

République Algérienne Démocratique et Populaire
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Université HASSIBA BEN BOUALI de CHLEF
جامعة حسية بن بوعلي - الشلف -
Faculté des Sciences et Sciences de l'ingénieur
Département de Génie des procédés
Spécialité : Eau et environnement

LE MEMOIRE

Présenté pour obtenir le diplôme de
MAGISTER

TRAITEMENT DES EAUX DE REJETS DE L'UNITE CERAMIT "TENES"

Présenté par :

M^{me} : EZZIANE Souad née CHERIFI

Devant le jury constitué de :

| | | |
|----------------|------------------|-----------|
| M. ABDI. B | M. C U.H.B.C | Président |
| M. OUAGUED. A | Pr. U.H.B.C | Promoteur |
| M. BELHAKEM. M | Pr. U Mostaganem | Examineur |
| M. BETTAHAR. N | Pr. U.S.T.O | Examineur |
| M. MAHMOUDI. L | C. C. U.H.B.C | Examineur |
| M. .DOUAOUI. A | M. C. U.H.B.C | Examineur |

Année: 2006-2007

ملخص

إن الحماية البيئية تبقى لها الأولوية بالنسبة لنشاط الإنسان فالتطور الصناعي لولاية الشلف دق جرس الإنذار خصوصا في السنوات الأخيرة.

بسبب التقدم الصناعي ازداد رمي المخلفات الصناعية في وادي الشلف وعلالة حيث أن هذه المخلفات أصبحت أكثر من السابق كعامل ملوث للماء مسببة المخاطر الجسيمة في استقرار البيئة. ومن هذا المنطلق ركزت دراستنا على تقدير الحمل الملوث للمخلفات السائلة والصلبة لمصنع الخزف الصحي بتنس حيث تم تسليط الضوء عبر التحاليل على وجود التراكيز القوية للمواد العالقة والمعادن الثقيلة مثل الزنك.

فمن خلال هذه النتائج تصبح المعالجة أمرا مهما مما حدا إلى تطبيق تنقية الترسيب، إن هذه العملية تعمل أولا على إزالة الجزيئات الكبيرة، فالمعالجة عن طريق التخثير والترويب تسمح بالتقليل من الحمل السمي وذلك اعتمادا على أسس عملية التخثير، الترويب والترسيب. هذه المعالجة تتبع بالترشيح لإزالة الملوثات وفي النهاية إيجاد الأبعاد لمراحل المعالجة. وبذلك يكون كفاحنا ضد التلوث ليس من أجل حماية المصادر المائية فقط بل أيضا الحفاظ على صحة السكان.

مفتاح الكلمات: التلوث، المخلفات السائلة الصناعية، تحليل التلوث، المعالجة الأولية، ترسيب،

تخثير، ترويب، ترشيح.

Résumé

La protection de l'environnement demeure une priorité vis-à-vis de l'activité de l'homme.

Le développement industriel dans la wilaya de Chlef a rendu la situation de l'environnement préoccupante par tous les intervenants en matières économiques, sociales et juridiques, surtout ces dernières années, elle a connu un véritable développement industriel marqué par l'implantation des grandes usines qui déversent leurs rejets liquides dans l'oued Chlef et l'oued Allala.

Les rejets industriels sont devenus un facteur de pollution des eaux qui risquent dans les années à venir de menacer sérieusement la stabilité de l'environnement.

Dans ce contexte, notre étude a été focalisée sur la détermination de la charge polluante des rejets de l'industrie "ceramit". Des prélèvements ont été effectués sur l'effluent liquide d'une part et d'autre part sur le dépôt solide.

L'analyse a mis en évidence l'existence d'une forte concentration des matières en suspension, les métaux lourds sont présents par une teneur élevée en zinc.

A base de ces résultats l'épuration de ces eaux s'avère nécessaire. Une décantation gravitaire a lieu en premier temps pour éliminer les plus grosses particules, puis un traitement à base de coagulant et floculant a permis de réduire considérablement cette charge toxique, en axant sur les principes de coagulation, floculation et décantation.

Ce traitement suivi d'une filtration élimine également une multitude de substances polluantes. Enfin on termine notre étude par un dimensionnement des différentes étapes de traitement.

Alors il est devenu impératif de lutter contre cette pollution, il ne s'agit pas seulement d'économiser ou de récupérer cette ressource, mais également de protéger la santé et le bien être de la population.

Mots clés : Pollution, Eau résiduaire industrielle, Analyse de polluant, Traitement primaire, Décantation, Coagulation-floculation, Filtration.

Abstract

The environmental protection remains a priority with respect to the activity of the man.

The industrial development in the wilaya of Chlef made the situation of the environment alarming by all the speakers out of economic, social and legal matters, especially these last years, it an experienced a true industrial development marked by the establishment of the large factories which flow their liquid rejections in the Chlef wadi and the Allala wadi.

The industrial wastes become more than before a factor of water deterioration, in the years has just threatened seriously the stability of the environment.

In this context, our study was focused on the determination of the polluting load of industry rejection «ceramit». Taking away was made on the liquid waste on the one hand and solid deposit on the other hand.

The analysis highlighted the existence of a strong concentration of matters in suspension , heavy metal present by a content are raised zinc.

Containing these results the purification of this water proves to be necessary. A gravitating decantation takes place in the first time to eliminate the largest particles, then a treatment containing coagulant and flocculating agent allowed yourself to reduce this toxic load considerably, while concentrating on the principles of coagulation, flocculation and decantation.

This treatment followed by a filtration also eliminates a multitude from polluting substances. Finally we finishes study by a dimensioning of the various stages of treatment.

Then it became imperative to fight against this pollution, only it is not a question to save or recover this resource, but also to protect health and the good being from the population.

Key words: Pollution, industrial Waste water, pollutant analysis, primary traitement, Decantation, Coagulation-flocculation, Filtration

DEDICACES

C'est avec un immense plaisir que je dédie ce travail à :

- Mon mari qui s'est sacrifié pour me rendre la vie facile et subvenir à tous mes besoins,
- Mes filles Ouissem et Malika,
- Ma belle mère et mon beau père qui n'ont jamais cessé de m'encourager durant mon travail,
- Mes beaux frères et mes belles sœurs,
- Mon père, ma mère et ma grand-mère,
- Mes frères et sœurs,
- Tous ceux qui aiment la science, cherchent la vérité, combattent pour protéger et sauvegarder la nature.

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier M A. OUAGUED professeur à la faculté des sciences et sciences de l'ingénieur de l'université de Chlef, mon directeur de thèse, qui m'a offert cette chance formidable de travailler sur un sujet aussi passionnant. Grâce à ces suggestions et à son suivi continue, j'ai pu apprendre ce qui est, je crois, la chose la plus importante pour un chercheur: la méthodologie de la recherche. Je lui exprime toute ma gratitude.

Je remercie également M B. ABDI doyen de la faculté des sciences et sciences de l'ingénieur à l'université de Chlef d'avoir accepté de présider le jury de cette thèse.

Mes remerciements vont aussi à M N.BETTAHAR Professeur à l'université d'Oran, à M M. BELHAKEM Professeur à l'université de Mostaganem. Ils ont été d'une extrême gentillesse en acceptant d'être membres de jury.

Je souhaiterai aussi exprimer mes profonds remerciements à M L. MAHMOUDI C.C et à M A. DOUAOUI M.C de l'université Hassiba Ben Bouali de Chlef d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Mes profonds respects et les vifs remerciements aux professeurs de génie des procédés qui n'ont jamais cessé de m'encourager par leurs idées et conseils.

J'exprime aussi mes remerciements aux techniciens de laboratoire de chimie M H. BENYAMINA, Sabah et Batoul.

Mes remerciements sont adressés aussi au directeur général de l'entreprise CERAMIT, M M. BRAIKIA qui m'a accueillie avec bienveillance dans son entreprise, à M A. ROBAINÉ responsable de laboratoire de l'usine CERAMIT pour ces conseils avisés, ainsi à M^{me} AMAMRA Mounia.

Mes sincère gratitude à toute l'équipe de la station de traitement de l'eau de Sidi-Yahkoub et l'ADE de m'avoir offert des conditions favorable pour mon travail.

Mes remerciements vont à tous mes amis (es) de la promotion de magister 2002/2003 de génie des procédés.

En fin, que toutes les personnes qu'ils m'ont idées de près ou de loin pour l'élaboration de ce travail soient vivement remerciées.

