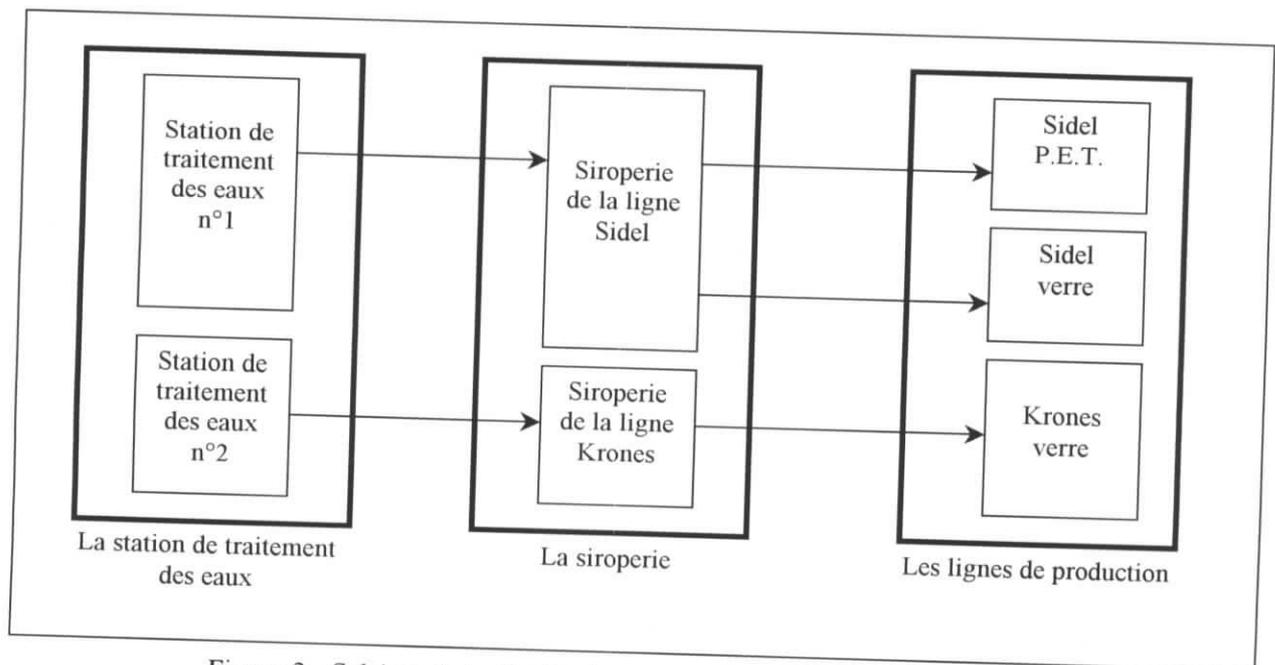


Figure 2 - Schéma de la distribution spatiale des lignes de production

Les capacités de ces lignes sont présentées dans le tableau 2.

Tableau 2 - Les capacités de production des lignes de l'unité A.B.C. Pepsi-Rouiba

Ligne	Format	Capacité de production (bouteilles/h)
Krones	1 L	24.000
Sidel P.E.T.	0,5 L	7.200
	1,0 L	7.200
	1,5 L	7.200
	2,0 L	6.000
Sidel verre	33 cl	24.000

Chacune des ces trois lignes dispose d'un premix où le sirop fini est mélangé à l'eau. Ce premix fait partie d'un dispositif de remplissage et capsulage dit soutireuse.

Les lignes Kronos et Sidel verre disposent chacune d'une laveuse bouteille.

Les boissons produites sont de six parfums : Pepsi-Cola, 7UP, Mirinda Orange, Mirinda Lemon, Mirinda Pomme et Exotique.

Dans les services de production ainsi que dans les laboratoires, trois équipes se relaient pour assurer la continuité de la production. Les tranches horaires de travail étant de : 5h-13h, 13h-21h et 21h-5h.

Les cadences de production, ainsi que la mise en service des lignes de production dépendent de la demande, elles ne sont donc pas constantes.

Ainsi, on distinguera trois à quatre types de journées de travail, présentées dans le tableau 3.

Tableau 3 - La classification des journées de travail en fonction de la cadence de production

Type de journée	Ligne		
	Krones	Sidel verre	Sidel P.E.T.
Journée pleine production	+	+	+
Demi charge (Sidel P.E.T. et verre)	-	+	+
Demi charge (Sidel P.E.T. et Krones)	-	+	+
Faible charge (P.E.T.)	-	-	+
Pas de production	-	-	-

'+' : en service.

'-' : à l'arrêt.

Les journées de pleine production sont caractérisées par la mise en service des trois lignes.

Les journées de demi-charge sont marquées par l'arrêt d'une ou de deux lignes, les cas les plus fréquents sont ceux où la ligne Krones est à l'arrêt, ou bien la ligne Krones et la ligne Sidel verre sont à l'arrêt.

L'absence de production marque le week-end, et ce pas un arrêt total ou quasi total de l'activité pour laisser place, entres autres, aux sanitation.

De plus, on distingue dans une année, des périodes dites hautes saisons, où la production est très élevée, il s'agit de la période :

- pré-estivale (février - avril) ;
- estivale (juin - août)
- et ramadanèsque (novembre - décembre).

Aussi, les semaines sont classées, selon le type de journée prédominante, les semaines les plus chargées sont dites semaines de pleine production.

Les hautes saisons, les semaines pleines production et les journées de pleine production sont marquées par une grande consommation en eau et un grand volume d'eau résiduaire.

I.4.2. Formulation de la problématique

La surconsommation en eau dans l'unité de production A.B.C. Pepsi-Rouiba, ainsi que des nuisances générées par les déversements des eaux résiduaires, constituent une problématique latente, qui se dévoile sous plusieurs volets.

I.4.2.1. Le volet rentabilité et rendement

Au cours du processus de production à A.B.C. Pepsi-Rouiba, les pertes sont rigoureusement contrôlées et estimées, ce contrôle concerne : le sucre, les sirops, les parfums conservateurs et acidulants, les préformes, le CO₂... Mais pas l'eau, qui constitue pourtant cinq sixièmes (5/6) du volume de la boisson.

Le calcul des pertes ne peut être rigoureux s'il ne prend pas en compte la matière première la plus importante : l'eau.

I.4.2.2. Le volet environnemental

Les préoccupations environnementales gagnent les populations, et les industries. Elles sont omniprésentes à tous les niveaux de production, de la réduction du gaspillage au traitement et au recyclage.

A.B.C. Pepsi-Rouiba, ne peut pas être en reste. Elle doit, de par sa situation de leader national, se conformer aux normes environnementales, ce qui exige non seulement la construction d'une station de traitement des eaux résiduaires, mais aussi la gestion raisonnée des ressources hydriques dont elle dispose.

En effet, toutes les unités de production de la maison mère P.C.I. disposent d'une station de traitement des eaux, y compris dans les pays émergents (la Jordanie, l'Egypte, la Thaïlande...), ce qui dénote de la prise de conscience de la maison mère des préoccupations environnementales.

I.4.2.3. Le volet éthique et culture d'entreprise

Les préoccupations environnementales prennent, dans beaucoup de pays, des formes commerciales : l'écologique vend.

Et c'est cet argument de vente, qui doit devenir une culture d'entreprise et une éthique d'entreprise, car une entreprise qui participe à la protection de l'environnement par le traitement de ses eaux résiduaires donne une bonne image de marque, en particulier quand le pays souffre de fortes pénuries en eau.

Ainsi posée, la problématique oriente notre étude sur deux axes :

- la consommation en eau et sa rentabilisation (la consommation en eau en fonction de la production)
- et le traitement des eaux résiduaires industrielles (les débits de rejets, leurs fréquences et leurs caractéristiques physico-chimiques et biologiques).

Ceci décrit les grandes lignes de l'approche expérimentale que nous avons adoptée pour traiter la présente étude.

Le but de notre étude étant, entre autres, la quantification et la caractérisation des eaux à différents niveaux (consommation, production, rejets), il est nécessaire d'adopter une démarche statistique adaptée à cette étude de terrain, mais aussi aux possibilités et aux contraintes qu'elle présente.

L'approche générale que nous adoptons pour caractériser les eaux (consommées, rejetées ou valorisées) de l'unité de production A.B.C. Pepsi-Rouiba, comprend deux aspects principaux : le débit et les caractéristiques physico-chimiques et biologiques, et se déroule sous plusieurs volets.

II.1. La procédure de caractérisation (quantification et caractérisation physico-chimique et biologique)

La procédure de caractérisation traite plusieurs aspects de la pollution : la valorisation de l'eau, les débits de rejet et les caractéristiques physico-chimiques et biologiques de ces rejets. Pour cela il faut :

- identifier les besoins en eaux à chaque étape de production, à savoir, décrire le processus de production service par service ;
- déterminer la composition de l'eau à l'usine (l'eau de process) ;
- déterminer les volumes journaliers d'eau (consommée, rejetée) par étape ou type de production, ainsi que leurs valorisations (les volumes de boissons produites), et leurs caractéristiques physico-chimiques et biologiques ;
- déterminer les débits moyens et maximums ainsi que leurs durées et leurs fréquences (pour les eaux de consommation et les rejets) ;
- déterminer les flux de pollution moyens et maximums ainsi que leurs durées et leurs fréquences et ce par type ou étape de production ;
- identifier les sources de pollutions occasionnelles ainsi que les circonstances de celles-ci ;
- identifier les possibilités de séparation des rejets, de réutilisation ou de recyclage
- et proposer un traitement en fonction de ces précédentes données, le suivi du processus de production étant la donnée la plus importante car elle permet

de prévoir la nature de l'effluent, son comportement en fonction du temps et ses caractéristiques.

II.2. Les outils statistiques et méthodes de sondage

Toute la difficulté des quantifications et caractérisations des effluents est de réaliser des relevés ou des prélèvements assez nombreux pour conclure.

En effet, les échantillons relevés ou prélevés doivent avoir une composition homogène et être représentatifs de la population étudiée. En sciences expérimentales, on adopte une taille d'échantillon de 30 (au minimum), car selon les lois statistiques, les échantillons qui présentent un nombre d'individus supérieur ou égale à 30 suivent la loi normale.

La représentation graphique des fréquences de la loi normale est une courbe gaussienne (en forme de cloche). De plus, les lois normales présentent des caractéristiques particulières.

Quand il est difficile de procéder à l'échantillonnage normalisé, on étudie la possibilité d'aborder l'étude par des méthodes de sondage particulières.

Ces méthodes dépendent, tout particulièrement de la nature de la population à étudier, ainsi que de la possibilité de réaliser un certain nombre de relevés et de prélèvements.

Les méthodes de sondage diffèrent par la manière dont on effectue les prélèvements de l'échantillon, elles peuvent être empiriques ou aléatoires.

II.2.1. Les méthodes empiriques[7]

Les méthodes empiriques sont principalement employées par les instituts de sondage d'opinion, leurs précisions ne peuvent être estimées. Elles comptent deux principales variantes.

II.2.1.1. La méthode des quotas

La méthode des quotas consiste à procéder au prélèvement d'un échantillon qui respecte une composition préalablement fixée, bien que facile, les résultats de cette méthode ne peuvent s'inscrire dans un intervalle de confiance, par ailleurs, elle suppose que les individus retenus soient pertinents quant à l'objet de l'étude.

II.2.1.2. La méthode des unités types

La méthode des unités types consiste à choisir des catégories d'individus considérés comme étant fortement représentatifs de la population à étudier.

Cette méthode repose sur une bonne connaissance du sujet à étudier, mais a tendance à augmenter les contrastes.

II.2.2. Les méthodes aléatoires [7]

Les méthodes aléatoires reposent sur le principe du tirage au hasard des échantillons et du calcul de leurs probabilités.

II.2.2.1. La méthode élémentaire

D'après la méthode élémentaire, on tire au hasard et de manière équiprobable n individus d'une population de taille N .

II.2.2.2. Le sondage stratifié

Dans le sondage stratifié, il s'agit de prélever de manière intrinsèque dans des groupes homogènes (ou strates) d'une population des échantillons; ce qui permet d'améliorer considérablement la précision des estimations.

II.2.2.3. Le sondage systématique

Dans le sondage systématique, il s'agit de prélever des individus régulièrement espacés sur une liste, au lieu de les prélever au hasard.

Si le critère de classement est indépendant des paramètres à étudier, cette méthode équivaut à la méthode élémentaire et est plus pratique d'emploi.

II.2.2.4. Le sondage par grappes

Le sondage par grappes se réduit à tirer au hasard des grappes, familles ou catégories d'individus, puis d'étudier tous les individus de la grappe.

Exemple: on tire au hasard un immeuble puis on étudie tous les habitants de cet immeuble.

II.2.2.5. Le sondage à probabilités égales

Selon cette méthode, si les individus sont de tailles très variables, on tire avec des probabilités proportionnelles aux nombres d'individus ou aux caractéristiques dominantes.

II.2.2.6. Le sondage à plusieurs degrés

Le sondage à plusieurs degrés consiste à réaliser un tirage en cascade.

Exemple: on tire au hasard des villes, puis des quartiers (de la ville), puis des immeubles (du quartier), puis des habitants (de l'immeuble).

II.3. Les paramètres de quantification des effluents

Pour quantifier les débits, nous avons mené une étude statistique afin d'évaluer les débits de consommations et de rejets ainsi que les volumes de boissons produites pour chaque ligne et chaque service (dans la mesure du possible).

La méthode statistique employée pour le suivi des débits (débits moyens maximums et minimums) est la méthode du sondage systématique (relevé horaire des volumes d'eau consommée).

II.4. Les paramètres de caractérisation physico-chimique et biologique

(voir annexe A2)

Pour étudier les paramètres physico-chimiques et biologiques, on procède à un sondage empirique par la méthode des unités types, où on choisit des échantillons qu'on considère comme étant fortement représentatifs de l'effluent étudié (suite au suivi minutieux du processus de production).

Les paramètres physico-chimiques et biologiques de suivi sont présentés dans les paragraphes suivants.

II.4.1. La température (T°)

Les températures des effluents industriels sont en général élevées, dans l'industrie des boissons on s'attend à des températures supérieures à 25°C, et ce à cause des exigences en matière de lavage des bouteilles en verre.

La température de l'effluent peut perturber la vie dans le milieu récepteur en favorisant des espèces par rapport à d'autres (en déséquilibrant les rapports entre micro-organismes).

II.4.2. Le pH

Les rejets des industries des boissons sont en général basiques, du fait de l'emploi de soude comme agent détergent. Les rejets basiques doivent être ajustés avant rejet, car ils sont néfastes au processus de dégradation biologique.

II.4.3. La conductivité (cond.) et le T.D.S.

La conductivité traduit la charge minérale présente dans l'eau, elle est d'autant plus élevée que l'effluent compte dans sa composition des sels solubles, des oxydes ou d'autres minéraux. Le T.D.S. (Total Dissolved Solids) quant à lui traduit la fraction des matières en solution.

II.4.4. La couleur

Bon nombre d'industries agro-alimentaires rejettent des effluents colorés, cette coloration doit être absolument traitée avant rejet car elle empêche la lumière de pénétrer l'eau du milieu récepteur, amorçant ainsi une eutrophisation.

Dans l'industrie des boissons, la couleur provient des sirops ou des étiquettes.

La coloration peut être due aux matières dissoutes ou colloïdales ; si la couleur persiste après filtration, c'est que la coloration est due aux matières dissoutes.

II.4.5. La turbidité (turb.)

La turbidité traduit la présence de matières solides qui opacifient l'eau, empêchant la lumière de pénétrer ; elle est d'autant plus élevée qu'elle s'accompagne d'une coloration.

II.4.6. Les Matières En Suspension (M.E.S.)

Les M.E.S. sont souvent présentes dans les eaux résiduaires industrielles, elles accompagnent en général la turbidité.

II.4.7. Les matières décantables

Les matières décantables sont rarement absentes des effluents industriels, et ce à différents degrés. En général, l'industrie des boissons n'est pas génératrice de matières décantables.

Les matières décantables donnent une idée sur l'importance et la nécessité de prévoir un décanteur.

II.4.8. Le Titre Hydrométrique T.H.

Le T.H. est en général élevé dans les effluents des eaux résiduaires des industries des boissons, car celles-ci procèdent à des traitements des eaux de process par osmose inverse, par adoucissement...

II.4.9. La Demande Biochimique au bout de 5 jours d'incubation (D.B.O.₅)

La D.B.O.₅ traduit la biodégradabilité des matières organiques.

C'est un paramètre très important dans la caractérisation des eaux résiduaires des industries des boissons. Dans la plupart d'entre elles, la D.B.O.₅ est très élevée, ce qui constitue une caractéristique générale des eaux résiduaires des industries agro-alimentaires.

II.4.10. La Demande Chimique en Oxygène (D.C.O.)

La D.C.O. est un autre paramètre très important dans la mesure de la matière organique. Elle est assimilée à la matière organique totale, et constitue souvent le paramètre de contrôle principal, aussi bien pour les traitements physico-chimiques, que pour les traitements biologiques.

Cela dit, une partie de la D.C.O. est due à l'oxydation par le dichromate des ions ferreux, sulfures, sulfites, des composés azotés et d'autres composés minéraux. Par ailleurs, certains composés sont totalement ou partiellement résistants à l'oxydation chimiques ou biologiques et sont donc exclus aussi bien de la D.C.O. que de la D.B.O.₅. [8]

II.4.11. Les minéraux

Bien que la conductivité et le T.D.S. traduisent assez bien la présence de fortes charges minérales. Il est souvent nécessaire de réaliser des analyses sur des éléments dont on suspecte la présence dans l'effluent, ou bien qu'on introduit dans l'eau suite à un traitement physico-chimique.

Les minéraux que nous traiterons sont : le fer ferreux, le fer total, les chlorures et les sulfates.

Enfin, les variations de tous ces paramètres dépendent, principalement, du déroulement du processus de production, l'étude de celui-ci nous permet donc de situer ces variations.

Dans l'unité A.B.C. Pepsi-Rouiba, l'eau est présente dans pratiquement toutes les étapes de production : de l'alimentation en eau souterraine jusqu'au conditionnement de la boisson finie.

Il est donc essentiel d'étudier avec soins le processus de fabrication étape par étape, service par service, et ce pour pouvoir identifier les besoins spécifiques en eau à chaque étape de production, ainsi que les consommations réelles, les rejets et les caractéristiques de ceux-ci dans les différents services, à savoir : le Service de Traitement des Eaux (S.T.E.), le service siroperie, le service chaudière, les lignes...

III.1. L'alimentation en eau souterraine

III.1.1. Le processus d'alimentation en eau souterraine

Le processus d'alimentation en eau souterraine est schématisé dans la figure 3.

L'unité de production A.B.C. Pepsi-Rouiba est alimentée en eau souterraine via trois forages : le forage n°1 d'une capacité de 65 m³/h, le forage n°2 d'une capacité de 85 m³/h et le forage n°3 ou forage de secours d'une capacité de 85 m³/h, ce dernier étant hors service.

Les deux forages travaillent en alternance ou de manière simultanée en fonction des besoins en eau exprimés par les services de production.

Le contrôle de la turbidité des forages est effectué avec un turbidimètre en ligne. La valeur consigne de la turbidité au niveau du forage n°1 est de 2,0 N.T.U, elle est de 0,5 N.T.U. pour le forage n°2. Si la valeur consigne est dépassée, l'eau est automatiquement rejetée à l'égout.

Autrement, l'eau des deux forages est ensuite chlorée à 2-3 p.p.m. avec une pompe doseuse, puis distribuée sur trois bâches :

- la bache d'incendie (ou de secours) qui alimente les poteaux d'incendie ;
- la bache domestique qui alimente les vestiaires, les cuisines, les points d'arrosage et le parc automobile, ce dernier étant le principal consommateur

– et la bache process (240 m³) qui alimente la Station de Traitement de

Eaux (S.T.E.) via deux pompes. La première d'une capacité de 55 m³/h.

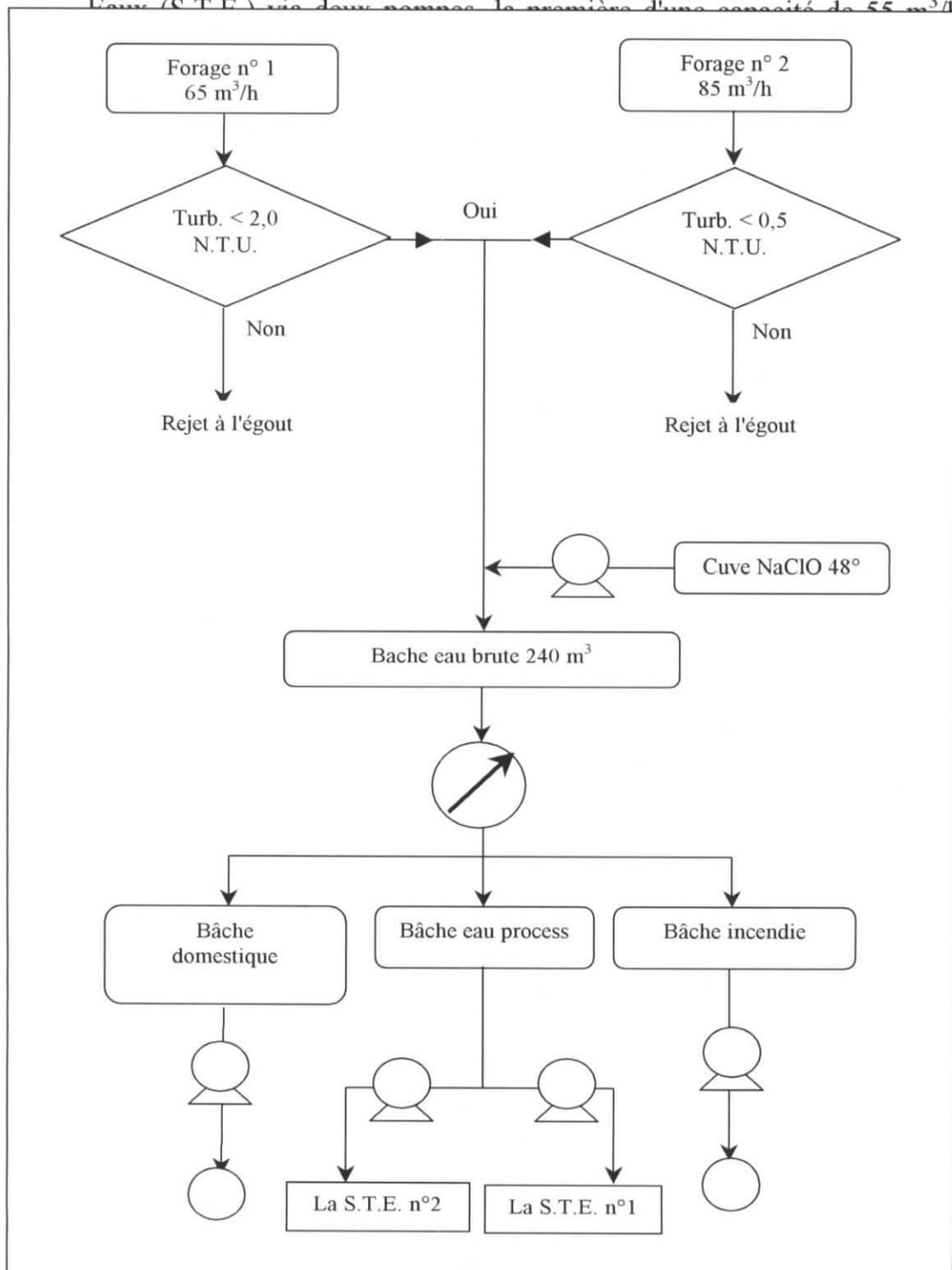


Figure 3 - Schéma descriptif du processus d'alimentation en eau souterraine

III.1.2. Les caractéristiques physico-chimiques et biologiques de l'eau d'alimentation

Des analyses physico-chimiques et biologiques ont été réalisées sur les eaux du forage n°1 par trois laboratoires (C.R.D., A.N.R.H., et A.B.C. Pepsi), et sur les eaux du forage n°2 par le laboratoire I.C.E.

Les résultats sont présentés dans le tableau 4.

Tableau 4 - Les caractéristiques physico-chimiques et biologiques de l'eau d'alimentation

Paramètre	Forage n° 1	Forage n° 2	Unité
pH	7,72	7,21	-
Turb.	0,6	3,5	N.T.U.
Cond.	932	1004	µs/cm
SiO ₂	18,05	12,90	mg/L
T.H.	36,0	42,5	°F
Fe _T	< 0,025	< 0,02	mg/L
Cl ⁻	108	110	mg/L
SO ₄ ²⁻	115	123	mg/L
D.B.O. ₅ et D.C.O.	0	0	mg/L

Remarque

Pour les eaux du forage n°1, les résultats présentés sont les moyennes des résultats obtenus par les trois laboratoires respectifs.

III.2. La station de traitement des eaux

La S.T.E. est composée de deux stations : la S.T.E. n°1 et la S.T.E. n°2.

III.2.1. La S.T.E. n°1

Une fois l'eau arrivée à la S.T.E. n°1, elle subit un ensemble de traitements.

III.2.1.1. Le prétraitement

Au cours du prétraitement, l'eau subit une série de filtrations, à savoir :

- une filtration à travers un Filtre à Sable (F.S.) qui permet de retenir les M.E.S. et les micro-organismes dont les dimensions excèdent 50 µm ;

- une filtration à travers un Filtre à Charbon actif (F.C.), ce qui permet d'éliminer l'odeur, le goût, la couleur et le chlore résiduel présents dans l'eau
- et enfin, une filtration à travers un P.F. cartouche 10 μm .

Ce prétraitement a pour but de protéger les membranes de l'osmoseur contre l'empoisonnement par le chlore ainsi que contre les dépôts de M.E.S.

III.2.1.2. L'osmose inverse

Une fois l'eau prétraitée, une solution complexante y est injectée via une pompe doseuse, et ce pour éviter la précipitation ultérieure des sels et leur dépôt sur les membranes de l'osmoseur.

De plus, un contrôle en ligne de quelques paramètres physico-chimiques (chlore résiduel, turbidité, température...) complète la protection des membranes de l'osmoseur, en effet, si l'un des paramètres de contrôle dépasse la valeur consigne, l'eau est rejetée à l'égout.

L'eau est ensuite envoyée dans le premier étage de l'osmoseur (composé de trois modules), le perméat est orienté vers la cuve de stockage, tandis que le concentrat est orienté vers le deuxième étage de l'osmoseur (composé de deux modules). Le perméat du deuxième étage est à son tour orienté vers la cuve de stockage, tandis que le concentrat est rejeté à l'égout.

Ce système de recyclage permet d'optimiser le rendement de l'osmoseur.

Si à la sortie de l'osmoseur le perméat présente des caractéristiques physico-chimiques non satisfaisantes, celles-ci sont corrigées avec de l'eau prétraitée par un système de by-pass.

III.2.1.3. Le stockage et l'alimentation des services de production

Le perméat (ou eau de process ou eau osmosée) est stocké dans une cuve de 30 m^3 , puis filtré (par mesure de sécurité) à travers des Filtres Finaux (F.F.) de 1,2 μm . Il est ensuite stérilisé avec des lampes Ultra Violet (U.V.), puis envoyé aux différents services de production, à savoir :

- la siroperie qui dessert la ligne Sidel, avec un débit de 50 m^3/h ;
- la laveuse Sidel verre, avec un débit de 10 m^3/h ;

- le premix Sidel verre, avec un débit de $13 \text{ m}^3/\text{h}$
- et le premix Sidel P.E.T. et la rinceuse Sidel P.E.T. (au niveau de laquelle les bouteilles P.E.T. sont rincées avant remplissage), et ce avec un débit de $13 \text{ m}^3/\text{h}$.

III.2.2. La S.T.E. n°2

L'eau au niveau de la S.T.E. n°2 subit un ensemble de traitements.

III.2.2.1. Le prétraitement

L'eau est orientée vers deux filières parallèles et identiques, à savoir deux séries de filtres composées chacune d'un F.S., d'un F.C. et d'un P.F. cartouche $10 \mu\text{m}$.

A la sortie des deux séries de filtres, l'eau traverse un même P.F. cartouche de diamètre de pores de $2 \mu\text{m}$.

III.2.2.2. Le stockage de l'eau prétraitée

L'eau prétraitée est ensuite stockée dans une cuve de 15 m^3 .

Cette cuve d'eau prétraitée alimente un adoucisseur qui traite l'eau et l'envoie à la laveuse Kronen.

Cet adoucisseur fonctionne en duplex (il est composé de deux bouteilles qui fonctionnent en alternance) et se régénère après un cycle de production d'eau adoucie de 75 m^3 , à savoir trois fois par jour en moyenne.

III.2.2.3. L'osmose inverse

Le traitement par osmose inverse est identique à celui de la S.T.E. n°1. Par ailleurs, l'osmoseur n°2 est composé de cinq modules dans son premier étage et de deux modules dans son deuxième étage.

De plus, l'osmoseur n°2 présente un meilleur rendement de séparation, à savoir 43 m^3 de perméat pour 17 m^3 de concentrat, contre 37 m^3 de perméat pour 17 m^3 de concentrat.

III.2.2.4. Le stockage et l'alimentation des services de production

L'eau de process est ensuite stockée dans une cuve de 40 m³ puis distribuée, après passage par des F.F. de 1,2 µm et stérilisation aux U.V., aux différents services de production, à savoir :

- la siroperie qui dessert la ligne Kronos, avec un débit de 50 m³/h ;
- la laveuse Kronos, avec un débit de 6 m³/h
- et le premix Kronos, avec un débit de 30 m³/h.

Cependant, le système de chaufferie est directement alimenté en eau de process via un surpresseur, sans stérilisation ni filtration finale.

Les résultats de l'analyse d'un échantillon (prélevé selon la méthode des quotas) d'eau prétraitée et de l'eau de process de chaque station sont présentés dans le tableau 5.

Tableau 5 - Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau prétraitée et des eaux de process

Paramètre	Eau prétraitée	S.T.E. n°1	S.T.E. n°2	Unité
T°	22,0	22,0	22,0	°C
PH	7,25	5,92	6,08	-
Cond.	1033	46,35	45,77	µs/cm
T.D.S.	727,1	30,15	29,67	p.p.m.
Turb.	0,087	0,085	0,076	N.T.U.
T.H.	40,5	5,5	4,0	°F
Fe ²⁺	0,01	0,01	0,00	mg/L
Fe _T	0,12	0,04	0,05	mg/L
Cl ⁻	139,0	8,2	7,6	mg/L
SO ₄ ²⁻	92,5	5,0	1,0	mg/L

III.3. Le système de chaufferie

La S.T.E. n°2 alimente le système de chaufferie, une partie de cette eau est directement stockée dans la bache n°1 d'une capacité de 4 m³, l'autre partie est adoucie puis stockée dans la bache n°2 d'une capacité de 6 m³ (voir figure 4).

Une solution de W588 (contenant une forte fraction de sulfite de sodium), à 8 Kg/120 L, est injectée dans chacune des bâches via deux pompes doseuses. Cette solution fortement réductrice protège les parois contre la corrosion et l'entartrage.

La bache n°1 alimente deux chaudières basse pression (la chaudière n°1 et la chaudière n°3 ou de secours) d'une capacité de 2250 Kg (de vapeur d'eau)/h chacune. Tandis que la bache n°2 alimente une seule chaudière basse pression, la chaudière n°2 d'une capacité de 3000 Kg (de vapeur d'eau)/h.

Toute la vapeur ainsi produite arrive à une pression de 8-10 bar dans le collecteur principal d'une capacité de 260 L, puis est distribuée aux différents services et lignes.

Le collecteur principal alimente la laveuse Sidel, la Laveuse Krones, le local de préparation des solutions de soude, la S.T.E. (pour la stérilisation des F.C.), la siroperie et le système de chauffage du CO₂.

Le condensât de la vapeur qui alimente la laveuse Krones retourne à la bache n°2, cette récupération permet d'économiser de l'eau et de l'énergie thermique (le condensât étant récupéré à 40-60 °C), ainsi, il n'est plus nécessaire de chauffer l'eau dans les bâches.

Les trois chaudières fonctionnent en alternance selon la demande exprimée par les différents services desservis.

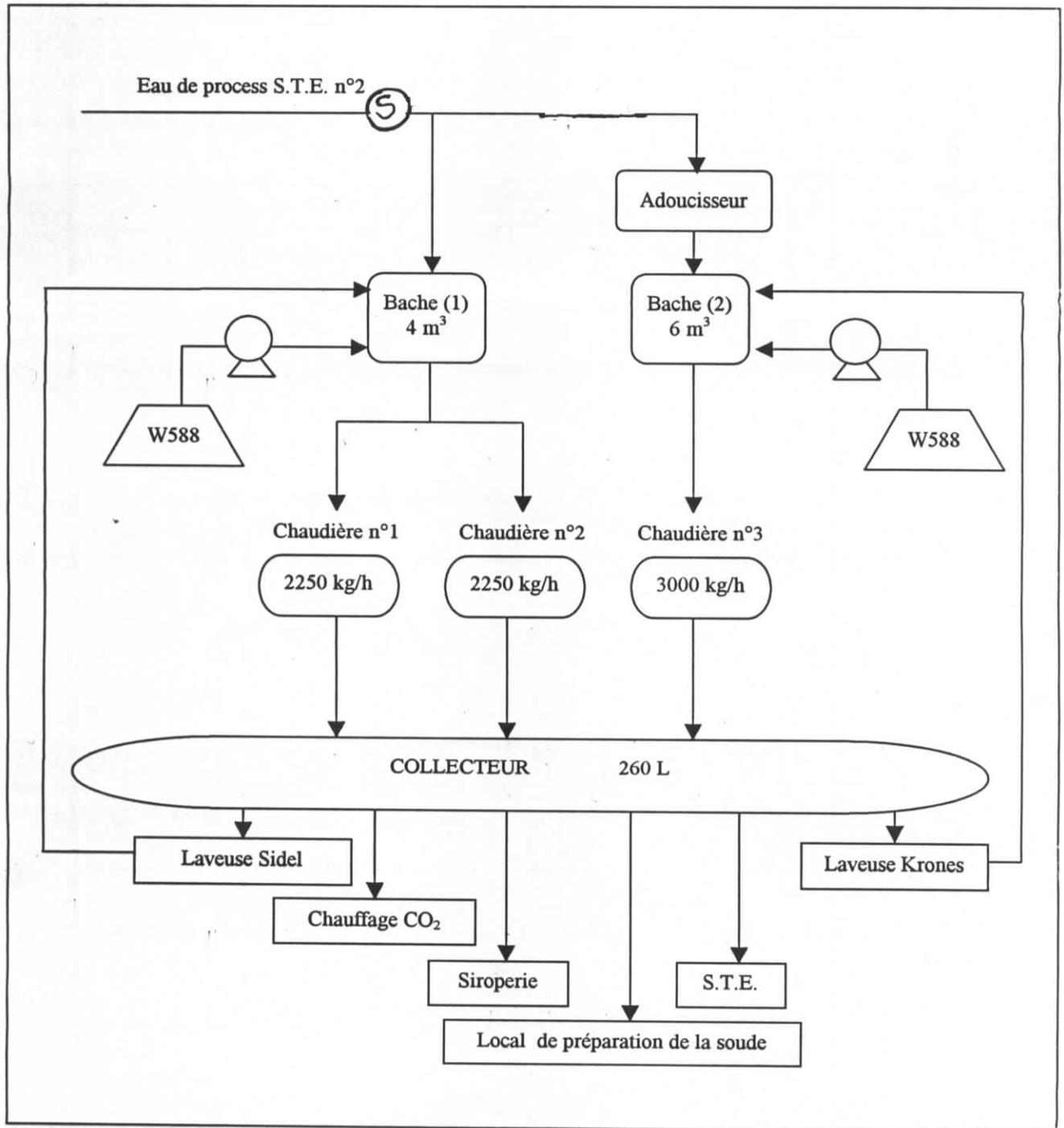


Figure 4 - Schéma de fonctionnement de la chaudière

III.4. La siroperie

La siroperie est le service qui a pour charge la préparation des sirops qui servent à formuler la boisson finie.

La S.T.E. n°1 alimente la ligne Sidel de la siroperie qui compte 10 cuves de préparation d'une capacité de 1 m³ chacune, tandis que la S.T.E. n°2 alimente la ligne Kronos de la siroperie composée de cinq cuves d'une capacité de 2 m³ chacune, celle-ci dessert à son tour la ligne Kronos.

Chacune des lignes Sidel et Kronos de la siroperie est dotée de deux fondoirs d'une capacité de 8m³ chacun, ainsi que d'une cuve de préparation des parfums.

La siroperie alimente à son tour, en sirop fini, les lignes Kronos, Sidel verre et Sidel P.E.T.

La procédure de préparation des sirops, illustrée dans la figure 5, se déroule en plusieurs étapes.

III.4.1. La dissolution du sucre

Le mélange eau-sucre est versé dans un fondoir, puis porté à une température de 85°C pendant 20 mn.

III.4.2. La filtration

Le mélange traverse alors un filtre à tamis, qui le débarrasse des résidus, puis un filtre à plaques dans lequel un produit adsorbant est injecté, le Celatom (qui comprend une forte fraction de SiO₂) ce qui permet d'éliminer l'odeur et la couleur, enfin, le sirop traverse un filtre à poche 1 µm.

III.4.3. Le refroidissement et le contrôle du Brix

Le sirop est ensuite refroidi par passage à travers un échangeur à chaleur à deux étages, sa température passe alors de 85 à 31 °C puis de 31 à 20 °C.

Ainsi refroidi, le sirop est conservé dans une cuve de stockage, à cette étape il est dit *sirop simple*; ensuite, le taux de sucre du sirop simple, dit *Brix*, est contrôlé.

III.4.4. L'addition de parfums, acides et conservateurs, et la distribution

L'ensemble (fondeur, filtre et tuyauterie) est rincé avec une quantité d'eau définie par les standards P.C.I., et cette eau de rinçage est envoyée dans la cuve de stockage. Dans cette cuve, le Brix est contrôlé, puis ajusté (avec de l'eau) et ce après addition des parfums, conservateurs et acides préalablement préparés dans une petite cuve.

Au niveau de la cuve de stockage, un dispositif de circuit fermé, dit jet-mix, assure le mélange et l'homogénéisation de l'ensemble.

A la fin de cette étape, le sirop est dit sirop fini, et est immédiatement envoyé au premix (au niveau duquel le sirop sera additionné d'eau et de CO_2), exceptés les sirops finis du parfum Pepsi Cola qui doivent observer un temps de maturation de 24 h dans la cuve de stockage.

Après l'envoi du sirop fini, le sirop résiduel dans la tuyauterie est récupéré avec du CO_2 , ensuite l'ensemble : cuves, fondeur et tuyauterie, est sanité, ainsi que le tronçon siroperie-premix qui conduit le sirop fini aux lignes de production.