TABLE DES MATIERES

| | |
|--|------|
| ملخص | I |
| Résumé | II |
| Abstract | III |
| Dédicace | IV |
| Remerciements | V |
| Table des matières | VI |
| Liste des abréviations et signes | XI |
| Liste des tableaux | XII |
| Liste des figures | XIII |
| Introduction | XIII |
| Partie I | |
| ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE | |
| Chapitre I : Technologie céramique générale | |
| I.1-Introduction | 01 |
| I.2-Classification | 01 |
| I.2.1-Les céramiques nouvelles | 01 |
| I.2.2 -Les céramiques traditionnelles | 02 |
| I.3-Matières premières utilisées en céramique industrielle | 02 |
| I.3.1-Les matières premières plastiques | 03 |
| I.3.1.1-Les matières premières argileuses | 03 |
| a-Fonction | 03 |
| b-Classification des constituants argileux | 03 |
| c-La composition des argiles | 05 |
| I.3.1.2-Les kaolins | 06 |
| I.3.2-Les matières premières dures ou matériaux non plastiques | 06 |
| I.3.2.1-Les dégraissants | 06 |
| a-La Silice | 06 |
| b-Les argiles cuites ou chamottes | 07 |
| I.3.2.2-Les fondants | 07 |
| a-Feldspaths | 07 |
| b-Micas | 07 |
| c-Le talc | 07 |
| d-Craie : Calcaire pur | 07 |
| I.3.3-Matières premières des émaux et couleurs céramiques | 08 |
| I.4-La céramique et la pollution | 08 |
| Chapitre II : Les eaux résiduaires industrielles | |
| II.1-Introduction | 09 |
| II.2-Origine de la pollution des eaux | 09 |
| II.2.1-La pollution domestique | 09 |
| II.2.2 La pollution agricole | 09 |
| II.2.3 La pollution industrielle-les eaux résiduaires industrielles- | 09 |
| II.2.3.1 Définition | 09 |
| II.3-Les eaux résiduaires industrielles | 10 |
| II.3.1-Volume et composition | 10 |
| II.3.2-Classification des eaux résiduaires industrielles | 10 |
| II.3.2.1-Les eaux résiduaires a caractère minéral dominant | 10 |
| II.3.2.2-Les eaux résiduaires a caractère organique dominant | 11 |
| II.3.2.3-Les eaux résiduaires à caractère mixte | 11 |

| | |
|--|----|
| II.3.3-Les différents types d'eaux résiduaires industrielles | 12 |
| II.3.3.1-Eaux générales de fabrication ou de procédé | 12 |
| II.3.3.2-Eaux des circuits de refroidissement | 12 |
| II.3.3.3-Eaux de lavage des sols et machines | 12 |
| II.3.4-Caractérisation générale des effluents | 12 |
| II.3.5-Incidence sur l'environnement | 13 |
| II.3.6-La protection de l'environnement | 17 |
| II.3.7-Procédés de traitement des eaux résiduaires | 18 |
| Chapitre III : Traitement physico-chimique des eaux résiduaires | |
| III.1-Introduction | 20 |
| III.2-Types de traitements | 20 |
| III.2.1-Traitement physique | 20 |
| III.2.1.1-La décantation | 20 |
| 1.1-Introduction | 20 |
| 1.2-Définition de la décantation | 20 |
| 1.3-Classification des matières décantables | 20 |
| 1.4-Types de décantation | 21 |
| 1.4.1-Décantation de particules discrètes | 21 |
| 1.4.1.1-Principe de base | 21 |
| 1.4.2-Décantation de particules floculantes | 24 |
| 1.4.2.1-Principes de base | 24 |
| 1.4.2.2-Essai de décantation en colonne | 25 |
| 1.4.3-Décantation freinée | 27 |
| 1.4.4-Décantation en compression de boue | 27 |
| 1.5-Les décanteurs | 27 |
| 1.5.1-Théorie du décanteur parfait | 28 |
| 1.5.1.1-Bassin rectangulaire à fond horizontal | 28 |
| 1.5.1.2-Bassins circulaires à radier plat et alimentation centrale | 30 |
| 1.5.2-Le décanteur réel | 31 |
| 1.6-Problèmes de décantation | 32 |
| III.2.1.2-La filtration | 32 |
| 1-Généralités | 32 |
| 2-Mécanisme de filtration | 32 |
| 2.1-Mécanisme de capture | 32 |
| 2.2-Mécanisme de fixation | 33 |
| 2.3-Mécanisme de détachement | 33 |
| 3-Matériaux filtrants | 33 |
| 4-Nature du milieu filtrant | 33 |
| 5-Caractéristiques des matériaux filtrants | 34 |
| 5.1-Diamètre effectif et coefficient d'uniformité | 34 |
| 5.2 Densité relative du sable | 35 |
| 5.3-Porosité | 35 |
| 5.4-La perméabilité | 35 |
| 6-Les différents procédés de filtration | 35 |
| 6.1-La filtration par gravité | 36 |
| 6.2-La filtration par surpression | 36 |
| 6.3-La filtration sous pression réduite | 36 |
| 7-Types de filtre | 36 |
| 7.1-La filtration lente | 36 |
| 7.2-La filtration rapide | 37 |

| | |
|---|----|
| 7.3-Filtration sous pression | 38 |
| 7.4-Filtration à terre diatomée | 38 |
| III.2.2 traitement chimique | 39 |
| 1-Introduction | 39 |
| 2-Système colloïdale | 39 |
| 2.1-Nature des systèmes colloïdaux | 41 |
| 2.1.1-Les particules hydrophobes | 41 |
| 2.1.2-Les particules hydrophiles | 41 |
| 2.2-Stabilité des particules | 41 |
| 2.3-Potentiel Zêta | 43 |
| 3-La coagulation-floculation | 43 |
| 3.1-La coagulation | 44 |
| 3.1.1-Mécanisme de la coagulation | 44 |
| 3.1.2-Facteurs influençant la coagulation | 47 |
| 3.1.2.1-L'influence du pH | 47 |
| 3.1.2.2-L'influence de la minéralisation | 47 |
| 3.1.2.3-L'influence de la température de l'eau | 47 |
| 3.1.2.4-L'influence de coagulant | 48 |
| 3.1.2.5-Conditions d'agitation | 48 |
| 3.1.2.6-Nature et charges des substances colloïdales | 48 |
| 3.1.3-Réactifs utilisés en coagulation | 49 |
| 1-Les sels d'aluminium | 49 |
| 1.1-Hydrolyse des sels d'aluminium | 50 |
| 2-Sels de fer | 53 |
| 3.2-La floculation | 54 |
| 3.2.1-Types de floculation | 55 |
| 3.2.1.1-Floculation péricinétique | 55 |
| 3.2.1.2-Floculation orthocinétique | 55 |
| 3.2.1.2.1-Définition du gradient de vitesse | 56 |
| 3.2.1.2.2-Théorie de la floculation | 56 |
| 3.2.2-Cas d'un flocculateur «Jar-test » | 57 |
| 3.2.3-Les différents types de flocculants | 58 |
| 3.2.4-Mécanisme d'action des polyélectrolytes | 60 |
| 1-Mécanismes de neutralisation de la charge électrique | 60 |
| 2-Mécanismes d'adsorption et de réticulation | 61 |
| Partie II : Etude expérimentale | |
| Chapitre IV : Prélèvement, échantillonnage, résultats et discussion | |
| IV.1-Prélèvement des échantillons | 62 |
| IV.2-Matériels et appareillages d'analyse | 67 |
| VI.3-Les méthodes d'analyse | 67 |
| IV.4-Résultats des analyses | 68 |
| IV.4.1-Résultats d'analyse du point X_1 de la partie liquide | 68 |
| IV.4.2-Résultats d'analyse du point X_2 | 71 |
| IV.4.3-Résultats d'analyse du point X_3 | 72 |
| IV.5-Interprétation des résultats de l'analyse | 72 |
| IV.5.1-Interprétation des résultats de l'analyse du point X_1 de la phase liquide | 72 |
| 1-Les paramètres physico-chimiques | 72 |
| 2-Les paramètres de pollution | 81 |
| 3-La minéralisation globale | 83 |
| 4-Les paramètres indésirables | 87 |

| | |
|--|-----|
| IV.5.2-Comparaison des résultats de l'analyse du point X_1 , X_2 , X_3 | 89 |
| IV.6-Les analyses de la phase solide du point X_1 | 91 |
| IV.6.1-Les résultats de l'analyse de la phase solide | 91 |
| IV.6.2-Interprétation des résultats de l'analyse | 92 |
| IV.7-Les analyses de l'eau de rejet à différentes périodes de la journée | 94 |
| IV.7.1- les analyses de la partie liquide | 94 |
| 1-Résultats de l'analyse | 94 |
| 2-Interprétation des résultats | 95 |
| IV.7.2-Les analyses de la phase solide à différentes périodes de la journée | 97 |
| IV.8-Interprétation des résultats | 98 |
| IV.8.1-Interprétation des résultats de la phase liquide | 98 |
| 1-Les paramètres physico-chimiques | 98 |
| 2-Les paramètres de pollution | 100 |
| 3-La minéralisation globale | 101 |
| 4-Les paramètres indésirables | 103 |
| IV.8.2-Interprétation des résultats de la phase solide | 103 |
| Chapitre V : Calcul et dimensionnement | |
| Introduction | 105 |
| A-Dimensionnement d'un décanteur | 105 |
| V.1-Le traitement physique | 105 |
| V.1.1-L'analyse de l'eau avant et après décantation | 106 |
| 1-L'analyse de l'eau avant et après décantation à la date du 20-02-06 | 106 |
| 2-L'analyse de l'eau avant et après décantation à la date du 20-03-06 | 107 |
| 3-L'analyse de l'eau avant et après décantation à la date du 17-04-06 | 108 |
| 4-L'analyse de l'eau avant et après décantation à la date du 15-05-06 | 110 |
| V.2-Ouvrage de sédimentation | 125 |
| 1-Dimensionnement du bassin de sédimentation | 125 |
| 1.1-Calcul de la profondeur | 125 |
| 1.2-Détermination du diamètre de la particule | 126 |
| 1.3-Calcul de la surface du bassin | 127 |
| 1.4-Calcul de la longueur L et de la largeur l | 128 |
| 2-Vérification hydraulique du fonctionnement du bassin | 129 |
| 3-Dimensionnement des organes du bassin de sédimentation | 130 |
| 3.1-Dispositif d'entrée | 130 |
| 3.2-Dispositif de sortie | 132 |
| B-Dimensionnement d'un bassin de coagulation-floculation | 134 |
| V.2 Le traitement chimique | 134 |
| 1-Etude expérimentale de la coagulation-floculation | 134 |
| 1.1-Introduction | 134 |
| 1.2-Choix d'un coagulant et d'un floculant | 134 |
| 1.2.1-Choix des coagulants | 134 |
| 1.2.2-Choix des floculants | 134 |
| 1.3-Dispositif expérimental et préparation des échantillons | 135 |
| 1.3.1-Jart-test | 135 |
| 1.3.2-Réactifs utilisés | 135 |
| 1.3.3-Protocole expérimental | 136 |
| 1.4-Résultats expérimentaux | 136 |
| 1.4.1-Introduction | 136 |
| 1.4.2-Détermination de la concentration optimale de coagulant | 136 |
| 1-Sulfate d'aluminium | 136 |