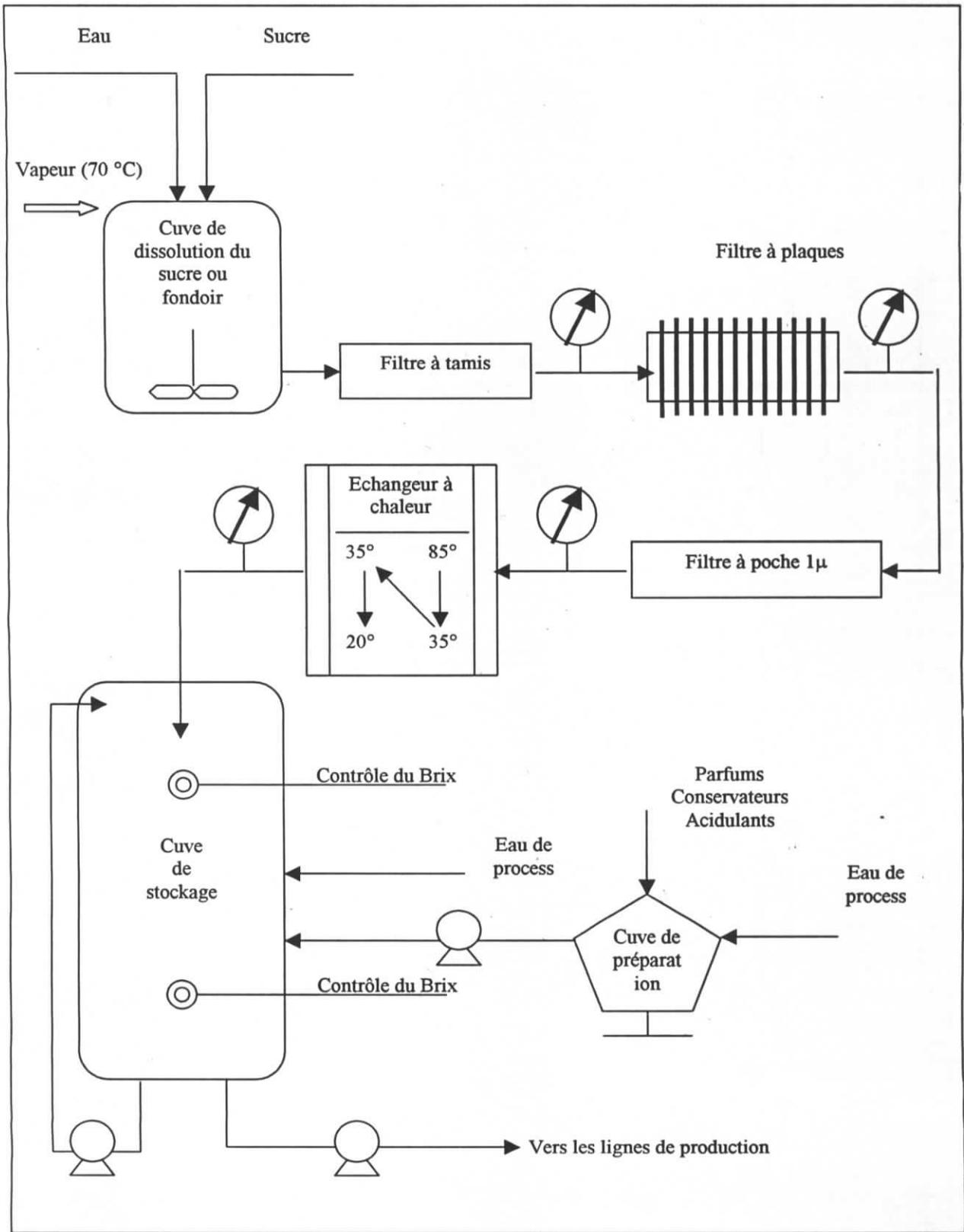


Figure 5 - Schéma descriptif de la procédure de préparation des sirops finis

III.5. La ligne Sidel P.E.T.

Au niveau de la ligne Sidel P.E.T., le processus de préparation de la boisson finie et de conditionnement de celle-ci se déroule en plusieurs étapes.

III.5.1. La carbonatation

L'eau de process de la S.T.E. n°1 est désaérée par refroidissement à 6°C après passage par un échangeur, ce qui facilite la carbonatation de l'eau dans le saturateur (injection du CO₂ à 6°C en provenance de l'échangeur situé à l'extérieur de l'usine).

III.5.2. La boisson finie

L'eau carbonatée est ensuite mélangée au sirop fini dans la cuve de récolte, après le contrôle des caractéristiques de la boisson finie ou récolte, celle-ci est envoyée vers la soutireuse via une pompe.

III.5.3. Les bouteilles

Au niveau de la souffleuse, les préformes sont chauffées à 80-107 °C, étirées et soufflées, les bouteilles ainsi formées sont acheminées vers la ligne Sidel P.E.T.

Dans la soutireuse, les bouteilles P.E.T. sont rincées avec de l'eau de process, ce qui assure leur refroidissement et l'élimination des traces de poussières.

III.5.4. Le conditionnement

Ensuite, les bouteilles sont remplies avec la boisson finie grâce à la remplisseuse, fermées grâce à la capsuleuse puis étiquetées par l'étiqueteuse. Les étapes de rinçage, remplissage et capsulage se déroulent dans une même enceinte dite soutireuse.

Les bouteilles sont ensuite contrôlées, étiquetées et datées, puis rassemblées en fardeaux de 6 bouteilles, les fardeaux palettés (rassemblés en palettes) et stockés.

III.6. La ligne Sidel verre et Kronos

Les deux lignes Sidel verre et Kronos connaissent le même fonctionnement, à quelques détails près.

On détaillera le fonctionnement de la ligne Kronos, qui contrairement à la ligne Sidel verre, est entièrement automatisée.

La procédure de préparation de la boisson finie est identique (ou presque) à celle de la ligne Sidel P.E.T.

La différence réside dans le conditionnement.

Pour les lignes verre, les bouteilles sont retirées des caisses, les caisses orientées vers la laveuse caisses et les bouteilles dirigées vers la laveuse bouteilles.

La laveuse Kronos (tout comme la laveuse Sidel) comprend plusieurs parties, et donc plusieurs étapes de lavages.

Les bouteilles arrivent par le convoyeur (tapis), et sont introduites dans les laveuses par des alvéoles en plongeant (ainsi elles se vident de la boisson résiduelle). Une fois à l'intérieur de la laveuse, elles sont lavées dans une série de bains successifs.

III.6.1. Le bain de préchauffage

Le bain de préchauffage est un bain d'eau relativement chaude (près de 35 °C) grâce auquel le verre ne subit pas de choc thermique ultérieur. Ce bain permet, en outre, d'enlever les étiquettes et les résidus que peuvent contenir les bouteilles.

III.6.2. Les bains de soude

III.6.2.1. Le premier bain de soude

Dans le premier bain de soude, les bouteilles sont plongées dans une solution chaude et concentrée de soude. La soude concentrée et à température élevée a valeur de détergent.

III.6.2.2. Le second bain de soude

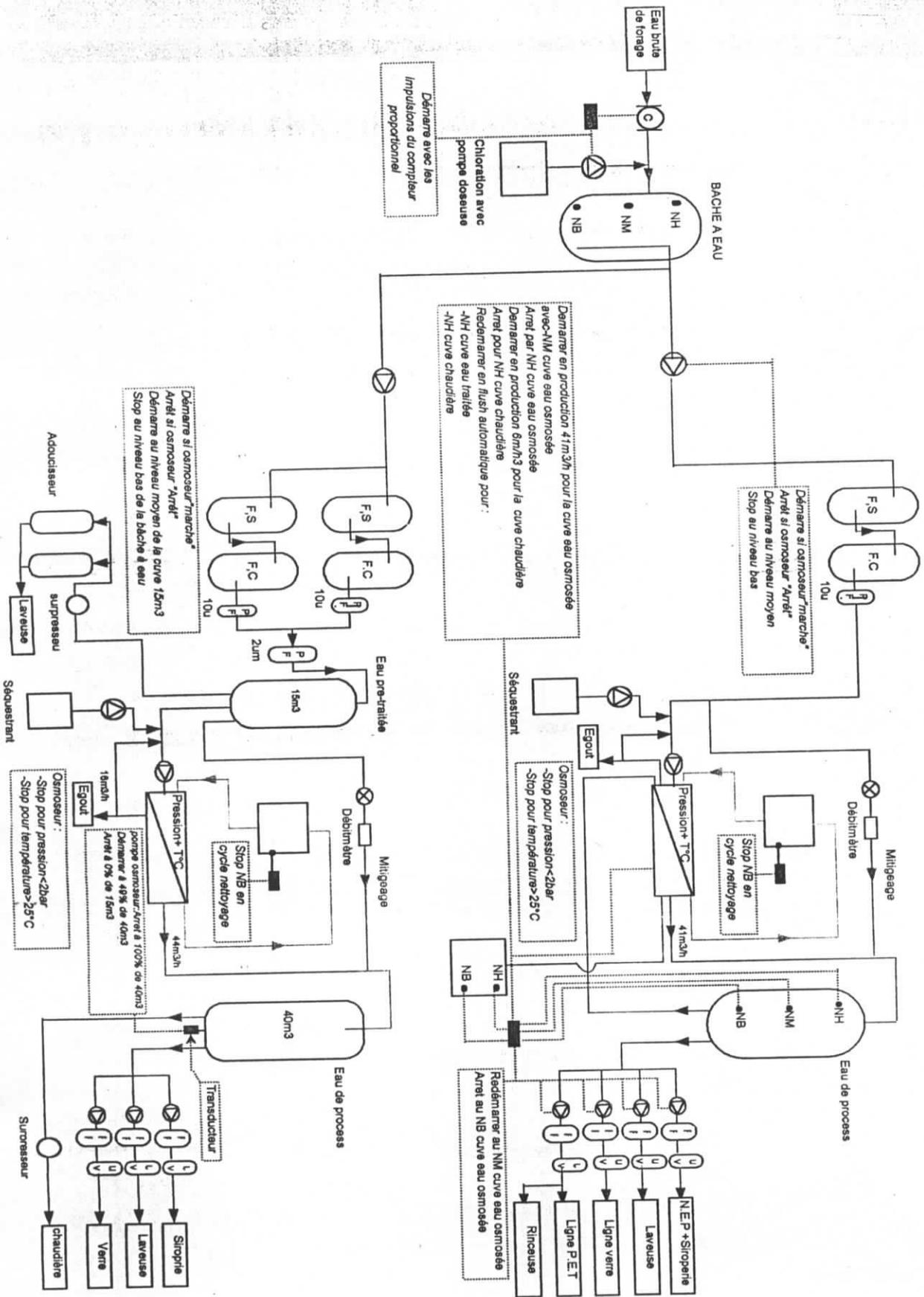
Les eaux de ces bains sont plus concentrées en soude et de température plus élevée.

III.6.3. Les bains de rinçage

Les bouteilles ainsi nettoyées et stérilisées, sont rincées dans deux bains de rinçage à l'eau de process, puis avec deux douches qui permettent de bien nettoyer les parois internes des bouteilles.

Les deux bains de sodes sont communicants, le bain de rinçage alimente le bain de préchauffage pour économiser l'eau et l'énergie.

SCHEM DE LA STATION



Les températures augmentent graduellement dans les bains successifs, et diminuent graduellement dès le début du rinçage.

Les bouteilles sont ensuite contrôlées, remplies, capsulées, étiquetées et datées puis mises dans des caisses.

Si une série de bouteilles présente un défaut quelconque, elle est réorientée vers la laveuse.

La figure 6 schématise le circuit des bouteilles dans les laveuses.

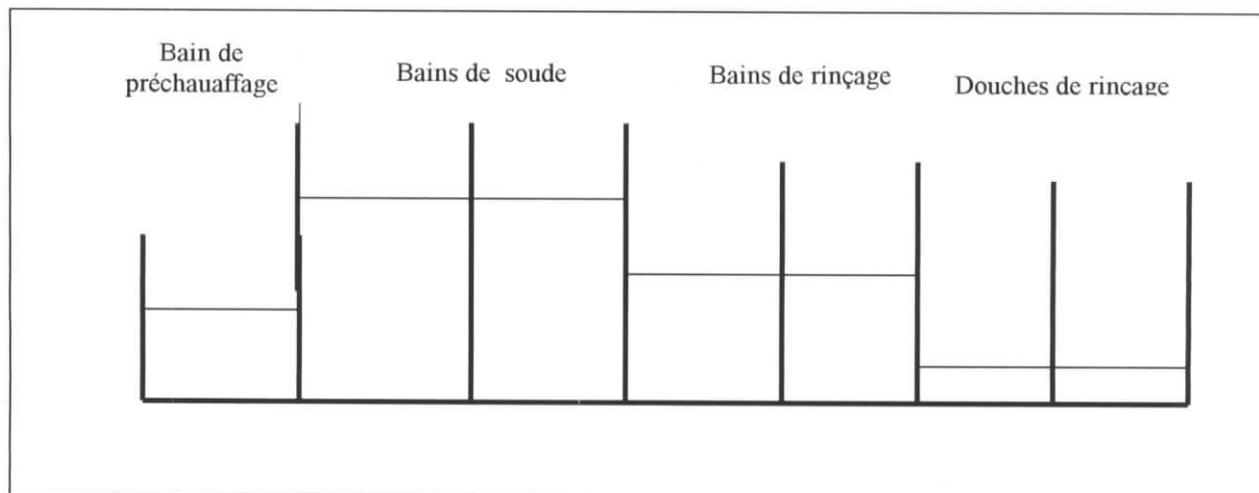


Figure 6 - Schéma du dispositif de lavage des bouteilles en verre

La ligne Kronos est alimentée en solution de soude directement du local de préparation de la soude, tandis que l'approvisionnement de la laveuse Sidel se fait manuellement (par versement des sacs de soude dans les bains).

De plus, la carbonatation de l'eau dans le premix Kronos se fait après addition du sirop fini, contrairement au cas de la ligne Sidel (P.E.T. et verre).

Au vu de ces observations, il nous est aisé d'aborder le problème de la quantification et de la caractérisation en adaptant les approches expérimentales sélectionnées aux situations réelles ainsi observées.

Les résultats de ces applications sont détaillés dans les deux chapitres suivants.

Chapitre IV

QUANTIFICATION ET CARACTERISATION DE LA PRODUCTION, DE LA CONSOMMATION EN EAU ET DES REJETS PAR ETAPE DE PRODUCTION

Dans ce chapitre, nous établirons, service par service et ligne par ligne, les consommations en eaux, la valorisation de celles-ci, les rejets générés, leurs fréquences et leurs caractéristiques.

Ce travail nous permet d'abord d'identifier les services les plus consommateurs, puis les plus polluants en terme de débits et de fréquences de rejets, mais surtout en terme de pollution organique.

En plus des débits maximums, minimums et moyens (horaires, journaliers ...), les facteurs de pointe (le débit maximum/ le débit moyen) donnent une bonne indication quant aux fluctuations que peuvent connaître les débits.

La méthode statistique employée est la méthode du sondage systématique, l'étude est menée sur une semaine de pleine production, car selon la méthode des quotas, c'est la semaine la plus représentative de la cadence de production à l'unité A.B.C. Pepsi-Rouiba, ainsi que la plus fréquente.

Cependant, la caractérisation par étape de production est menée selon d'autres critères spécifiques à chaque service, ces critères ont été établis suite au suivi du processus de production. La méthode de sondage employée est la méthode des unités types.

Les résultats de ces études sont présentés dans les paragraphes suivants.

IV.1. L'alimentation en eau souterraine

Deux types de rejets sont rencontrés avant le traitement des eaux, à savoir, le rejet au niveau des forages, et le lavage bimensuel de la bâche process dont on négligera le volume.

IV.1.1. Les fréquences de rejet

L'augmentation de la turbidité de l'eau souterraine est observée, en général, au démarrage des forages, à savoir une fois par jour en moyenne, c'est la raison pour laquelle les deux forages sont mis à rejet à chaque démarrage.

IV.1.2. Les débits de rejet

Pour le forage n°1, la durée du rejet est de 30 à 45 mn, ce qui correspond à un volume de rejet allant de 32,5 à 49,0 m³.

Pour le forage n°2, la durée du rejet est de 15 mn, ce qui correspond à un volume de rejet de 21,5 m³.

IV.1.3. Les caractéristiques physico-chimiques des eaux de rejet

Etant donné que le seul paramètre consigne du rejet au niveau des forages est la turbidité, les eaux rejetées ont les mêmes caractéristiques physico-chimiques que les eaux souterraines, exceptée la turbidité qui est supérieure aux valeurs consignées des deux forages respectifs.

Par ailleurs, quelques caractéristiques physico-chimiques des eaux souterraines varient fortement en fonction des saisons, du taux d'exploitation, ainsi que de la nature des eaux de régénération de la nappe phréatique. En effet, la température dépend de la saison, la turbidité et les M.E.S. varient de manière aléatoire tandis que la conductivité dépend de l'évolution du niveau de la nappe souterraine ainsi que de la stratification géologique du terrain.

IV.2. La station de traitement des eaux

La S.T.E. présente sans doute les débits de rejets les plus importants, ainsi que les fréquences de rejets les plus élevées.

Trois types de rejets sont ainsi identifiés.

IV.2.1. Les rejets des osmoseurs

L'osmoseur présente à son tour trois types de rejet.

L'auto-dump

Au démarrage de l'osmoseur, celui-ci observe trois minutes de circulation d'eau, cette eau, de faible volume, n'est pas orientée vers les cuves d'eau de process mais rejetée à l'égout.

L'auto-rince

En stand-by, l'osmoseur amorce un cycle de rinçage toutes les 30 mn, et ce pour protéger les membranes. Cette eau, de faible volume, est rejetée à l'égout.

Le rejet concentrat

C'est le rejet le plus important, ses fréquences sont liées à la demande en eau de process.

IV.2.1.1. Les débits de rejet concentrat

En ce qui concerne les rejets des osmoseurs, le suivi des débits rejetés se fait sur une semaine de pleine production, pour chaque journée et dans chaque journée pour chaque heure et chaque tranche horaire. Le concentrat considéré est la somme des concentrats des deux osmoseurs.

IV.2.1.1.1. Les variations horaires des débits de rejet concentrat

Les variations horaires des débits enregistrées au cours des différentes journées de la semaine de pleine production sont représentées par les histogrammes des figures 7 à 13.

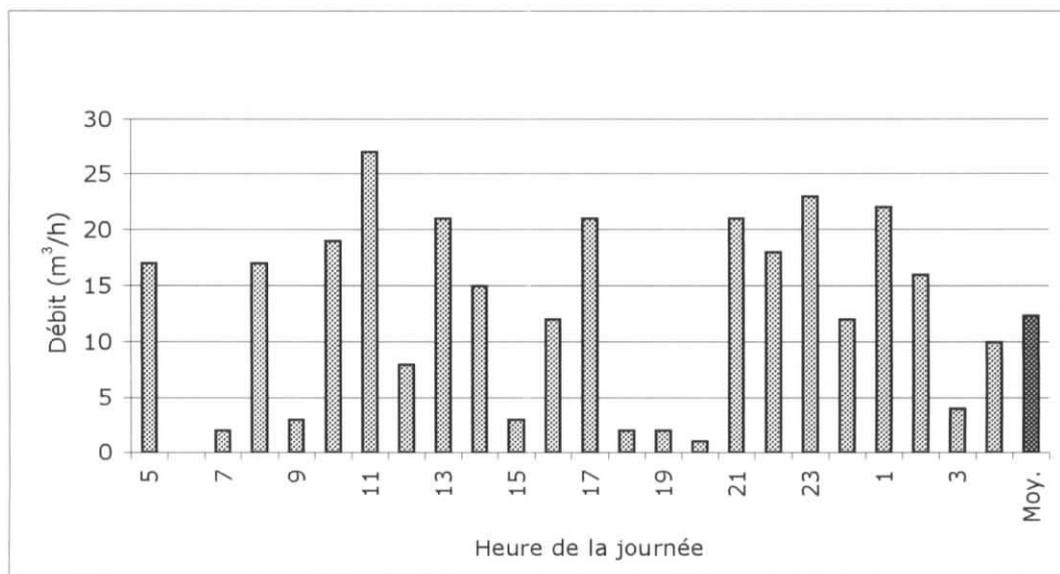


Figure 7 - Histogramme des débits de rejet concentrat au cours de la journée du samedi de la semaine de pleine production

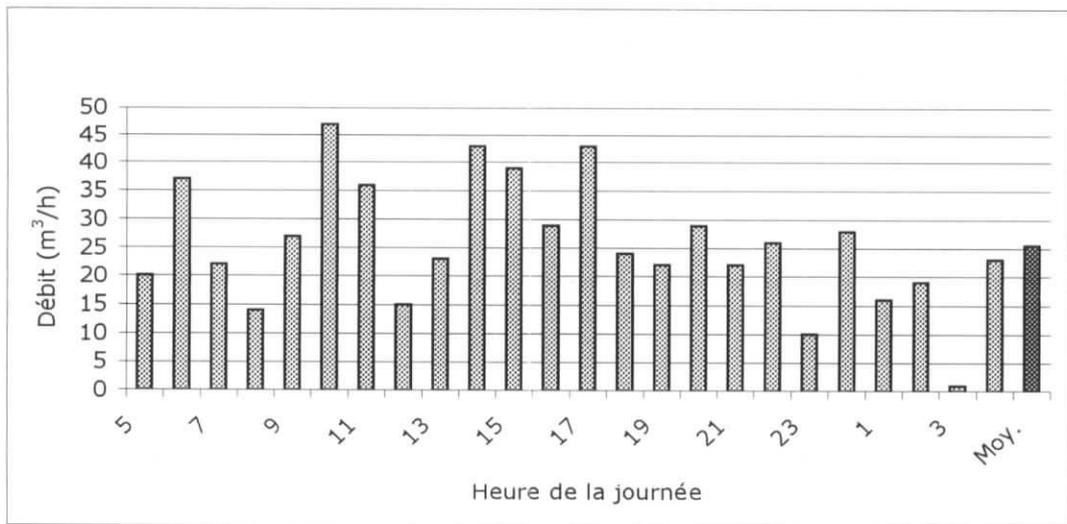


Figure 8 - Histogramme des débits de rejet de concentrat au cours de la journée du dimanche de la semaine de pleine production

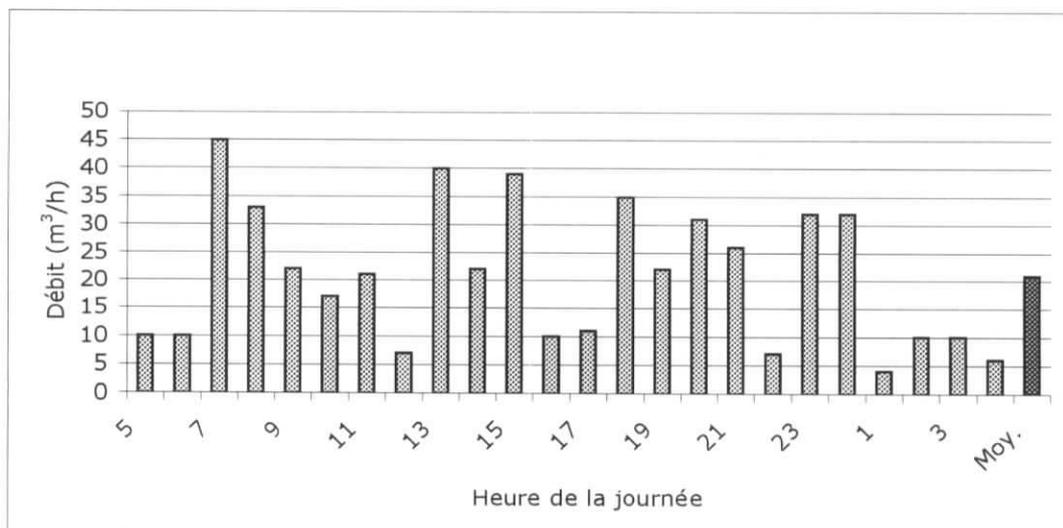


Figure 9 - Histogramme des débits de rejet de concentrat au cours de la journée du lundi de la semaine de pleine production

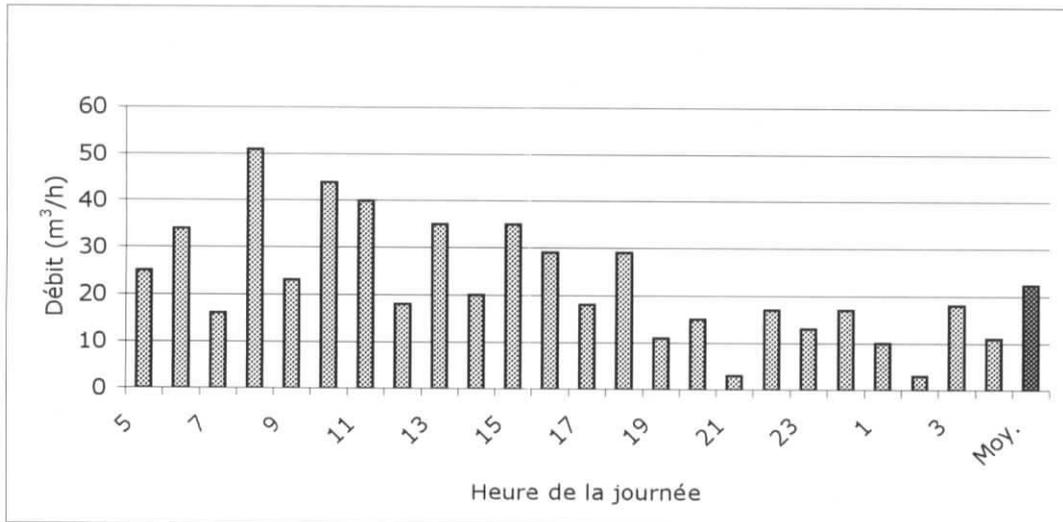


Figure 10 - Histogramme des débits de rejet concentré au cours de la journée du mardi de la semaine de pleine production

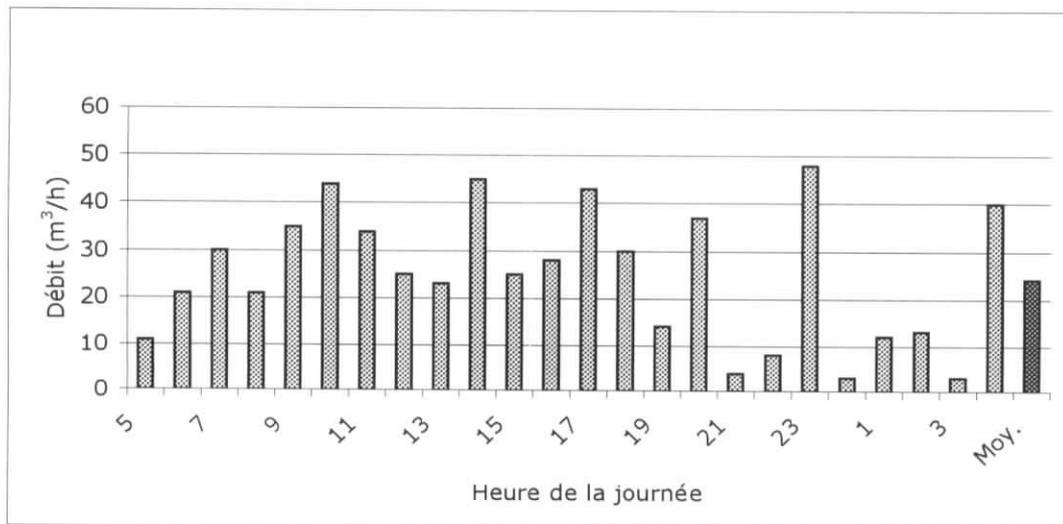


Figure 11 - Histogramme des débits de rejet concentré au cours de la journée du mercredi de la semaine de pleine production

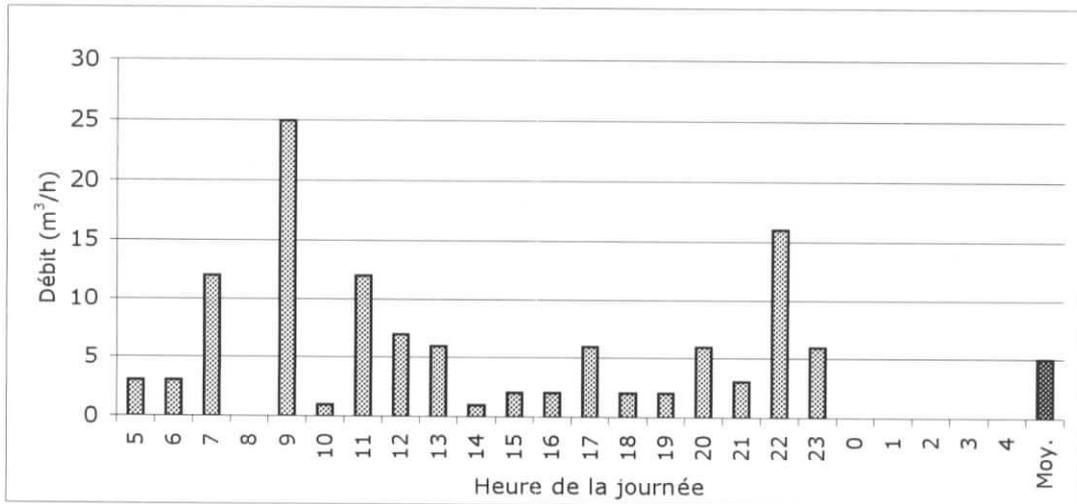


Figure 12 - Histogramme des débits de rejet concentrat au cours de la journée du jeudi de la semaine de pleine production

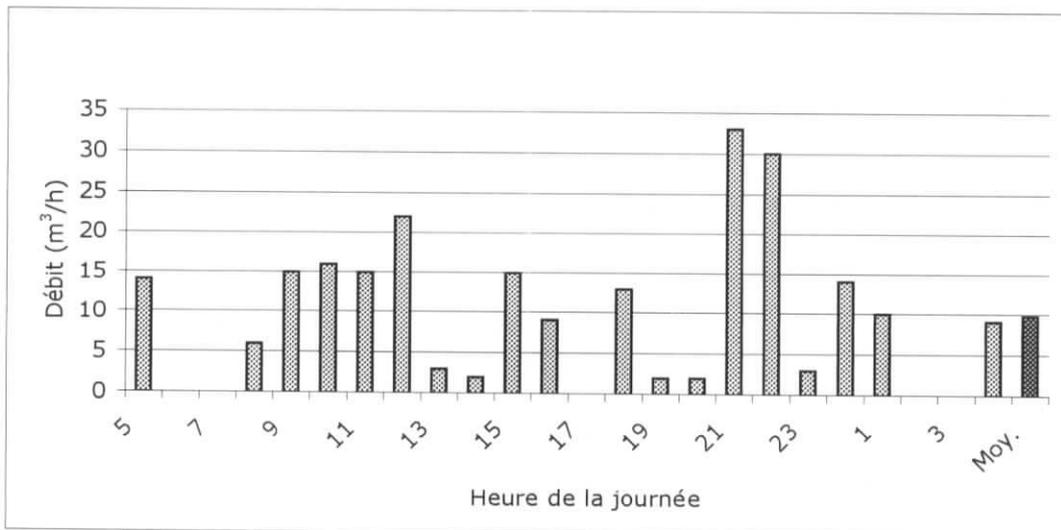


Figure 13 - Histogramme des débits de rejet concentrat au cours de la journée du vendredi de la semaine de pleine production

Ces variations de débits de rejet sont caractérisées dans le tableau 6.

Tableau 6 - La caractérisation des variations des débits de rejet concentrat au cours des journées de la semaine de pleine production.

Jour de la semaine	Débit (m ³ /h)			Facteur de pointe
	Minimum	Maximum (heure)*	Moyen	
Samedi	0	27 (11 h)	12,3	2,19
Dimanche	1	47 (10 h)	25,6	1,83
Lundi	4	45 (7 h)	20,9	2,15
Mardi	3	44 (10 h)	22,3	1,97
Mercredi	3	48 (23h)	24,0	2,00
Jeudi	0	25 (9 h)	5,0	5,00
Vendredi	0	33 (21 h)	9,7	2,30

* : l'heure à laquelle le maximum a été observé

Les débits maximums s'observent le plus fréquemment entre 7h et 11h. Ils s'observent la nuit pour le week-end et le mercredi, car les équipes de nuit procèdent aux sanitation hebdomadaires. Tandis qu'au cours de la semaine, ils s'observent la journée car c'est la production qui marque les plus fortes consommations.

Les facteurs de pointes sont très proches pour l'ensemble des journées de la semaine excepté pour le maximum observé le jeudi.

IV.2.1.1.2. Les débits moyens de rejet concentrat par tranche horaire au cours des journées de la semaine de pleine production

Pour mieux observer ces variations en fonction des équipes de production ou tranches horaires de travail, on trace l'histogramme de la figure 14 qui traduit les variations des débits moyens par tranche horaires sur cette semaine de pleine production.

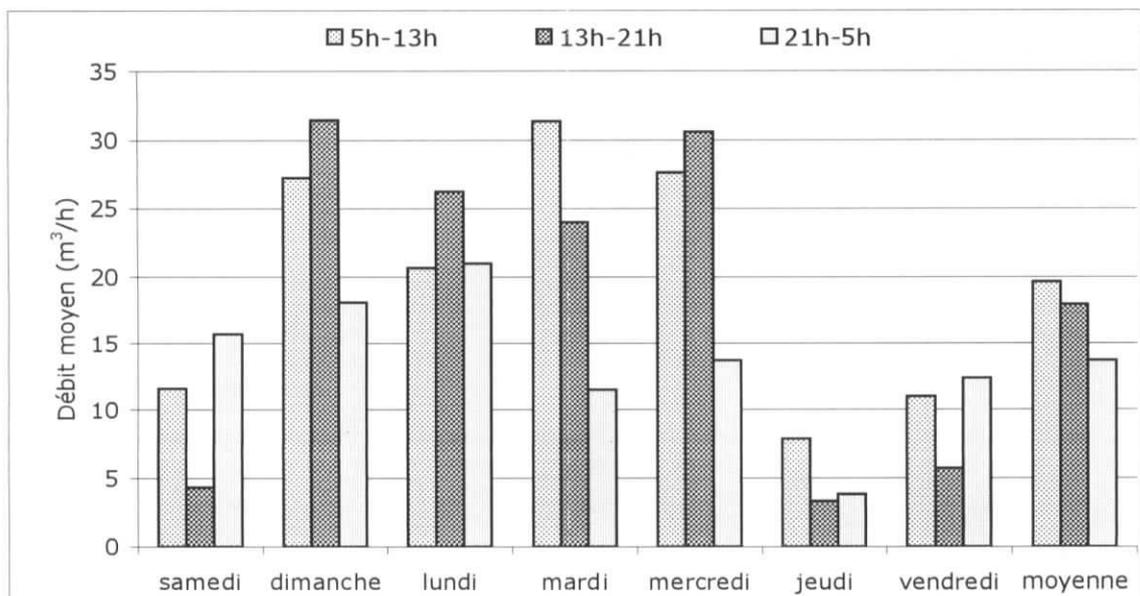


Figure 14 - Histogramme des débits moyens de rejet concentrat par tranche horaire de production pour les différentes journées de la semaine de pleine production

Ces variations de débits de rejet sont caractérisées dans le tableau 7.

Tableau 7 - La caractérisation des variations des débits moyens, par tranche horaire (8 h), des rejets concentrés au cours des journées de la semaine de pleine production.

Jour de la semaine	Débit (m ³ /h)			Facteur de pointe
	Minimum	Maximum (tranche horaire)*	Moyen	
Samedi	4,4	15,7 (21h-5h)	10,6	1,48
Dimanche	18,1	31,5 (13h-21h)	8,5	3,70
Lundi	20,6	26,2 (13h-21h)	7,5	3,49
Mardi	11,5	31,4 (5h-13h)	22,3	1,41
Mercredi	13,7	30,6 (13h-21h)	24,0	1,27
Jeudi	3,4	7,9 (5h-13h)	5,0	1,58
Vendredi	5,7	12,4 (5h-13h)	9,7	1,28

* : tranche horaire à laquelle le maximum a été observé

Les facteurs de pointes sont très proches pour l'ensemble des journées de la semaine, excepté pour le dimanche et le lundi, où l'activité est très forte.

IV.2.1.1.3. Les débits journaliers moyens de rejet concentrat au cours de la semaine de pleine production

Les débits journaliers moyens en rejet concentrat sont traduits dans l'histogramme de la figure 15.

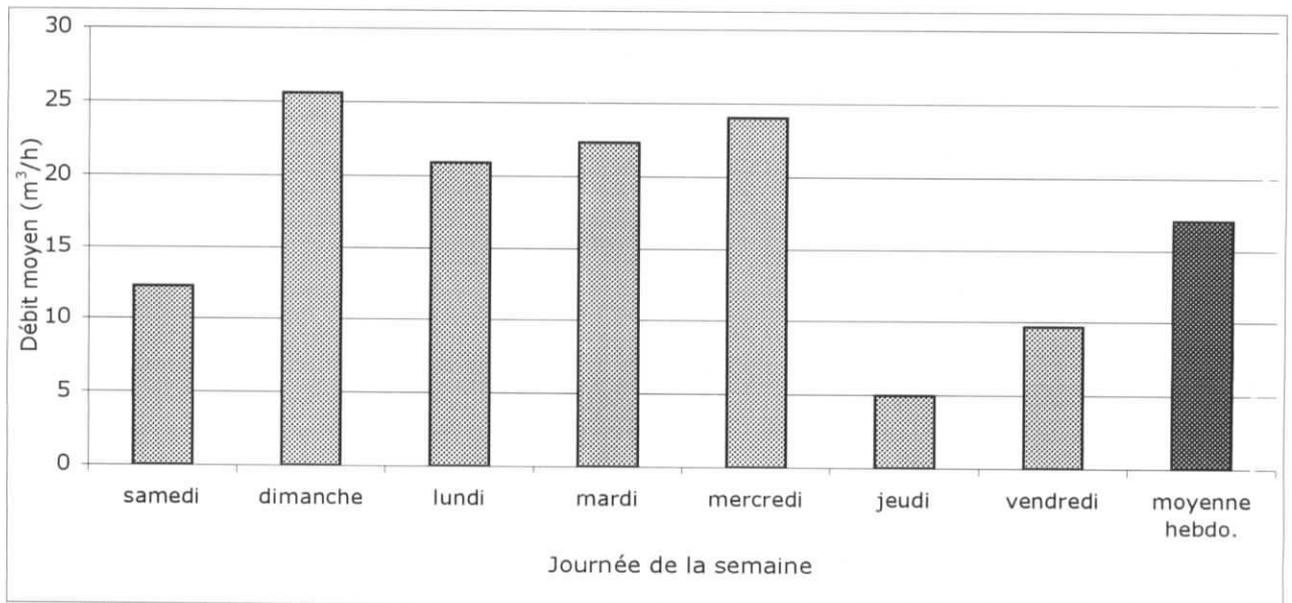


Figure 15 - Histogramme des débits de rejet concentrat journaliers moyens au cours d'une semaine de pleine production

Ces variations de débits de rejet sont caractérisées dans le tableau 8.

Tableau 8 - La caractérisation des variations des débits moyens journaliers de rejet concentrat au cours de la semaine de pleine production.

Jour de la semaine	Débit (m³/h)			Facteur de pointe
	Minimum	Maximum	Moyenne hebdomadaire	
Dimanche	-	25,6	17,1	1,50
Jeudi	5,0	-	-	-

Le facteur de pointe est de 1,50 ce qui est marqué par le dimanche avec un débit de rejet moyen journalière de 25,6 m³/h, soit un débit total de 615 m³/j.

Les débits des rejets concentrés des osmoseurs n'est pas constant et n'observe pas d'évolution journalière régulière au cours de toute la semaine. Cependant, leurs caractéristiques physico-chimiques restent contrastées.

IV.2.1.2. Les caractéristiques physico-chimiques des rejets concentrés

Les concentrats présentent les caractéristiques physico-chimiques résumées dans le tableau 9.

Tableau 9 - Les caractéristiques physico-chimiques des rejets concentrés des l'osmoseurs

Paramètre	Osmoseur n°1	Osmoseur n°2	Norme	Unité
T°	21,1	22,2	30,0	°C
pH	7,59	8,00	5,50-8,50	.
Turb.	0,284	0,159	.	N.T.U.
Cond.	3050	2515	.	µs/cm
T.D.S.	2596	1827	.	p.p.m.
Fe ²⁺	0,3	0,04	.	mg/L
Fe _T	0,8	0,92	5,00	mg/L
T.H.	130	97	.	°F
Cl ⁻	1,02	0,4	.	g/L
SO ₄ ²⁻	300	300	.	mg/L

Les rejets concentrés des deux osmoseurs présentent une forte conductivité et une concentration en chlorures très élevée.

IV.2.2. Les rejets de l'adoucisseur

IV.2.2.1. Les débits et fréquences de rejets

L'adoucisseur composé de deux bouteilles amorce une régénération après un cycle de production de 75 m³, en connaissant les heures auxquelles la régénération est entamée et la durée de celle ci (estimée à 3 h), il nous est aisé d'évaluer la production et le rejet de l'eau au niveau de l'adoucisseur, ces évaluations sont résumées dans le tableau 10.

Tableau 10 - Estimation des rejets de l'adoucisseur ainsi qu de sa productivité

	Dimanche	Lundi	Mardi	Mercredi	Moyenne
Production (m³)	187,5	187,5	225	300	225
Rejet (m³)	8	8	12	16	11
Total (m³)	195,5	195,5	237	316	236
Production/ Total	95,9%	95,9%	94,9%	94,9%	95,4 %

Le samedi et le week-end, la laveuse Kronos étant à l'arrêt, l'adoucisseur l'est aussi. On note que l'adoucisseur présente de faibles volumes de rejet contrairement aux osmoseurs.

De plus, sa productivité est en moyenne supérieure à 95,0 %, tandis qu'elle n'est que de 66,66 % (soit 2/3) pour les osmoseurs.

La figure 16 présente les variations en terme de débit journalier d'eau consommée pour l'adoucissement au cours de la semaine de pleine production.

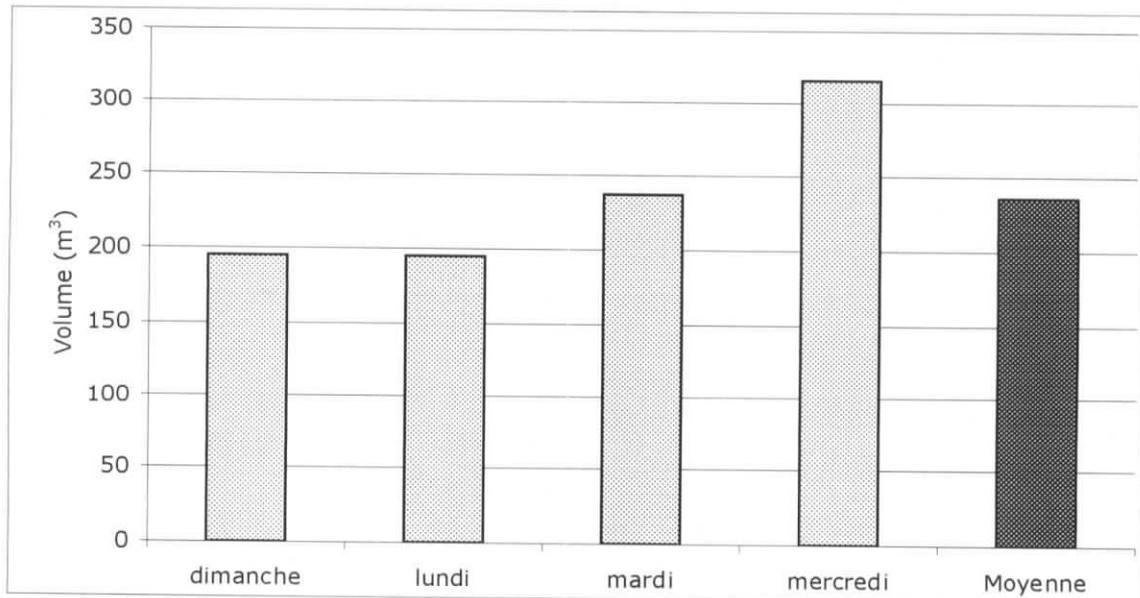


Figure 16 - Histogramme des débits journaliers d'eau consommée au niveau de l'adoucisseur au cours de la semaine de pleine production

La figure 17 traduit quant à elle, les variations en terme de débit journalier d'eau rejetée au niveau de l'adoucisseur (eau de régénération), et ce au cours de la semaine de pleine production.

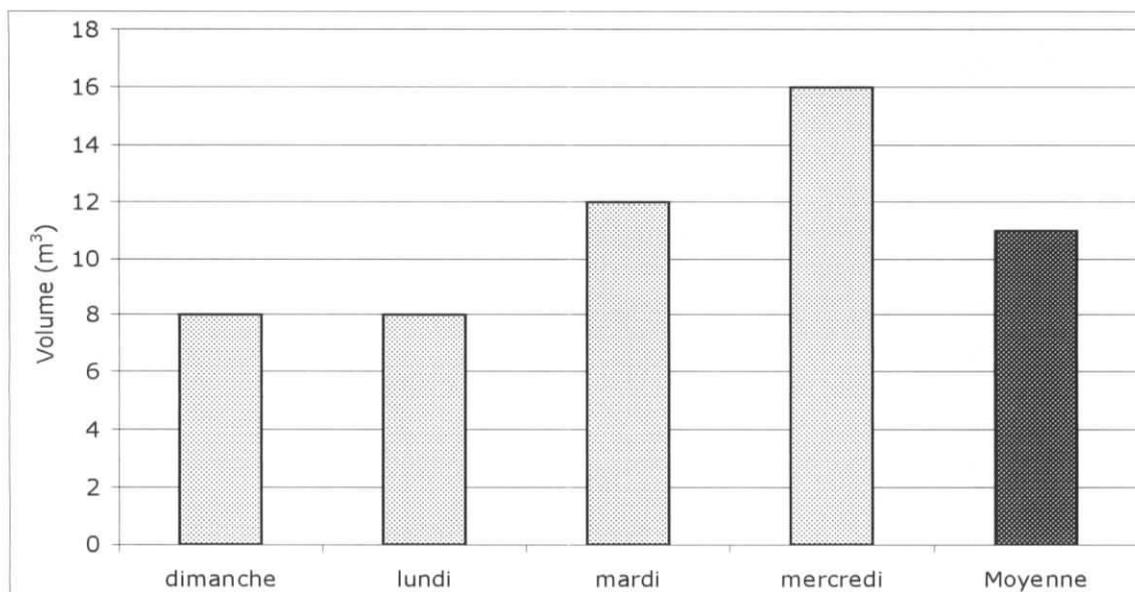


Figure 17 - Histogramme des débits journaliers d'eau rejetée (de régénération) au niveau de l'adoucisseur au cours de la semaine de pleine production

Remarque

La production en eau adoucie représente une grande fraction de l'eau rejetée au niveau de la laveuse Krones.

IV.2.2.2. Les caractéristiques physico-chimiques des rejets de l'adoucisseur

Le prélèvement d'une prise d'eau du rejet de l'adoucisseur par la méthode des unités types, nous permet de caractériser ce rejet. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 11.

Tableau 11 - Les caractéristiques physico-chimiques des rejets de l'adoucisseur

Paramètre	Valeur	Norme	Unité
T°	22,0	30	°C
pH	6,16	5,50-8,50	.
Turb.	0,224	.	N.T.U.
Cond.	159	.	ms/cm
T.D.S.	196,4	.	p.p.t./L
Fe ²⁺	0,65	.	mg/L
Fe _T	0,80	5,00	mg/L
T.H.	4720	.	°F
Cl ⁻	4,5	.	g/L
SO ₄ ²⁻	200	.	mg/L

IV.2.3. Les rejets de sanitation, de contre-lavages et d'entretien de la station

Un programme de sanitation est suivi pour l'entretien des osmoseurs, des filtres, des cuves, des tronçons, etc.

Nous ne retiendrons que les contre-lavages quotidiens des F.S. et la stérilisation du F.C.

Le volume nécessaire à ces contre-lavages étant, au maximum, de 18 m³, et sachant que dans la S.T.E. il y a trois F.S., le volume total rejeté est donc de 54 m³/j.

Ainsi, les volumes d'eaux rejetées au niveau de la S.T.E. sont résumés dans le tableau 12.

Tableau 12 - Les débits de rejets journaliers au niveau de la S.T.E au cours de la semaine de pleine production

Rejet Jour	Concentrat (m ³)	Régénération adoucesseur (m ³)	Contre lavage (m ³)	Total (m ³)
Samedi	296	0	54	350
Dimanche	615	8	54	677
Lundi	502	8	54	564
Mardi	535	12	54	601
Mercredi	576	16	54	646
Jeudi	121	0	54	175
Vendredi	233	0	54	287
Moyenne	411	6,3	54	471,3

Le débit de rejet maximum au niveau de la S.T.E. est de 677 m³/j, il marque la journée de dimanche, avec un facteur de pointe de 1,44.

En effet, cette journée présente le débit de rejet maximum des osmoseurs, soit 615 m³/j.

On note que les rejets journaliers moyens des osmoseurs, au cours de la semaine, représentent 87,2 % du total des rejets au niveau de la S.T.E., avec un maximum de 90,8 % observé le dimanche.

IV.3. Le dispositif de chaufferie

IV.3.1. La consommation en eau au niveau du service

Etant donné l'absence de compteur volumétrique et de débitmètre indiquant la consommation en eau des chaudières, il nous a été très difficile d'estimer la consommation journalière moyenne de chaque chaudière.

Par ailleurs, étant donné le procédé de récupération des condensats, on peut se prononcer approximativement sur l'apport en eau dans ce service, dont on estimera la répartition comme présentée dans le tableau 13.

Tableau 13 - La consommation des chaudières en eau selon la cadence de production

Type de journée	Consommation moyenne journalière (m ³)		
	Bâche n°1	Bâche n°2	Totale
Pleine production	2	3	6
Demi-charge	2	0	2
Sanitation	1	1	2

IV.3.2. Les rejets

IV.3.2.1. Les fréquences de rejet

Les deux bâches sont sanitées deux fois par an (tous les six mois), nous n'avons donc pas pu évaluer le débit ni les caractéristiques des eaux de sanitation.

Les chaudières, quant à elles, sont vidangées une fois par semaine en général, et parfois une fois par quinzaine quand la production n'observe pas d'arrêt le week-end.

IV.3.2.2. Les débits de rejet

Etant donnée les fortes températures auxquelles les eaux sont rejetées, nous n'avons pas pu évaluer exactement les débits des eaux rejetées au niveau des chaudières, par ailleurs, vu les dimensions de celles-ci, nous proposons l'estimation présentée dans le tableau 14.

Tableau 14 - L'estimation des volumes journaliers d'eau rejetée au niveau des chaudières en fonction de la cadence de production

Type de Semaine	Volume d'eau rejetée lors des vidanges (m ³)		
	Chaudière n°1 ou n°3	Chaudière n°2	Totale
Pleine production	1,7	2,3	4,0
Demi-charge	1,7	0,0	1,7

IV.3.2.3. Caractéristiques physico-chimiques des rejets

A priori, les eaux rejetées au niveau des chaudières seraient chargées en sulfates provenant de l'addition du sulfite de sodium dans les bâches, et en fer provenant d'une éventuelle corrosion.

Pour déterminer les caractéristiques physico-chimiques de ces eaux, nous avons procédé à un prélèvement juste avant la vidange (ie, dans les conditions de rejet),

près de 15 mn après l'arrêt de la production d'une chaudière. Les résultats de ces analyses sont résumés dans le tableau 15.

Tableau 15 - Les caractéristiques physico-chimiques des eaux de rejet de la chaudière

Paramètre	Résultat	Normes	Unité
T°	92	30	°C
pH	7,62	5,50-8,50	-
Cond.	934,3	-	ms/m
T.D.S.	636,2	-	p.p.m.
T.H.	3,5	-	°F
Turb.	47,2	-	N.T.U.
M.E.S.	60	30	mg/L
Matières décantables	2,5	-	ml/L
Fe ²⁺	0,27	-	mg/L
Fe _T	5,4	5,0	mg/L
SO ₄ ²⁻	160	-	mg/L
Cl ⁻	165	-	mg/L

Les rejets de cette chaudière présente une forte concentration en fer, en M.E.S., ainsi qu'une turbidité élevée.

La concentration élevées en sulfates s'explique par l'addition du W558, très riche en sulfite de sodium, les sulfites s'oxydant en sulfates.

IV.4. La siroperie

Les principaux rejets au niveau de la siroperie proviennent des sanitations.

IV.4.1. Les fréquences de rejet

La corrélation sanitation-préparation étant très forte, on comptabilisera la même fréquence pour les rejets, les sanitations et les préparations, on note alors :

- les sanitations des cuves de stockage après chaque préparation ;
- les sanitations des fondoirs après épuisement du sirop simple (un fondoir pouvant servir à plusieurs préparations)

- et les sanitations des lignes siroperie-premix à la fin de chaque production ou après un arrêt prolongé (pour maintenance par exemple), sinon elles s'opèrent obligatoirement toutes les 24 h même s'il faut pour cela arrêter la production.

Le tableau 16 résume les évaluations établies.

Tableau 16 - L'estimation de la mobilisation des cuves au niveau de la siroperie en fonction des cadences de production

Type de journée	Nombre de cuves opérationnelles (à saniter) par jour				
	Sidel	Krones	Fondoirs	cuve parfum	Total
Pleine production	6/10	4/5	1/2	2/2	13/19
Demi charge (Sidel verre+Sidel P.E.T.)	6/10	0/5	1/2	1/2	8/19
Demi charge Sidel P.E.T. ou Sidel verre	3/10	0/5	1/2	1/2	5/19
Basse production	0/10	0/5	0/2	0/2	0/19

IV.4.2. La procédure de sanitation

La sanitation d'une cuve ou d'une ligne, schématisée dans la figure 18, se déroule en cinq étapes.

1^{ère} étape

Rinçage avec l'eau pendant un certain temps, l'eau est rejetée à l'égout.

2^{ème} étape

Rinçage avec une solution de soude à 2,5- 3,0 % massique et à 85 °C (la température augmente après passage à travers un échangeur à chaleur) en circuit fermé pendant un certain temps, la solution de soude est ensuite renvoyée dans la cuve de stockage de la soude.

3^{ème} étape

Rinçage à l'eau jusqu'à disparition complète de la soude (contrôle à la phénolphtaléine), l'eau est rejetée à l'égout.

4^{ème} étape

Rinçage avec une solution de NaClO à 100-150 p.p.m. en circuit fermé (grâce au jet-mix) pendant un certain temps, la solution est ensuite renvoyée dans la cuve de stockage de la solution chlorée.

5^{ème} étape

L'ensemble (tuyauterie et cuve) est rincé à l'eau jusqu'à disparition des dernières traces de chlore.

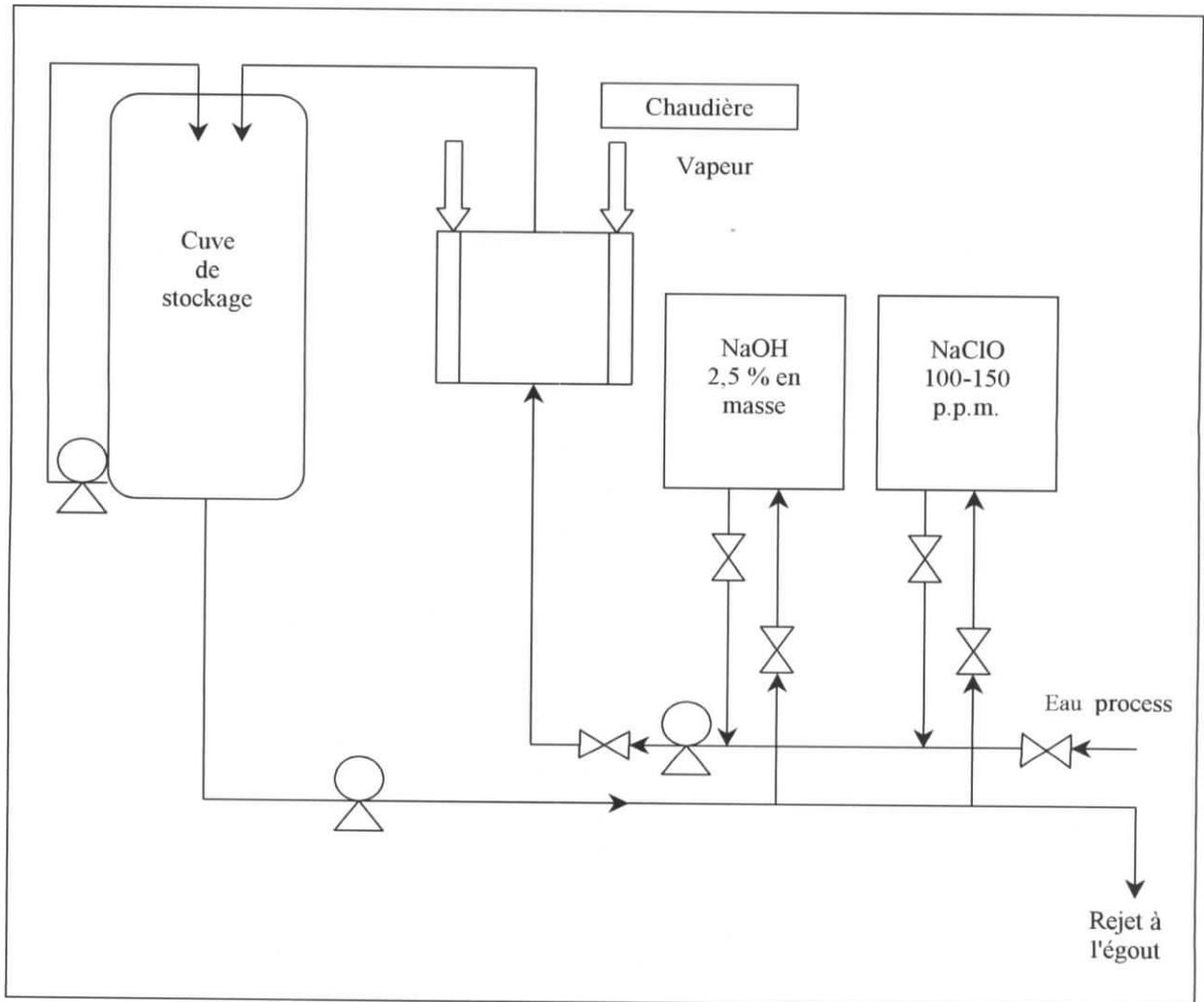


Figure 18 - Schéma descriptif de la procédure de sanitation au niveau de la siroperie

IV.4.3. Les débits de rejet

Le suivi des différentes étapes de sanitation d'une cuve nous a permis de déterminer les volumes d'eau consommée (donc rejetée), à partir de quoi on a déduit

les volumes d'eau consommée (donc rejetée) au cours de la sanitation d'une ligne (siroperie-premix). Les résultats de ce suivi sont présentés dans le tableau 17.

Tableau 17 - Les volumes d'eau nécessaires à la sanitation au niveau de la siroperie et ce par étape

Etape	Durée de l'étape (mn)		Volume d'eau consommée et rejetée (m ³)			
	Cuve	Siroperie Premix	Cuve	Siroperie-premix	Totale	Moy.
1	5-10 (30)*	5-10 (30)*	1,5 - 3,0 (9,0)*	1,5-3,0 (9,0)*	3,0-6,0 (18,0)*	4,5
2	15-20	20	0,0	0,0	0,0	0,0
3	10-20	20-30	2,5-5,0	5,0-7,5	7,5-12,5	10,0
4	20	20	0,0	0,0	0,0	0,0
5	10-20	20-30	2,5-5,0	5,0-7,5	7,5-12,5	10,0
Total	60-90 (110)*	85-110 (130)*	6,5-13,0 (19,0)*	13,0-21,0 (27,0)*	19,5-34,0 (46,0)*	26,75

*Certains opérateurs observent une première étape de rinçage allant jusqu'à 30 mn.

Pour cette observation référentielle, le volume exact l'eau consommée (rejetée) était de 9,0 m³ pour une sanitation qui a durée 87 mn.

IV.4.4. Les caractéristiques physico-chimiques des rejets

A priori, les eaux rejetées au niveau de la siroperie seraient chargées en M.O., elles présenteraient de ce fait une D.B.O.₅ élevée.

Cependant, étant donné les standards de préparation P.C.I. qui visent à récupérer de l'installation tout (ou presque tout) le sirop préparé, l'eau rejetée à la fin de la première étape ne présenterait qu'une très faible fraction de charge organique, en effet, nous avons observé que le sirop fini ne persiste pas plus d'une fraction de seconde dans le rejet.

Ainsi, la première étape de sanitation n'entraîne à l'égout qu'une très faible fraction de M.O. (sirop fini).

De plus, l'emploi de soude concentrée et à température élevée vient éliminer la flore bactérienne (étape n°2), cette élimination sera complétée au cours de l'étape de stérilisation (étape n°4) ce qui ne laisse guère place à un quelconque développement bactérien. Ajouté à cela l'effet de dilution apporté par l'étape n°3 et n°5.

Une charge organique très faible (effluent très dilué), et une population microbienne quasi inexistante (du fait de l'emploi de la solution de soude concentrée

et de la solution chlorée) nous conduirait à négliger à la fois la D.B.O.₅ apportée par le rejet à cette étape de production ainsi que la D.C.O.

En outre, les variations physico-chimiques que connaît le rejet au cours de ces cinq étapes, rend difficile sa caractérisation.

Cependant, on peut qualifier grossièrement cet effluent selon les étapes de sanitation (voir tableau 18).

Tableau 18 - Les caractéristiques générales des eaux de sanitation au niveau de la siroperie, et ce par étape

	Etape (1)	Etape (2)	Etape (3)	Etape (4)	Etape (5)
T° (°C)	20-25	85	25-30	20-25	20-25
pH	Neutre à acide	Basique	Basique au début de l'étape puis neutre	Neutre	Neutre
Caractère prédominant	Proche de l'eau de process	pH basique, T° élevée (caractère détergent)	Basique puis proche de l'eau de process	Eau chargée en chlore (caractère stérilisant)	Eau chargée en chlore puis proche de l'eau de process
Rejet à l'égout	Oui	Non	Oui	Non	Oui

IV.5. La ligne Sidel P.E.T.

La principale source de rejets au niveau de la soutireuse P.E.T. est le rinçage des bouteilles fraîchement soufflées, en plus des rejets de sanitation du tronçon siroperie-premix.

IV.5.1. Les fréquences de rejet

Les eaux de rinçage sont rejetées en permanence pendant la production, tandis que les eaux de sanitation (tronçon : siroperie-premix) dont les caractéristiques et les débits ont été établis dans le paragraphe précédent, sont rejetées dans les conditions précédemment décrites.

IV.5.2. Les débits de rejets, les consommations et la production

La mesure du débit des eaux de rinçage à différents moments de la production nous a permis d'établir un débit approximatif de rejet de 2 m³/h.

Le tableau 19 résume les relations entre les eaux consommées, rejetées et la production au niveau de cette ligne.

Tableau 19 - Les volumes d'eaux consommées, rejetées et valorisées par la ligne Sidel P.E.T.

m ³ de boisson (par jour)	Eau de rinçage (m ³)	Eau de sanitation (m ³)	Eau rejetée (m ³)	Consommation totale en eau pour la production (m ³)	Boisson produite
					Eau consommée
71,040	12	145	157	224	0,317
176,292	26	118	148	312	0,565
192,960	34	118	152	331	0,583
28,368	6	37	43	60	0,473
90,00	30	37	63	146	0,616

Pour mieux analyser ces résultats, on trace le graphe de la figure 19 qui traduit les variations des volumes d'eau rejetée et des volumes d'eau consommée en fonction des volumes de boissons produites.

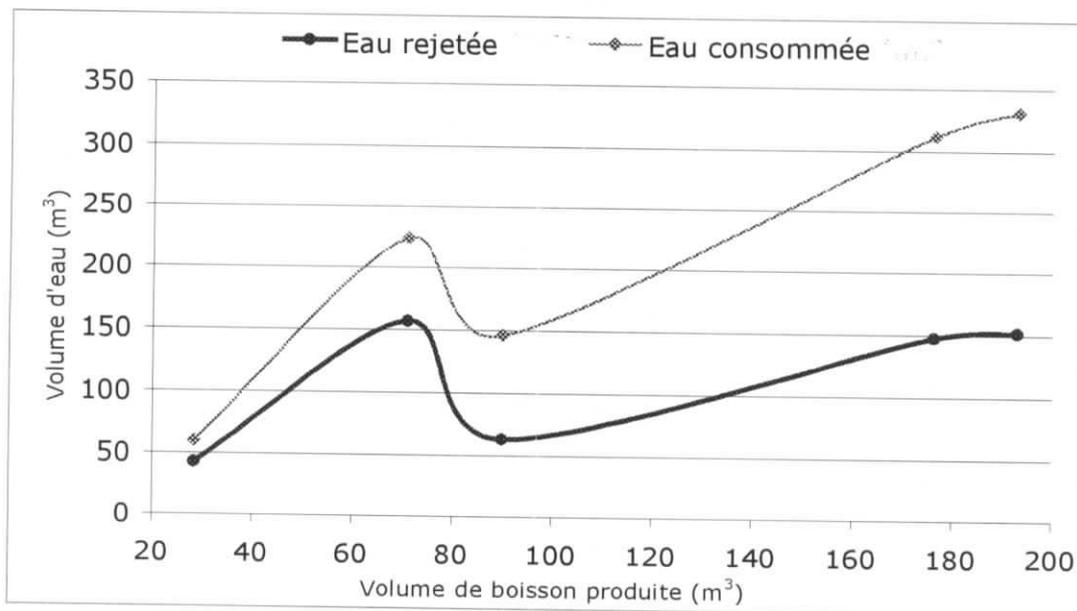


Figure 19 - Variations des volumes d'eau consommée et d'eau rejetée en fonction des volumes de boisson produite

Ce graphe montre que l'écart entre les quantités d'eau consommée et les quantités d'eau rejetée croît avec les quantités de boisson produite. Autrement dit, plus la production est élevée, plus l'eau consommée est valorisée. Et pour mieux illustrer ceci, on établit la figure 20 qui traduit les variations du rapport *volume boisson produite/ volume eau consommée* en fonction du *volume de boisson produite*.

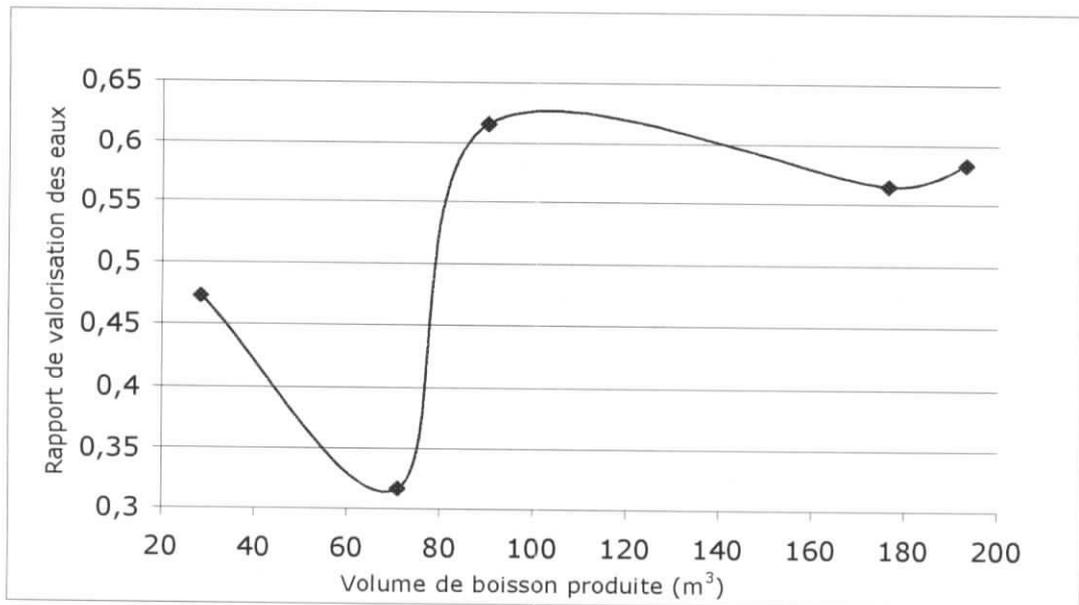


Figure 20 - Variations du rapport volumique *boisson produite/eau consommée* en fonction du volume de boisson produite (m³)

Le rapport *boisson produite/ eau consommée* est très variable, il est optimal pour de grandes quantités de boissons produites.

L'eau est donc valorisée au maximum pour de grandes quantités de boissons produites. Ceci s'explique par le fait que les faibles cadences de production connaissent de fréquents arrêts nécessitant de fréquentes sanitations, ce qui implique l'augmentation des volumes de rejets et donc la diminution des volumes d'eau valorisée.

IV.5.3. Les caractéristiques physico-chimiques des rejets

La caractérisation physico-chimique des eaux de rinçage de la ligne Sidel P.T.E. a donné les résultats résumés dans le tableau 20.

Tableau 20 - Les caractéristiques physico-chimiques des eaux de rinçage de la ligne Sidel P.E.T.

Paramètre	Résultat	Normes	Unité
T°	28,6	30,0	°C
pH	6,54	5,50-8,50	-
Cond.	75,3	.	µs/cm
T.D.S.	263	.	p.p.m.
T.H.	6,1	.	°F
Turb.	5,2	.	N.T.U.
M.E.S.	24	30	mg/L
Fe ²⁺	0,1	.	mg/L
Fe _T	0,14	5,00	mg/L
SO ₄ ²⁻	6	.	mg/L
Cl	8,5	.	mg/L

On remarque que les caractéristiques physico-chimiques de ces eaux sont très proches de celles de l'eau de process, exceptées la turbidité et la teneur en M.E.S.

Cette eau est donc assimilée à une eau de dilution pour le rejet global.

IV.6. La ligne Sidel verre

La ligne Sidel verre, tout comme la ligne Kronos, présente trois types de rejet et donc trois fréquences de rejet.

IV.6.1. Les rejets permanents de la laveuse Sidel

Au cours de la production, la laveuse Sidel rejette l'eau excédentaire du bain de préchauffage, et pour compenser d'éventuelles carences en eau de rinçage, elle consomme l'eau de process.

IV.6.1.1. Les débits des rejets permanents de la laveuse Sidel

Etant donné que l'eau de rinçage et l'eau du bain de préchauffage sont en équilibre, on estimera que le volume d'eau consommée est identique au volume d'eau rejetée.

Ainsi, le suivi, tout au long d'une semaine de pleine production, des débits horaires de consommation en eau (qui correspondent aux débits de rejet) au niveau de la laveuse Sidel nous a permis d'établir les figures 21 à 25.

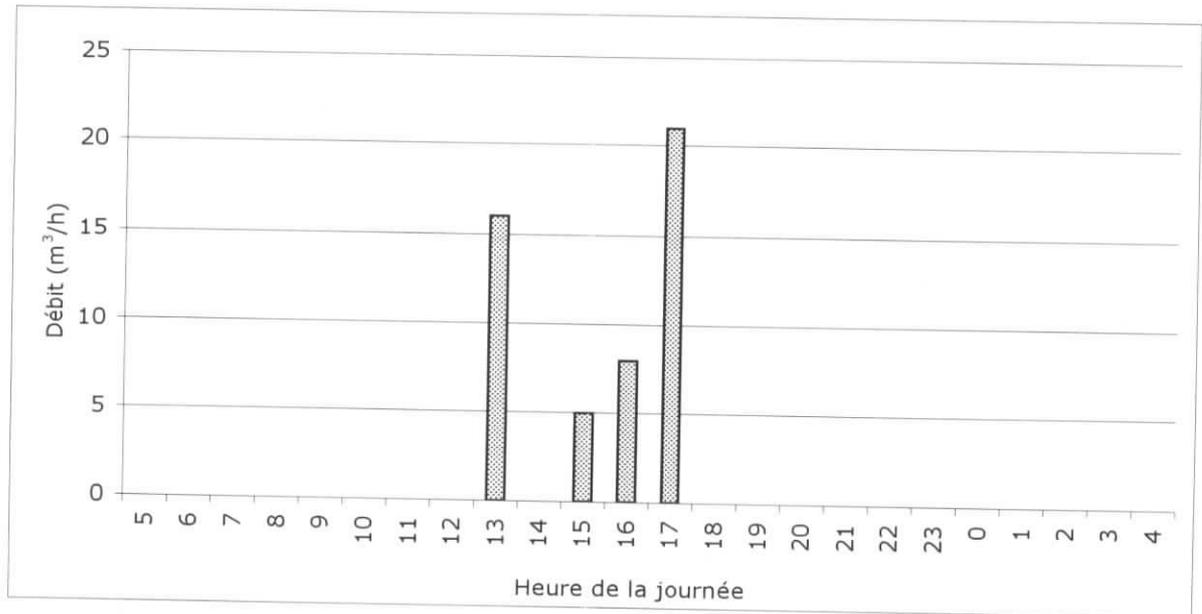


Figure 21 - Histogramme des débits de rejet de la laveuse Sidel au cours de la journée du samedi de la semaine de pleine production

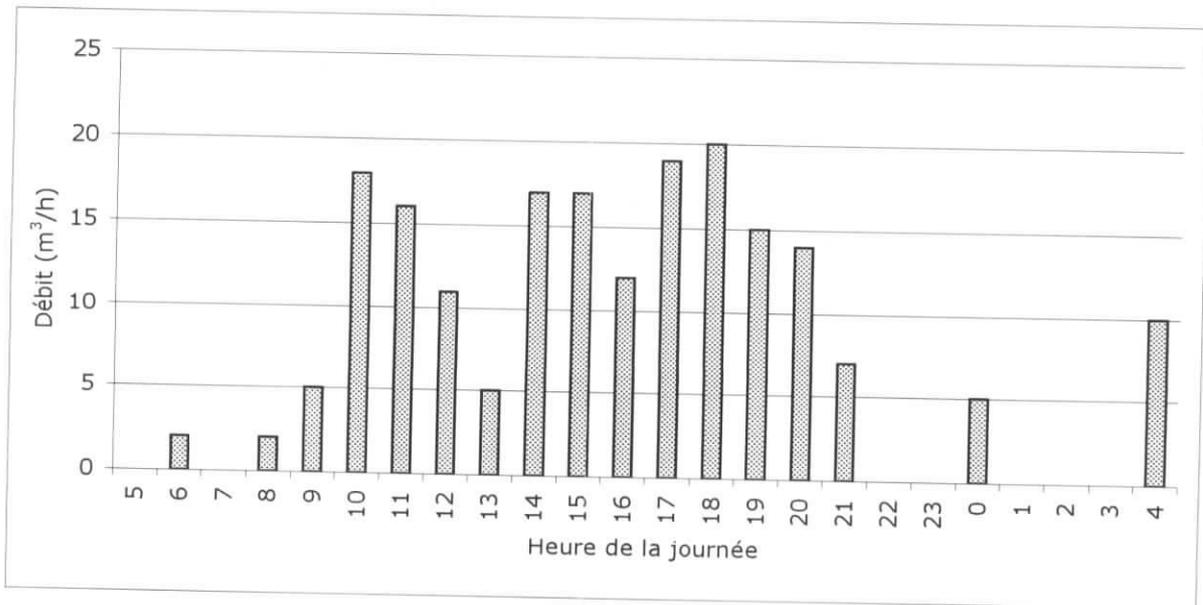


Figure 22 - Histogramme des débits de rejet de la laveuse Sidel au cours de la journée du dimanche de la semaine de pleine production

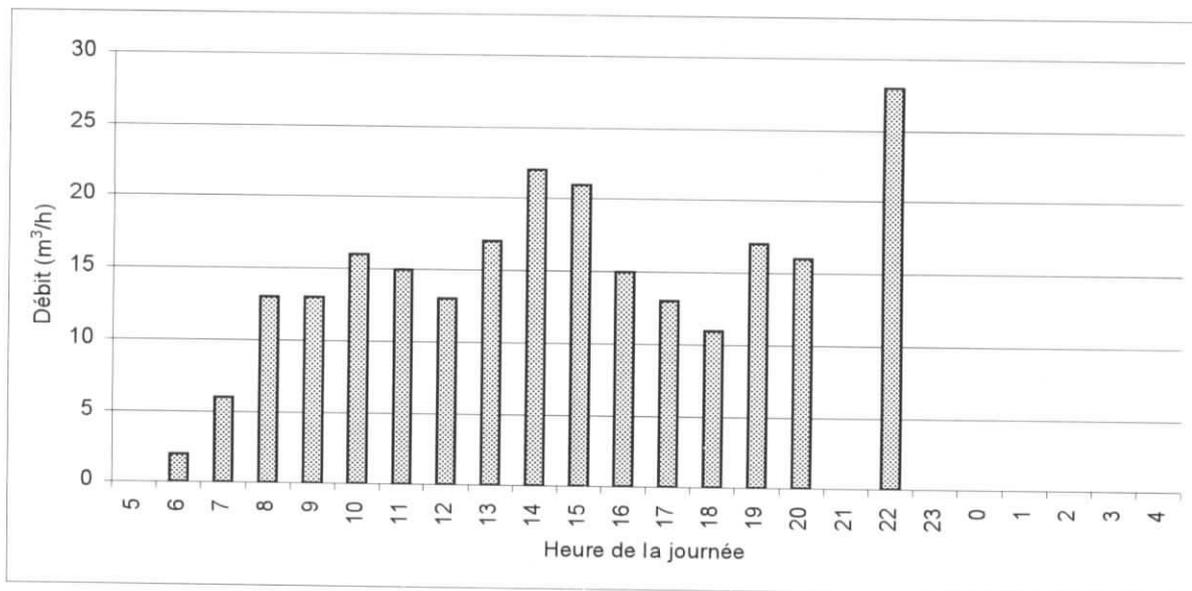


Figure 23 - Histogramme des débits de rejet de la laveuse Sidel au cours de la journée du lundi de la semaine de pleine production

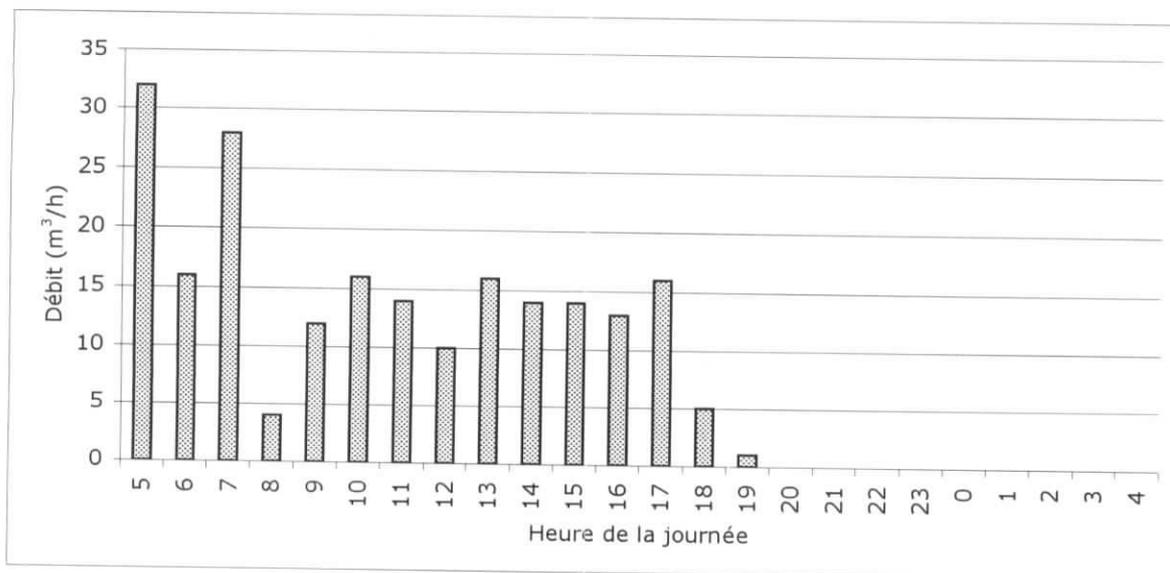


Figure 24 - Histogramme des débits de rejet de la laveuse Sidel au cours de la journée du mardi de la semaine de pleine production

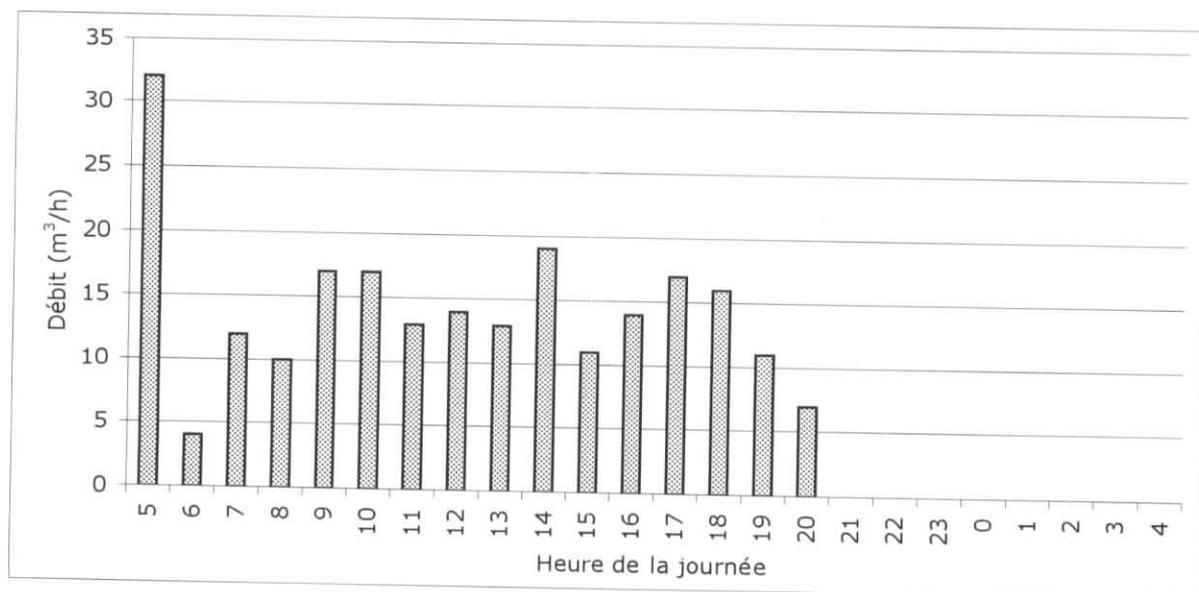


Figure 25 - Histogramme des débits de rejet de la laveuse Sidel au cours de la journée du mercredi de la semaine de pleine production

La figure 26 rend compte des variations de des rejets de la laveuse Sidel au cours de la semaine de pleine production et ce par tranche horaire de travail.