| | |
|---|-----|
| 2-Chlorure ferrique | 137 |
| 1.4.3-Sélection des réactifs de coagulations floculation | 139 |
| 1.5-Comparaison des résultats | 142 |
| 1.6-Recherche des paramètres de clarification des eaux résiduaires traitées par coagulation-floculation | 144 |
| 1.6.1 La dose du coagulant $Al_2(SO_4)_3$ | 145 |
| 1.6.2 La dose du floculant anionique | 146 |
| 1.6.3 Vitesse et durée d'agitation durant la coagulation | 147 |
| 1.6.4 Vitesse et durée d'agitation durant la floculation | 149 |
| 1.7 Dimensionnement d'un bassin de coagulation-floculation | 152 |
| 1.7.1 La coagulation | 152 |
| 1.7.2 La floculation | 153 |
| 1.8 Clarificateur ou décanteur secondaire | 157 |
| C-Dimensionnement d'un bassin de filtration | 160 |
| V.3 La filtration | 160 |
| V.3.1 Choix du matériau filtrant | 160 |
| V.3.2-Dispositif expérimental | 162 |
| V.3.3-Fonctionnement du filtre | 162 |
| V.3.4 L'analyse de l'eau après filtration | 164 |
| V.3.5 Interprétation des résultats | 164 |
| V.3.6-Dimensionnement du filtre lent | 168 |
| 1-Calcul de la surface totale de filtration | 168 |
| 2-Calcul de la hauteur du filtre | 168 |
| V.3.7 Analyse physico-chimique et bactériologique | 169 |
| Conclusion | 170 |
| Conclusion et suggestion | |
| Références bibliographiques | |
| Annexe I | |
| Annexe II | |
| Annexe III | |

Liste des abréviations et signes

| | |
|----------|--|
| A_0 | L'aire d'un orifice [L^2] |
| A_g | Surface de la goulotte [L^2] |
| A_t | Surface totale des orifices [L^2] |
| C_u | Coefficient d'uniformité |
| Cond | Conductivité électrique |
| C_c | Concentration du coagulant (mg/l) |
| C_f | Concentration du flocculant (mg/l) |
| CNTC | Centre National de Technologie et de Consulting |
| D | Diamètre [L] |
| d | Diamètre de la particule solide [L] |
| D_{10} | Diamètre effectif (mm) |
| DBO_5 | Demande biochimique en oxygène |
| DCO | Demande chimique en oxygène |
| ERD | Eau résiduaire domestique |
| ERI | Eau résiduaire industrielle |
| F_r | Nombre de Froude |
| H, h | Hauteur [L] |
| L | Longueur [L] |
| l, b | Largeur [L] |
| MES | Matière en suspension (mg/l) |
| NFT | Norme française |
| NTU | Unité Néphélométrique de Turbidité |
| OMS | Organisation mondiale de la santé |
| ORGM | Office National des Recherches Géologique et Minière |
| PA | Polyélectrolyte anionique |
| PC | Polyélectrolyte cationique |
| PN | Polymère neutre |
| Pas | Pascal |
| pH | Potentiel d'hydrogène |
| PAF | Perte au feu |
| ppm | Partie par million |
| Pt/co | Platine/cobalte |
| Q | Débit d'eau [L^3T^{-1}] |
| RS | Résidu sec |
| RC | Résidu calciné |
| S ou A | Surface [L^2] |
| t_s | Temps de séjours [T] |
| TA | Titre alcalimétrique |
| TAC | Titre alcalimétrique complet |
| TDS | Taux des sels dissous |
| Trs/min | Tours/minute |
| Tur | Turbidité |
| TH | Titre hydrotimétrique |
| V | Volume [L^3] |
| v | Vitesse de chute ou sédimentation [LT^{-1}] |
| v' | Vitesse de l'écoulement de l'eau [LT^{-1}] |

| | |
|------------|---|
| μ | Viscosité dynamique $[ML^{-1}T^{-1}]$ |
| ν | Viscosité cinématique $[L^2T^{-1}]$ |
| ρ_l | Masse volumique de l'eau $[ML^{-3}]$ |
| ρ_p | Masse volumique de la particule $[ML^{-3}]$ |
| γ_p | Densité de la particule solide |
| γ_l | Densité du liquide |

Liste des tableaux

Chapitre I : Technologie céramique générale

| | |
|--|----|
| Tableau I.1 : Composition chimique des matières premières pour pâtes et émaux de l'unité céramit | 04 |
|--|----|

Chapitre III : Traitement physico-chimique des eaux résiduaires

| | |
|--|----|
| Tableau III.1 : Les différents valeurs de a , n et C_D en fonction du nombre de Reynolds | 23 |
| Tableau III.2 : Application des sables en fonction de leur taille effective | 34 |
| Tableau III.3: Réaction d'hydrolyse de Al (III) et constante d'équilibre à 25°C | 51 |
| Tableau III.5 : Récapitule quelques valeurs de C_d et U_l/U_p par différents auteurs | 58 |

Chapitre IV : Prélèvement, échantillonnage, résultats et discussion

| | |
|--|-----|
| Tableau IV.1 : type d'appareillages utilisés pour les différentes analyses | 67 |
| Tableau IV.2, a_1 : Paramètres physico-chimiques durant l'année 2004 | 68 |
| Tableau IV.2, a_2 : Paramètres physico-chimiques durant l'année 2005 | 68 |
| Tableau IV.2, a_3 : Paramètres physico-chimiques durant l'année 2006 | 69 |
| Tableau IV.2, b : Paramètres de pollution | 70 |
| Tableau IV.2, c : Minéralisation globale | 70 |
| Tableau IV.2, d : Paramètres indésirables | 70 |
| Tableau IV.2, e : Paramètres toxiques | 71 |
| Tableau IV.3 : Résultats d'analyse du point X_2 | 71 |
| Tableau IV.4 : Résultats d'analyse du point X_3 | 72 |
| Tableau IV.5, a : Les éléments majeurs | 91 |
| Tableau IV.5, b : Les éléments mineurs | 92 |
| Tableau IV.6, a : Les résultats de l'analyse physico-chimique de l'eau pour différentes heures de la journée | 94 |
| Tableau IV.6, b : Paramètres de pollution | 94 |
| Tableau IV.6, c : Minéralisation globale | 95 |
| Tableau IV.6, d : Paramètres indésirables | 95 |
| Tableau IV.7, a : Les éléments majeurs | 101 |
| Tableau IV.7, b : Les éléments mineurs | 101 |

Chapitre V : Calcul et dimensionnement

| | |
|--|-----|
| Tableau V.1 : Les résultats de l'analyse de l'eau avant et après décantation à la date 20-02-06 | 105 |
| Tableau V.2 : Les résultats de l'analyse de l'eau avant et après décantation à la date 20-03-06 | 106 |
| Tableau V.3 : Les résultats de l'analyse de l'eau avant et après décantation à la date 17-04-06 | 107 |
| Tableau V.4 : Les résultats de l'analyse de l'eau avant et après décantation à la date 15-05-06 | 108 |
| Tableau V.5 : Taille de particules communes | 124 |
| Tableau V.6 : Réduction de la turbidité pour différentes concentrations de coagulant sulfate d'aluminium | 134 |
| Tableau V.7 : Réduction de la turbidité pour différents concentrations de coagulant Chlorure ferrique | 134 |
| Tableau V.8 : Réduction de la turbidité pour différentes concentrations de polyélectrolyte anionique | 135 |

| | |
|---|-----|
| Tableau V.9: Les combinaisons coagulants-floculants | 136 |
| Tableau V.10: Réduction de la turbidité pour le mélange sulfate d'aluminium + PC | 136 |
| Tableau V.11 : Réduction de la turbidité pour le mélange sulfate d'aluminium + PA | 136 |
| Tableau V.12 : Réduction de la turbidité pour le mélange sulfate d'aluminium + PN | 137 |
| Tableau V.13: Réduction de la turbidité pour le mélange Chlorure ferrique + PC | 137 |
| Tableau V.14 : Réduction de la turbidité pour le mélange chlorure ferrique + PA | 137 |
| Tableau V.15: Réduction de la turbidité pour le mélange chlorure ferrique + PN | 138 |
| Tableau V.16: résultats des analyses physico-chimiques obtenus après un traitement chimique par coagulation-floculation | 140 |
| Tableau V.17, a : Les éléments majeurs | 140 |
| Tableau V.17, b : Les éléments mineurs | 141 |
| Tableau V.18 : Réduction de la turbidité pour différentes concentrations de sulfate d'aluminium | 142 |
| Tableau V.19: Réduction de la turbidité pour différentes concentrations de floculant anionique | 143 |
| V.20: Réduction de la turbidité pour différentes vitesses durant la coagulation | 145 |
| Tableau V.21: Réduction de la turbidité pour différents temps d'agitation durant la coagulation | 145 |
| Tableau V.22: Réduction de la turbidité pour différents vitesses d'agitation durant la floculation | 146 |
| Tableau V.23: Réduction de la turbidité pour différents temps d'agitation durant la floculation | 147 |
| Tableau V.24: Les paramètres de clarification des eaux de rejet après le traitement chimique | 149 |
| Tableau V.25 : L'analyse granulométrique du sable | 158 |
| Tableau V.26 : Les résultats de l'analyse après filtration | 161 |
| Tableau V.27: Paramètres physico-chimiques | 166 |
| Tableau V.28: Minéralisation globale | 166 |
| Tableau V.29: Paramètres indésirables | 167 |
| Tableau V.30 : Résultats d'analyse bactériologique | 167 |