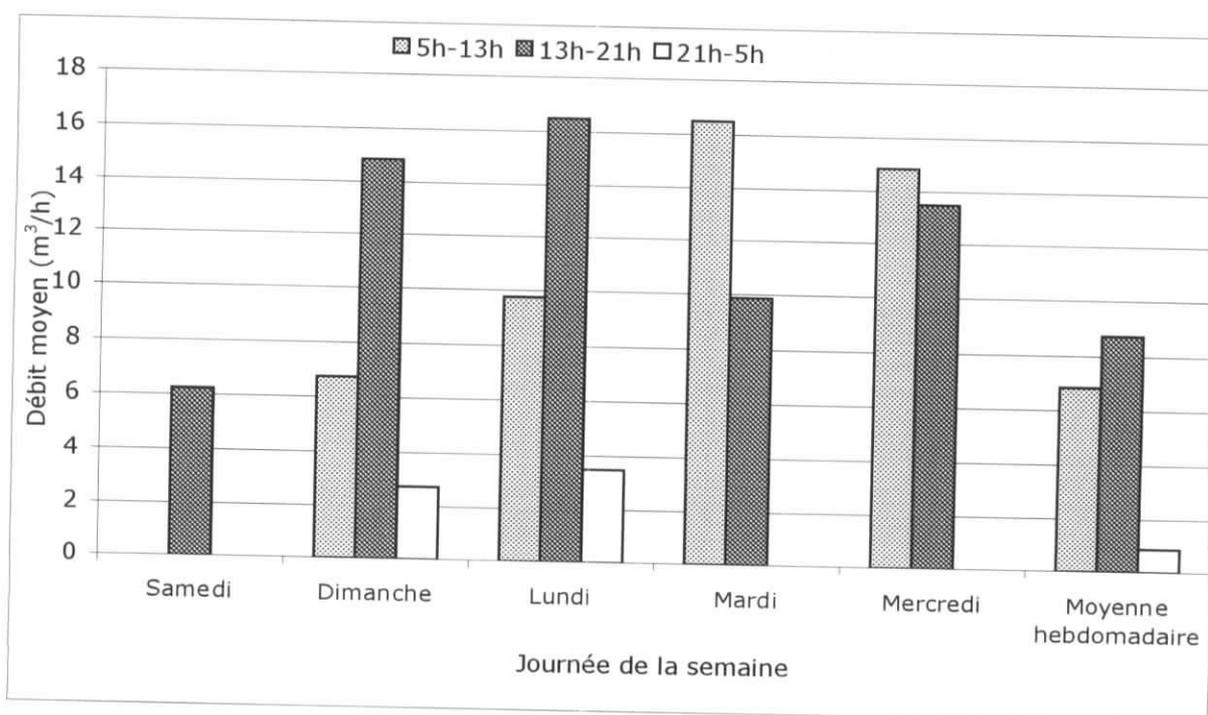


Figure 26 - Histogramme des débits moyens de rejet de la laveuse Sidel par tranche horaire de production pour les différentes journées de la semaine de pleine production

Les consommations sont observées en particulier entre 5h et 21h, car au delà, les baigns de rinçage sont sanités, ce qui marque l'arrêt de la laveuse.

La figure 27 résume, quant à elle, les débits journaliers moyens des rejets de la laveuse Sidel au cours de la semaine de pleine production.

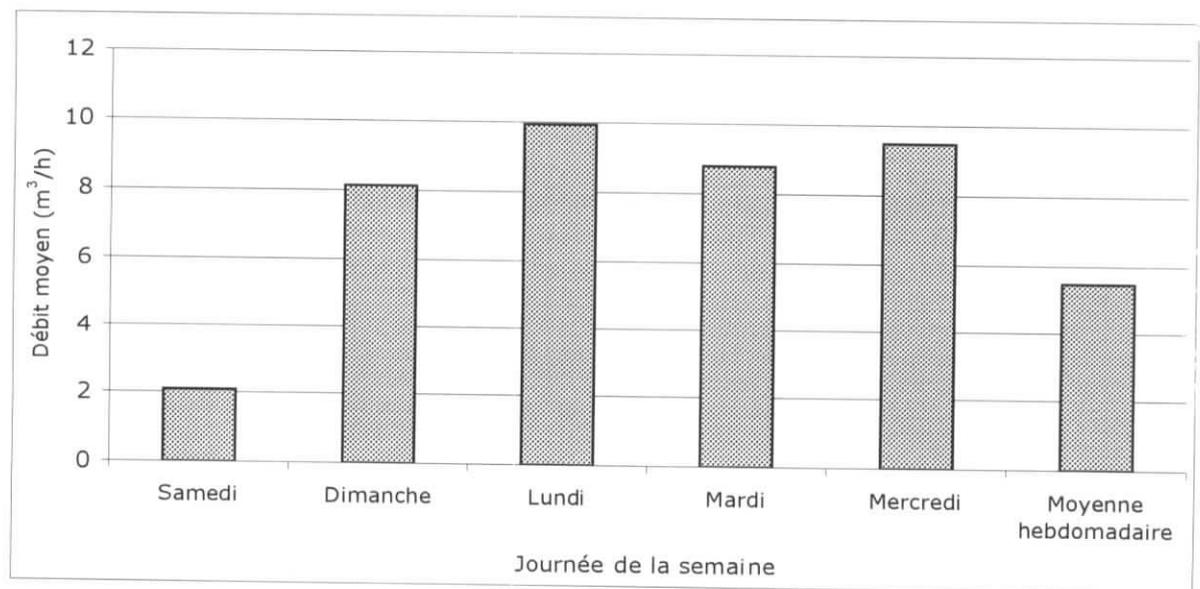


Figure 27 - Histogramme des débits de rejet journaliers moyens de la laveuse Sidel au cours d'une semaine de pleine production

IV.6.1.2. Les caractéristiques physico-chimiques et biologiques des rejets permanents de la laveuse Sidel

Pour établir les caractéristiques physico-chimiques et biologiques des rejets permanents de la laveuse Sidel (du bain de préchauffage), on procède à trois prélèvements distincts (E1, E2 et E3) caractérisant, chacun, une journée de pleine production, chacune des journées correspondant à la production d'un parfum unique. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 21.

Tableau 21 - Les caractéristiques physico-chimiques et biologiques des eaux de rejet de la laveuse Sidel

	Résultats				Normes	Unité
	E1	E2	E3	Moyen		
T°	35,6	38,6	39,4	37,9	30,0	°C
pH	11,43	11,86	9,61	10,97	5,50-8,50	-
Cond.	2878	2986	1305	2390	.	µs/cm
T.D.S.	2160	2236	924,3	1773	.	p.p.m.
Turb.	22,8	28,6	69,6	40,3	.	N.T.U.
M.E.S.	98,8	150	138	129	40	mg/L
D.B.O. ₅	160	280	900	447	50	mg/L d'O ₂
D.C.O.	370	460	1150	660	120	mg/L d'O ₂
D.B.O. ₅ /D.C.O.	0,43	0,61	0,78	0,68	.	.
Couleur	Jaune pale	Orange pale	Orange	-	.	.
Fe ²⁺	0,10	0,10	0,23	0,14	.	mg/L
Fe _T	0,12	0,44	0,48	0,35	5,00	mg/L
SO ₄ ²⁻	2,0	16	20	12,7	.	mg/L
Cl ⁻	125	134	64	108	.	mg/L
T.H.	0	0	0	0	.	°F

Les eaux de cette laveuse sont caractérisées par une forte charge organique, sûrement responsables de la D.B.O.₅ de l'effluent global.

Cette charge organique est due à la boisson résiduaire présente dans les bouteilles sales qui entrent dans le bain de préchauffage, aux colorants des étiquettes des bouteilles sales, aux colorants alimentaires, aux étiquettes, aux fortes teneurs en M.E.S. et autres impuretés.

Ces facteurs attribuent à ces eaux de préchauffage un rapport D.B.O.₅/D.C.O. supérieur à 0,3; ce qui conforte le caractère biologique de ces eaux résiduaires.

Elles sont de plus colorées du fait de la dissolution des colorants des étiquettes des bouteilles dans les eaux de préchauffage basiques et relativement chaudes.

L'échantillon E1 correspond à la production du parfum Pepsi, dont la bouteille de 33 cl est exempte d'étiquette, cet échantillon (contrairement aux deux autres) présente une faible coloration, ainsi que les valeurs de turbidité, de teneur en M.E.S.,

de D.B.O.₅ et de D.C.O. les plus faibles. Ceci prouve que les étiquettes sont les principales responsables des valeurs élevées de ces paramètres.

IV.6.2. Les rejets mensuels de la laveuse Sidel

IV.6.2.1. Les débits des rejets mensuels de la laveuse Sidel

Les bains de soude sont vidangés une fois par mois, les volumes déversés représente près de 28 m³ d'eau.

IV.6.2.2. Les caractéristiques physico-chimiques des rejets mensuels de la laveuse Sidel

On procède au prélèvement d'un échantillon de la solution caustique pour chaque bain de soude et ce dans les conditions de déversement, c'est à dire juste avant le rejet.

Les caractéristiques physico-chimiques de ces eaux sont présentées dans le tableau 22.

Tableau 22 - Les caractéristiques physico-chimiques des eaux des bains de soude de la laveuse Sidel

Paramètre	1 ^{er} bain	2 nd bain	Le rejet total	Normes	Unité
T°	76,3	73,9	75,1	30,0	°C
pH	12,79	13,01	12,90	5,50-8,50	-
Turb.	383	360	371,5	.	N.T.U.
Cond.	120	126	123	.	µs/cm
T.D.S.	149	153	151	.	p.p.m.
Matières décantables	3,5	2,9	3,2	.	MI/L
Couleur	Orange foncé	Orange	Orange	.	.

Ces eaux sont très basiques et se présentent à des températures élevées, ce qui nuit fortement au milieu récepteur. En effet, le déversement de 28 m³ de ces eaux modifie fortement les caractéristiques physico-chimiques des eaux de l'Oued.

IV.6.3. Les rejets de sanitation de la laveuse Sidel

Une fois par jour, les bains de rinçage sont vidangés et sanités, et ce entre 21h et 5h, ce qui explique l'absence ou la faible consommation d'eau à cette tranche horaire.

IV.7. La ligne Krones

Les rejets de la laveuse Krones, connaissent les mêmes fréquences de rejet que celles de la laveuse Sidel.

IV.7.1. Les rejets permanents de la laveuse Krones

Les débits de rejets de cette laveuse n'ont pu être estimés du fait de l'absence de débitmètre et de compteur.

Les rejets permanents de la laveuse Krones sont issus des bains de préchauffage, leurs caractéristiques physico-chimiques et biologiques sont résumées dans le tableau 23. Un seul échantillon a été prélevé, étant donné que la cause des variations physico-chimiques et biologiques des eaux de préchauffage a été établie dans le cas de la laveuse Sidel, à savoir les étiquettes.

Tableau 23 - Les caractéristiques physico-chimiques et biologiques des rejets des bains de préchauffage de la laveuse Krones

Paramètre	Valeur	Normes	Unité
T°	39,8	30,0	°C
pH	10,76	5,50-8,50	-
Cond.	1768	.	µs/cm
T.D.S.	1260	.	p.p.m.
Turb.	21,3	.	N.T.U.
M.E.S.	85	30	mg/L
D.B.O. ₅	100	40	mg/L d'O ₂
D.C.O.	760	120	mg/L d'O ₂
D.B.O. ₅ /D.C.O.	0,13	.	.
Couleur	Verte	.	.
Fe ²⁺	0,18	.	mg/L
Fe _T	0,68	5,00	mg/L
SO ₄ ²⁻	84	.	mg/L
Cl ⁻	197	.	mg/L
T.H.	0	.	°F

Les caractéristiques physico-chimiques des eaux de préchauffage de la laveuse Krones sont semblables à celles de la laveuse Sidel, cependant ces eaux ne présentent

pas le caractère biodégradable observé dans le cas des rejets permanents de la laveuse Sidel.

IV.7.2. Les rejets mensuels

Les vidanges des bains de soude se font dans les mêmes conditions que celles de la laveuse Sidel. Cependant le volume des rejets est de 53 m³, et l'effluent présente les caractéristiques physico-chimiques présentées dans le tableau 24.

Tableau 24 - Les caractéristiques physico-chimiques des eaux des bains de soude de la laveuse Kronos

Paramètre	1 ^{er} bain	2 nd bain	Le rejet total	Norme	Unité
T°	70,5	70,1	70,3	30	°C
pH	13,01	13,10	13,06	5,5-8,5	-
Turb.	264	226	245	.	N.T.U.
Cond.	110	118	114	.	µs/cm
T.D.S.	143	147	145	.	p.p.m.
Matières décantables	6,8	6,1	6,5	.	ml/L
Couleur	Vert foncé	Verte	Verte	.	.

Les caractéristiques physico-chimiques des eaux des bains de soude de la laveuse Kronos sont semblables à celles de la laveuse Sidel.

Le volume de matières décantables est légèrement supérieur du fait de la formation d'un précipité verdâtre du à la combinaison des colorants des étiquettes Pepsi-Cola (bleues) avec ceux des autres étiquettes (jaunes et oranges).

En conclusion

Le service le plus polluant en terme de volume et de charge minérale est le S.T.E., cependant, la charge organique est apportée par les rejets permanents des bains de préchauffage des laveuses Sidel et Kronos, ces eaux apportent en outre un caractère basique et une certaine turbidité. Les rejets mensuels des bains de soude sont responsables de fortes perturbations sur le milieu récepteur en terme de température et de pH.

Les eaux de rinçage de la ligne Sidel P.E.T. font office d'eau de dilution.

Chapitre V

**QUANTIFICATION ET
CARACTERISATION DE
L'EFFLUENT GLOBAL**

Après avoir étudié les consommations en eau de process, la production et les rejets par étape de production, il est aisé de quantifier et de caractériser l'effluent global. Pour cela, il faut comptabiliser la consommation totale en eau et la production totale en boisson gazeuse, la différence étant l'effluent global.

Cependant, la quantification des eaux résiduaires ne peut être exploitée dans l'absolu, on étudie donc le rapport de valorisation des eaux, c'est à dire *le volume de boisson produit / volume d'eau consommé*, en effet, ce rapport doit être supérieur à 1/3 (Cf. §. I.2.).

V.1. La quantification des consommations en eaux

Le suivi horaire de la consommation totale en eau sur une semaine de pleine production nous a permis de tracer les histogrammes des figures 28 à 34.

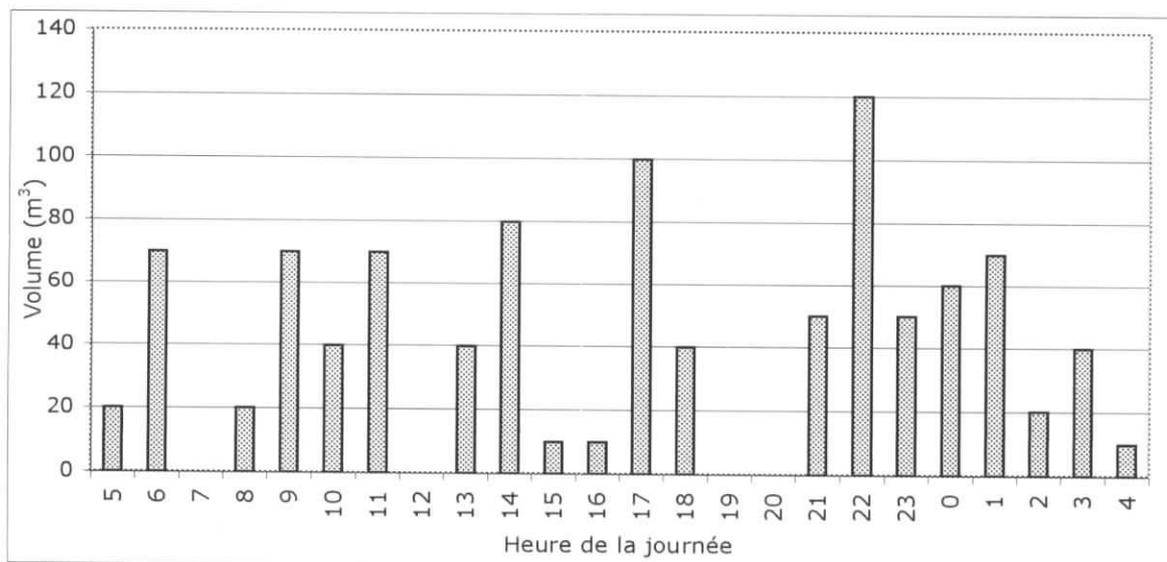


Figure 28 - Histogramme des volumes d'eau totale consommée au cours de la journée du samedi de la semaine de pleine production

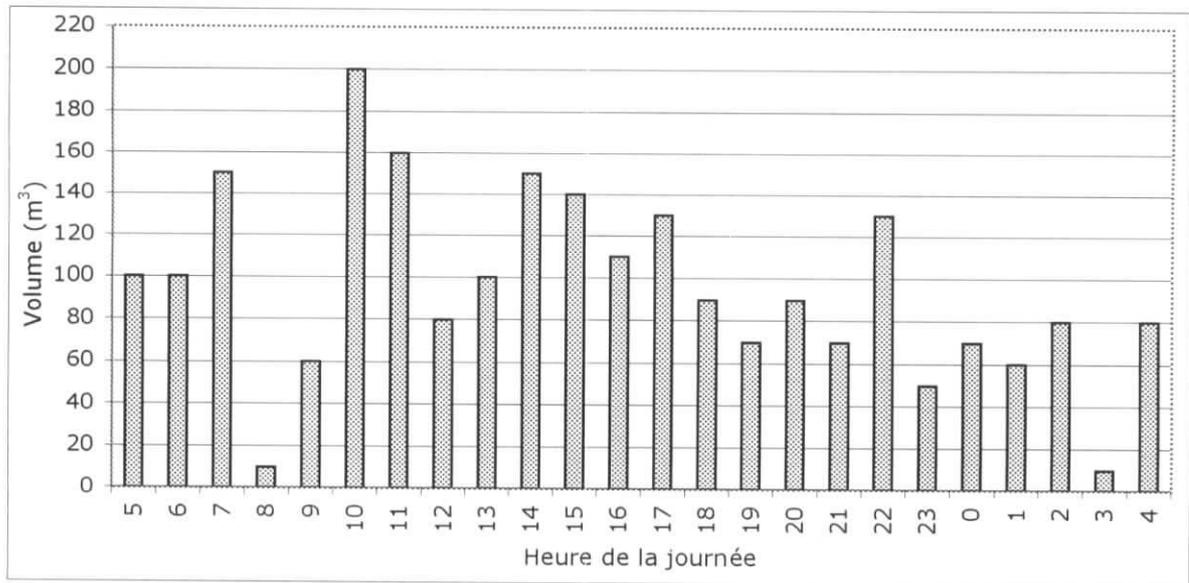


Figure 29 - Histogramme des volumes d'eau totale consommée au cours de la journée du dimanche de la semaine de pleine production

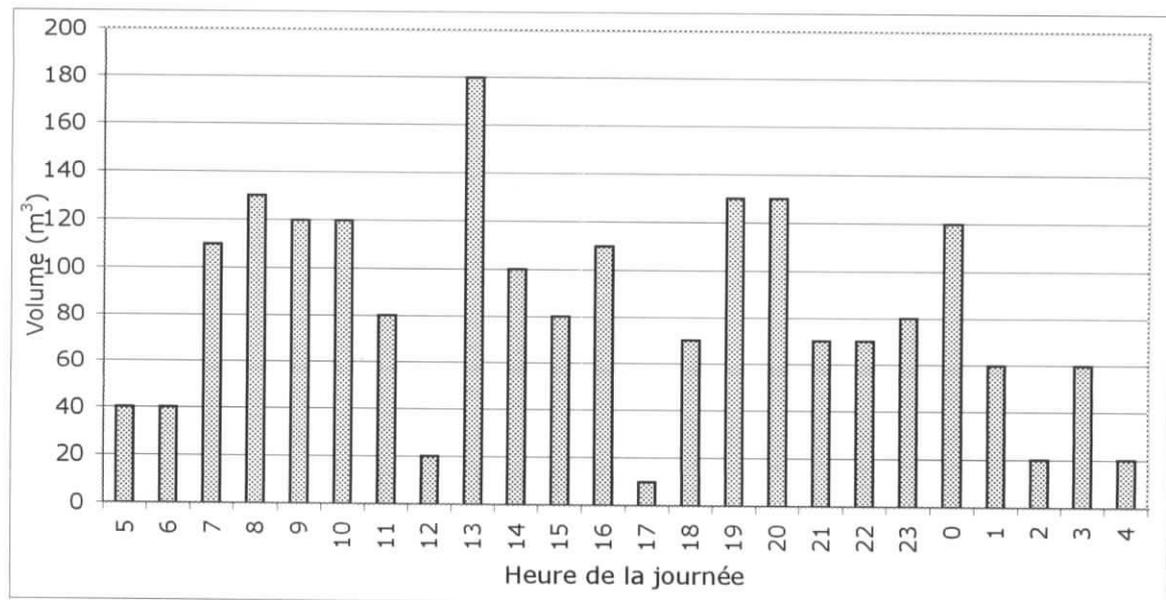


Figure 30 - Histogramme des volumes d'eau totale consommée au cours de la journée du lundi de la semaine de pleine production

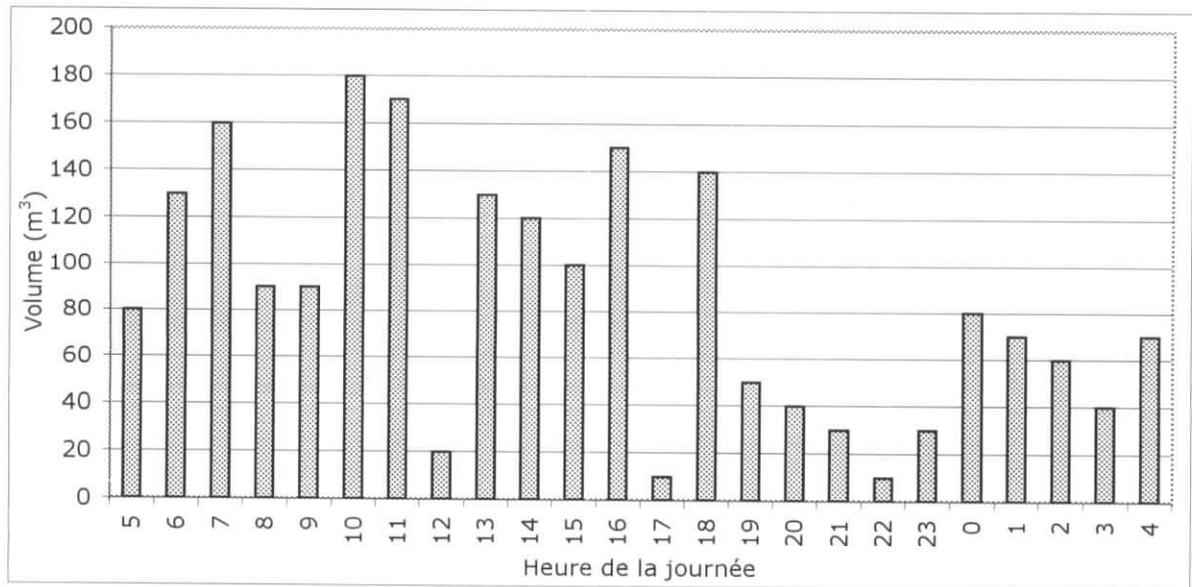


Figure 31 - Histogramme des volumes d'eau totale consommée au cours de la journée du mardi de la semaine de pleine production

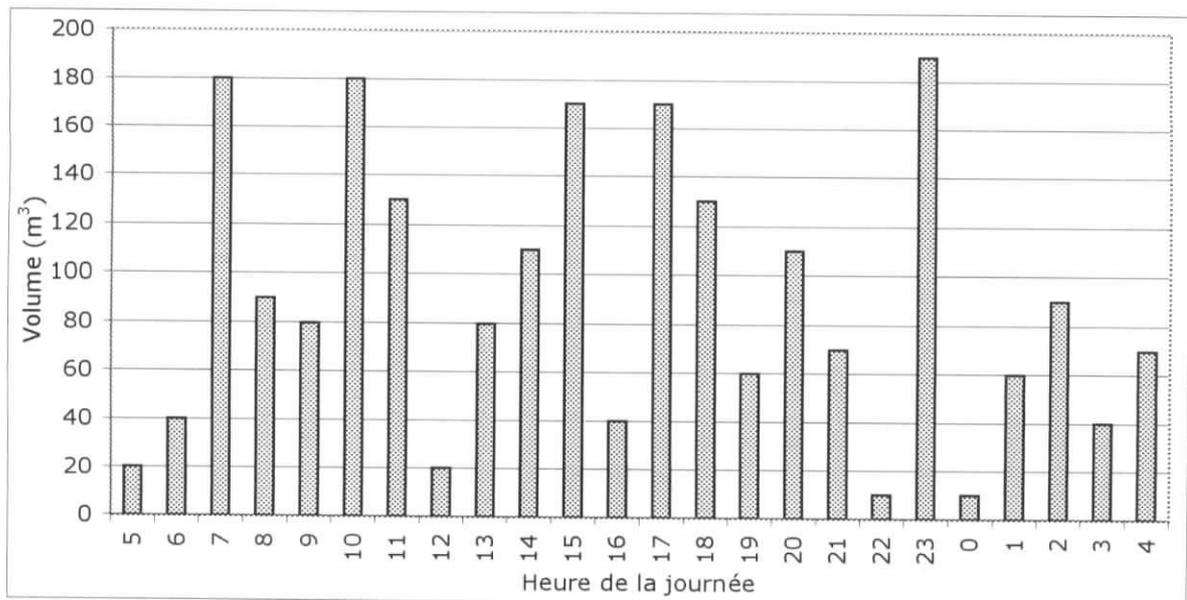


Figure 32 - Histogramme des volumes d'eau totale consommée au cours de la journée du mercredi de la semaine de pleine production

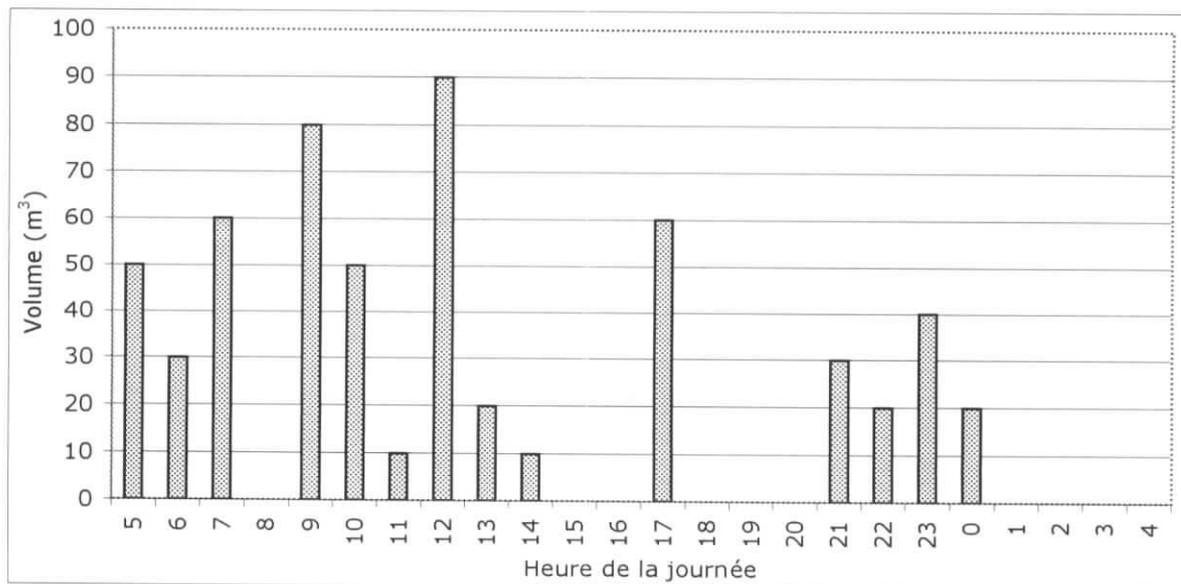


Figure 33 - Histogramme des volumes d'eau totale consommée au cours de la journée du jeudi de la semaine de pleine production

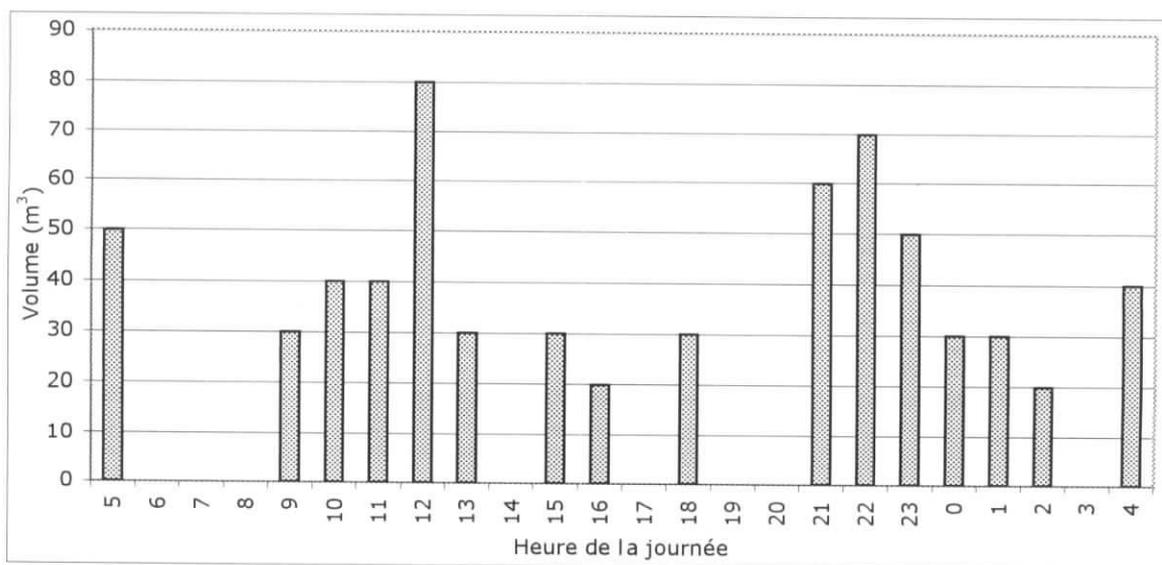


Figure 34 - Histogramme des volumes d'eau totale consommée au cours de la journée du vendredi de la semaine de pleine production

Tableau 25 - La caractérisation des variations des débits de la consommation totale en eau au cours des journées de la semaine de pleine production.

Jour de la semaine	Débit (m ³ /h)			Facteur de pointe
	Minimum	Maximum (heure)*	Moyen	
Samedi	0	120 (22 h)	41,2	2,91
Dimanche	10	200 (10 h)	95,4	2,10
Lundi	10	180 (13 h)	82,1	2,19
Mardi	10	180 (10 h)	85,4	2,11
Mercredi	10	190 (23h)	89,6	2,12
Jeudi	0	90 (12 h)	23,7	3,80
Vendredi	0	80 (12 h)	27,1	2,95

* : l'heure à laquelle le maximum a été observé

Le facteur de pointe de consommations marque la journée du dimanche avec une valeur de 1,47.

Il marque les rejets avec une valeur de 1,43.

La figure 35 quant à elle rend compte de ces variations par tranche horaire de travail au cours des différentes journées de la semaine de pleine production.

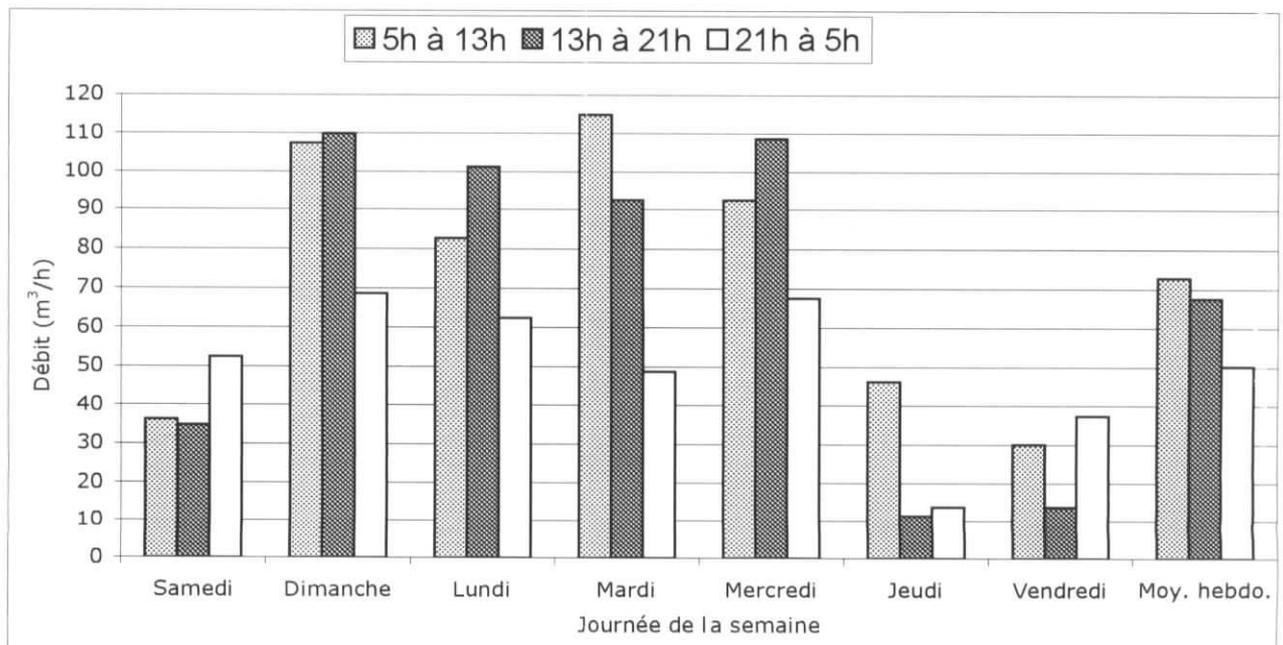


Figure 35 - Histogramme des débits moyens d'eau d'alimentation ou consommation totale par tranche horaire au cours d'une semaine de pleine production.