Liste des figures

Chapitre II : Les eaux résiduaires industrielles

| | |
|---|----|
| Figure II.1 : Etape de traitement d'eau résiduaire : schéma général de répartition des procédés | 19 |
|---|----|

Chapitre III : Traitement physico-chimique des eaux résiduaires

| | |
|--|----|
| Figure III.1 : Forces agissantes sur une particule qui chute | 22 |
| Figure III.2 : Vitesse de décantation de particules flocculantes | 26 |
| Figure III.3 : Colonne de décantation | 26 |
| Figure III.4 : Courbe de mêmes pourcentages d'élimination des particules | 27 |
| Figure III.5 : Bassin de décantation idéal rectangulaire à fond horizontal | 29 |
| Figure III.6 : Décanteur circulaire à radier plat et alimentation centrale | 31 |
| Figure III.7 : Exemple de filtre (coupe schématique) | 37 |
| Figure III.8 : Classification des particules en fonction de leur diamètre et de méthodes de séparation | 40 |
| Figure III.9 : Représentation schématique de la double couche d'une particule colloïdale | 42 |
| Figure III.10 : Représentation schématique de la compression de la couche diffuse | 45 |
| Figure III.11 : Représentation schématique de neutralisation des charges | 45 |
| Figure III.12 : Emprisonnement des particules dans les floccs pendant la décantation | 46 |
| Figure III.13 : Adsorption et pontage à l'aide de polymères | 46 |
| Figure III.14 : Diagramme de stabilité des espèces ioniques dérivant de l'hydrolyse des sels d'aluminium | 52 |
| Figure III.15 : Diagramme de solubilité dans l'eau de $Al(OH)_3$ à 25°C | 52 |
| Figure III.16 : Diagramme de stabilité des espèces ioniques dérivant de l'hydrolyse des sels de fer | 54 |
| Figure III.17 : Variation du potentiel Zêta en fonction de la concentration de réactif | 61 |

Chapitre IV : Prélèvement, échantillonnage, résultats et discussion

| | |
|---|----|
| Figure IV.1 : Présentation des points de prélèvement | 63 |
| Figure IV.2 : Plan d'assainissement général de l'unité | 65 |
| Figure IV.3 : évolution de la température en fonction du temps durant les trois années | 73 |
| Figure IV.4 : évolution du pH en fonction du temps durant les trois années | 75 |
| Figure IV.5 : évolution de la conductivité en fonction du temps durant les trois années | 76 |
| Figure IV.6 : évolution de la turbidité en fonction du temps durant les trois années | 77 |
| Figure IV.7 : évolution des MES en fonction du temps durant les trois années | 78 |
| Figure IV.8 : évolution de RS en fonction du temps durant les trois années | 79 |
| Figure IV.9 : évolution du RC en fonction du temps | 80 |
| Figure IV.10 : évolution du PAF en fonction du temps | 80 |
| Figure IV.11 : évolution de la matière décantable en fonction du temps | 81 |

| | |
|--|-----|
| Figure IV.12 : évolution de la DCO en fonction du temps | 82 |
| Figure IV.13 : évolution de la DBO ₅ en fonction du temps | 83 |
| Figure IV.14 : évolution de la dureté en fonction du temps | 84 |
| Figure IV.15 : évolution de TAC en fonction du temps | 85 |
| Figure IV.16 : évolution de sodium en fonction du temps | 86 |
| Figure IV.17 : évolution de potassium en fonction du temps | 86 |
| Figure IV.18 : évolution des chlorure en fonction du temps | 87 |
| Figure IV.19 : évolution du zinc en fonction du temps | 87 |
| Figure IV.20 : évolution du fer en fonction du temps | 88 |
| Figure IV.21 : évolution de la conductivité en fonction du temps des trois prélèvements X ₁ , X ₂ et X ₃ | 89 |
| Figure IV.22 : évolution de la turbidité en fonction du temps des trois prélèvements X ₁ , X ₂ et X ₃ | 89 |
| Figure IV.23 : évolution des MES en fonction du temps des trois prélèvements X ₁ , X ₂ et X ₃ | 90 |
| Figure IV.24 : évolution du RS en fonction du temps des trois prélèvements X ₁ , X ₂ et X ₃ | 90 |
| Figure IV.25 : évolution de SiO ₂ en fonction du temps | 93 |
| Figure IV.26 : évolution de Al ₂ O ₃ en fonction du temps | 93 |
| Figure IV.27 : évolution de Na ₂ O en fonction du temps | 93 |
| Figure IV.28 : évolution de la conductivité en fonction du temps pendant la journée | 96 |
| Figure IV.29 : évolution des MES en fonction du temps pendant la journée | 96 |
| Figure IV.30 : évolution de la turbidité en fonction du temps pendant la journée | 97 |
| Figure IV.31 : évolution du RS en fonction du temps pendant la journée | 97 |
| Figure IV.32 : évolution de la DCO en fonction du temps pendant la journée | 98 |
| Figure IV.33 : évolution de la DBO ₅ en fonction du temps pendant la journée | 98 |
| Figure IV.34 : évolution des chlorures en fonction du temps pendant la journée | 99 |
| Figure IV.35 : évolution de la dureté en fonction du temps pendant la journée | 99 |
| Figure IV.36 : évolution de TAC en fonction du temps pendant la journée | 100 |
| Figure IV.37 : évolution du zinc en fonction du temps pendant la journée | 100 |
| Figure IV.38 : évolution de SiO ₂ en fonction du temps pendant la journée | 102 |
| Figure IV.39 : évolution de Al ₂ O ₃ en fonction du temps pendant la journée | 102 |
| Figure IV.40 : évolution de Al ₂ O ₃ en fonction du temps pendant la journée | 103 |

Chapitre V : Calcul et dimensionnement

| | |
|--|-----|
| Figure V.1: Représentation de la colonne de decantation | 104 |
| Figure V.2 : Variation des MES en fonction de la hauteur de décantation à différents temps à la date 20-02-2006 | 110 |
| Figure V.3 : Variation des MES en fonction du temps de décantation à différentes hauteurs à la date 20-02-2006 | 110 |
| Figure V.4: Variation des MES en fonction de la hauteur de décantation à différents temps à la date 20-03-2006 | 111 |
| Figure V.5 : Variation des MES en fonction du temps de décantation à différentes hauteurs à la date 20-03-2006 | 111 |
| Figure V.6 : Variation des MES en fonction de la hauteur de décantation à différents temps à la date 17-04-2006 | 112 |
| Figure V.7: Variation des MES en fonction du temps de décantation à différentes hauteurs à la date 17-04-2006 | 112 |
| Figure V.8 : Variation des MES en fonction de la hauteur de décantation à différents temps à la date 15-05-2006 | 113 |

| | |
|--|-----|
| Figure V.9: Variation des MES en fonction du temps de décantation à différentes hauteurs à la date 15-05-2006 | 113 |
| Figure V.10: Variation de la turbidité en fonction de la hauteur de décantation à différents temps à la date 20-02-2006 | 115 |
| Figure V.11 : Variation de la turbidité en fonction du temps de décantation à différentes hauteurs à la date 20-02-2006 | 115 |
| Figure V.12: Variation de la turbidité en fonction de la hauteur de décantation à différents temps à la date 20-03-2006 | 116 |
| Figure V.13 : Variation de la turbidité en fonction du temps de décantation à différentes hauteurs à la date 20-03-2006 | 116 |
| Figure V.14 : Variation de la turbidité en fonction de la hauteur de décantation à différents temps à la date 17-04-2006 | 117 |
| Figure V.15 : Variation de la turbidité en fonction du temps de décantation à différentes hauteurs à la date 17-04-2006 | 117 |
| Figure V.16 : Variation de la turbidité en fonction de la hauteur de décantation à différents temps à la date 15-05-2006 | 118 |
| Figure V.17 : Variation de la turbidité en fonction du temps de décantation à différentes hauteurs à la date 17-04-2006 | 118 |
| Figure V.18 : Variation des RS en fonction de la hauteur de décantation à différents temps à la date 20-02-2006 | 119 |
| Figure V.19 : Variation des RS en fonction du temps de décantation à différentes hauteurs à la date 20-02-2006 | 119 |
| Figure V.20 : Variation de RS en fonction de la hauteur de décantation à différents temps à la date 20-03-2006 | 120 |
| Figure V.21 : Variation des RS en fonction du temps de décantation à différentes hauteurs à la date 20-03-2006 | 120 |
| Figure V.22 : Variation de RS en fonction de la hauteur de décantation à différents temps à la date 17-04-2006 | 121 |
| Figure V.23 : Variation des RS en fonction du temps de décantation à différentes hauteurs à la date 17-04-2006 | 121 |
| Figure V.24 : Variation de RS en fonction de la hauteur de décantation à différents temps à la date 15-05-2006 | 122 |
| Figure V.25 : Variation des RS en fonction du temps de décantation à différentes hauteurs à la date 15-05-2006 | 122 |
| Figure V.26 : trajectoire suivie par les particules dans la zone de sédimentation. | 125 |
| Figure V.27 : Dispositif d'entrée du bassin de sédimentation | 128 |
| Figure V.28 : Dispositif de sortie d'un bassin de sédimentation | 130 |
| Figure V.29 : Dispositif expérimental de la coagulation floculation "jar-test" | 132 |
| Figure V.30 : Comparaison du pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la concentration du sulfate d'aluminium et du chlorure ferrique | 134 |
| Figure V.31 : Pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la concentration du polyélectrolyte anionique | 135 |
| Figure V.32: variation du pourcentage de réduction de la turbidité en fonction du pH pour la concentration optimale de sulfate d'aluminium et les 4 adjuvants de floculation | 138 |
| Figure V.33 : variation du pourcentage de réduction de la turbidité en fonction du pH pour la concentration optimale de chlorure ferrique et les 4 adjuvants de floculation | 139 |
| Figure V.34 : Pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la concentration du sulfate d'aluminium | 142 |

| | |
|--|-----|
| Figure V.35: Pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la concentration du flocculant anionique | 144 |
| Figure V.36: Pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la vitesse d'agitation durant la coagulation | 145 |
| Figure V.37 : Pourcentage de réduction de la turbidité en fonction du temps d'agitation durant la coagulation | 146 |
| Figure V.38 : Pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la vitesse d'agitation durant la floculation | 147 |
| Figure V.39 : Pourcentage de réduction de la turbidité en fonction du temps d'agitation durant la floculation | 148 |
| Figure V.40 : Représentation schématique des deux lames de l'agitateur | 151 |
| Figure V.41 : Courbe granulométrique du sable | 158 |
| Figure V.42 : Représentation schématique de la filtration sur un lit granulaire | 160 |
| Figure V.43 : évolution de la turbidité en fonction du temps de filtration | 162 |
| Figure V.44 : évolution de la turbidité en fonction de la hauteur du lit de sable | 162 |
| Figure V.45: évolution des MES en fonction du temps de filtration | 163 |
| Figure V.46 : évolution des MES en fonction de la hauteur du lit de sable | 163 |
| Figure V.47 : évolution du RS en fonction du temps de filtration. | 164 |
| Figure V.48 : évolution du RS en fonction de la hauteur du lit de sable | 164 |
| Figure V.49 : Proposition d'une station d'épuration | 168 |
| | |
| Photo IV.1 : Présentation du rejet principal (point X_1) | 63 |
| Photo IV.2 : Présentation du point X_2 | 64 |
| Photo IV.3 : Présentation du point X_3 | 64 |

Introduction

Les rejets industriels et domestiques constituent des sources de pollution portant gravement atteinte à la qualité de l'environnement, lui causant souvent des préjudices irréparables.

La protection de l'environnement exige une attention particulière à l'égard des activités industrielles qui, en raison des procédés de fabrication et de transformation de la matière première en produit fini, utilisent de grandes quantités d'eau et génèrent par la suite des rejets polluants d'une extrême diversité. On a affaire à des eaux résiduaires de compositions hétérogènes dont certaines peuvent avoir éventuellement un caractère toxique plus ou moins marqué, provoquant ainsi la dégradation des écosystèmes par l'introduction des substances polluantes.

Si l'industrialisation a pour finalité de satisfaire les besoins croissants des populations, elle ne doit pas, en retour, être la source de leur maux tant il est vrai que l'expansion de l'industrie va de pair avec celle de la pollution.

Pour l'industriel, l'eau est devenue un critère important dans la productivité. Il doit tenir compte de son coût pour établir ses prix de revient. L'augmentation continue des besoins en eau, dans la grande majorité des techniques de fabrications industrielles, le conduit à faire face à un certain nombre de contraintes liées à cette consommation qui génèrent par conséquent de grandes quantités d'eaux résiduaires. Ces dernières années les lois environnementales exigent aux industriels de payer une taxe sur leurs rejets liquides ou solides qui dépend du volume de ces derniers. Donc pour une meilleure gestion de l'industrie vis-à-vis du prix de revient, la réduction du volume des rejets est nécessaire, elle passe tout d'abord par la lutte contre le gaspillage de l'eau utilisée, ensuite par de nouvelle technique de fabrication demandant un faible volume d'eau.

Les rejets industriels sont devenus un facteur de pollution qu'il faut prendre en considération pour l'équilibre de l'écosystème. Alors il est devenu impératif de lutter contre cette pollution, de prendre des mesures très sévère, en instaurant des lois répressives contre

les rejets non traités, afin de protéger notre environnement (la santé de l'homme, la faune et la flore, etc....).

Si l'épuration des eaux urbains et industrielles apparaît comme une nécessité vitale, elle constitue une ressource en eau complémentaire utilisable dans l'agriculture et l'industrie. Le développement industriel dans la wilaya de Chlef, et l'implantation des grandes usines qui déversent leur rejets polluants dans les cours d'eau (oued Chlef et oued Allala) menace la faune et la flore et causent des dangers et des nuisances environnementaux. Dans ce contexte notre étude a été focalisée sur la détermination de la charge polluante des rejets de l'industrie céramit.

Cette industrie, se caractérise par un apport en eau considérable et par conséquent un rejet important d'eaux résiduaires, transportant les différents résidus de fabrication auxquels sont associés les matières minérales et quelques métaux lourds.

Notre travail a porté sur l'étude des traitements physico-chimique des eaux résiduaires de l'industrie « Céramit ».

Il comporte cinq chapitres :

Le chapitre I donne un aperçu général sur la céramique, et la composition des matières premières utilisées.

Dans le chapitre II, on retrouve les caractéristiques, la composition, la toxicité ainsi que la classification des eaux résiduaires industrielles.

Le chapitre III donne les différentes procédures de traitement des eaux.

Dans le chapitre IV nous présenterons l'échantillonnage, et l'analyse des différents paramètres

Dans le chapitre V on retrouve les procédures de traitement physico-chimique et les calculs de dimensionnement des différents ouvrages.

Partie I

Etude bibliographique

Chapitre I

Technologie céramique générale

I.1-Introduction : [1]

La céramique a été jadis l'art de fabriquer des objets en façonnant des argiles. Ce façonnage était rendu relativement aisé par les propriétés plastiques des argiles mises en pâtes.

Le séchage des pièces ainsi exécutées donnait aux produits une dureté qui, dans l'antiquité et encore chez certaines peuplades arriérées, fut jugée suffisante (briques, vase pour grains). Depuis des temps très reculés, on compléta le séchage par une cuisson accroissant considérablement la dureté et la solidité des produits façonnés et rendant les pièces indélébiles par l'eau.

La simple mise en pâte d'une argile avec de l'eau ne fournit très généralement pas la composition la plus propice à la fabrication d'objets céramiques.

Des additions à l'argile ou à des mélanges d'argiles, d'autres matières simplement inertes, ou apportant certaines qualités de fusibilité, modifiaient considérablement les facilités de façonnages et de séchage. Les qualités développées par la cuisson pouvaient être très profondément changées. Parmi ces qualités on peut citer :

- La vitrification,
- La résistance mécanique,
- Les coefficients de dilatation,
- La conductibilité calorifique.

De par leur nature chimique et minéralogique, ainsi que par leur structures et leurs procédés d'élaboration, les céramiques offrent un éventail extrêmement varié de produits de toute nature ayant des propriétés et des domaines d'application très divers.

Leur aptitude à supporter de haute température et à résister à des agressions chimiques leur confère un avantage appréciable vis-à-vis des métaux et alliages dans de nombreux domaines d'applications industrielles exigeant des performances à haute température et une stabilité chimique optimale.

I.2-Classification :

On peut considérer deux grandes catégories de produits, les céramiques dites « traditionnelles » et les céramiques dites « nouvelles ou techniques ».

I.2.1-Les céramiques nouvelles :

Elles concernent les domaines de pointe comme ceux de l'électronique, de l'armement, du nucléaire. Les pièces céramiques ont des propriétés magnétiques, piézoélectriques, ou semi-conductrices, et des qualités mécaniques, inégalées par les aciers....

I.2.2-Les céramiques traditionnelles :

Elle concernent les céramiques destinées au bâtiment (carreaux, sanitaires, briques, tuiles, etc.), aux usages domestiques (faïences, porcelaines, poteries, etc.), et aux industries traditionnelles (sidérurgie, verrerie, cimenterie, chimie, etc.).

Schématiquement, les matériaux constitutifs des appareils sanitaires peuvent se classer en deux catégories [2] :

✚ **Le vitreous :**

C'est un produit à masse compacte, vitrifiée (teneur élevée en phase vitreuse > 80%) et à faible porosité (< 0,5%), il est utilisé pour la fabrication des pièces de petit et moyen format.

✚ **Les grés sanitaires :**

Ce sont des produits à masse réfractaire, additionnée, éventuellement de chamotte et dont l'ossature présente des grains plus ou moins gros.

Les produits de grés présentent des performances exceptionnelles (résistance mécanique à l'érosion et aux agents chimiques).

Domaine d'utilisation :

- Grosse pièces de sanitaires (receveur de douche, éviers.....)
- Paillasse de laboratoire.

Un revêtement d'émail est appliqué sur toute ou sur une partie de la surface de tesson qui est ensuite cuit à une température appropriée, afin d'obtenir par vitrification une surface imperméable de couleur et brillant souhaités.

I.3-Matières premières utilisées en céramique industrielle :

Les matières premières peuvent varier considérablement en ce qui concerne leur composition chimique, minéralogique, leur pureté, leurs propriétés physiques et chimiques, Les différentes catégories de matières premières comprennent [4] :

- ✚ des matières premières d'origine naturelle de composition souvent hétérogène,
- ✚ des matières premières purifiées, dont la composition chimique et les propriétés physiques sont régularisées,
- ✚ des matières premières industrielles, synthétiques, qui on subit un processus physico-chimique de préparation de façon à atteindre un haut niveau de qualité.

La composition des produits sanitaires fait appel à des matières premières plastiques et non plastiques, essentiellement d'origine naturelle comme les argiles, feldspath, kaolins, silices, (tableau I.1).