Les variations illustrées dans la figure 35 sont caractérisées dans le tableau 26.

Tableau 26 - La caractérisation des variations des débits moyens par tranche horaire (8 h), des consommations totales en eau au cours des journées de la semaine de pleine production.

Jour de la semaine	Débit (m ³ /h)		Facteur de pointe
	Maximum (tranche horaire)*	Moyen	
Samedi	120 (21h-5h)	52,50	2,28
Dimanche	200 (5h -12h)	107,50	1,86
Lundi	180 (13h-21h)	101,25	1,78
Mardi	180 (5h-13h)	115,00	1,56
Mercredi	190 (21h-5h)	67,50	2,81
Jeudi	90 (5h-13h)	46,25	1,95
Vendredi	80 (5h-13h)	27,10	2,95

* : tranche horaire à laquelle le maximum a été observé

Les débits journaliers moyens des eaux consommées sont traduits par l'histogramme la figure 36.

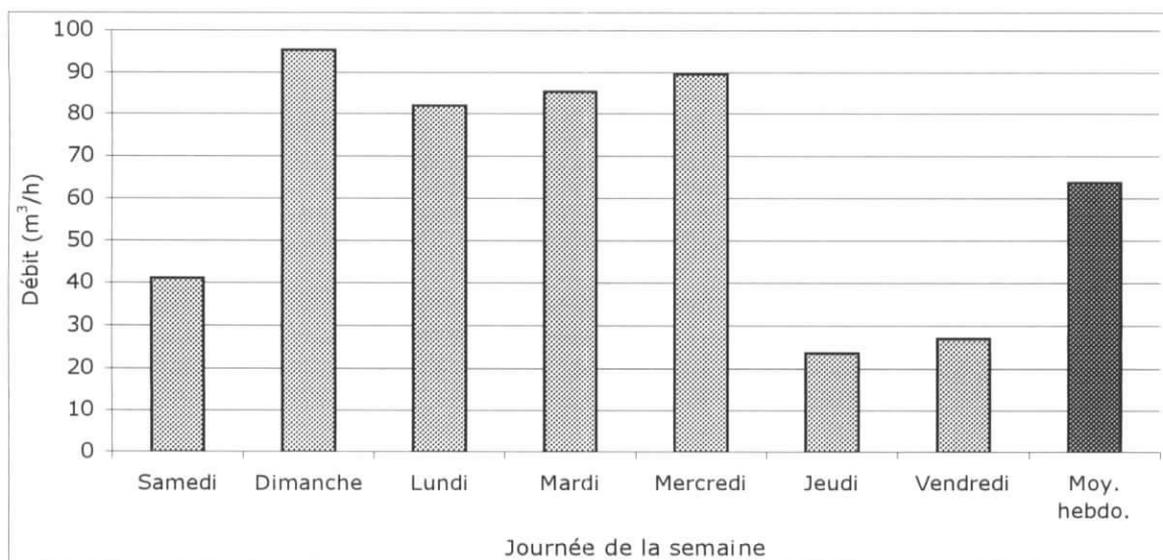


Figure 36 - Histogramme des débits journaliers moyens de la consommation totale en eau au cours d'une semaine de pleine production

Ces variations de débits de rejet sont caractérisées dans le tableau 27.

Tableau 27 - La caractérisation des variations des débits moyens journaliers de la consommation totale en eau

Jour de la semaine	Débit (m ³ /h)			Facteur de pointe
	Minimum	Maximum	Moyenne hebdomadaire	
Dimanche	-	95,4	63,5	1,50
Jeudi	23,75	-	-	-

La consommation d'eau est maximale le dimanche (2290 m³) avec un facteur de pointe de 1,50; elle est cependant minimale le jeudi (570 m³)

V.2. La quantification des rejets

Etant donné la difficulté de suivre l'évolution des débits de rejets, nous avons établi la relation suivante : rejet = consommation totale - production (si celle si existe).

A partir de là, nous avons pu obtenir les résultats illustrés dans la figure 37.

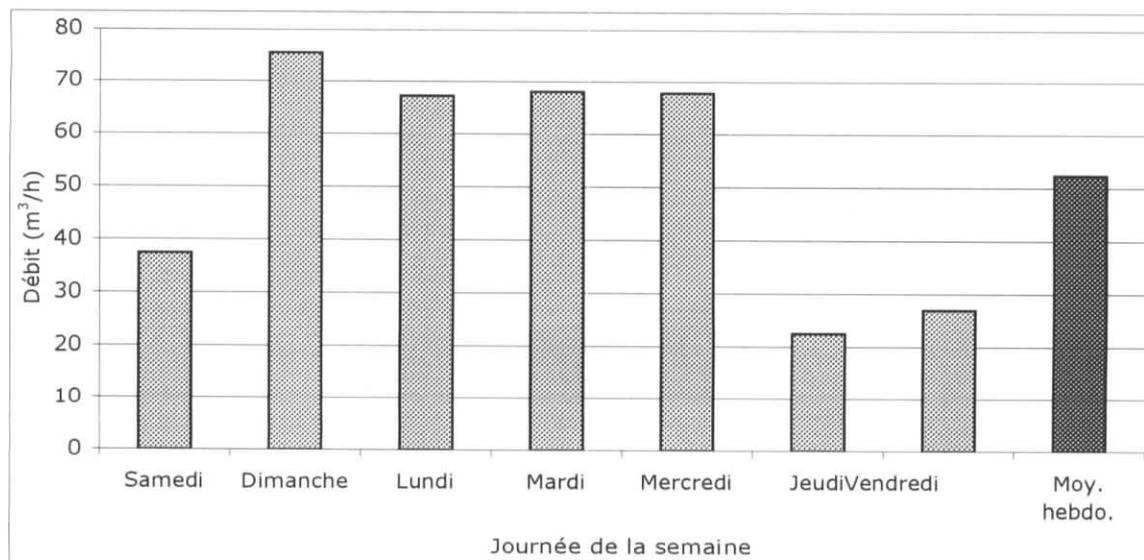


Figure 37 - Histogramme des débits de rejet journaliers moyens au cours d'une semaine de pleine production

Les débits de rejet connaissent une évolution très semblable à celle observée dans le cas des volumes d'eau consommée avec un maximum le dimanche (1814 m³) et un minimum le jeudi (542 m³). Le tableau 28 résume ces résultats.

Tableau 28 - La caractérisation des variations des débits moyens journaliers des eaux de rejet

Jour de la semaine	Débit (m ³ /h)			Facteur de pointe
	Minimum	Maximum	Moyenne hebdomadaire	
Dimanche	-	75,6	52,3	1,44
Jeudi	22,6	-	-	-

V.3. La valorisation des eaux

Pour mieux illustrer la distribution des consommations d'eau brute, on étudie les variations des consommations d'eau brute et d'eau de process en fonction de la production. Ces variations sont illustrées dans la figure 38.

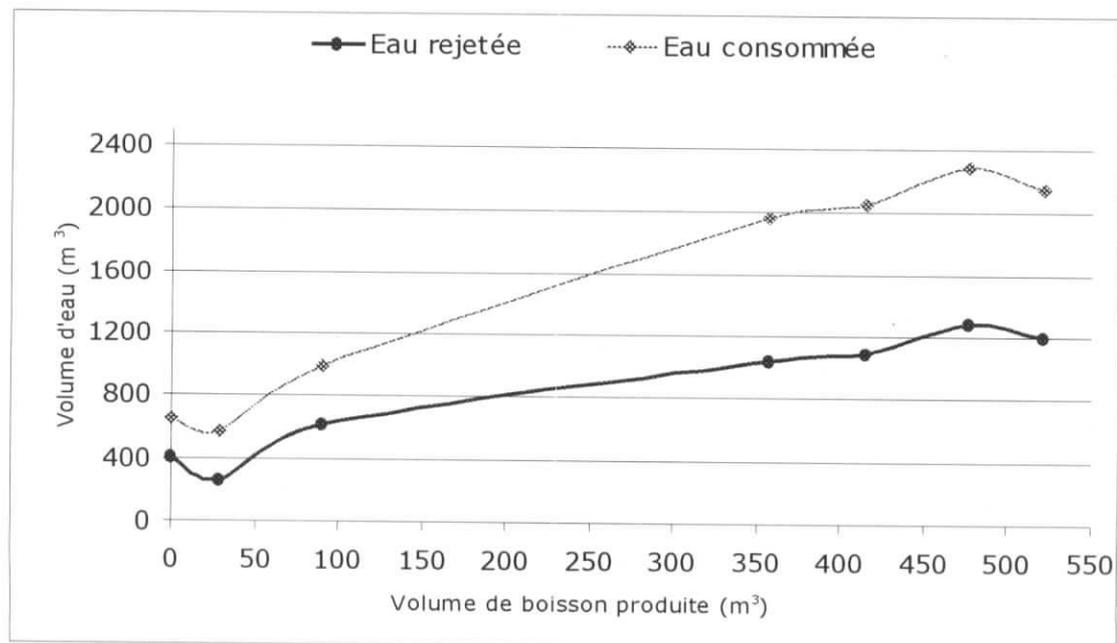


Figure 38 - Variations des volumes d'eau totale consommée et d'eau de process en fonction des volumes de boisson produite

On note que la consommation d'eau brute en fonction de la production augmente plus rapidement que la consommation d'eau de process.

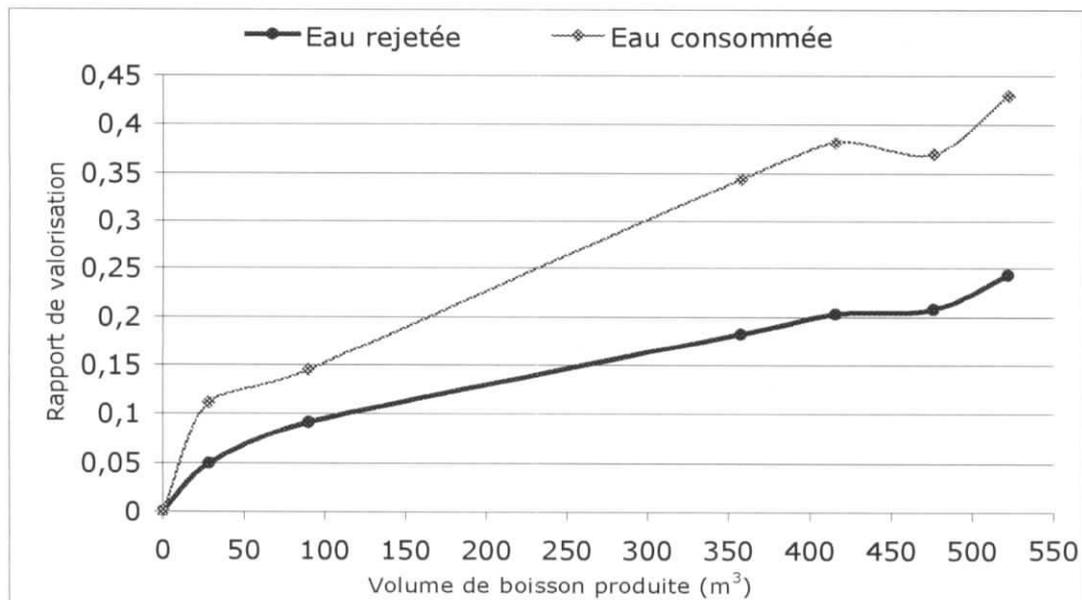


Figure 39 - Variations des volumes d'eau consommée et d'eau rejetée en fonction des volumes de boisson produite

La valorisation de l'eau en fonction de la production augmente plus rapidement pour l'eau de process que pour l'eau brute.

En moyenne, pour produire 1 L de boisson il faut près de 4 L d'eau de process et près de 7,5 L d'eau brute. Cependant, ce rapport de valorisation des eaux varie amplement au cours de la semaine.

D'après ces résultats, seule une faible fraction des eaux d'alimentation est valorisée (près de 14 % en moyenne), ce qui est très faible.

Ces résultats restent au dessous des normes qui exigent une mobilisation des eaux avec un rapport de valorisation supérieur ou égal à 0,33 (3 L d'eau pour 1 L de boisson).

V.4. La caractérisation physico-chimique des eaux résiduaires

D'après l'observation que nous avons faite de la cadence de production journalière, les caractéristiques physico-chimiques des rejets varient fortement en un court laps de temps.

Pour s'assurer de cela, nous avons procédé à un prélèvement systématique toutes les 90 mn (sondage systématique), et nous avons mesuré les variations relatives à la température, le pH, la turbidité, la conductivité et au T.H.

Les figures 40 à 44 illustrent les variations observées.

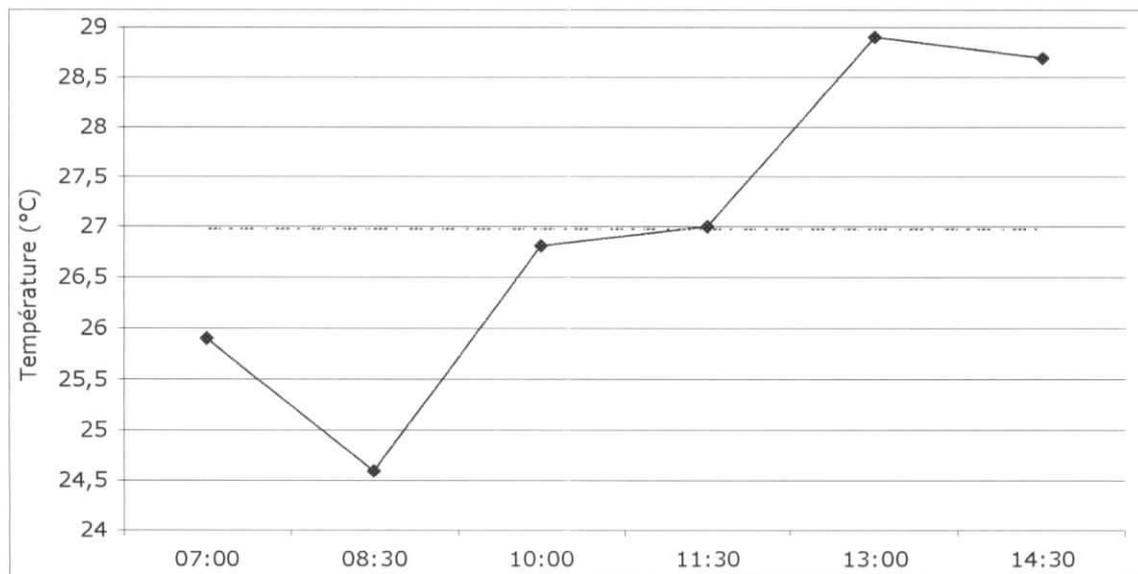


Figure 40 - Variations de la température de l'effluent global en fonction du temps

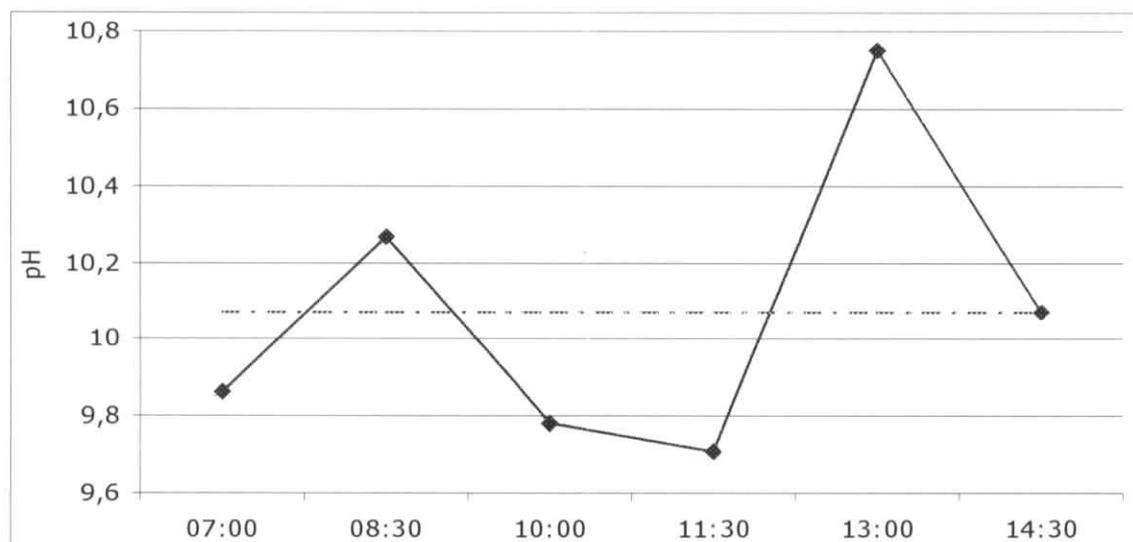


Figure 41 - Variation du pH de l'effluent global en fonction du temps

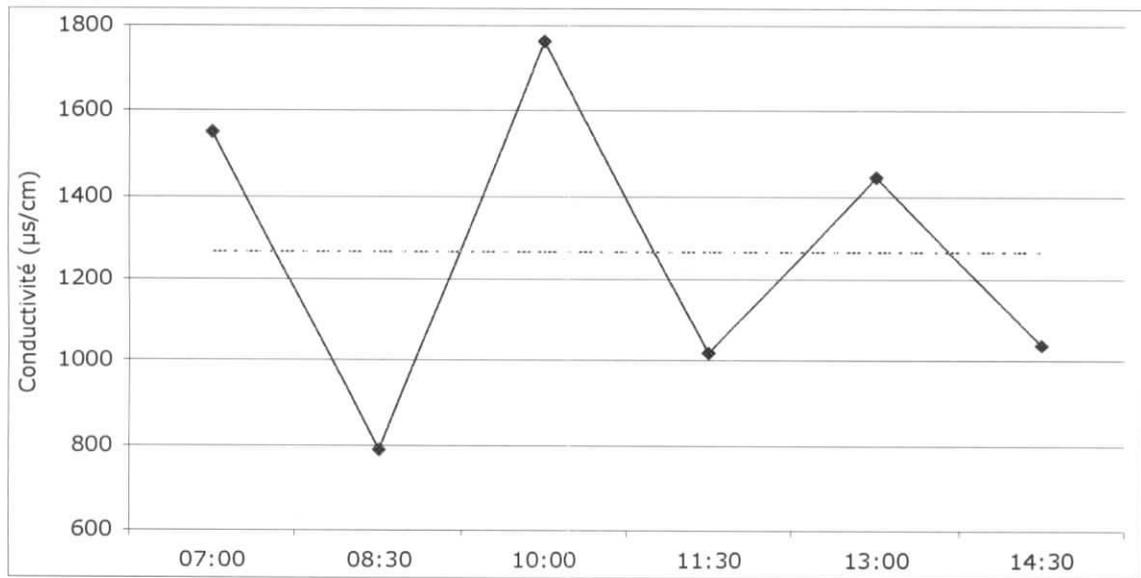


Figure 42 - Variation de la conductivité de l'effluent global (µs/cm) en fonction du temps

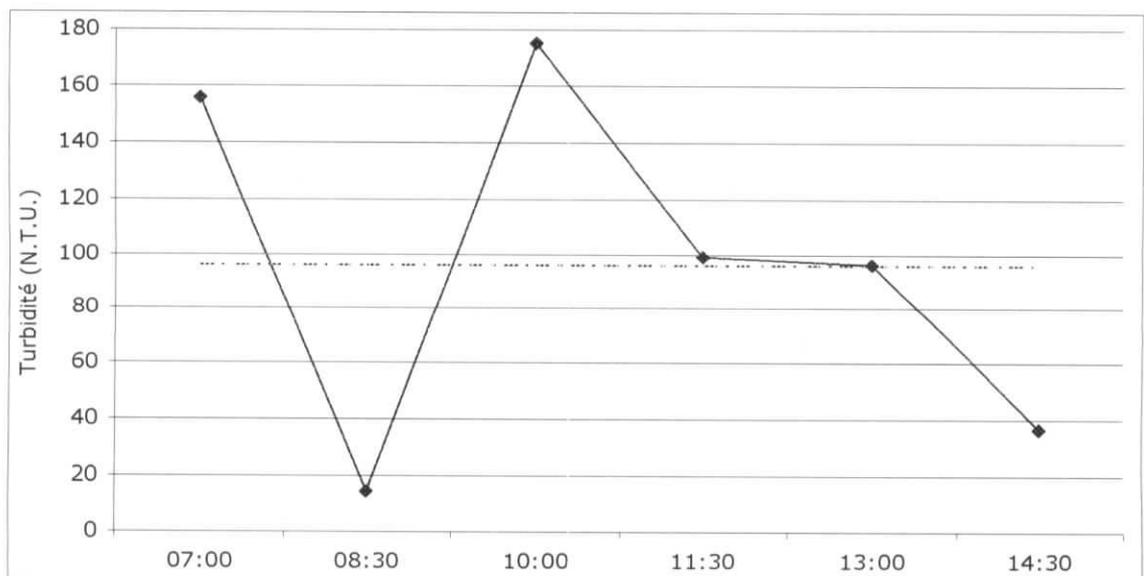


Figure 43 - Variation de la turbidité de l'effluent global (N.T.U.) en fonction du temps

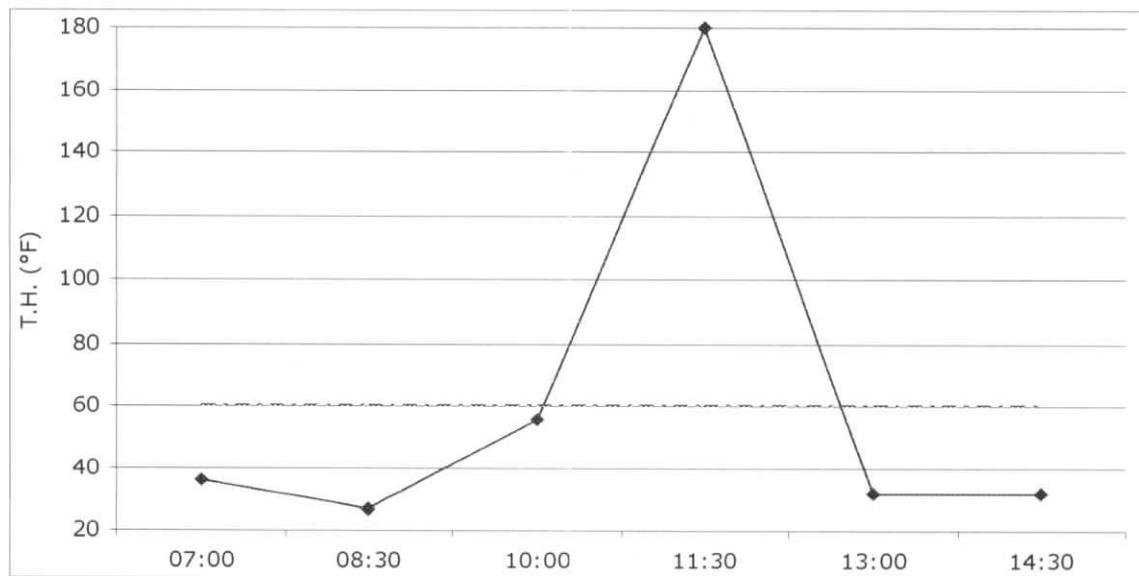


Figure 44 - Variation du T.H. de l'effluent global (°F) en fonction du temps

On remarque que tous ces paramètres varient très amplement en de courts laps de temps et ce de manière sporadique.

Ainsi, l'effluent ne possède pas de caractéristiques physico-chimiques constants. Pour pouvoir le caractériser, il est nécessaire de travailler sur les trois différentes journées de production, à savoir, une journée pleine production, une journée demi-charge et une journée de sanitation, avec pour chacune deux prélèvements au cours de la production de deux ou trois parfums différents.

Les résultats sont présentés dans le tableau 29.

Les résultats sont présentés dans les tableaux 29 et 30.

Tableau 29 - Les caractéristiques physico-chimiques et biologiques relatives aux journées de demi charge et de sanitation

Paramètre	Demi-charge (1)	Demi-charge (2)	Moyenne	Sanitation	Normes	Unité
T°	26,8	28,6	27,7	51,4	30,0	°C
pH	10,36	11,93	11,14	9,96	5,50-8,50	-
Turb.	34,6	68,6	51,6	22,51	.	N.T.U.
M.E.S.	48,5	14,5	31,5	43,0	30,0	mg/L
T.H.	36,80	12,73	24,76	55,73	.	°F
Cond.	1312	2196	1754	1520	.	µs/cm
T.D.S.	928	1618	1273	1079	.	p.p.m.
D.B.O. ₅	260	30	145	35	40	mg/L d'O ₂
D.C.O.	853	127	490	427	120	mg/L d'O ₂
D.B.O. ₅ /D.C.O.	0,30	0,24	0,28	0,08	.	.
Fe ²⁺	0,20	1,68	0,94	0,12	.	mg/L
Fe _T	1,20	0,70	0,95	0,44	.	mg/L
Cl ⁻	178	108	143	210	.	mg/L
SO ₄ ²⁻	140	150	145	176	.	mg/L

Deux échantillons ont été prélevés au cours de deux journées de demi-charge ayant pour objet la production de deux parfums, ces deux échantillons caractérisent la cadence de production demi-charge.

Tableau 30 - Les caractéristiques physico-chimiques et biologiques relatives aux journées de pleine production

Paramètre	Echantillon n°1	Echantillon n°2	Echantillon n°3	Moyenne	Normes	Unité
T°	26,4	26,5	27,5	26,8	30,0	°C
pH	11,05	9,49	9,58	10,04	5,50-8,50	-
Turb.	25,4	31,1	16,4	24,3	.	N.T.U.
M.E.S.	78,0	65,5	38	60,5	30	mg/L
T.H.	7	52	54	37	.	°F
Cond.	1173	1611	1670	1485	.	µs/cm
T.D.S.	830	1158	1203	1064	.	p.p.m.
D.B.O. ₅	300	255	76	210	40	mg/L d'O ₂
D.C.O.	865	820	747	811	120	mg/L d'O ₂
D.B.O. ₅ /D.C.O.	0,35	0,31	0,10	0,25	.	.
Fe ²⁺	0,5	0,5	0,4	0,47	.	mg/L
Fe _T	1,2	0,7	0,5	0,8	.	mg/L
Cl ⁻	73	226	233	177,3	.	mg/L
SO ₄ ²⁻	40	210	156	135,3	.	mg/L

Trois échantillons ont été prélevés au cours de trois journées de demi-charge ayant pour objet la production de trois parfums distincts, ces trois échantillons caractérisent la cadence de pleine production.

Ces résultats traduisent fort bien le fait que la fraction organique biodégradable est faible, car dans la plupart des échantillons le rapport D.B.O.₅/D.C.O. est inférieur à 0,3. Cette faible biodégradabilité est due à la faible concentration en matières organiques, à l'emploi de produits à caractère détergent ou désinfectant qui réduit la masse bactérienne, en plus de l'absence de composés azotés et phosphatés indispensables au mécanisme de biodégradation.

On note de très fortes fluctuations des paramètres physico-chimiques et biologiques de l'effluent global. Cependant, il porte un caractère basique très prononcé du, en grande partie, aux rejets des bains de préchauffage des laveuses bouteilles.

Les débits de rejet des eaux résiduaires ainsi que leurs caractéristiques varient de manière sporadique.

Un ensemble de facteurs détermine l'orientation du traitement, celle-ci dépendra principalement des caractéristiques physico-chimiques et biologiques de l'effluent à traiter, mais aussi des investissements à engager.

Le traitement biologique présente l'inconvénient d'être très sensible aux variations de pH, de la température, de la charge organique ainsi qu'à la présence de composés inhibiteurs. De plus et bien que peu coûteux, il nécessite la mise en œuvre d'un lourd dispositif de contrôle et de régulation.

Par contre, le traitement physico-chimique est très peu sensible aux variations de pH et de température, il assure une bonne élimination de la D.B.O.₅ et de la D.C.O., cependant, les eaux traitées peuvent présenter une certaine coloration. [2]

Les eaux résiduaires de l'unité de production A.B.C. Pepsi-Rouiba, présentent des variations de pH, de débits et de caractéristiques physico-chimiques et biologiques très prononcées. Cet aspect de l'effluent rend difficile le traitement biologique.

Par ailleurs, l'effluent présente de fortes carences en composés phosphatés et azotés absolument nécessaires à la synthèse bactérienne.

Les résultats précédemment obtenus nous indiquent fort bien que le rapport D.B.O.₅ / D.C.O. soit inférieur à 0,3 ce qui nous permet d'orienter le traitement vers une filière physico-chimique.

La classification du rapport D.B.O.₅/D.C.O. et de l'orientation du traitement sont présentés dans le tableau 31.

Tableau 31 - L'orientation du traitement en fonction du rapport D.B.O.₅/D.C.O. [8]

D.B.O. ₅ / D.C.O.	0-0,3	0,3-0,5	> 0,5
Traitement	Physico-chimique	Biologique avec adaptation de souche. Physico-chimique et biologique (traitement mixte).	Biologique

De plus, le choix d'un éventuel traitement biologique se serait orienté vers un traitement à faibles charges (la D.B.O.₅ n'étant pas assez élevée), ce traitement nécessite une aération prolongée qui conduit toujours à la nitrification. [2]

Ainsi, le traitement biologique est définitivement exclu.

Nous proposons donc de traiter l'effluent par coagulation-floculation, ce traitement ayant pour but la réduction de la turbidité, des M.E.S., de la coloration ainsi que de la charge organique à savoir la D.B.O.₅ et la D.C.O. Le but étant de se conformer aux normes algériennes de rejets des effluents industriels.

Vu que l'effluent présente un pH très basique, il faudra ajuster celui-ci, et le choix du coagulant prendra en compte cette principale contrainte.

En outre, il devra, tout comme le réactif de neutralisation et le floculant, répondre à un certain nombre d'exigences, à savoir :

- être peu coûteux et disponible sur le marché algérien ;
- son addition ne doit pas entraîner le dépassement d'une norme de rejet ;
- son addition ne doit pas générer de colorations persistantes ou difficiles à traiter ;
- être facile de manutention (ne présente pas de risque particulier)
- et générer des boues non toxiques, de faibles volumes et présentant de bonnes qualités de cohésion.

De plus, la filière de traitement qu'on adoptera devra tenir compte de plusieurs contraintes, la plus importante étant l'espace dont elle dispose, celui-ci étant très réduit.

VI.1. La régulation du débit de l'effluent (le bassin tampon)

Etant donné que l'effluent de l'unité de production A.B.C. Pepsi-Rouiba présente des fluctuations très fortes en terme de débit et de turbidité, il est indispensable de réguler ces variations dues aux cadences de production, et ce en employant un bassin de régulation.

Ce bassin dit tampon, muni d'un agitateur pour éviter le dépôt des M.E.S., présente un certain nombre d'avantages, car il aide à :

- homogénéiser l'effluent et réduire les fluctuations physico-chimiques de celui-ci (pH, turbidité, conductivité, teneur en M.E.S.) ;
- réduire les fluctuations brutales des charges hydrauliques ;

- permettre une neutralisation partielle ce qui réduit les quantités de réactifs chimiques à additionner (l'acide) ;
- avoir un contrôle sur les débits, et les réguler pour mieux doser les réactifs de neutralisation et de coagulation-floculation ;
- protéger la station contre l'effet des rejets accidentels
- et assurer la continuité de l'alimentation de la station, même quand l'unité de production est à l'arrêt. [8]

Dans le cas où les rejets sporadiques induiraient des fluctuations très fortes sur un laps de temps très court, on peut prévoir un bassin d'attente qui permettrait de contenir l'effluent qui présenterait un paramètre physico-chimique supérieur à une valeur consigne.

De plus, ce bassin d'attente permet de réduire le temps de séjour dans le décanteur, ce qui est très appréciable quand on sait que la D.B.O.₅ augmente quand le temps de séjour est trop long. [8]

En général, les bassins d'attente ne présentent pas de grandes dimensions, leur unique intérêt étant de permettre à l'effluent d'observer un temps nécessaire à la régulation par un effluent nouveau qui viendrait corriger celui-ci dans le bassin de régulation.

Le bassin d'attente alimente via une pompe doseuse, le bassin de régulation et ce avec un débit assez faible pour que l'effluent du bassin d'attente ne perturbe pas les caractéristiques de l'eau usée du bassin de régulation

C'est à partir du bassin de régulation que la station est alimentée, le contrôle du débit se faisant avec une pompe.

Dans le cas des effluents de l'unité de production d'A.B.C. Pepsi-Rouiba, les paramètres de contrôle les plus importants sont la turbidité et le pH.

Pour la turbidité, on fixe la valeur consigne à 100 N.T.U., tandis que pour le pH la consigne serait de 11.

Ce qui nous permet de proposer le dispositif de régulation schématisé dans la figure 45.

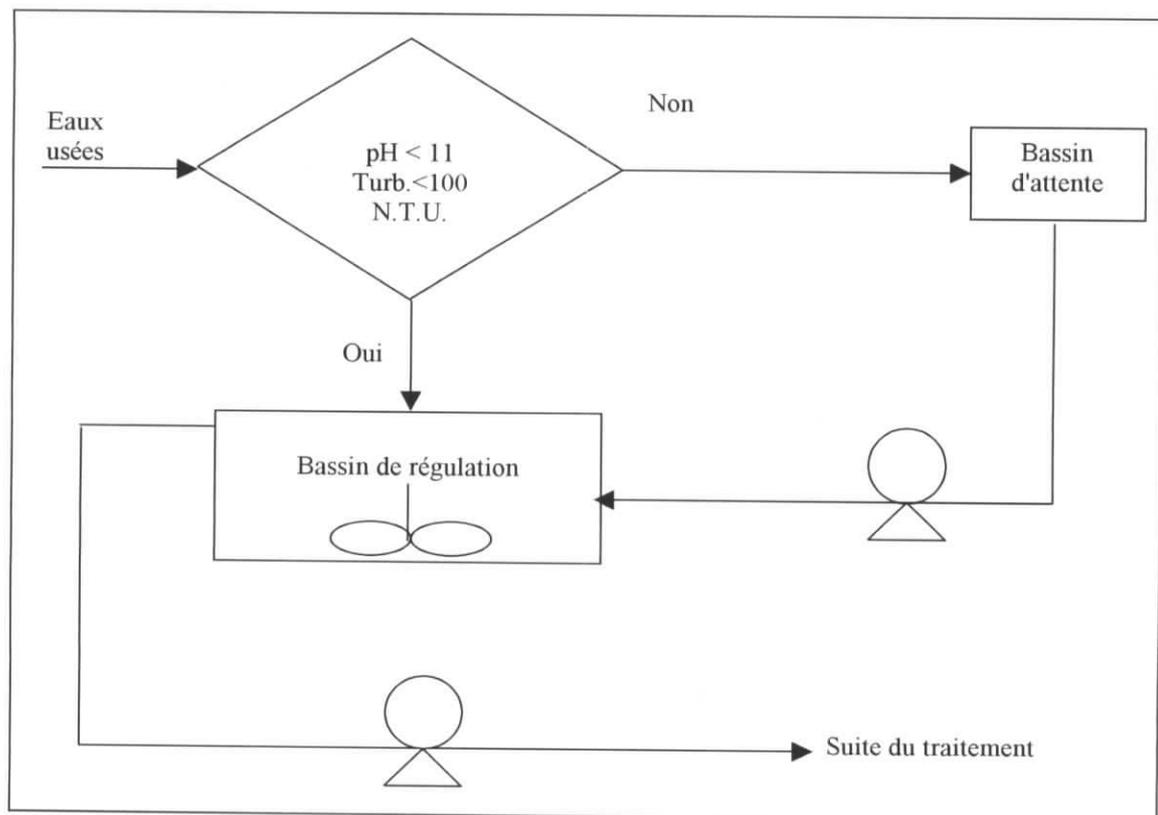


Figure 45 - Schéma de fonctionnement du dispositif de régulation.

VI.2. Le dégrillage

Le dégrillage est un procédé de séparation physique, qui conduit à la rétention des matières volumineuses par un tamis ou une grille. Ce procédé tend à protéger l'installation de traitement des eaux (pompes, conduites...) d'une éventuelle dégradation engendrée par le dépôt de débris.

Dans le cas de l'unité de production A.B.C. Pepsi-Rouiba, le dégrillage est nécessaire car il permet de retenir :

- les débris de verre ;
- les capsules et bouchons ;
- les étiquettes ;
- les pailles
- et toute autre matière volumineuse.

L'écartement des grilles doit être inférieur au diamètre des pailles (5 mm).

On distingue quatre types de grilles [8]:

- les grilles à nettoyage manuel ou mécanique ;
- les tamis statiques ;
- les tamis rotatifs
- et les tamis vibrants

Les tamis rotatifs seraient bien adaptés. Cependant, et pour réduire le colmatage rapide des grilles, on peut disposer des grilles en amont des tamis et dont l'écartement serait supérieur à 5 mm.

Aussi, pour éviter le colmatage des tamis, on adopte des vitesses de passage allant de 0,6 à 1,0 m/h. [2]

VI.3. Le déshuilage

Bien que l'unité de production n'emploie pas de matières grasses dans le processus de fabrication (celles-ci sont donc quasi absentes de l'effluent), il est nécessaire de disposer d'un déshuileur.

En effet, deux sources d'huiles et graisses ont été identifiées :

- la première est due aux travaux de maintenance des machines aux cours desquels une lubrification avec des graisses est effectuée ;
- la seconde, quant à elle, est due à l'entraînement par l'eau des huiles des véhicules et ce lors des nettoyages des espaces extérieurs ou suite à des précipitations.

Sans oublier les pertes d'huiles au niveau du garage d'entretien du parc automobiles, ces pertes sont faibles car celui-ci dispose de deux déshuileurs en série.

Les huiles sont séparées par gravité. Etant moins denses, elles flottent à la surface de l'eau et sont recueillies par écumage.

VI.4. La décantation

La décantation est un procédé de séparation par gravité qui vise à alléger la charge entrant dans la station.