1.3.1-Les matières premières plastiques :

La Plasticité est l'aptitude d'une argile à se laisser déformer sous l'action d'une force, puis de conserver la forme obtenue.

1.3.1.1-Les matières premières argileuses : [2]

a-Fonction :

Les argiles ne constituent pas une matière définie et unique, mais sont composées par des associations complexes de minéraux. Ce sont des silicates d'alumine hydratés. L'argile, par la nature colloïdale de ses particules de silicates, développe, en présence d'eau, des propriétés spécifiques permettant le façonnage par :

- Coulage (comportement rhéologique des suspensions aqueuses, cohésion et plasticité des tessons formés)
- Calibrage, étirage, pressage en pâte mole (cohésion et plasticité) ;
- Pressage unidirectionnel (cohésion des masses granulées a faible teneur en eau).

Il est souvent nécessaire de procéder à l'ajout aux argiles de matériaux «dégraissants », afin de maîtriser les propriétés du matériau lors du façonnage et du séchage.

C'est la cuisson, par les transformations physico-chimiques qu'elle entraîne, qui développe les propriétés finales du produit, à savoir sa solidité et son inaltérabilité. Si les argiles grésantes conduisent à des produits non poreux, la présence de dégraissants altère cette action, obligeant a l'ajout de fondants.

b-Classification des constituants argileux :

Les minéraux argileux sont des silicates d'alumine hydratés, parfois plus ou moins magnésiens ou ferriques et quelquefois calciques et même alcalins.

Dans ces minéraux argileux classés en plusieurs groupes, deux seulement contiennent les principaux constituants des argiles utilisées dans l'industrie céramique.

Ce sont :

- le groupe de la Kaolinite.
- le groupe des illites.

| Matières premières (%) | SiO₂ | Al₂O₃ | Fe₂O₃ | TiO₂ | K₂O | Na₂O | CaO | MgO | ZrO₂ | BaO | ZnO | Pf |
|-------------------------------|------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|------------|------------|------------------------|------------|------------|-----------|
| Sable | 98,8 | 0,8 | 0,1 | 0,1 | | | 0,1 | 0,1 | | | | |
| Feldspath sodique | 69,93 | 18,85 | 0,09 | 0,26 | 0,31 | 9,74 | 0,49 | 0,13 | | | | 0,3 |

| | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|-------|--------|
| Feldspath sodique extra blanc | 69,79 | 18,92 | 0,05 | 0,12 | 0,36 | 9,85 | 0,36 | 0,19 | | | | 0,39 |
| Kaolin RM | 48,2 | 37,1 | 0,8 | 0,05 | 1,5 | 0,1 | 0,08 | 0,24 | | | | 11,93 |
| Kaolin LPC | 48,2 | 36,8 | 0,8 | 0,07 | 1,87 | 0,15 | 0,06 | 0,25 | | | | 11,8 |
| Carbonate de baryum | | | 0,08 | | | | 0,4 | | | 78,9 | | 20,42 |
| Calcaire | 0,3 | 0,4 | 0,3 | | | | 56 | 0,4 | | | | 43,4 |
| Oxyde de zinc | | | 0,01 | | | | | | | | 99,64 | 0,3505 |
| Zircon | 34,68 | 0,1 | 0,05 | 0,05 | | | | | 65,07 | | | 0,0501 |
| Kaolin F2 | 50,08 | 34,03 | 1,62 | 0,24 | 2,79 | 0,09 | 0,08 | 0,41 | | | | 10,67 |
| Talc | 46,25 | 12,59 | 1,6 | | | | 0,4 | 30,57 | | | | 8,59 |
| Argile hycast | 53,3 | 29,7 | 1,2 | 1,1 | 2 | 0,15 | 0,2 | 0,1 | | | | 12,25 |
| Chamotte AGS 0,3 | 56 | 39,6 | 1,7 | 1,8 | 0,4 | 0,1 | 0,3 | 0,1 | | | | 0,07 |

Tableau I.1 : Composition chimique des matières premières pour pâtes et émaux de l'unité céramit

c-La composition des formations argileuse:

Les argiles seront d'autant plus réfractaires, qu'elles seront plus pures. Elle comprend :

La silice SiO_2 :

La silice se rencontre sous deux formes dans les argiles:

1- à l'état libre, sous forme de quartz (gravier, sable, etc). La quantité et la grosseur des grains auront une importance primordiale sur la plasticité.

Une argile siliceuse à grains fins, sera plus plastique qu'une argile siliceuse à grains grossiers.

Dans la nature on rencontre rarement des argiles sans silice libre.

2- à l'état combiné avec l'alumine, elle entre dans la formule du silicate.

Le quartz libre modifie les propriétés des minéraux argileux en jouant un rôle, soit de dégraissant (diminution de la plasticité et du retrait de séchage, amélioration du comportement à la défloculation), soit de fondant lorsque le produit est porté à une température supérieure à 1200°C.

[2]

Le fer :

Les sels contenus dans les argiles sont soit sous la forme ferrique, soit sous la forme ferreuse.

Ils donneront en grande partie la coloration des argiles après cuisson.

Les sels de chaux et de magnésie :

Sous forme de nodules, ils rendent les argiles inutilisables, car ils provoquent des éclatements après cuisson.

Le titane :

Il est présent dans les argiles sous la forme de Rutile (TiO_2) ou sous la forme d'ilménite (FeO, TiO_2). Il exalte la coloration due aux sels de fer.

Minéraux lourds :

- Le Zircon.

Ce minéral se rencontre quelquefois dans les argiles, mais en très faible proportion.

Les sels solubles :

On rencontre en petite quantité des sulfates alcalins, des sulfates de chaux, des chlorures de chaux.

Ces sels auront une influence néfaste sur la coulabilité des argiles, ou apporteront des efflorescences sur les produits cuits.

Les matières organiques :

Les argiles contiennent fréquemment des matières organiques provenant de la décomposition des végétaux (feuilles, branches, etc.).

On les rencontre à l'état colloïdal (humus) et elles améliorent la plasticité. De plus, étant des agents réducteurs, elles agissent sur les sels de fer, les rendent solubles et permettent leur élimination.

1.3.1.2-Les kaolins (formation argileuse):

Les kaolins proviennent de l'altération, dans certaines conditions, des feldspaths contenus dans les roches granitiques acides.

Le kaolin est, par excellence, l'élément plastique des pâtes à porcelaines.

1.3.2-Les matières premières dures ou matériaux non plastiques [5] :

De façon plus usuelle, on les dénomme « dégraissante », suivant la morphologie et la taille de leurs particules, elles modifient les propriétés des argiles. Elles diminuent la plasticité tout en rendant le matériau moins sensible au séchage.

Selon la température de cuisson, une partie de ces matières premières peut participer au développement de la phase vitreuse sinon le contrôler. Dans cette optique, on les désigne sous le terme de fondants.

1.3.2.1-Les dégraissants :

L'adjonction de matières dégraissantes aux argiles diminue la plasticité et les rend moins grasses. Mais elle a aussi pour effet de réduire le retrait de séchage et de faciliter le façonnage des produits. Les ajouts de dégraissants aux argiles ont généralement pour effet d'augmenter la porosité des pâtes crues, sèches, de faciliter le séchage des produits en diminuant la quantité d'eau à évacuer et en facilitant la diffusion de l'eau au cours du séchage, de donner un squelette à la pâte en cru et en cuit.

Les avantages d'un ajout de dégraissant varient avec la nature du dégraissant. On constate, par exemple, qu'un dégraissant poreux (chamotte) absorbera de l'eau et risque ainsi d'entraîner une moindre diminution de la proportion d'eau nécessaire au façonnage qu'un dégraissant non poreux (sable).

L'efficacité des dégraissants dépend, non seulement, de leur proportion dans les pâtes, mais aussi de leur granularité. Un sable très fin n'est pas très efficace.

Il ne faut pas oublier que c'est l'argile qui donne de la cohésion aux pâtes et qu'un ajout trop important de dégraissants peut réduire les résistances mécaniques des produits. Dans les dégraissants on trouve :

a-La Silice [6]:

Le sable est le dégraissant le plus commun et le moins coûteux. Il peut être introduit dans les pâtes. Soit sous forme de sable proprement dit, soit sous forme d'argile sableuse.

Les sables les plus purs sont souvent employés, après broyage, dans les compositions de pâtes à porcelaines ou à faïences.

b-Les argiles cuites ou chamottes [5]:

Les chamottes sont constituées par des argiles calcinées généralement à une température supérieure à la température de cuisson des pâtes qu'elles composent. Dans ce cas, elles sont parfaitement inertes et réduisent les retraits. Si elles sont cuites à une température inférieure à la température de cuisson des produits, elles prennent à nouveau du retrait à la cuisson des pièces.

Après cuisson, ces chamottes sont broyées tamisées et classées par grosseur avant d'être introduites dans les mélanges.

Les chamottes entrent souvent dans des compositions de grés, essentiellement pour les grosses pièces.

1.3.2.2-Les fondants [5]:

La fonction principale du fondant c'est de former une phase vitreuse. De cette façon, la cohésion en cuit, la densification sont facilitées et la température de cuisson réduite.

Les meilleurs fondants sont ceux qui permettent d'abaisser le point de vitrification sans abaisser le point de fusion. Parmi les fondants, on peut citer :

a-Les feldspaths [6]:

Ce sont des minéraux constitués par des silico-aluminates de sodium de potassium et de calcium, leur action vitrifiante varie suivant la nature de l'élément fondant.