Etant donné la contrainte d'espace, le bassin de décantation primaire devra être rectangulaire, les bassins rectangulaires présentent en général un rapport de hauteur sur longueur de 1,2 à 1,35; avec une vitesse de circulation maximale de 0,18 m/h. [8]

De plus et pour augmenter la surface de décantation, on emploie des décanteurs à lamelles qui présentent de bien meilleurs rendements d'élimination et ce pour des charges hydrauliques plus élevées et des temps de séjour plus réduits. Un avantage particulier est qu'on peut ajouter des modules préfabriqués en matières plastiques dans des décanteurs déjà existants.

En pratique, l'inclinaison optimale est de 60° avec une charge hydraulique allant de 0,84 à $8,4 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$. [8]

VI.5. La neutralisation (ou ajustement du pH) [8]

Les rejets industriels à caractère acide ou basique nécessitent une neutralisation avant traitement.

Les traitements biologiques sont en général les plus exigeants car les plus sensibles aux variations de pH, celui-ci doit se présenter dans l'intervalle [6,5 ; 8,5].

VI.5.1. Aspects théoriques

La neutralisation des eaux basiques peut se faire avec n'importe quel acide, elle est instantanée, et d'autant plus efficace que le processus est étagé.

Les acides les plus employés sont l'acide chlorhydrique, l'acide phosphorique et l'acide sulfurique. [8]

VI.5.2. Le choix de l'acide

Le choix de l'acide de neutralisation dépendra principalement du coût de celui-ci et des variations chimiques et biologiques qu'il induit. En effet, la neutralisation avec un acide ne doit pas entraîner un risque de dépassement dans les normes de rejets ou provoquer d'autres désagréments.

L'acide chlorhydrique étant un monoacide, on exclura son emploi car celui-ci nécessitera deux fois plus de volume que celui nécessité par un diacide (acide sulfurique et phosphorique).

L'acide phosphorique présente l'inconvénient d'apporter une forte charge en phosphates, ces ions dans l'eau et en présence de lumière favorisent le développement des algues, ce qui constitue un danger pour la station de traitement des eaux résiduaires, ainsi qu'un risque d'eutrophisation pour le milieu récepteur.

Reste l'acide sulfurique qui est peu coûteux, et ne présente aucun risque particulier ni pour la station de traitement, ni pour le milieu récepteur, excepté l'apport en sulfates dont il n'est pas fait mention dans les normes algériennes.

VI.5.3. Mise en œuvre et paramètres de contrôle

La neutralisation acido-basique est une réaction exothermique, ce point devra être pris en considération lors de la mise en œuvre de l'opération.

Par ailleurs, et étant donné le rapport du volume de l'acide sur le volume de l'eau, une agitation poussée s'avère être nécessaire pour garantir l'homogénéisation au fur et à mesure de la neutralisation. De plus, le suivi du pH et son contrôle doit se faire sur plusieurs points du bassin d'égalisation.

La neutralisation étagée, permettrait de réduire cette agitation en étalant l'introduction de l'acide sur deux étages par exemple, de plus elle permet de mieux contrôler les doses d'acide, car la variation du pH en fonction de la dose du réactif n'est pas linéaire. [8]

De plus, et étant donné les variations de pH que présentent l'effluent de l'unité A.B.C. Pepsi-Rouiba, un dispositif de recirculation s'avère nécessaire.

Le pH consigne est fixé selon les exigences du traitement par coagulation-floculation.

La figure 46 schématisé le dispositif de neutralisation.

Remarque

Il est indispensable de procéder à la neutralisation le plus en aval possible, car une régulation du pH en amont du traitement physico-chimique donnerait lieu à un milieu favorable au développement bactérien, ce qui conduirait à l'élévation de la D.B.O.₅ affectant le rendement du traitement physico-chimique.

On veillera aussi à réduire au maximum le temps de séjour dans le bassin de neutralisation.

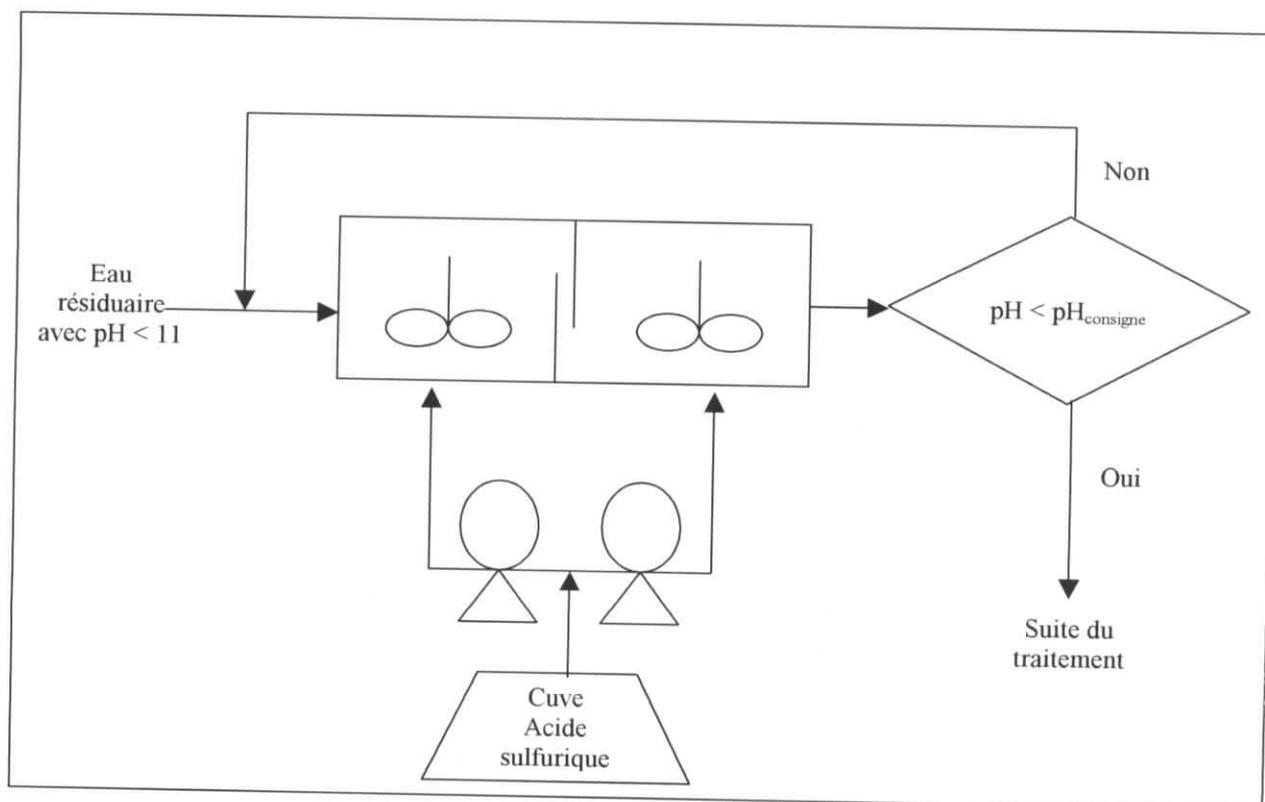


Figure 46 - Schéma de fonctionnement du dispositif de neutralisation

VI.6. La coagulation-floculation

VI.6.1. La coagulation

VI.6.1.1. Aspects théoriques

Les matières dans l'eau se présentent sous différents aspects selon leurs dimensions.

VI.6.1.1.1. *Les Matières ou Particules En Suspensions* [9]

Ce sont des particules de faibles dimensions, qui confèrent à l'eau sa turbidité et/ou sa couleur, elles peuvent décanter naturellement ou être retenues par des filtres, ou encore rester en suspension (ce sont les matières en suspension vraies).

La distribution des dimensions des différentes particules est reportée dans la figure 47.

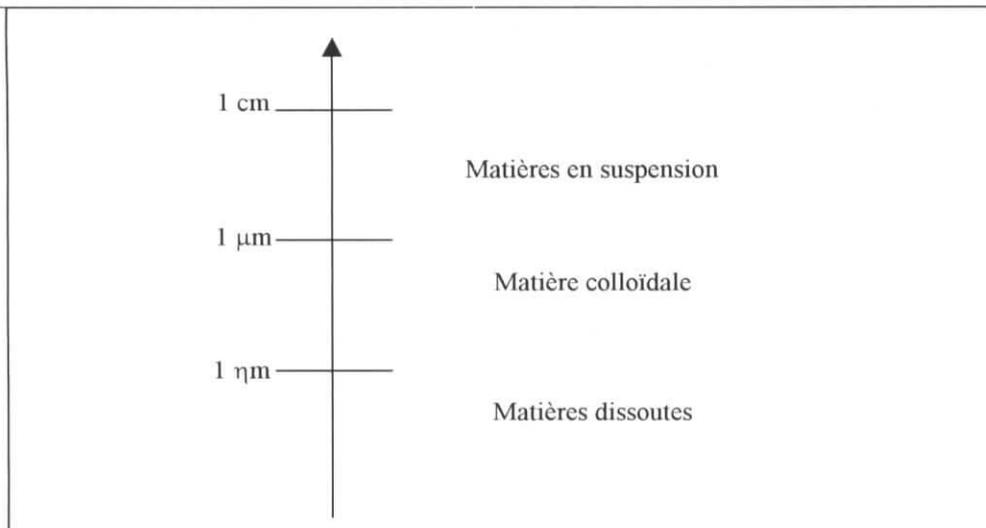


Figure 47 - Distribution des dimensions des différentes particules présentes dans l'eau

En général, dans les eaux résiduaires, la dimension d'une grande fraction des particules s'inscrit dans l'intervalle $[0,1 ; 10]\mu\text{m}$. [8].

Les matières en suspension vraies[9]

On appelle matières en suspensions, toutes les matières de diverses origines (silice, argile, colorant, sable...) qui peuvent être retenues par un filtre $1\mu\text{m}$.

Les particules colloïdales [9]

Ce sont des particules sous une forme intermédiaire entre l'état solide et l'état dissous, et qui portent à leurs surfaces des charges négatives qui exercent entre elles des forces de répulsion leur permettant de se maintenir en suspension.

Ce sont les principales responsables de la turbidité de l'eau. Cependant, elles peuvent avoir un caractère hydrophile plus ou moins prononcé, ce qui leur confère dans le premier cas la meilleure stabilité, il s'agit alors de particules organiques responsables de la coloration de l'effluent. Les particules colloïdales hydrophobes sont plus facilement déstabilisées que les précédentes.

Les matières dissoutes[9]

Ce sont des matières provenant des activités urbaines et industrielles, et qui sont souvent responsables de la coloration des effluents (pigments, colorants...), elles sont, en général, de nature organique.

VI.6.1.1.2. La stabilité des M.E.S.

Lorsque le temps nécessaire à la décantation des M.E.S. est trop long, on procède à un traitement physico-chimique par coagulation-floculation pour accélérer la sédimentation des particules.

En général, les M.E.S qui décantent difficilement sont constituées en grande partie de particules colloïdales. La surface de ces particules étant chargée négativement, des forces de répulsions électrostatiques se créent et les empêchent de s'agglomérer sous forme d'agrégats, de s'alourdir et de décanter.

L'addition d'un agent chimique cationique neutralise ces charges, et déstabilise la suspension, assurant ainsi l'alourdissement des particules et accélérant de ce fait la décantation des M.E.S. et la clarification de la solution, c'est la coagulation.

VI.6.1.1.3. La théorie de la double couche [8]

Dans l'eau, les M.E.S. présentent en général une surface chargée négativement, celle-ci attire, par effet électrostatique, les cations qui adhèrent alors à la particule et forment une couche fixe. Ces cations attirent à leur tour les particules chargées négativement, celles-ci apportent d'autres particules cationiques créant une couche diffuse.

Les deux couches, fixe et diffuse, forment alors une double couche autour de la particule, générant ainsi un gradient de charge ou de force électrostatique entre la particule en suspension et l'eau, c'est cette force électrostatique qui assure à la particule sa stabilité.

VI.6.1.1.4. Le potentiel zêta [8]

Le potentiel zêta (voir figure 48) est le potentiel présent entre l'entité mobile de la particule et l'eau, il traduit l'inertie de la particule et mesure la stabilité du système. C'est le potentiel à franchir pour neutraliser la couche d'ions qui entoure la particule, car plus le potentiel zêta est élevé, plus la suspension est stable.

Dans les eaux résiduaires, la stabilité des M.E.S. est assurée par un potentiel zêta élevé, mais aussi par l'adsorption des particules hydrophobes petites sur des particules hydrophiles plus grandes.

La coagulation vise donc à réduire ce potentiel zêta par l'addition d'un cation multivalent provoquant ainsi l'agglomération des particules.

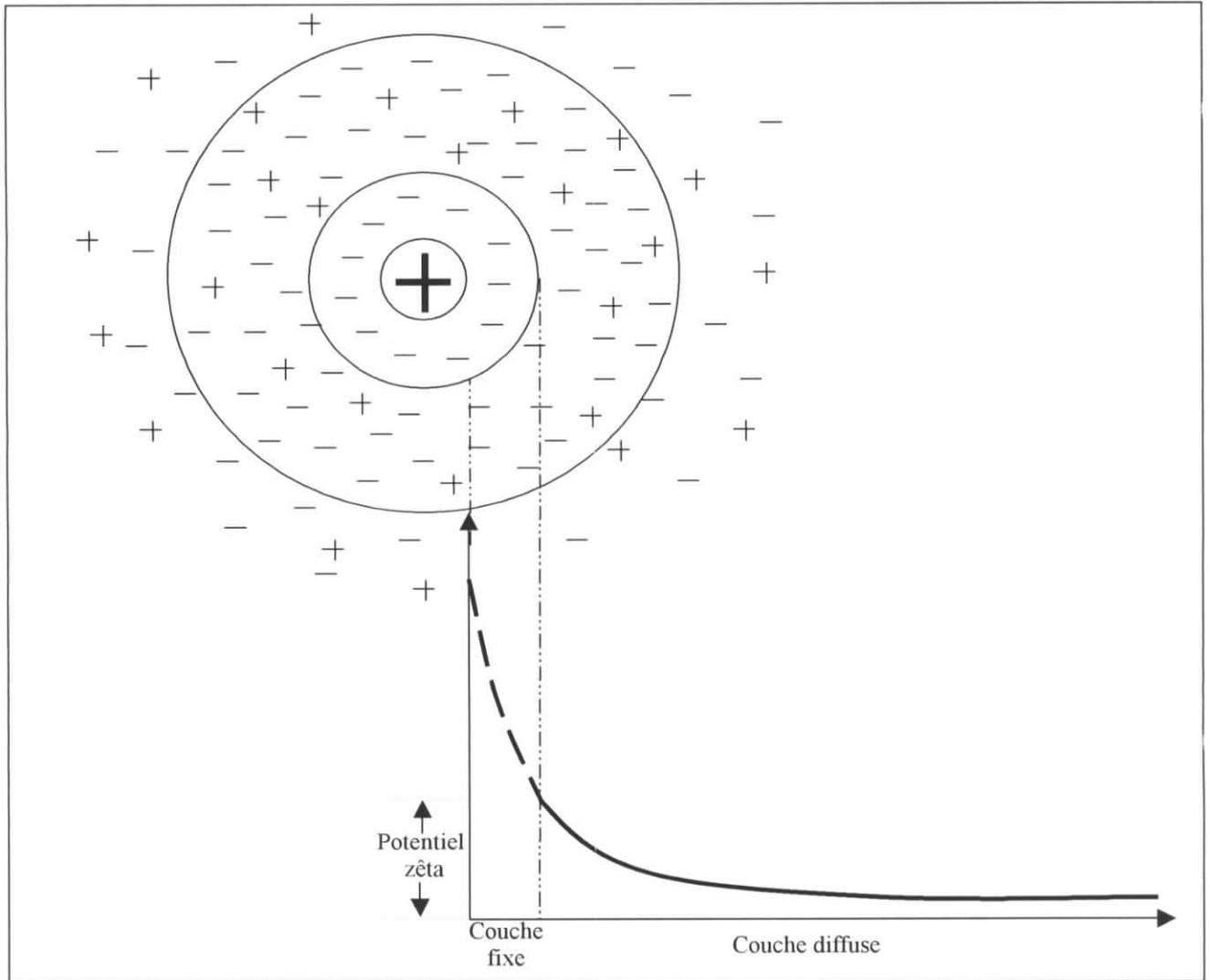


Figure 48 - Le potentiel zêta

VI.6.1.2. Choix du coagulant

Il existe sur le marché un bon nombre de coagulants, leurs emplois, leurs zones de pH ainsi que leurs caractéristiques sont résumés dans le tableau 32.

Tableau 32 - Les coagulants et adjuvants de coagulation

Coagulant	Dose (mg/L)	Zone du pH	Action et emploi
Chaux	150-500	9,0-11,0	Elimine les colloïdes des eaux à faible alcalinité, précipite les carbonates, les phosphates, et agit comme flocculant à pH élevé mais en donnant des boues gélatineuses.
Alumine $Al_2SO_4 \cdot 18H_2O$	75-250	4,5-7,0	Coagulation des colloïdes et des phosphates des eaux à alcalinité élevée et faiblement chargée en phosphate
$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	70-200	4,0-9,0	Coagulation des colloïdes et des phosphates des eaux à alcalinité élevée et faiblement chargée en phosphate, et quand le passage du Fe est inévitable et/ou peut être contrôlé.
$Fe_2(SO_4)_3 \cdot 7H_2O$			
$FeCl_2$	35-150	4,0-9,0	
$FeCl_3$			
Polyélectrolytes cationiques	2-5	-	Coagulant et/ou adjuvant de coagulation, employé pour éviter l'accumulation des réactifs chimiques (Fe, Al)
Polyélectrolytes anioniques et non ioniques	0,25-1,00	-	Adjuvant de floculation qui augmente la vitesse de floculation et renforce la structure du floc.
Argile et agents de lestage	3-20	-	Employées pour alourdir les suspensions diluées.

Le pH optimal de coagulation est en général proche du pH de solubilité minimum du coagulant.[8]

Etant donné que les eaux résiduaires de l'unité de production A.B.C. Pepsi-Rouiba ont un caractère fortement basique, et que le premier réactif chimique utilisé pour la neutralisation est l'acide sulfurique, on établit les critères que doit remplir le coagulant, à savoir :

- être performant dans un domaine basique ou légèrement basique ;
- ne pas entraîner une augmentation de la concentration en sulfates (en être exempt) ;

- générer des boues de bonne qualité ;
- être performant à de faibles doses et pour de fortes turbidités
- et être peu coûteux.

Etant donné ces critères, seuls deux types de coagulants sont retenus : FeCl_3 , FeCl_2 et les polyélectrolytes.

Sachant que les sels de métaux multivalents conviennent le mieux à la coagulation-floculation [10], et que les polyélectrolytes sont relativement coûteux par rapport aux premiers ils seront exclus du choix.

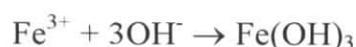
En général, des $\text{pH} > 5$ suffisent pour la coagulation avec les sels ferriques et ce avec des doses de coagulants allant de 50 à 300 mg/L, par contre pour les sels d'aluminium, le pH doit appartenir à l'intervalle [6,0 ; 7,4]. [2]

Restent le FeCl_2 et le FeCl_3 , sachant que plus le cation est multivalent, meilleure est la neutralisation de la charge, le coagulant le plus adapté à cette filière de traitement est donc le FeCl_3 .

VI.6.1.2.1. La réaction de coagulation [8]

L'addition du chlorure de fer ferrique conduit à la formation d'hydroxydes chargés de type $\text{M}_x(\text{OH})_y$, ces complexes ioniques sont adsorbés par le colloïde en formant une enveloppe.

Pour le chlorure ferrique, la réaction est la suivante :



L'hydroxyde insoluble est produit dans une large gamme de pH allant de 3 à 10.

Le floc produit est chargé positivement en milieu acide et négativement en milieu alcalin, les deux formes coexistent dans l'intervalle de pH [6,5 ; 8,0].

VI.6.1.3. Essais de coagulation (détermination de la dose optimale de coagulant)

Dans un premier temps, on délimite grossièrement l'intervalle dans lequel la dose optimale de coagulant serait susceptible de se trouver, puis, on réduit cet intervalle avec des pas plus restreints pour déterminer la dose optimale du coagulant avec exactitude.

Dans un premier temps, le paramètre de suivi est la turbidité, dans un second temps, nous veillerons à contrôler, en plus, les variations physico-chimiques entraînées par l'introduction de l'acide ($\text{H}_2\text{SO}_4^{2-}$) et du coagulant (FeCl_3), à savoir : le pH, le T.H., les M.E.S., la conductivité, le T.D.S. et les concentrations résiduelles en SO_4^{2-} , Cl^- , Fe_T et Fe^{2+} .

VI.6.1.4. Conduite de l'essai

On procède à un essai en Jar Test (voir annexe A2), avec une prise d'eau résiduaire prélevée de manière aléatoire au cours d'une journée de pleine production, l'effluent témoin, qui sera employé pour tout le reste des essais, présente les caractéristiques physico-chimiques ou biologiques résumées dans le tableau 33.

Tableau 33 - Les caractéristiques physico-chimiques et biologiques de l'effluent témoin ou à traiter

Paramètre	Valeur	Normes	Unité
T°	20,8	30	°C
PH	9,5	5,5-8,5	-
Cond.	2860	-	$\mu\text{s}/\text{cm}$
T.D.S.	1970	-	p.p.m.
Turb.	39,8	-	N.T.U.
M.E.S.	84	30	mg/L
D.B.O. ₅	200	40	mg/L d'O ₂
D.C.O.	850	120	mg/L d'O ₂
Fe _T	0,48	5,0	mg/L
Fe ²⁺	1,00	-	mg/L
SO ₄ ²⁻	60	-	mg/L
Cl ⁻	405	-	mg/L
T.H.	50	-	°F

Première étape

Les doses de FeCl_3 employé vont de 20 à 120 mg/L avec un pas de 20 mg/L.

On ajustera le pH de l'eau à traiter à 8,5 avant la coagulation.

Résultats et interprétations

Les résultats de l'essai de coagulation sont illustrés dans la figure 46.

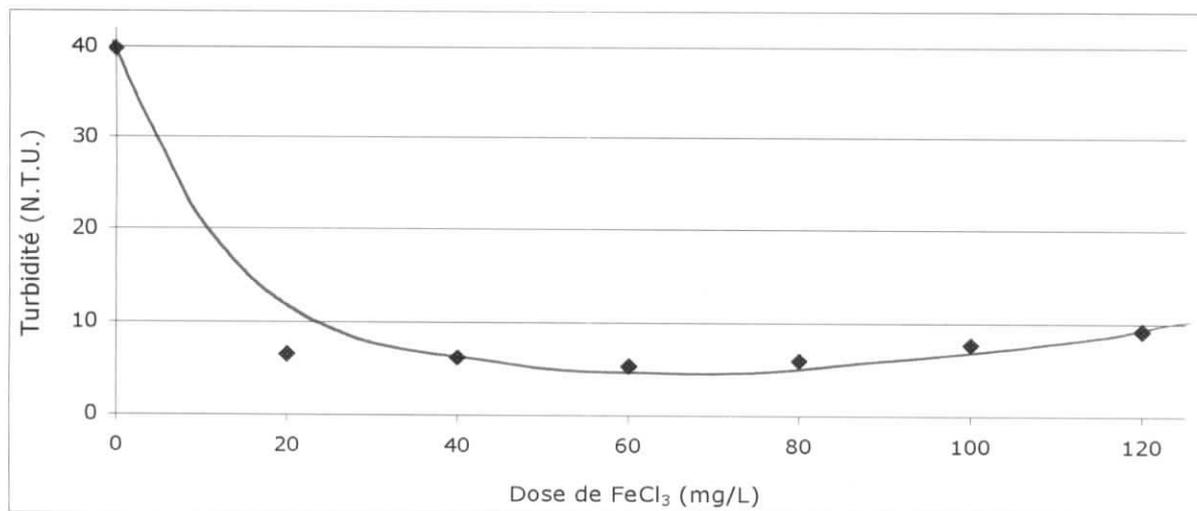


Figure 49 - Variations de la turbidité résiduelle (N.T.U.) en fonction de la dose du FeCl₃(mg/L)

Le graphe présente un minimum qui correspond à la dose optimale de coagulant, c'est à dire, la dose minimale de FeCl₃ pour laquelle l'élimination de la turbidité est maximale.

On observe dans un premier temps une diminution linéaire de la turbidité résiduelle en fonction de la dose de coagulant introduite, au delà de 80 mg/L de FeCl₃, on obtient l'effet inverse : l'augmentation de la dose du coagulant provoque l'élévation de la turbidité, ceci pourrait être expliqué par un ensemble de facteurs :

- une remise en suspension des M.E.S. suite à l'agitation mécanique, en effet, une étude a montré que c'est uniquement dans les premières secondes de l'agitation rapide que l'accroissement de la taille des floes (donc l'élimination de la turbidité) est linéaire, au delà, le rapport est aléatoire [11] ;
- l'absence d'adjuvant de floculation, ce qui laisserait entendre que la coagulation a eu lieu mais que les floes formés n'étaient pas assez volumineux pour décanter, ainsi, ils resteraient en suspension, générant à leur tour une certaine turbidité ;
- l'apparition d'une coloration rougeâtre translucide suite à l'addition de doses croissantes de FeCl₃, en effet, l'oxydation du fer génère cette coloration qui serait à l'origine de l'accroissement de la turbidité

- et le brassage intensif qui d'une part favorise la formation rapide de micro-flocs, et d'autre part provoque, par la suite, leur dispersion étant donné que les flocs d'hydroxydes de fer sont très fragiles. [8]

Donc, la dose de FeCl_3 , qui assure la plus forte élimination de la turbidité avec le moins d'inconvénients (absence de coloration) se trouve dans l'intervalle [60 ; 80] mg/L, avec un pourcentage d'élimination de la turbidité allant de 86,4 à 84,9%.

VI.6.1.4.1. Deuxième étape

On réitère alors la même expérience (voir annexe A2), avec des doses de FeCl_3 allant de 50 à 75 mg/L et ce avec un pas de 5 mg/L.

Aussi, pour obtenir un effluent de pH neutre et améliorer encore l'élimination de la turbidité, on abaissera le pH de l'eau à traiter de deux points, ce qui nous permettra d'employer une masse de coagulant plus faible avec le même rendement d'élimination.

En effet, une étude menée sur des eaux de faible turbidité a montré qu'en abaissant le pH on pouvait obtenir des pourcentages d'élimination de la turbidité très appréciables avec une faible fraction de FeCl_3 . Au cours de cette étude, l'abaissement du pH à 6,5 a permis de réduire la dose du coagulant à 40 mg/L avec une efficacité d'élimination de 80%. [12]

Ainsi, le pH initial serait de 8,0.

En plus de la turbidité, un ensemble de paramètres seront contrôlés à ce niveau à savoir : le pH, la conductivité, le T.D.S., et les concentrations résiduelles en Cl^- , SO_4^{2-} , Fe^{2+} et Fe_T .

VI.6.1.5. Résultats et interprétations

Les résultats de cet essai sont présentés dans le tableau 34.

Tableau 34 - Les caractéristiques physico-chimiques des eaux traitées par coagulation

FeCl ₃ (mg/L)	0	50	55	60	65	70	75	Normes	Unité
pH	8,00	7,45	7,85	7,61	7,55	7,51	7,62	5,5-8,5	-
Cond.	3848	2649	2647	2596	2525	2756	2990	-	μs/cm
T.D.S.	2956	1910	1910	1870	1822	2027	1855	-	p.p.m.
Turb.	39,8	4,35	4,02	3,90	3,68	2,95	3,75	-	N.T.U.
Fe _T	0,48	3,0	1,4	1,3	1,24	1,2	2,4	5,0	mg/L
Fe ²⁺	1,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,28	0,16	-	mg/L
SO ₄ ²⁻	260	360	360	360	370	340	450	-	mg/L
Cl ⁻	405	445	490	545	600	745	890	-	mg/L
T.H.	132	88	42,5	90	75	98	83	-	°F

Les variations de ces paramètres en fonctions de la dose de coagulant sont illustrées dans les figures 50 à 58.

VI.6.1.5.1. la turbidité résiduelle

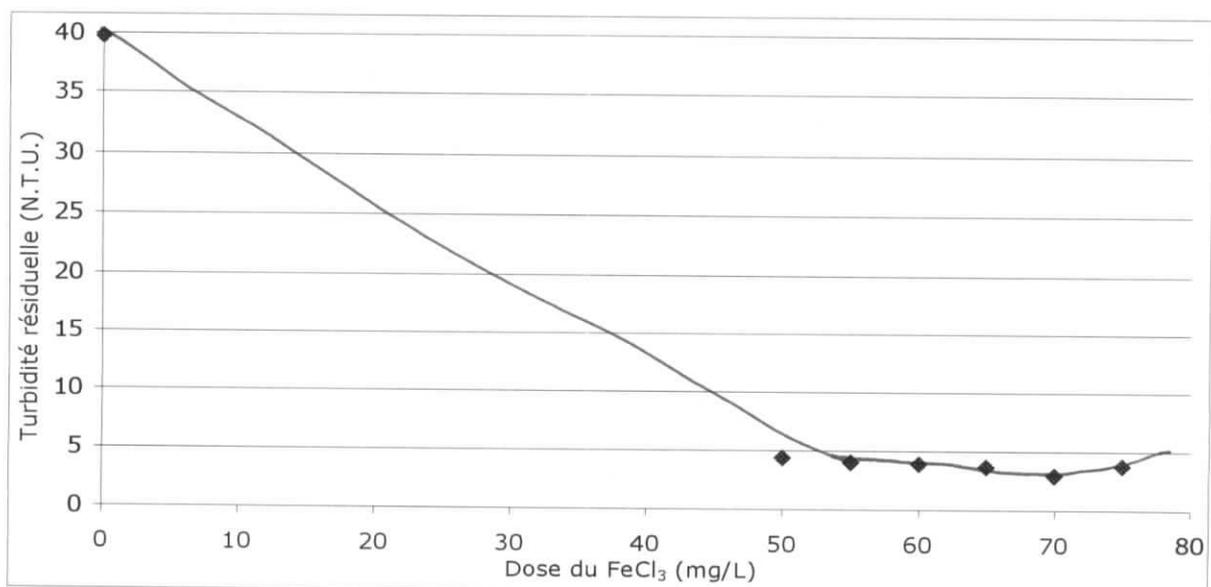


Figure 50 - Variations de la turbidité résiduelle (N.T.U.) en fonction de la dose du FeCl₃(mg/L)

La dose optimale de coagulant qui garantie la meilleure élimination de la turbidité est de 70 mg/L, elle assure la réduction de la turbidité à 2,95 N.T.U. soit une efficacité d'élimination de 92,6%.

VI.6.1.5.2. le pH

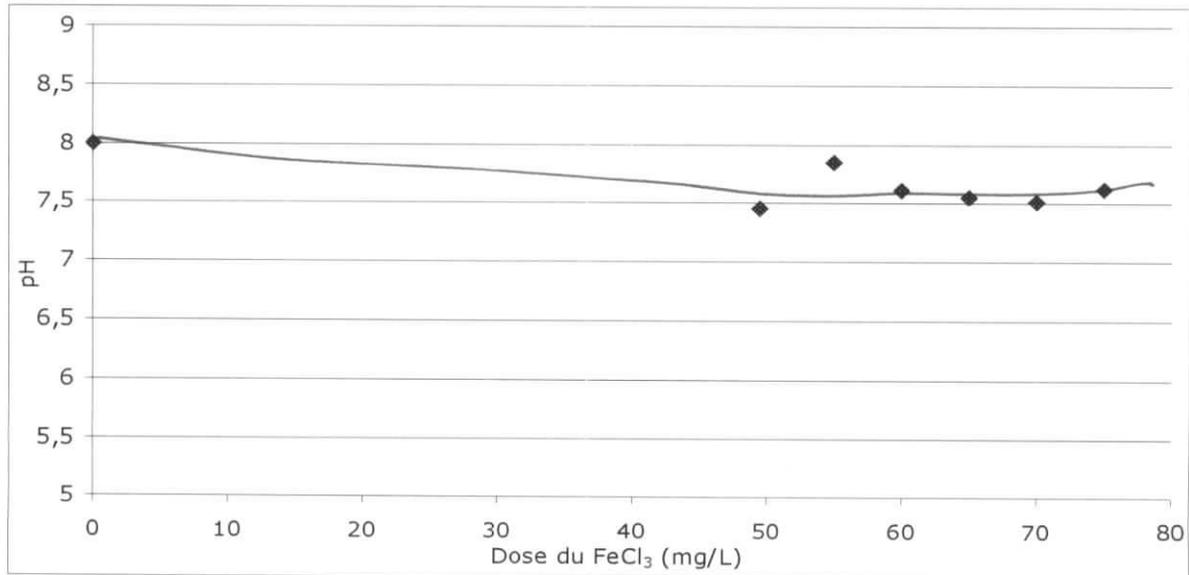
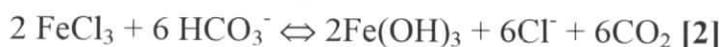


Figure 51 - Variation du pH en fonction de la dose du FeCl₃ (mg/L)

On note un abaissement du pH presque régulier, il est maximal à 50 et 70 mg/L de FeCl₃

Donc, globalement l'addition de coagulant participe à l'acidification du milieu, ce qui est très appréciable dans le cas des eaux résiduaires que nous traitons, car celles-ci présentent un pH fortement alcalin, cet avantage de la coagulation permettrait de réduire les quantités d'acide nécessaire à l'ajustement du pH.

Cette acidification du milieu s'explique par la formation de l'acide chlorhydrique suite à la libération d'ions chlorures. L'acidification améliore la coagulation, la coagulation est donc une réaction autocatalytique.



VI.6.1.5.3. La conductivité

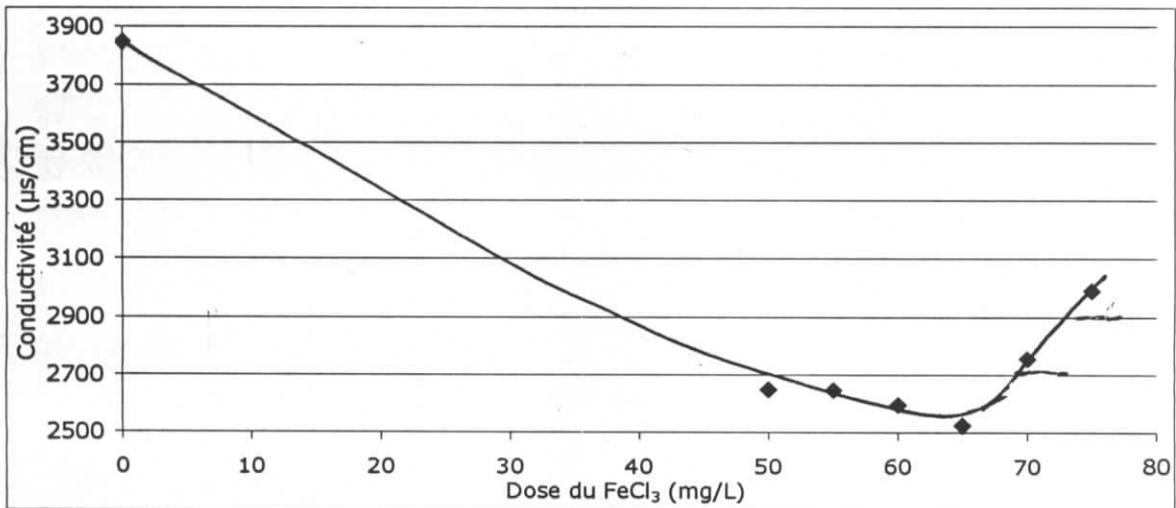


Figure 52 - Variations de la conductivité (µs/cm) en fonction de la dose du FeCl₃ (mg/L)

On note une diminution presque linéaire de la conductivité en fonction de la dose du FeCl₃ dans une première phase, puis au-delà d'une dose de 65 mg/L, la conductivité augmente avec la dose du coagulant.

Ceci pourrait être expliqué par le fait que les premières doses réduisent progressivement la charge minérale par neutralisation, tandis qu'au-delà de 65 mg/L, il y a apport en charge minérale, la dose de coagulant suffisante à neutralisation des charges négatives étant dépassée. En plus de la libération des charges entourant la particule.

Cette dose de FeCl₃ permet la réduction de la conductivité à 2756 µs/cm, soit une efficacité de 28,4%.

VI.6.1.5.4. le T.D.S.

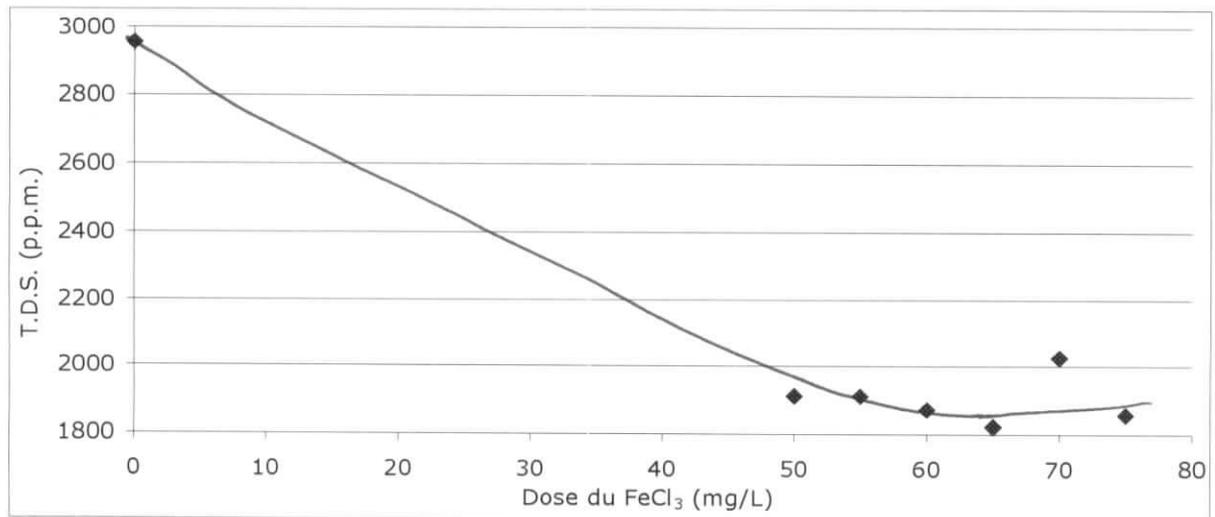


Figure 53 - Variations du T.D.S. (p.p.m.) en fonction de la dose du FeCl₃ (mg/L)

Le T.D.S étant en corrélation avec la conductivité, on observe presque le même comportement, ce qui confirme l'interprétation précédente.

La dose optimale est donc de 70 mg/L, elle garantit une réduction du T.D.S. à 2027 p.p.m., soit une efficacité de 31,4%.