Les feldspaths les plus purs cuisent blanc et fondent à des températures diverses, généralement supérieures à 1200°C en un verre incolore extrêmement visqueux

Feldspath potassique (orthose) : $6 \text{SiO}_2 \text{Al}_2\text{O}_3 \text{K}_2\text{O}$

Feldspath sodique (Albite) : $6 \text{SiO}_2 \text{Al}_2\text{O}_3 \text{Na}_2\text{O}$

b-Micas [6] :

Les micas se présentent en lamelles ou en paillettes brillantes. Ce sont des fondants alcalins comme les feldspaths.

Formule développée en oxydes (muscovite) : $6 \text{SiO}_2, 3\text{Al}_2\text{O}_3, \text{K}_2\text{O}, 2\text{H}_2\text{O}$.

c-Le talc [5] :

Il donne avec les argiles des cristallisations qui confèrent au tesson une bonne résistance au choc thermique et une dilatation peu élevée.

Formule développée en oxydes : $4 \text{SiO}_2, 3\text{MgO} \text{H}_2\text{O}$.

d-Craie : Calcaire pur

Le minéral de ces roches est le carbonate de calcium ou calcite [2].

Elle modifie également le coefficient de dilatation des pâtes et facilite, dans certain cas, le bon « accord » avec l'émail [6].

1.3.3-Matières premières des émaux et couleurs céramiques

- **Les émaux :**

Les émaux qui recouvrent la surface des pièces sont des verres opacifiés par du zircon et chargés en oxydes métalliques pour obtenir les colorations désirées.[3]

Ils sont élaborés à partir de silice, de feldspath, craie, de kaolin parmi les qualités les plus pures.

On utilise des fondants énergétiques comme le borax, le carbonate de soude.

- **Les Couleurs :**

Les pigments colorés sont des composées métalliques plus ou moins complexes. Les colorants les plus utilisés sont [6]:

- Les sels de cobalt, qui donnent des bleus intenses ;
- Les composés du chrome, donnant des verts.
- Les composés d'étain qui fournissent les blancs opaques ;
- Les composés du fer qui peuvent donner des tons allant des ocres jaunes aux rouges bruns.
- Zircon vanadium (bleu).

I.4-La céramique et la pollution [7, 10] :

La fabrication des carreaux céramique génère des quantités d'eaux résiduares dite « blanche » contiennent surtout des matières minérales en suspension, varient entre 1000 et 5000 mg/l provenant des matières premières utilisées. Elles sont trouble, et les matières polluantes ne se déposent que très lentement, la plus grande partie de ces matières en suspension ont une granulométrie inférieure à 1µm.

Pendant le lavage des machines et des sols, ces teneurs peuvent augmenter jusqu'à 10 à 50 g/l. Des procédés mécaniques et mécano-chimiques sont employés pour l'épuration des eaux résiduares.

Parmi les procédés d'épuration mécanique, on trouve les bassins de décantation dont la vitesse de chute varie de 0,004 à 0,015 m/h.

Si l'on met en œuvre des procédés mécano-chimiques, on emploie des réactifs comme la chaux, le sulfate d'aluminium, etc.

Du point de vue économique il est intéressant de faire une épuration préliminaire des eaux résiduares, étant donné que la coagulation floculation fonctionne au mieux si les concentrations de particules en suspension sont inférieures à 3000 mg/l.

Chapitre II

Les eaux résiduaires industrielles

II.1-Introduction [8]:

De toutes les composantes de notre environnement, l'eau est sans doute l'élément fondamental de la vie quotidienne. L'eau s'apprête aujourd'hui aux usages les plus divers : domestiques, industriels, agricoles, énergiques ou encore à certains moyens de transport mais elle semble avoir été le premier milieu à montrer des signes visibles de pollution. Ainsi, le problème de la pollution des eaux est devenu un des aspects les plus inquiétants de la dégradation du milieu naturel et pourrait constituer à long terme un réel danger pour l'avenir de l'humanité.

II.2-Origine de la pollution des eaux [9]:

Suivant l'origine des substances polluantes, on distinguera :

II.2.1-La pollution domestique :

Provenant des habitations, elle est en général véhiculée par le réseau d'assainissement jusqu'à la station d'épuration.

La pollution domestique se caractérise par :

- des germes fécaux ;
- de fortes teneurs en matières organiques ;
- des sels minéraux (azote, phosphore) ;
- des détergents.

En sortie de station d'épuration, on retrouve les mêmes éléments en quantités moindres (50 à 90% extraits) mais très concentrés en un point de rejet.

II.2.2-La pollution agricole :

Provenant des fermes ou des cultures, elle se caractérise par : de fortes teneurs en sels minéraux (azote, phosphore, potassium), provenant des engrais, des pesticides et des insecticides qui altèrent la qualité des nappes souterraines vers lesquelles ils sont entraînés.

II.2.3-La pollution industrielle :**II.2.3.1-Définition [10] :**

Les eaux résiduaires industrielles sont les déchets liquides résultant, selon les activités exercées, de l'extraction ou de la transformation de matières premières en produits industriels (produits primaires), de la transformation éventuelle de ces produits primaires (produits dérivés), ainsi que de l'utilisation des produits primaires ou dérivés pour la fabrication de biens de consommation.

Boeglin définit ces eaux comme étant des rejets polluants de composition hétérogène, car elle renferme des matières organiques et minérales à l'état insoluble ou en

dissolution dont certaines peuvent avoir éventuellement un caractère toxique plus ou moins marqué [11].

II.3-Les eaux résiduaires industrielles :

II.3.1-Volume et composition [12] :

Tant au point de vue de leur volume qu'à celui de leur composition, et contrairement aux eaux résiduaires domestiques, les caractéristiques des eaux résiduaires industrielles sont variables pour chaque branche industrielle, voire pour chaque établissement d'une même branche. Elles présentent une faible fraction de volumes des ressources en eau utilisables mais leur qualité très médiocre exige une épuration avant leur rejet dans le milieu naturel.

La composition des eaux résiduaires industrielles s'apprécie au travers de paramètres physico-chimiques ou biologiques, soit globaux (matières en suspension, demande biochimique en oxygène, demande chimique en oxygène, azote global, phosphore total, turbidité, carbone organique total, etc.), soit spécifiques, tels que, par exemple, la température, le pH, ou bien la teneur en certains éléments chimiques dont la connaissance présente un intérêt particulier (ce qui est souvent le cas lorsque des substances toxiques sont en jeu).

Par suite de cette diversité, corollaire du caractère spécifique de chaque processus industriel, de nombreux procédés ont été développés pour le traitement des rejets. Aussi, le choix de la nature et le dimensionnement d'une filière d'épuration résultent toujours d'études techniques préalables réalisées au cas par cas qui incluent des investigations théoriques et, le cas échéant, pratiques (essais sur pilote)

II.3.2-Classification des eaux résiduaires industrielles [13] :

En prenant en considération la traitabilité, on peut, en première approximation, répartir les effluents industriels en trois grandes classes:

II.3.2.1-Les eaux résiduaires a caractère minéral dominant :

Les principales représentantes de ce groupe sont :

- Les eaux de lavage de gravières et des activités d'extraction des minéraux ;
- Les eaux des industries sidérurgiques ;
- Les eaux de l'industrie chimique minérale ;
- Les eaux de traitement de surface des métaux.

Ces eaux sont caractérisées par :

- Une charge importante en matières en suspension et/ou en sels dissous ;
- Une demande chimique en oxygène d'origine minérale variable en fonction de la nature des composés minéraux en solution ;
- La présence possible de toxiques ou d'inhibiteurs de la croissance bactérienne ;

-Une très faible valeur de la DBO₅.

Les traitements les mieux appropriés à ce type d'effluent sont :

- Les traitements physiques de clarification : floculation, décantation et filtration ;
- Les traitements chimiques d'élimination des toxiques et/ou de neutralisation du pH.

II.3.2.2-Les eaux résiduaires à caractère organique dominant :

Ce sont surtout les effluents des industries agro-alimentaires comme :

- Les abattoirs ;
- Les conserveries ;
- Les laiteries et fromageries.

Leur composition, bien que très variable, comprend presque toujours :

- Les matières minérales et des débris végétaux en suspension ;
- Des graisses ;
- Des protéines ;
- Des sels divers.

Elles sont caractérisées par une biodégradabilité importante et un équilibre correct en ce qui concerne les éléments de croissance et, de ce fait, se prêtent généralement bien aux traitements biologiques.

II.3.2.3-Les eaux résiduaires à caractère mixte :

Ce sont des effluents qui contiennent un ou plusieurs constituant potentiellement biodégradables mais qui ne sont pas directement biodégradables à cause de l'absence d'éléments de croissance ou de la présence d'inhibiteurs de croissance.

Dans ce groupe, nous trouverons par exemple les effluents :

- Des industries textiles ;
- Des papeteries et des industries du bois ;
- Des raffineries et des usines pétrochimiques ;
- Des industries pharmaceutiques.

Dans ces effluents, on peut trouver :

- Des matières en suspension diverses (sables, fibres de cellulose, etc.) ;
- Des hydrocarbures dissous, émulsionnés ou en film superficiel ;
- Des tensioactifs, des colorants, des phénols, etc.

Ce type d'effluent peut être traité en épuration biologique à condition de prendre un certain nombre de précaution ; la détoxification préalable de l'effluent peut être impérative et l'apport d'éléments de croissance indispensables à l'activité de la biomasse bactérienne peut

s'avérer nécessaire. Dans ce domaine, les apports d'azote et de phosphore doivent satisfaire le rapport : $DBO_5/N/P$ de l'ordre 100/5/1

En présence de ces éléments de croissance, le rapport DCO/DBO_5 doit néanmoins être inférieur à 3 et, quand il est compris entre 2 et 3, on peut avoir recours à des souches bactériennes adaptées notamment dans le cas d'effluent de composition constante.