VI.6.1.5.5. la concentration en chlorure résiduel

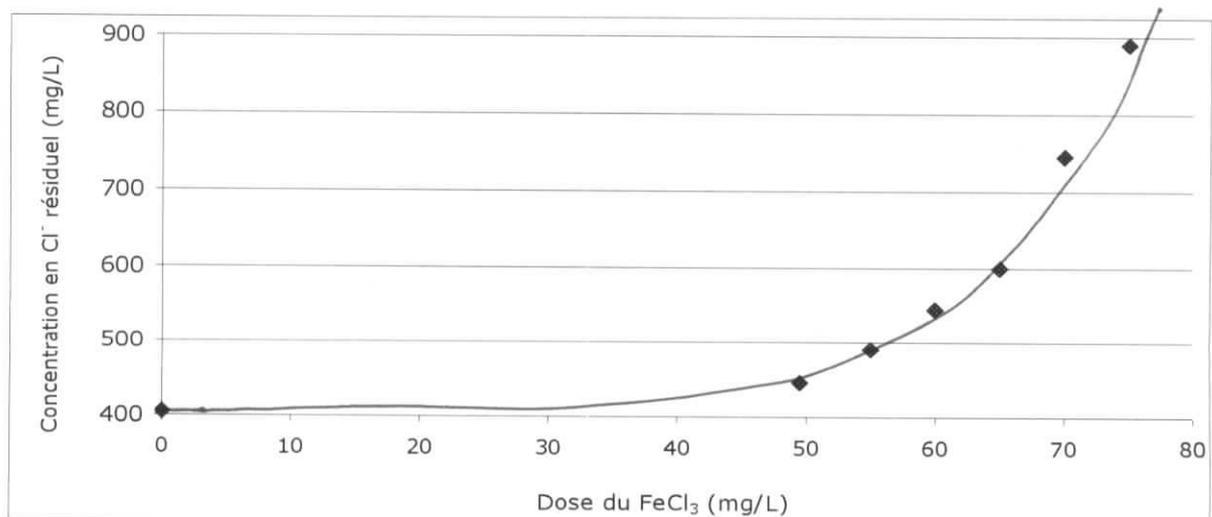


Figure 54 - Variations de la concentration en chlorure résiduel (mg/L) en fonction de la dose du FeCl₃ (mg/L)

On note une augmentation presque linéaire de la concentration en Cl^- en fonction de la dose de coagulant, cette augmentation linéaire correspond à l'apport proportionnel en chlorures contenus dans le réactif de coagulation (FeCl_3).

VI.6.1.5.6. la concentration en fer ferreux résiduel

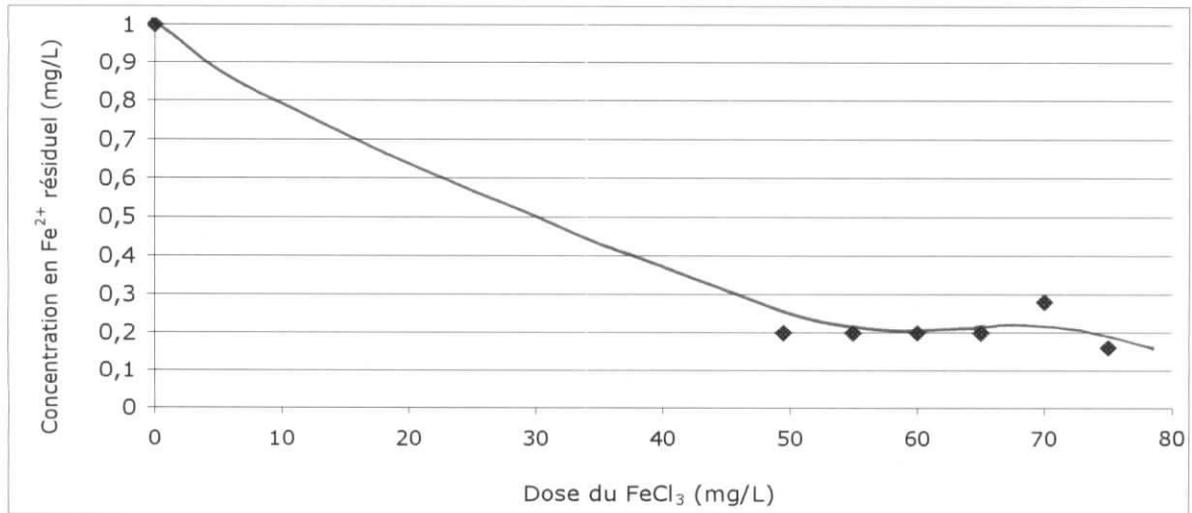


Figure 55 - Variations de la concentration en fer ferreux résiduel (mg/L) en fonction de la dose du FeCl_3 (mg/L).

L'addition de FeCl_3 abaisse la concentration en fer ferreux presque à la même valeur, et ce quelque soit la dose. Pour une dose de 70 mg/L de FeCl_3 , la concentration résiduelle est de 0,28 mg/L soit une efficacité d'élimination de 72,0%.

VI.6.1.5.6.1.1. la concentration en fer total résiduel

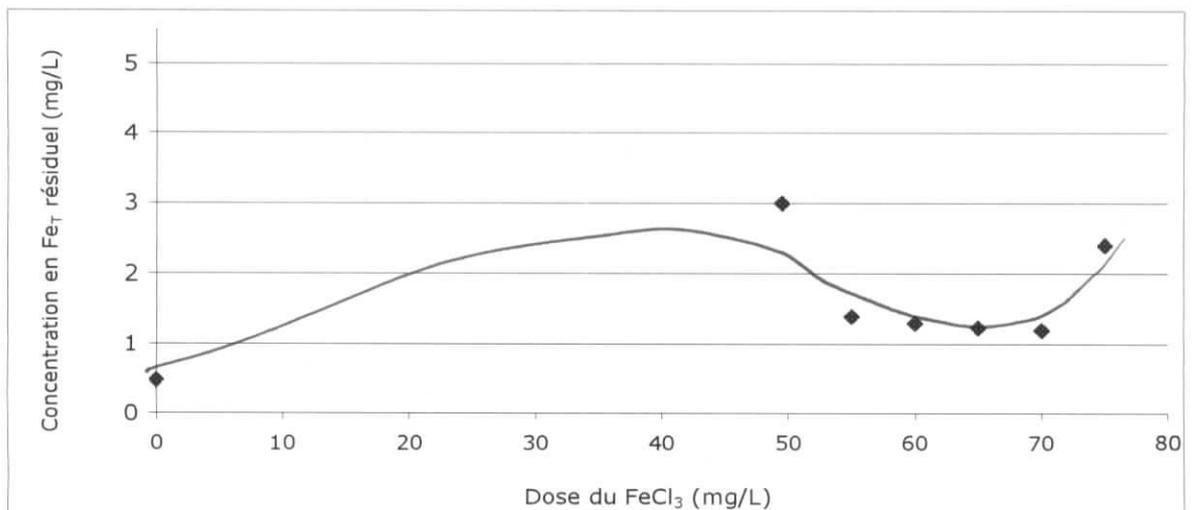


Figure 56 - Variations de la concentration en fer total résiduel (mg/L) en fonction de la dose du FeCl_3 (mg/L).

L'addition du FeCl_3 conduit à l'augmentation de la concentration en fer total, cette concentration diminue progressivement avec l'augmentation des doses jusqu'à atteindre la dose de 70 mg/L.

Ceci s'explique par le fait que la fraction la plus importante du fer (à savoir le fer ferrique) à la dose 70 mg/L est sous forme d'hydroxydes.

Donc, la fraction la plus réactive du fer est maximale pour la dose de 70 mg/L. Ainsi, l'efficacité maximale de la coagulation à cette dose se confirme.

VI.6.1.5.6.1.2. la concentration en sulfate résiduel

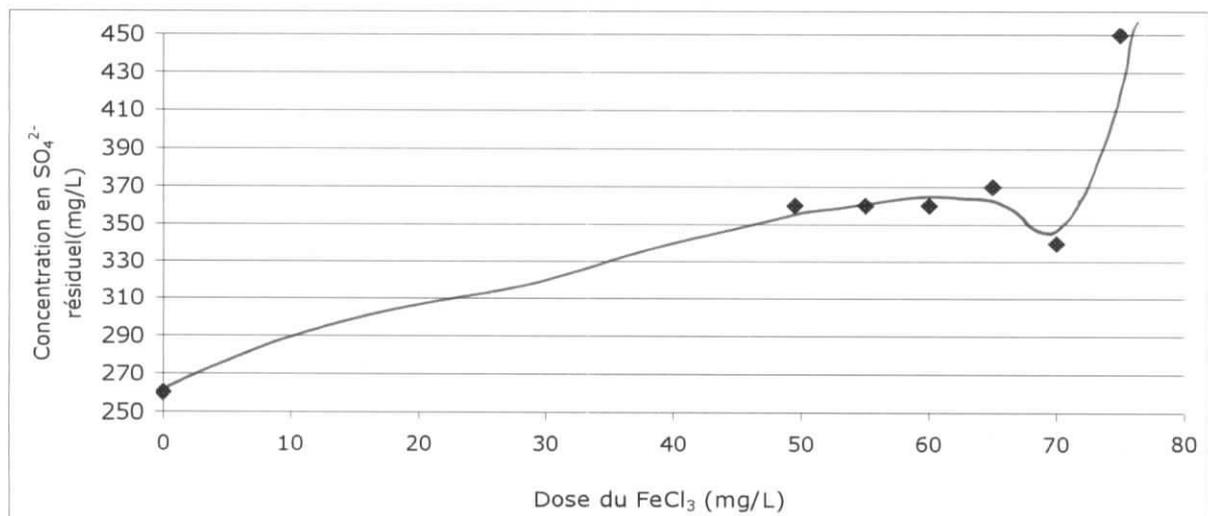


Figure 57 - Variations de la concentration en sulfate résiduel (mg/L) en fonction de la dose du FeCl_3 (mg/L).

L'addition de FeCl_3 conduit à l'augmentation des concentrations en sulfate résiduel, cette augmentation est minimale pour une dose de 70 mg/L de FeCl_3 .

VI.6.1.5.6.1.3. le T.H.

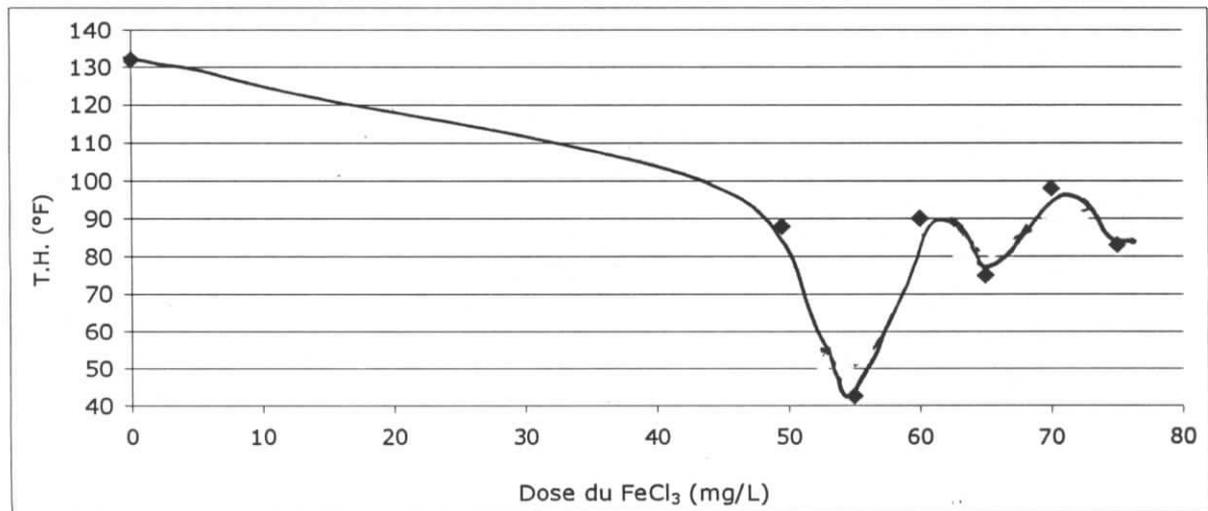


Figure 58 - Variations du T.H. (°F) en fonction de la dose du FeCl₃ (mg/L).

On note par ailleurs une diminution maximale du T.H. autour de 55 mg/L de FeCl₃.

Cependant, la dose de 70 mg/L de FeCl₃ assure une réduction du T.H. à 98°F, soit une efficacité d'adoucissement de 25,7%.

VI.6.1.4.2.2. Conclusion

La dose optimale de FeCl₃, qui assure à la fois une élimination maximale de la turbidité est de 70 mg/L, de plus cette dose assure la réduction des concentrations résiduelles en sulfate et fer ainsi qu'un adoucissement de l'eau.

Ainsi, cette dose nous permet de conformer le coagulant aux normes algériennes de rejets en ce qui concerne le fer résiduel et le pH.

Par ailleurs, la dose du coagulant serait vue à la baisse en milieu moins salin, en effet, la présence de sels, NaCl par exemple, a tendance à abaisser le potentiel zêta et donc à augmenter la dose du réactif de coagulation [8]. C'est le cas des eaux résiduaires de l'unité de production A.B.C. Pepsi-Rouiba qui comprend une forte fraction de concentrat (rejet très salé).

VI.6.2. La coagulation-floculation

VI.6.2.1. Aspects théoriques

Les floculants sont des produits qui accélèrent la décantation des floccs agglomérés en les alourdissant. Ils s'avèrent être nécessaires dans le cas de la coagulation avec les sels de fer, car les boues qui en résultent sont peu stables. [8]

On trouve un bon nombre de floculants dans le commerce les plus employés étant: [2]

- la silice activée ;
- les argiles (telle que la Bentonite) ;
- le Kieselguhr (diatomés connu sous le nom commercial Celatom);
- les amidons
- et le Charbon Actif en Poudre (C.A.P.).

VI.6.2.2. Le choix du floculant

La silice, les amidons et le Kieselguhr augmentent le pH de l'eau, tandis que le C.A.P. ne modifie que très peu le pH, en général pour l'ajuster. Ainsi, le choix se porte sur le C.A.P.

Le C.A.P. est employé à des doses de 25 à 50 mg/L, et ce pour :

- améliorer la qualité de la coagulation ;
- éliminer la coloration ;
- éliminer les détergents ;
- éliminer les M.O. biodégradables et non biodégradables ;
- réduire la turbidité et les M.E.S. ;
- améliorer la décantabilité et l'épaississement
- et réduire les risques de moussage dans les bassins. [8]

Le C.A.P. introduit est éliminé avec les boues.

Le C.A.P. que nous avons employé pour cet essai est un C.A.P. de fabrication locale, préparé à partir de grignons d'olives.

VI.6.2.3. Essai de coagulation-floculation (détermination de la dose optimale de floculant)

VI.6.2.4. Conduite de l'essai

On procède à un essai en Jar Test (voir annexe A2), avec la même prise d'eau que celle employée dans l'essai de coagulation.

Les doses de C.A.P. employé vont de 10 à 60 mg/L avec un pas de 10 mg/L.

On ajustera le pH de l'eau à traiter à 8,0.

Les paramètres à étudier sont : la turbidité, les M.E.S., le pH, la conductivité, le T.D.S., les concentrations résiduelles en sulfate, fer ferrique et fer total, la D.B.O.₅, la D.C.O., ainsi que la masse des boues générées par ce traitement.

VI.6.2.5. Résultats et Interprétation

Les résultats de cet essai sont présentés dans le tableau suivant 35.

Tableau 35 - Les caractéristiques physico-chimiques et biologiques des eaux traitées par coagulation-floculation

C.A.P. (mg/L)	0	0 (après coagulation)	10	20	30	40	50	60	norme	Unité
pH	9,50	7,51	7,50	7,47	7,44	7,44	7,38	7,38	5,5-8,5	-
Cond.	3848	2756	2497	2538	2507	2546	2546	2548	-	µs/cm
T.D.S.	2956	2027	1798	1832	1831	1834	1838	1841	-	p.p.m.
Turb.	39,8	2,95	1,25	0,77	0,50	1,60	2,50	2,81	-	N.T.U.
D.B.O.₅	200	-	100	80	50	60	70	80	40	mg/L
D.C.O.	850	-	175	169	72	153	175	170	120	mg/L
Fe_T	0,48	1,2	0,60	0,82	0,36	0,72	1,02	1,07	5,0	mg/L
Fe²⁺	1,00	0,28	0,16	0,28	0,08	0,13	0,20	0,26	-	mg/L
SO₄²⁻	260	340	370	390	420	480	600	630	-	mg/L
T.H.	132	98	70	72	82	54	74	49	-	°F
Boues	-	-	1,30	1,32	1,33	1,40	2,64	2,91	-	g
M.E.S.	84	43	32	22	42	64	106	130	-	mg/L

Les variations de ces paramètres en fonctions des doses de flocculant sont traduites dans les figures 59 à 70.

VI.6.2.5.1. La turbidité résiduelle

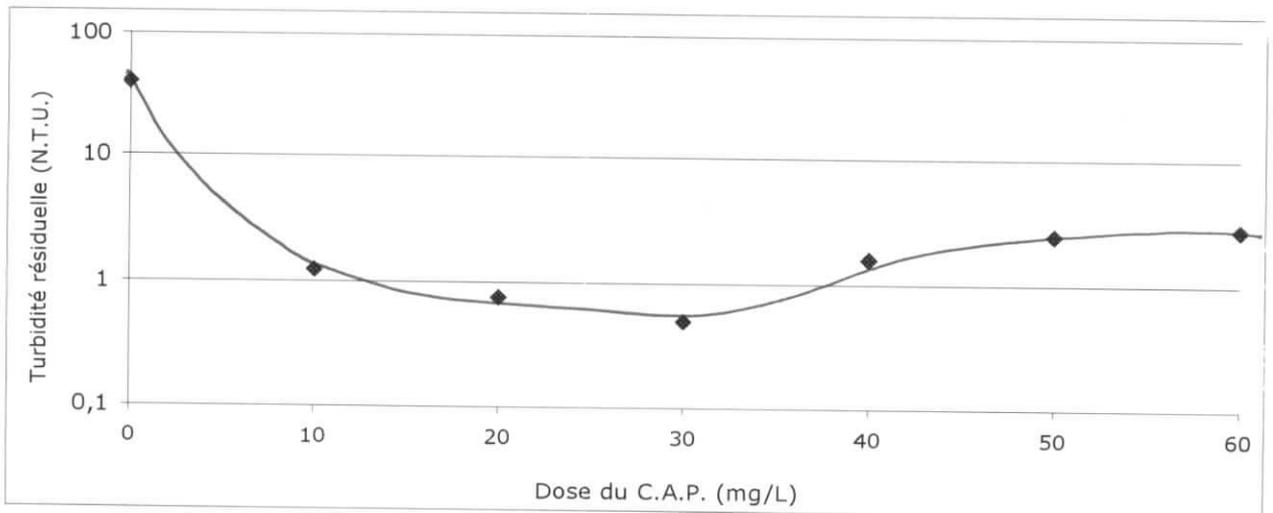


Figure 59 - Variations de la turbidité résiduelle (N.T.U.) en fonction de la dose du C.A.P. (mg/L)

Cette courbe de coagulation-floculation présente le même comportement que celui de l'essai de coagulation, à savoir, une diminution presque linéaire de la turbidité entre 10 et 30 mg/L puis une augmentation de la turbidité avec l'augmentation des doses de C.A.P.

Ceci peut être interprété par le fait que 30 mg/L est la dose qui produit la meilleure élimination, au-delà de cette dose, le C.A.P. excédentaire reste en solution, et est donc responsable, en partie, de la turbidité.

Ajouté à cela la destruction des floccs par le C.A.P. qui présente une faible homogénéité dans ses dimensions, en effet, un broyage mal conduit pourrait être à l'origine de cette déstabilisation.

De plus, la stabilité des floccs n'est pas permanente et reste très fragile, en effet, si on conduit une floculation et qu'on obtient des floccs de bonne cohésion, la déstabilisation mécanique ultérieure de ceux-ci donne lieu à une floculation de nature très proche de la précédente, mais les floccs ainsi formés sont de plus petites tailles.[13]

La masse optimale qui assure la plus grande élimination de la turbidité est de 30 mg/L, et ce avec un pourcentage d'élimination de 98,7%, la turbidité résiduelle étant de 0,5 N.T.U.

VI.6.2.5.2. Les M.E.S.

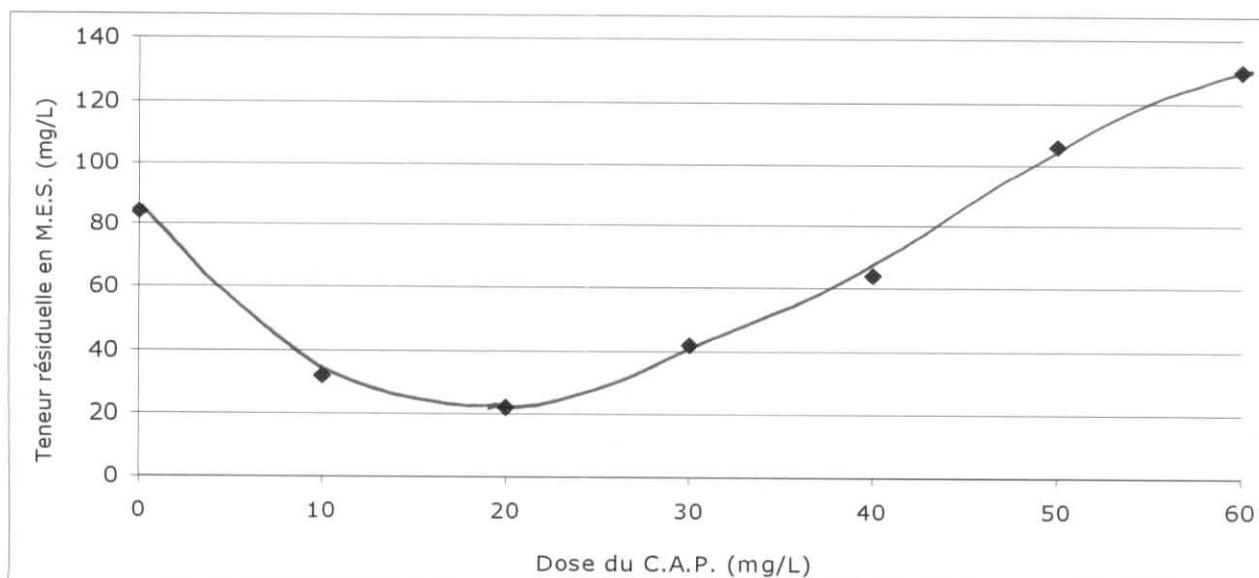


Figure 60 - Variations des teneurs résiduelles en M.E.S. (mg/L) en fonction de la dose du C.A.P. (mg/L)

Les variations des teneurs en M.E.S. (mg/L) en fonction de la dose de C.A.P. sont identiques à celles observées pour la turbidité résiduelle, ceci s'explique par la forte corrélation entre la turbidité et les M.E.S.

La dose optimale de C.A.P. est celle qui présente la plus faible teneur résiduelle en M.E.S., à savoir 30 mg/L de C.A.P. Cette dose permet de réduire la teneur en M.E.S. à une valeur de 22 mg/L avec un pourcentage d'élimination de 73,8%, ce qui nous permet de conformer l'effluent aux normes de rejets algériennes.

VI.6.2.5.3. Le pH

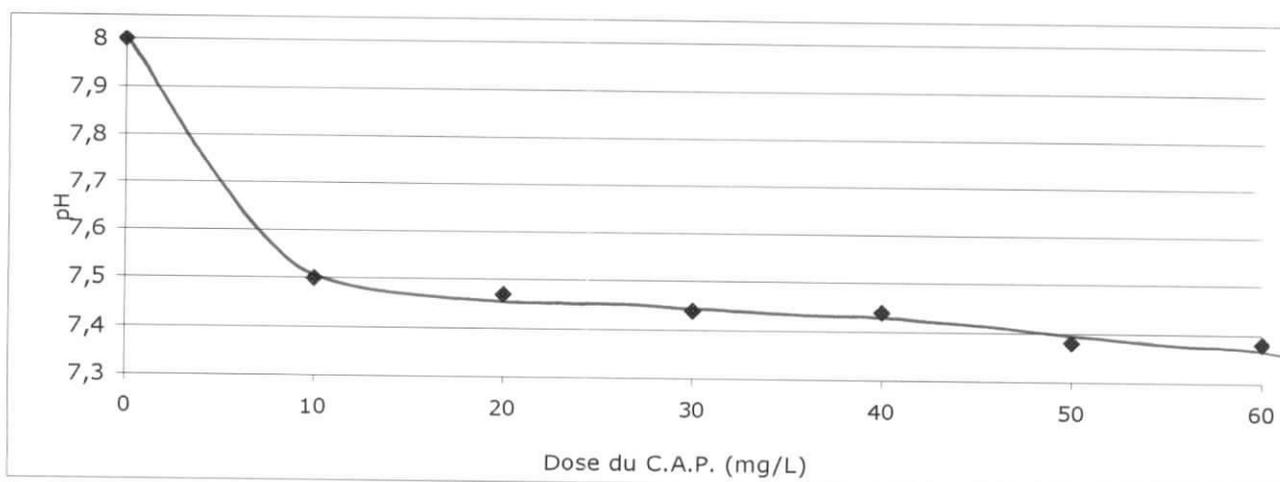


Figure 61 - Variations du pH en fonction de la dose de C.A.P. (mg/L)

Le pH connaît une diminution continue en fonction de la dose de C.A.P., ceci est dû au fait que l'activation chimique du C.A.P. a été conduite avec de l'acide sulfurique 3N, des résidus d'acide sont donc venus abaisser le pH.

VI.6.2.5.4. La D.C.O.

L'élimination de la D.C.O. est l'un des principaux buts de la coagulation-floculation.

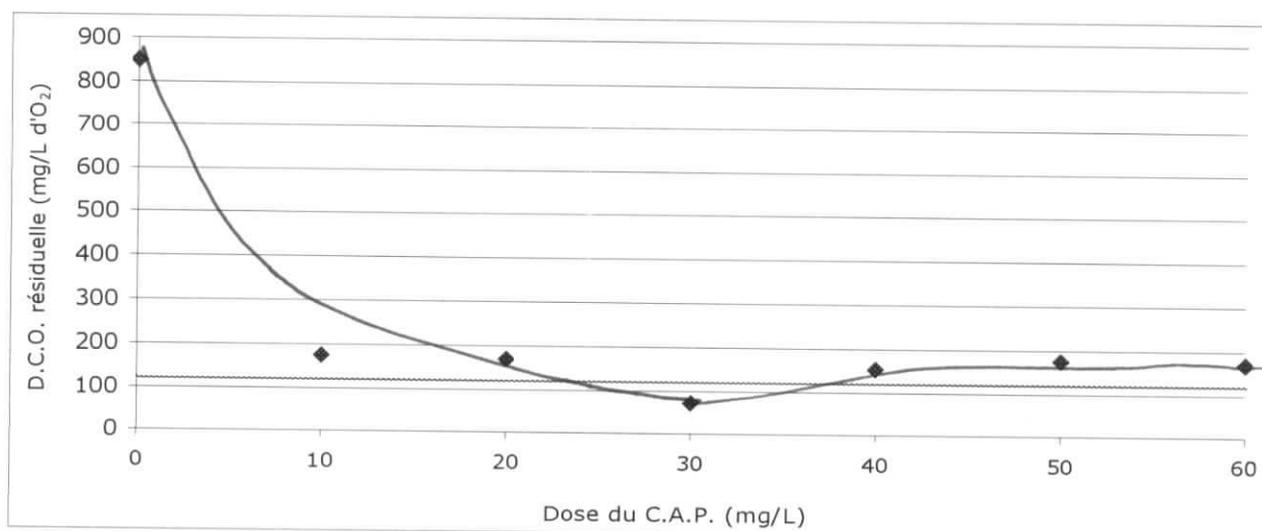


Figure 62 - Variations de la D.C.O. résiduelle (mg/L d'O₂) en fonction de la dose du C.A.P. en (mg/L).

On obtient une diminution proportionnelle de la D.C.O. résiduelle en fonction de la dose de C.A.P.; au delà de 30 mg/L de C.A.P., l'effet inverse est obtenu : l'addition du flocculant génère une augmentation de la D.C.O.

Ceci peut être interprété par le fait que la dose de C.A.P. de 30 mg/L est celle qui assure la meilleure élimination de la matière organique, à cette dose la teneur résiduelle en C.A.P. serait donc minimale.

Au delà de 30 mg/L, l'oxydation par le dichromate vient toucher le charbon actif résiduel, ce qui traduit l'augmentation de la D.C.O. pour des doses de C.A.P. supérieures à 30 mg/L

La dose optimale de C.A.P. qui garantie la meilleure élimination est donc de 30 mg/L, avec une efficacité de 96,8%, la D.C.O. résiduelle étant de 27 mg/L d'O₂.

Le C.A.P. élimine donc une grande proportion de la D.C.O.

VI.6.2.5.5. La D.B.O.₅

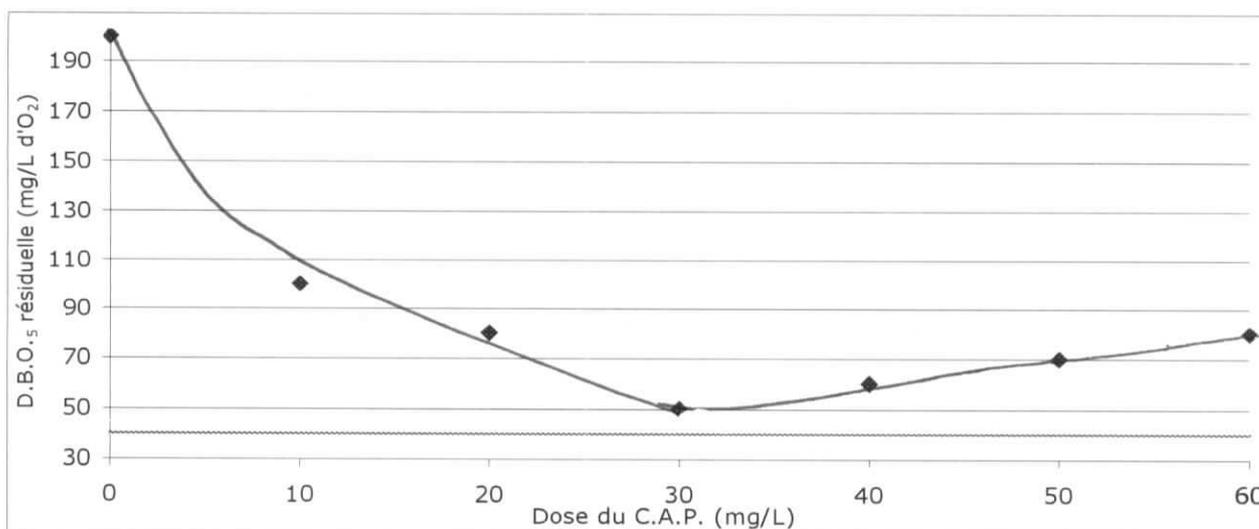


Figure 63 - Variations de la D.B.O.₅ résiduelle (mg/L d'O₂) en fonction de la dose du C.A.P. (mg/L)

La même variation que celle de la D.C.O. est observée, cependant, et bien que la dose de C.A.P. optimale soit toujours de 30 mg/L, celle-ci présente une D.B.O.₅ résiduelles de 50 mg/L d'O₂, ce qui est au dessus des normes avec un pourcentage d'élimination assez élevé : 75%.

En effet, le résultat obtenu aurait été revu à la baisse si la conduite de l'essai avait pue être réalisée en milieu aseptique (hotte biologique) pour réduire la contamination de l'eau par les micro-organismes de l'environnement.

Le temps entre la neutralisation et la réalisation de l'essai permet aux micro-organismes de se développer et d'amorcer une dégradation, ce qui réduit la phase de latence qui ne s'observera pas lors de la conduite de la mesure de la D.B.O.₅.

Par ailleurs, le D.B.O.mètre sans agitation induit une erreur d'appréciation de la D.B.O.₅ estimée à 15 %.

Ces résultats indiquent que la D.B.O.₅ résiduelle est principalement soluble, la coagulation floculation, contrairement aux traitements biologiques, n'a aucun effet sur la D.B.O.₅ soluble. [8]

VI.6.2.5.6. La conductivité

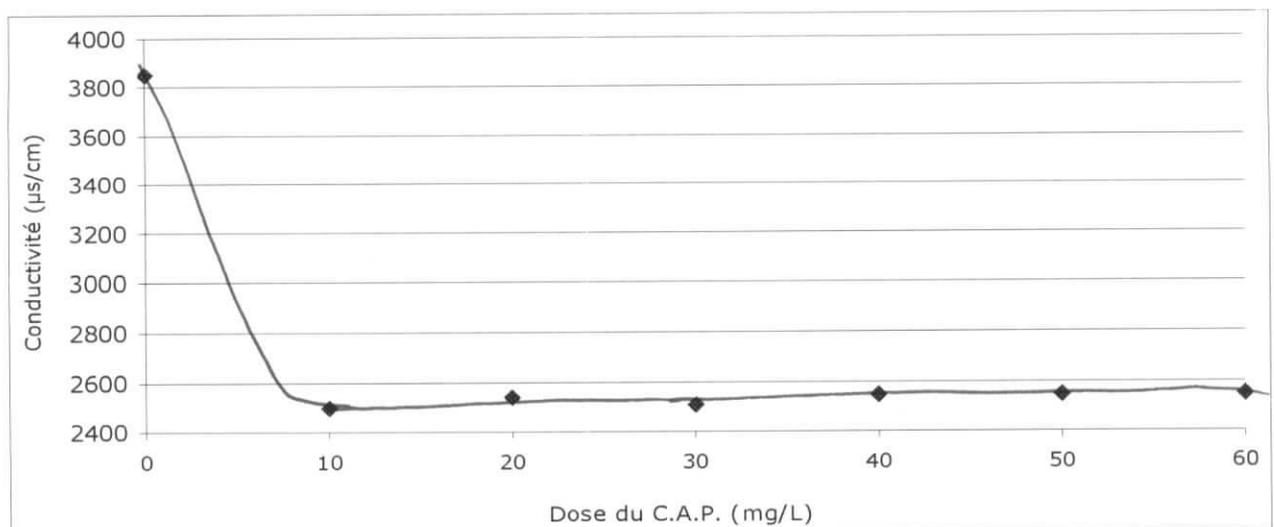


Figure 64 - Variations de la conductivité (µs/cm) en fonction de la dose du C.A.P. (mg/L)

La diminution générale de la conductivité en fonction de la dose de C.A.P. traduit un effet d'adsorption des ions sur le floc, cependant la légère augmentation de la conductivité au delà de 30 mg/L de C.A.P. traduit l'apport de sulfate introduit par l'addition du C.A.P., celui ci contenant des résidus de sulfates dus à son activation chimique à l'acide sulfurique.

Le C.A.P. permet la réduction de la conductivité à 2507 µs/cm, et ce avec une efficacité de 34,8%.

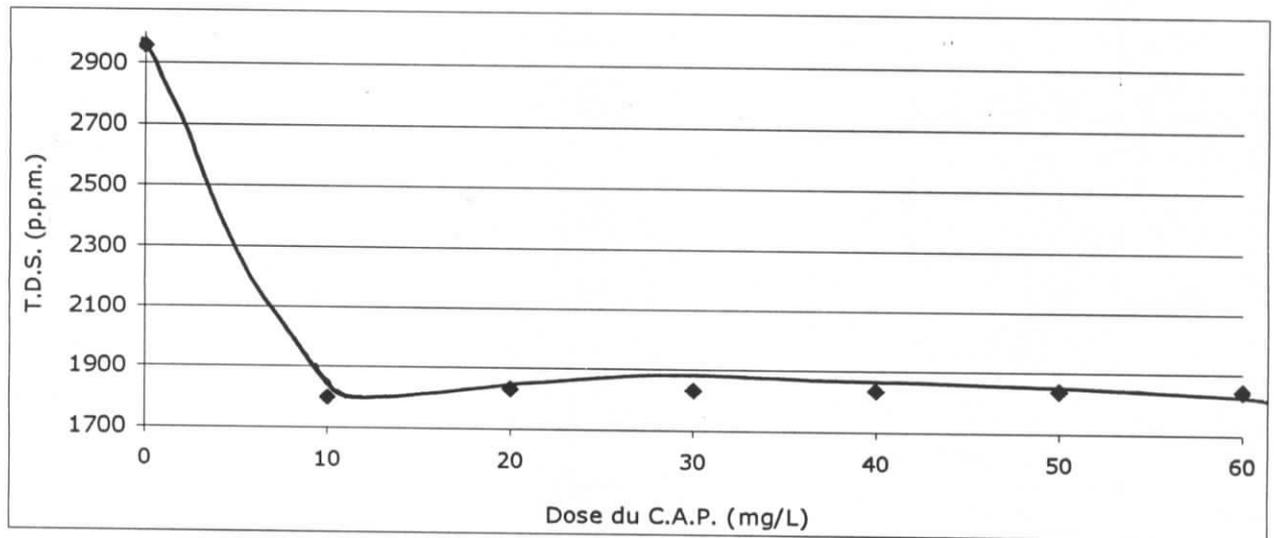
VI.6.2.5.7. *Le T.D.S.*

Figure 65 - Variations du T.D.S. (p.p.m.) en fonction de la dose du C.A.P. (mg/L)

Les variations du T.D.S. sont semblables à celles de la conductivité.

Pour une dose de 30 mg/L de C.A.P., le T.D.S. est réduit à 1931 p.p.m. avec un pourcentage d'élimination de 38,0%.

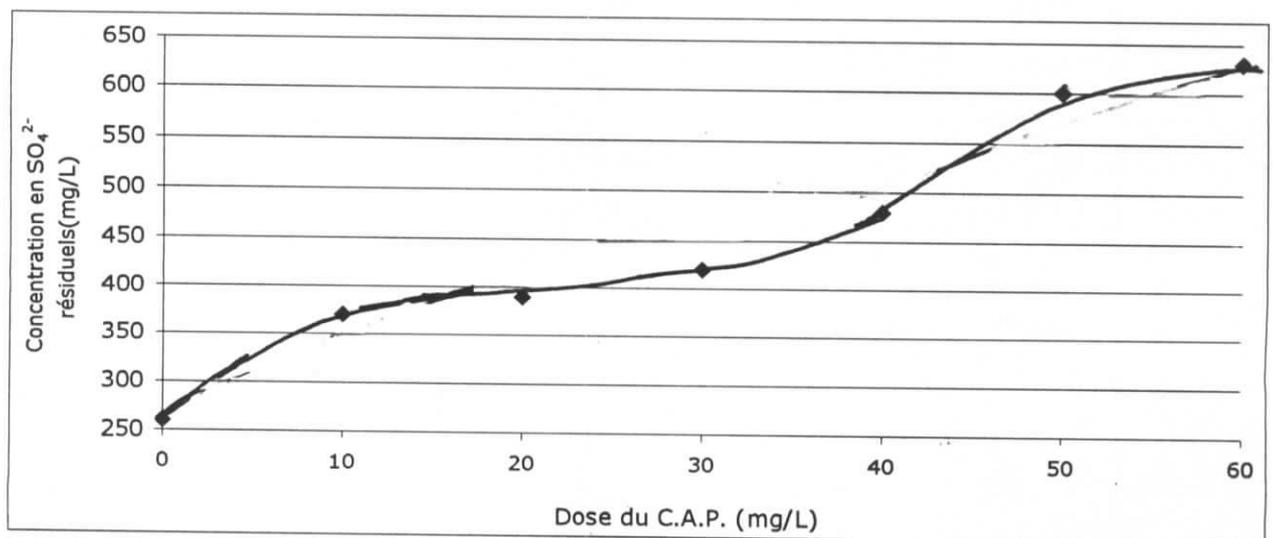
VI.6.2.5.8. *La concentration en sulfates résiduels*

Figure 66 - Variations de la concentration en sulfate résiduel (mg/L) en fonction de la dose du C.A.P. (mg/L)

Le graphe nous indique une augmentation quasi linéaire de la concentration en sulfates en fonction de la dose du C.A.P.

Ceci s'explique par le fait que l'activation chimique du C.A.P. a été conduite avec l'acide sulfurique, le C.A.P. contient donc des résidus de sulfates qui sont introduits de manière proportionnelle à la dose du réactif.

Un lavage plus soigné après l'activation chimique aurait conduit à de meilleurs résultats, c'est à dire à des teneurs résiduelles en sulfates plus faibles.

VI.6.2.5.9. Le fer ferreux résiduel

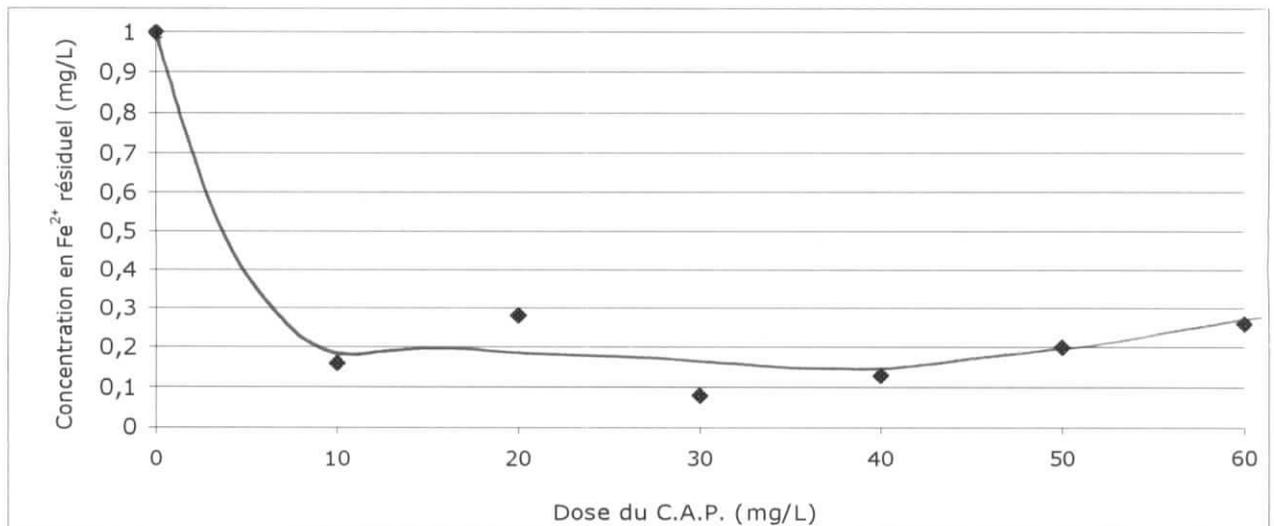


Figure 67 - Variations de la concentration en fer ferreux résiduel (mg/L) en fonction de la dose du C.A.P. (mg/L)

Le fer ferreux résiduels diminue suite à l'addition du C.A.P., cependant l'augmentation des doses de celui-ci entraîne l'augmentation des concentrations du fer résiduel audela de 30 mg/L de C.A.P., cette dose optimale présente une concentration résiduelle en fer ferreux de 0,08; soit une efficacité d'élimination de 92,0%.

VI.6.2.5.10. Le fer total résiduel

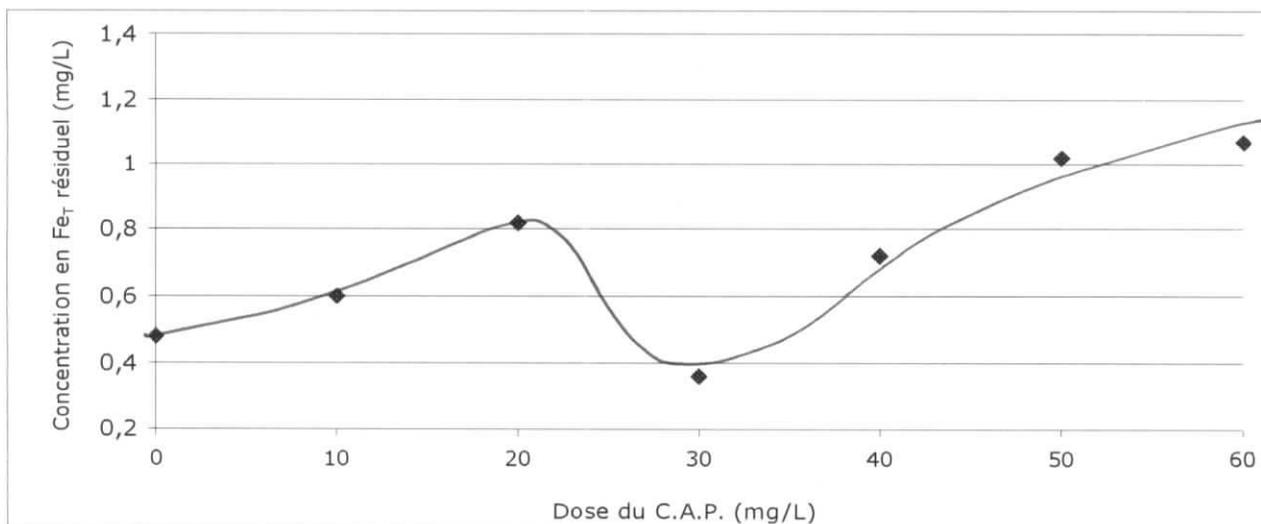


Figure 68 - Variations de la concentration en fer total (mg/L) en fonction de la dose du C.A.P. (mg/L)

L'introduction du C.A.P. entraîne la diminution de la concentration en fer total résiduel, cette diminution est maximale pour une dose de flocculant de 30 mg/L, à savoir une concentration résiduelle en fer total de 0,36 mg/L soit une efficacité d'élimination de 25,0%.

VI.6.2.5.11. Le T.H.

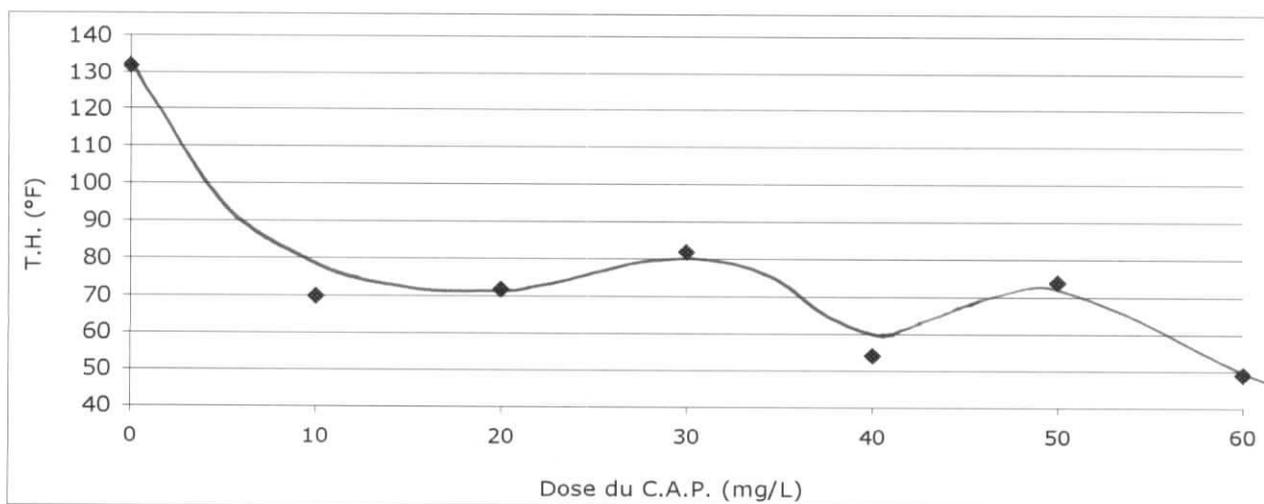


Figure 69 - Variation du T.H. (°F) en fonction de la dose du C.A.P. (mg/L).

Bien que l'emploi de C.A.P. entraîne la diminution du T.H., la diminution de celui-ci en fonction de la dose du C.A.P. reste aléatoire.

VI.6.2.5.12. La masse de boues générées

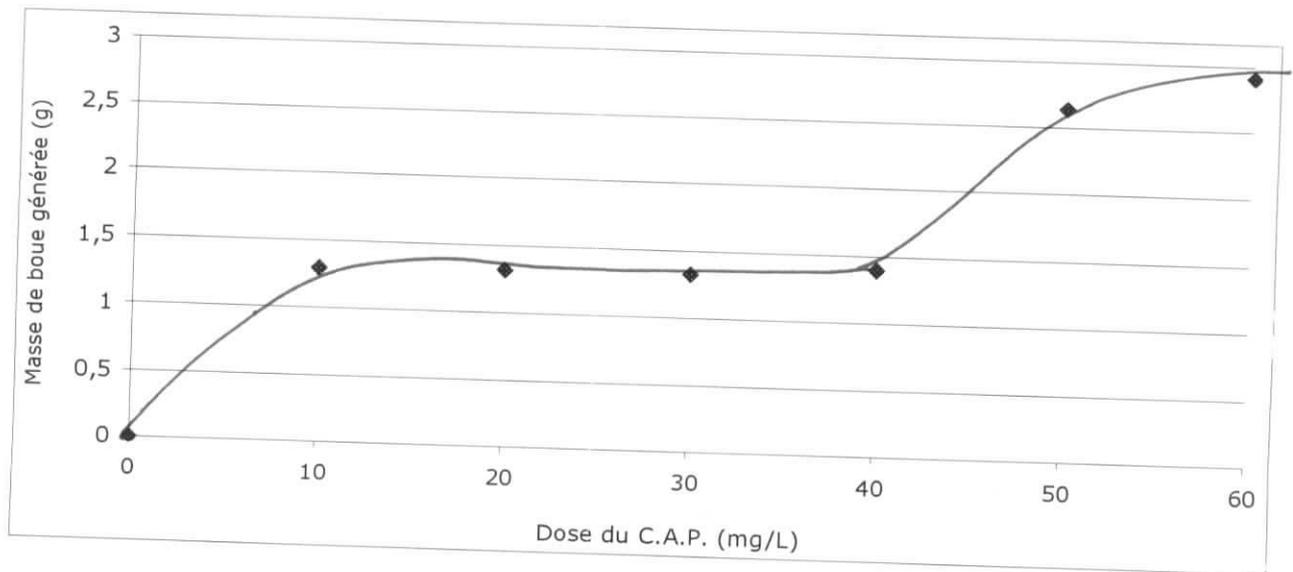


Figure 70 - Variations de la masse de boues générées (g/L) en fonction de la dose du C.A.P. (mg/L).

La masse de boues générées est presque constante pour des doses de C.A.P. inférieures à 40 mg/L, au delà on observe une augmentation brutale.

L'accroissement des masses de boues n'est donc pas proportionnel à l'accroissement des doses de flocculant.

VI.6.2.6. En résumé

L'efficacité du traitement de coagulation et de coagulation floculation est résumée dans le tableau 36 pour les doses optimales de FeCl_3 et du C.A.P.

Tableau 36 - Les résultats du traitement de coagulation et de coagulation floculation

Paramètre	Après neutralisation	70 mg/L de FeCl_3		70 mg/L de FeCl_3 30 mg/L de C.A.P.		Norme	Unité
		Valeur	Pourcentage d'élimination %	Valeur	Pourcentage d'élimination %		
pH	8,00	7,51	-	7,44	-	5,5-8,5	-
Turb.	39,8	2,95	92,6	0,5	98,7	-	N.T.U.
M.E.S.	84	-	-	22	73,8	30	mg/L
Cond.	3848	2756	28,4	2507	34,8	-	$\mu\text{s/cm}$
T.D.S	2956	2027	31,4	1831	38,0	-	p.p.m.
D.B.O. ₅	200	-	-	50	75,0	40	mg/L d'O ₂
D.C.O.	850	-	-	72	91,5	120	mg/L d'O ₂
Fe^{2+}	1,00	0,28	72,0	0,08	92,0	-	mg/L
Fe_T	0,48	1,20	-	0,36	25,0	5,00	mg/L
SO_4^{2-}	260	340	-	-	-	-	mg/L
Cl^-	405	745	-	-	-	-	mg/L
T.H.	132	98	25,7	82	62,1	-	°F

VI.6.2.7. Mise en œuvre et paramètres de contrôle

La mise en œuvre de la coagulation floculation nécessite l'emploi de trois bassins :

- un bassin de coagulation, de faibles dimensions, et dans lequel l'effluent aurait un faible temps de séjour (étant donné que la première phase de coagulation est une agitation rapide de 30 s en moyenne) ; l'agitation dans ce bassin doit être vive et l'introduction du FeCl_3 rapide ;
- un bassin de floculation, qui présenterait des dimensions plus importantes, ainsi que des temps de séjour plus longs, l'agitation dans ce bassin doit être modérée pour éviter la déstabilisation des floes , le C.A.P. doit être introduit à cette étape
- et un décanteur secondaire, pour clarifier l'eau, celui-ci doit être muni d'un dispositif de collecte des boues, il présenterait un meilleur rendement s'il disposait de lamelles (comme pour le décanteur primaire).

La recirculation des boues permet l'accroissement de la masse de contact et donc, de la probabilité des chocs entres agrégats dans le réacteur. [2]

Le contact de boues présente de nombreux avantages car il :

- améliore la floculation ;
- augmente la vitesse de décantation ;
- catalyse les réactions d'adsorption ;
- augmente l'élimination des M.O. par adsorption
- et permet de réaliser une économie sur les réactifs de floculation. [2]

Etant donné que les résultats obtenus en batch augmentent dans le cas d'un traitement en continue, on fixera la valeur consigne de la turbidité à la sortie du clarificateur à 5 N.T.U., car selon les recommandations de l'O.M.S., c'est la valeur maximale admise pour réaliser la désinfection de l'eau par le chlore.

La figure 71 illustre ce dispositif.

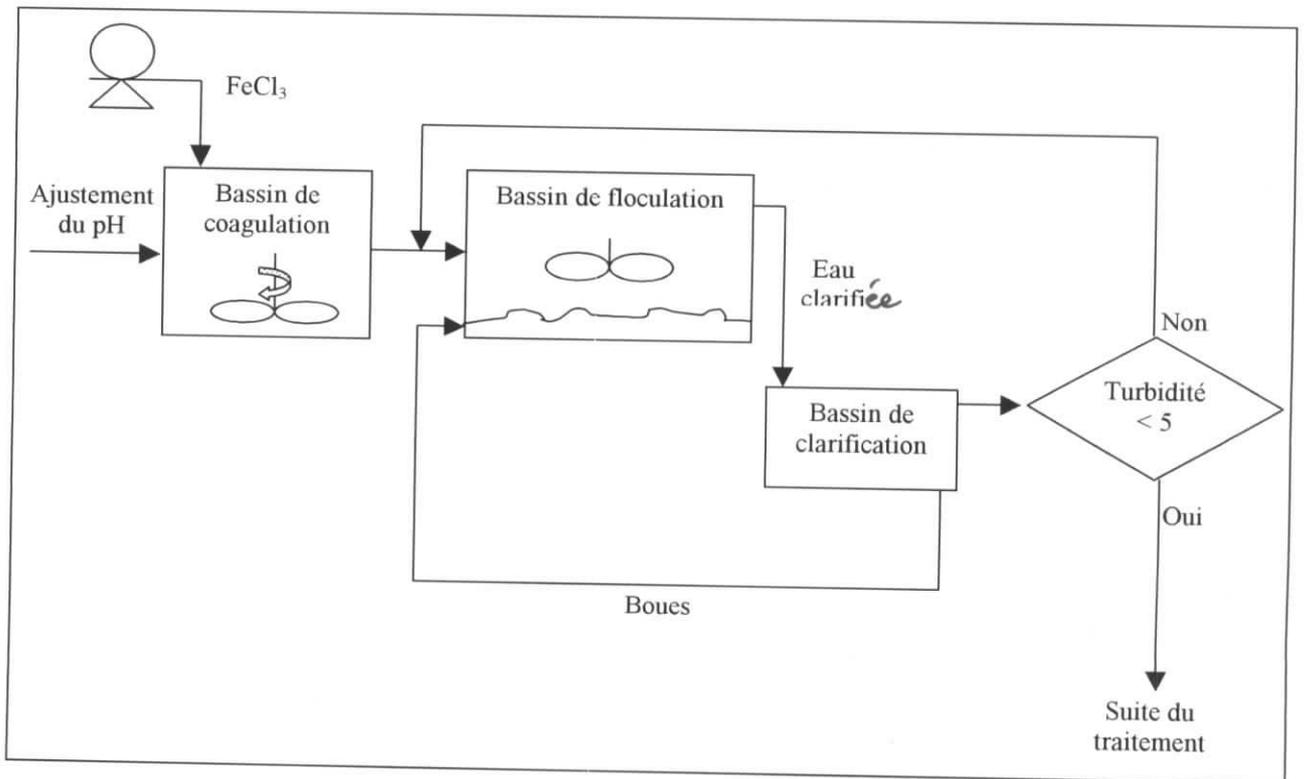


Figure 71 - Schéma de fonctionnement du dispositif de coagulation-floculation

VI.6.2.8. Conclusion

La dose optimale de C.A.P. est de 30 mg/L.

Cependant, cette dose nous paraît être élevée, ceci est dû principalement à la préparation du C.A.P., en effet, la carbonisation progressive (300-400 °C) a été conduite sous atmosphère et non sous atmosphère inerte, ce qui réduit la surface spécifique du C.A.P.

Ceci n'affecte en rien le choix de ce flocculant étant donné que les résultats sont jugés très satisfaisants.

La floculation améliore la qualité de l'eau résiduaire par adsorption des ions.

En effet, les floccules développent une surface élevée, ce qui en résulte que certaines molécules présentes dans la solution s'adsorbent sur le lit de floccules. Ceci accroît fortement l'efficacité du traitement par coagulation-floculation, cette efficacité est due à l'aspect chimique de la coagulation-floculation mais aussi l'aspect physico-chimique induit par le pouvoir des boues à constituer un lit adsorbant. [8]

Cette propriété d'adsorption est d'autant plus grande que le flocculant possède des propriétés d'adsorption physique, ce qui est le cas du C.A.P.

L'expérience montre qu'en dépit de l'hétérogénéité des boues un bon degré de reproductibilité en terme de cinétique et de cohésion des floccs est obtenue au cours de la coagulation-floculation, l'efficacité de la coagulation floculation ne dépend donc que du pH initial et non de la dose du réactif. [11]

La coagulation floculation donne des résultats homogènes contrairement à ce qu'on pourrait attendre de la nature hétérogène de l'effluent, [11] (cas de l'effluent d'A.B.C Pepsi-Rouiba).

VI.7. La désinfection[8]

La désinfection est l'opération par laquelle les germes pathogènes sont détruits par l'action d'un agent chimique, de la température ou des rayons U.V. Elle doit avoir une action germicide rapide, tout en présentant une faibles toxicité vis à vis de l'homme, ainsi qu'une relative inertie vis à vis des composés de l'eau à traiter.

La désinfection par le chlore ou l'ozone restent les plus employées, les rayons U.V. présentant une action de courte durée.

La chloration étant la plus pratique, il faudra tenir compte, lors de sa conduite :

- du pH ;
- de la nature des micro-organismes ;
- du temps de contact ;
- de la température
- ainsi que la présence de composés pouvant réagir avec le chlore.

VI.8. Le traitement des boues

Le traitement des boues résiduaires est indispensable, et passe par :

- l'épaississement ;
- la déshydratation ;

- et l'évacuation (valorisation thermique, valorisation agricole, incinération...). [8]

Les boues résultant de la coagulation floculation sont recueillies, puis épaissies par l'une des quatre voies:

- la décantation ;
- la flottation ;
- la centrifugation
- et le drainage.

L'épaississement permet de réduire le volume des boues et augmente le rendement de déshydratation. [2]

La centrifugation garantie une déshydratation continue et une bonne séparation, elle est en général la plus adaptée au traitement des boues à caractère minéral. [2]

Ce traitement concerne à la fois les boues de coagulation floculation et celles de la décantation primaire.

Après centrifugation, celles-ci sont additionnées aux boues du dégrilleur préalablement séchées, puis acheminées vers la décharge pour y être incinérées.

VI.9. Valorisation de l'eau traitée

L'eau traitée peut être valorisée sur place, au niveau de l'unité de production A.B.C. Pepsi-Rouiba, en effet, elle pourrait servir pour l'arrosage des espaces verts et l'entretiens des espaces extérieurs.

Une partie de cette eau pourrait constituer une fraction de l'eau utilisée au niveau du parc automobile pour le lavage et l'entretien des véhicules.

Autrement, elle serait déversée dans l'Oued Reghaïa et viendrait ainsi participer à l'effet de dilution, de régénération et de recirculation des eaux.

Recommandations générales

Le suivi du processus de production nous a permis de formuler un ensemble de recommandations, à savoir :

CONCLUSION

L'étude menée au niveau de l'unité de production A.B.C. Pepsi-Rouiba nous a permis de mettre en exergue un ensemble de points :

- la surconsommation en eau au cours du processus de production, en particulier pour répondre aux standards P.C.I. en ce qui concerne les sanitations et le lavage des bouteilles ;
- cette surconsommation en eau n'est pas régulière ni constante au cours du temps, elle dépend fortement des cadences de production ;
- la faible charge organique biodégradable (D.B.O.₅) que comprend l'effluent global de l'unité de production, et ce à cause des effets de dilution apportés par les rejets concentrés, l'eau de rinçage des bouteilles P.E.T., mais aussi par l'emploi de solution de soude concentrée à température élevée pour le lavage des bouteilles et les sanitations (effet détergent et désinfectant) ;
- la forte charge minérale de l'effluent due aux rejets concentrés et au rejet des eaux de régénération de l'adoucisseur ;
- les variations sporadiques des débits de rejet de l'effluent global mais surtout de ses caractéristiques physico-chimiques et biologiques, en particulier suite aux procédures de sanitation et aux vidanges ;
- toutes ces contraintes ayant orienté le traitement vers une filière physico-chimique, la coagulation floculation par le chlorure de fer ferrique additionné d'un charbon actif en poudre de fabrication locale a donné des résultats satisfaisants quant à l'abattement de la teneur en matières en

- réduire les consommations en eau de process, en particulier en ce qui concerne les sanitations ;
- élever la valeur consigne de la turbidité à 5 N.T.U. étant donné le dispositif de prétraitement, et que les osmoseurs admettent une turbidité à l'entrée de 1 N.T.U. ;
- réduire l'emploi de produits du lubrifiant chaîne (composé phénolé), car il est à l'origine de la formation de mousses stables
- et réserver les eaux de forage à la production directe de la boisson finie.

suspension, de la turbidité, de la demande biologique et biochimique en oxygène, mais aussi des résidus de fer.

Ainsi l'intérêt de notre étude à diagnostiquer les problèmes liés à l'eau dans l'unité de production A.B.C. Pepsi-Rouiba (surconsommation, débits et caractéristiques des rejets) a abouti à la formulation d'une proposition de traitement, qui en batch, a permis de conformer l'effluent aux normes algériennes de rejet des effluents industriels, atteignant ainsi l'objectif de ce travail.

Annexe A1

LE PRINCIPE DU POLLUEUR PAYEUR

A1.1. Le pollueur payeur

L'économiste Anglais Ronald Harry Coase prix Nobel d'économie en 1991 [14] et auteur de la théorie dite 'coasienne' est à l'origine du principe du "pollueur-payeur" qui connaît un franc succès dans les pays d'Amérique du Nord.

Dans son article "Le problème du coût social", paru en 1960, Coase suggère la vente et l'achat de titres dits "droits de propriété", plutôt que le recours à des taxations imposées par des instances gouvernementales.

A1.2. Le principe du pollueur payeur

L'énoncé du théorème de Coase appliqué au domaine de l'environnement est le suivant :

Si l'activité de l'agent économique A génère une nuisance pour l'agent économique B, alors la solution optimale de bien-être social consiste à ce que :

- l'agent A paie une compensation à l'agent B pour les dommages subis par B;

ou bien

- l'agent B paie une compensation à l'agent A pour la cessation de l'activité de l'agent A.

Cette réponse est souvent proposée dans le cas de pollutions industrielles, et constitue le principe même de la politique du "pollueur payeur".

Par sa théorie Coase a apporté une réflexion sur le développement durable, où l'activité industrielle non seulement ne perturbe pas l'équilibre environnemental, mais aussi interagit avec lui.

A.1.3. Commentaires

D'après Coase, dans une concurrence bien établie, les entreprises peuvent s'échanger les droits sur les ressources, sans en référer aux instances législatives.

Dans un tel cadre, une industrie fortement polluante pourrait continuer à polluer un cours d'eau par exemple, car elle aura acquit, moyennant finances, les droits de propriété des riverains ou des industries avoisinantes.

Ainsi, la politique du "pollueur et payeur" confère aux industries les plus puissantes un droit de pollution absolu et illimité.

Pour remédier à cette carence, on pourrait substituer une intervention étatique, (fortement rejetée par l'auteur) par l'adhésion des industries à une trame de normes communes, et limiter les propriétés à un certain "taux d'appropriation", et ce pendant une certaine période. Autrement, des industries pourraient acquérir les propriétés de tout un élément de l'environnement (de l'amont à l'aval d'un fleuve par exemple) et ce indéfiniment.

De plus, les éléments de l'environnement appartiennent à l'ensemble des habitants et des agents économiques, y concéder c'est prendre le risque de subir des nuisances environnementales, car le détenteur d'un droit de propriété d'un cours d'eau par exemple, peut à lui seul influencer sur l'état général de ce cours d'eau dont la propriété est, pourtant, partagée par tous.

Ce principe ne s'applique que dans un marché où la concurrence est assez bien organisée, ce qui est loin d'être le cas de l'industrie algérienne, qui pour l'instant tâtonne pour acquérir des parts de marché, et donc pour mener une activité industrielle régulière et planifiée.

Annexe A2

LES MODES OPERATOIRES POUR ANALYSES, MESURES, DOSAGES, ET PROTOCOLE DE TRAITEMENT

A2.1. Mesure de la Demande Biochimique en Oxygène au bout de 5 j (D.B.O.) [15]

La D.B.O.₅ est la concentration en mg/L d'oxygène consommé par les micro-organismes pour dégrader les matières organiques dissoutes et en suspension présentes dans un échantillon d'eau, et ce au bout de 5 j d'incubation à 20°C en milieu neutre et dans l'obscurité.

A2.1.1.Principe

L'échantillon d'eau est disposé dans une bouteille hermétiquement fermée et reliée à un manomètre à mercure, celui-ci mesure la dépression créée dans le flacon suite à la consommation des bactéries en O₂.

En effet, pour dégrader les M.O., les micro-organismes consomment de l'O₂, cette consommation d'O₂ correspond à la dépression enregistrée par le manomètre.

Etant donné que la consommation d'oxygène s'accompagne d'un dégagement de CO₂ l'interférence de celui-ci est atténuée par l'addition d'une base forte (KOH, NaOH ou LiOH) qui absorbe le CO₂. Ainsi, la dépression enregistrée par le manomètre correspond exactement à la demande en oxygène exprimée par les micro-organismes pour la dégradation de la M.O.

L'incubation est conduite pendant 5 j, en milieu neutre (bactéries neutrophiles), à 20°C (bactéries mésophiles) et dans l'obscurité pour inhiber la photosynthèse.

A2.1.2. Echantillonnage et conservation

Les échantillons prélevés dans des récipients en verre ou en polyéthylène, sont refroidis à 4°C, jusqu'à analyse. Avant celle-ci, ils sont remis à 20°C avant d'être placés dans les bouteilles du D.B.O.mètre.

A2.1.3. Limites et interférences

Un certain nombre de facteurs influent sur la mesure de la D.B.O.₅, citons :

- le pH : le pH devient un facteur limitant s'il ne s'inscrit pas dans un intervalle neutre [6,5; 8,3] ;
- la température : une diminution de celle-ci tend à prolonger la phase de latence, tandis que son élévation profite aux bactéries de l'environnement qui sont en général légèrement thermophiles, d'ou la nécessité de fixer la température à 20°C ;
- le rapport C/N/P : qui traduit l'équilibre nutritionnel des bactéries, une carence en composés azotés et/ou phosphatés constitue un facteur limitant pour la croissance bactérienne ;
- la teneur en sels minéraux : qui trop faible (eau proche de l'eau distillée) ou trop élevée (concentrat) conduit à la lyse bactérienne
- et les substances toxiques : des teneurs élevées en composés non biodégradables (pesticides, métaux lourds...) constituent un inhibiteur à la croissance bactérienne.

A2.2. Détermination de la Demande Chimique en Oxygène (D.C.O.) [16]

La présente norme française est équivalente à la Norme Internationale I.S.O. (International Standardising Organisation) 6060 datant de 1986.

La D.C.O. est la concentration en mg/L d'oxygène équivalent à la quantité de dichromate consommée pour l'oxydation des matières dissoutes et en suspension présentes dans un échantillon.

A2.2.1. Principe

Oxydation à chaud d'un échantillon en milieu acide, par du dichromate de potassium, en présence du sulfate d'argent (catalyseur d'oxydation) et du sulfate de mercure (pallie à l'interférence des chlorures en les complexant).

L'excès d'oxydant titré avec du sel de Mohr (sulfate de fer ferreux et d'ammonium) détermine la D.C.O.

A2.2.2. Echantillonnage et conservation

Les échantillons prélevés dans des récipients en verre ou en polyéthylène, sont analysés immédiatement ou bien conservé à 0-5°C après addition de 10 ml d'acide sulfurique concentré ($d=1,84$) par litre d'échantillon.

A2.2.3. Limites et interférences

Cette norme s'applique aux eaux dont la D.C.O. appartient à l'intervalle [30, 700] mg/L et dont la concentration en chlorure est inférieure à 2 g/L.

En effet, cette méthode est sensible à la présence des chlorures mais aussi à la présence d'autres agents réducteurs tels que : les nitrites, les sulfures et le fer ferreux qui contribuent à accroître le résultat.

N.B. : Dans le cadre de notre travail, la durée de l'oxydation à été réduite à 1h30, étant donné la difficulté de contrôler la température d'oxydation (risque de surchauffage).

A2.3. Mesure de la conductivité et du T.D.S.

La conductivité et le T.D.S. son mesurées immédiatement après prélèvement de l'échantillon avec un conductimètre portable. Dans les autres cas (après traitement), un certain temps pour le traitement et le transport a été observé.

A2.4. Les M.E.S. [17]

On procède par filtration d'une prise d'eau sur filtre 1 μm avec un dispositif de filtration sous pression. Après séchage à 105 °C et passage au dessiccateur, le filtre est

pesé, la masse différentielle de celui ci (avant et après filtration) donne la teneur en M.E.S. en mg rapportée au volume d'eau filtrée.

N.B. : Etant donné la difficulté de se procurer les filtres en fibre de verre à $1\mu\text{m}$, nous avons employé des filtres en polymère de porosité $0,45\mu\text{m}$.

A2.5. Dosage des minéraux (par spectrophotométrie)

A2.5.1. Dosage des ions chlorures

Lecture de la concentration après addition du thiocyanate et d'une solution ferrique à 455 nm .

A2.5.2. Dosage des ions Fe^{2+} (ou le fer ferreux)

Lecture de la concentration après addition du réactif (phénanthrol) et lecture à 510 nm .

A2.5.3. Dosage du fer total (Fe_T)

Lecture de la concentration après addition du réactif et lecture à 510

A2.5.4. Dosage des ions sulfates

Lecture de la concentration après addition du réactif (BaCl_2 et acide citrique) à 450 nm .

N.B. : Les réactifs employés pour le dosage des minéraux sont prédosés (ils sont présentés sous forme de sachets et capsules) sauf pour les chlorures où il s'agit de solutions, et le spectrophotomètre utilisé (DR 2010) est préétalonné.

Nous avons donc employé les méthodes opératoires décrites dans le Hand-Book accompagnant le spectrophotomètre.

Le dosage des minéraux est réalisé in situ, ou bien après conservation à 4°C , dans les 48 h.

A2.6. Mesure du pH

Le pH est mesuré immédiatement après le prélèvement de l'échantillon in situ, à la température de l'échantillon, puis rapporté à une température standard (25°C) selon les tables de pH-Température.

A2.7. Mesure de la température

La température est mesurée immédiatement après la prise de l'échantillon in situ, et ce avec une sonde thermomètre.

A2.8. Mesure du T.H. [15]

En milieu tampon, l'addition du séquestrant (complexant) : l'Acide Ethylène Diamine Tétracétique (E.D.T.A.) conduit, quantitativement, à la formation de complexes de magnésium et de calcium.

On dose en milieu tampon et en présence d'un indicateur (noir érichrome), le Mg^{2+} et le Ca^{2+} , avec une solution d'E.D.T.A.

A2.9. Mesure de la turbidité

La turbidité est mesurée immédiatement après le prélèvement de l'échantillon in situ ou traitement (coagulation, coagulation floculation) et ce à température ambiante avec un turbidimètre HACH. La turbidité est exprimée en N.T.U.

A2.10. L'essai en Jar-Test

A2.10.1 Conduite de l'essai de coagulation

Des prises d'eau identiques d'1 L sont disposées après ajustement du pH dans 6 bechers dans lesquels on plonge les palettes d'agitation du Jar-Test.

On traitera l'essai en trois étapes. [2]

1^{ère} étape : phase d'agitation rapide (mise en contact)

Une agitation très rapide pendant 2 mn, au début de laquelle des masses croissantes de coagulant sont introduites rapidement et simultanément dans les bechers avec des masses croissantes.

Cette étape d'agitation rapide permet d'optimiser la mise en contact du coagulant avec l'eau à traiter.

2^{ème} étape : phase d'agitation lente (agglomération)

Une agitation lente pendant 30 mn, avec pour effet l'augmentation des probabilités de rencontre et donc d'agglomération des floccs formés.

3^{ème} étape : phase de décantation (clarification)

Une décantation de l'eau pendant 45 mn sans agitation.

A2.10.2. Conduite de l'essai de coagulation-floculation

Des prises identiques d'eau d'un L sont disposées après ajustement du pH dans 6 bechers dans lesquels on plongera les palettes d'agitation du Jar-Test.

On traitera l'essai en trois étapes.

1^{ère} étape : phase d'agitation rapide (mise en contact)

Une agitation très rapide pendant 2 mn, au début de laquelle la même masse de coagulant est introduite rapidement et simultanément dans chaque becher. Cette étape d'agitation rapide permet d'optimiser la mise en contact du coagulant avec l'eau à traiter.

2^{ème} étape : phase d'agitation lente (floculation)

Une agitation lente pendant 30 mn, au début de laquelle des quantités croissantes de floculant sont additionnées rapidement et simultanément dans les bechers.

L'addition du floculant à cette étape, permet d'alourdir les agglomérations de particules et donc accélérer l'étape de clarification, par ailleurs, l'agitation lente est nécessaire car elle assure à la fois la mise en contact du floculant et protège les floccs formés d'une déstabilisation mécanique provoquée par une agitation trop forte.

3^{ème} étape : phase de décantation (clarification)

Décantation de l'eau pendant 45 mn.

N.B.

Pour les essais de coagulation et de coagulation-floculation, le surnageant sera recueilli et constituera l'eau traitée à analyser. Par ailleurs, les boues résultant de la

BIBLIOGRAPHIE

[1]	Eau: traitement, gestion, utilisation, pollution, www.H2O-96.htm
[2]	DEGREMONT, "Memento technique de l'eau" Tomes 1-2, Technique et documentation-Lavoisier, Paris, 1989
[3]	La déclaration de Marseille, 1996, www.euromed.htm
[4]	Catalogue de press, www.H2O.instantanésjanvier2002.htm
[5]	Journal Officiel de la république Algérienne, 19 juillet 1983, pp 1271-1279.
[6]	Journal Officiel de la république Algérienne, n°46, pp 5,7; 14 juillet 1993.
[7]	G.SAPORTA " Théories et méthodes de la statistique", éditions technip, Paris, 1978
[8]	W.W.ECKENFELDER, "Gestion des eaux usées urbaines et industrielles", Technique et documentation -Lavoisier, Paris, 1982
[9]	"La pratique des eaux", édition du Moniteur, Paris, 1981
[10]	H.KOHLESCHÜTTER, H.STOOFF, F.MEINCK, "Les eaux résiduaires industrielles", 2 ^{ème} édition, Masson, Paris, 1977
[11]	D.N.THOMAS, S.J. JUDD, and N.FAWCETT, "Flocculation modelling of sewage effluent", Lasentec, M2-019 Rev A, pp 1, June 2000.

coagulation-floculation seront recueillies et séchées pendant quelques mn, leurs taux d'humidité restera assez élevé.

A2.11. Les matières décantables[17]

Elles représentent le volume en ml de matières qui se déposent au fond d'un cône Imhoff et ce après de 2 h de décantation d'un volume d'eau d'un l.

[12]	D.ABDESSEMED, A.ADIN, G.NEZZAL, R.BENAIM, "Coupling flocculation with micro-ultrafiltration for waste water", www.sffiltration.org , publiée par la société française de filtration, pp 2-4 .
[14]	R.H.COASE, "La firme, le marché et le droit", 1988, Diderot éditeurs, collection Arts et Sciences, Paris, 1997.
[15]	M.THARDAT-HENRY, J.P. BEAUDRY, "Chimie des eaux", les éditions les griffons, 1984.
[16]	Norme Française NF T90-101, A.F.N.O.R., pp 197-203 , Octobre 1988.
[17]	J.RODIER, "L'analyse des eaux : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer", Tome 1, éditions Dunod, 1997.