II.3.3-Les différents types d'eaux résiduaires industrielles [11] :

Les eaux résiduaires industrielles se différencient, en diverses catégories selon l'utilisation de l'eau :

II.3.3.1- Eaux générales de fabrication ou de procédé :

La plupart des procédés conduisent à des rejets polluants de diverses natures. Les rejets sont soit continus, soit discontinus.

II.3.3.2-Eaux des circuits de refroidissement :

Ce sont des eaux abondantes et généralement non pollués, car elle n'ont pas de contact avec les produits fabriqués. Elles peuvent être recyclées.

II.3.3.3-Eaux de lavage des sols et machines :

Contrairement aux rejets précédents, le degré de pollution et le débit des eaux de lavage sont très variables et particulièrement importants en fin de journée, au cours des nettoyages de week-ends, et des périodes de congés.

II.3.4-Caractérisation générale des effluents [12]:

Pour une caractérisation adéquate des effluents, il est nécessaire de pouvoir disposer des éléments suivants :

- Fabrication type, capacités et cycles, matières premières consommées,
- Composition de l'eau d'appoint à l'usine,
- Possibilité de séparation des rejets, et/ou de recyclage,
- Volumes journaliers d'effluents par catégories,
- Débits horaires moyens et maximaux (durée et fréquence par catégorie),
- Flux de pollution moyen, maximal (fréquence et durée) par catégorie de rejet et pour une pollution spécifique de l'industrie considérée.

Il est souvent utile d'être informé d'une pollution secondaire, même occasionnelle (colles, goudrons, fibres, huiles, sable....).

II.3.5-Incidence sur l'environnement :

Les eaux résiduaires industrielles contiennent de nombreuses matières toxiques de natures organiques ou minérales représentant, selon les quantités mises en jeu, des dangers de diverses natures pour les milieux récepteurs, ces eaux peuvent entraîner des ennuis par [14]:

- formation de mousses,
- perturbation de processus biologiques,
- par infiltration, elles peuvent altérer la qualité de l'eau souterraine, par une pollution organique, une salinisation, une acidification, une augmentation de la teneur en fer, une coloration, ou un empoisonnement.

On peut considérer d'une manière générale, que les eaux résiduaires industrielles sont des mélanges hétérogènes comprenant des constituants insolubles et solubles qui sont classés en fonction des modes de traitement.

Les constituants insolubles :

Les eaux résiduaires causent des accumulations de boues, en particulier dans les cours d'eau à faible circulation ou dans les eaux stagnante. Si celles-ci sont dues à des matières organiques décantables, il se produit des phénomènes de décomposition avec dégagement de gaz de fermentation. A cela, s'ajoute un ralentissement des manifestations vitales par la destruction totale de micro-organismes et de poissons [11].

Ils comprennent [12]:

- Matières flottantes (graisses, hydrocarbures aliphatiques, goudrons, huiles organiques).
- Matières en suspensions (sables, oxydes, pigments,).

Ils sont séparables physiquement avec ou sans floculation

Une forte concentration en matières en suspension dans l'eau réduit la luminosité et abaisse la productivité du milieu récepteur du fait, en particulier, d'une chute de l'oxygène dissous consécutive à une réduction des phénomènes de photosynthèse.

Les matières en suspension sont de nature à engendrer des maladies chez le poisson et même l'asphyxie par colmatage des branchies. Par ailleurs, les matières décantables sédimentent dans les zones de frayes et réduisent les possibilités de développement des végétaux et des invertébrés de fond (agissant ainsi sur l'équilibre global de la chaîne alimentaire du système aquatique).

Les eaux résiduaires industrielles contenant des graisses et des huiles peuvent par formation de films ou de couches superficielles, empêcher l'accès de l'air dans les cours d'eau, et causer des intoxications aux organismes vivants aquatiques.

Les constituants solubles :

Ils comprennent [12]:

- Eléments organiques séparables par adsorption
 - Colorants, détergents, composés phénolés, composés macromoléculaires divers, dérivés nitrés, dérivés chlorés.
- Eléments séparables par précipitation
 - Métaux toxiques ou non, Fe, Cu, Zn, Ni, Al, Hg, Cr, Pb, Cd, Ti, Be précipitables dans une zone de pH bien définie.
 - Les anions tel que : phosphates PO_4^{3-} , sulfates SO_4^{2-} , sulfites SO_3^{2-} , fluorures F^- .
- Eléments séparables par dégazage ou stripage
 - Sulfure d'hydrogène H_2S , ammoniac NH_3 , dioxyde de soufre SO_2 , hydrocarbures légers ou aromatiques, dérivés chlorés.
- Eléments pouvant nécessiter une réaction d'oxydoréduction
 - Cyanures CN^- , sulfures S^{2-} , chlores Cl_2 , nitrites NO_2^-
 - Acide minéraux : acides chlorhydrique, nitrique, sulfurique et fluorhydrique.
 - Bases diverses.
- Eléments concentrables par échange d'ions ou par osmose inverse
 - Sels d'acides et de bases forts, composés organiques ionisés (échange d'ions) ou non (osmose inverse)
- Eléments biodégradables
 - Par exemples les sucres, les protéines, les phénols.
- Coloration

Les effluents industriels peuvent être fortement colorés. Cette coloration est due à des colloïdes (pigments, sulfures) ou à des substances dissoutes (matières organiques, dérivés nitrés).

Les éléments organiques dissous et colloïdaux contenus dans les eaux résiduaires industrielles exigent une dégradation biochimique dans les cours d'eau. Si celle-ci s'accomplit en milieu aérobie mais à faible teneur pour que l'oxydation biochimique des matières organiques se produit, la dégradation de ces dernières se poursuivent en milieu anaérobie, avec la formation de gaz comme : CO_2 , H_2S , NH_4 , N_2 , CH_4 .

Les métaux tels que le cadmium, le cuivre, le mercure, le plomb, le zinc, etc., sont présents dans les rejets aqueux de nombreuses industries : industrie métallurgique, industrie du traitement des métaux, industrie chimique, industrie céramique, etc. Ces produits font partie des "matières inhibitrices de la vie". Ils sont, à des degrés variables, dangereux pour les organismes vivants. Certains comme le mercure ou le plomb peuvent se concentrer dans les chaînes alimentaires depuis le plancton jusqu'à l'homme.

L'incidence des rejets d'eaux industrielles sur l'environnement peut s'apprécier au regard des élévations de température, des modifications de pH, des modifications de turbidité et des consommations d'oxygène qu'ils peuvent induire dans le milieu, ainsi que des effets spécifiques inhérents à chaque polluant ou groupe de polluants.

Température : [15]

La température est l'un des facteurs écologiques les plus importants parmi tous ceux qui agissent sur les organismes aquatiques. Elle joue un rôle primordial dans la distribution des espèces, aussi bien par ses niveaux extrêmes que par ses variations diurnes ou saisonnières.

La plupart des réactions chimiques vitales sont ralenties voire arrêtées par un abaissement important de température. Au contraire, des augmentations de température peuvent avoir pour effet de tuer certaines espèces, mais également de favoriser le développement d'autres espèces en entraînant ainsi un déséquilibre écologique.

pH : [15]

Les eaux superficielles constituent un système physico-chimique complexe tamponné par les divers équilibres entre les espèces moléculaires ou ionisées présentes, dont les équilibres carboniques.

Des pH compris entre 5 et 9 constituent les limites dans lesquelles un développement quasi-normal de la flore et de la faune aquatique semble être permis. Par ailleurs, il est souvent difficile d'établir des critères précis en ce qui concerne la vie et la reproduction des poissons (on retient parfois comme zone optimale celle délimitée par les pH extrêmes de 6,5 et 8,5).

En général, les effets du pH se font surtout sentir par l'influence qu'exerce ce paramètre sur les équilibres entre les autres composés du milieu (azote ammoniacal, sulfure de sodium, acide cyanhydrique, etc.) lorsqu'ils ont une toxicité variable selon qu'ils se trouvent ou non sous forme ionisée.

Demande biochimique en oxygène (DBO₅) : [15]

. La DBO₅ ou demande biochimique en oxygène est la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction ou à la dégradation des matières organiques d'une eau par les micro-organismes du milieu. Ce paramètre est utilisable soit pour quantifier la charge polluante organique de l'eau, soit pour évaluer l'impact d'un rejet sur le milieu naturel (toute matière organique biodégradable rejetée va entraîner une consommation d'oxygène au cours des procédés d'autoépuration), soit pour évaluer l'intensité du traitement nécessaire à l'épuration d'un rejet par un procédé biologique.

Demande chimique en oxygène (DCO) – Oxydabilité :

La pollution par les matières organiques (matières protéiques, d'acides aminés, de lipides et autres substances de réserves), dégradables ou non est essentiellement due aux rejets industriels (industries chimiques, industries de la pâte à papier et du papier carton, industries pétrolières, agro-alimentaires, ...) et aux rejets des populations urbaines. Cette pollution déversée dans les cours d'eau entraîne lors de sa dégradation une consommation de l'oxygène dissoute dans l'eau, qui se fait au détriment des organismes vivants (asphyxie du milieu). L'importance de cette pollution dans un effluent peut être évaluée par La demande chimique

en oxygène (DCO) représente la quantité d'oxygène consommée, dans les conditions de l'essai, par les matières oxydables contenues dans un litre d'effluent; elle est exprimée en milligrammes par litre

Selon la méthode normalisée (norme NF-T-90-101), il s'agit de l'oxydation par un excès de dichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) en milieu acide et à l'ébullition, des matières oxydables en présence de sulfate d'argent (catalyseur d'oxydation) et de sulfate de mercure.

Sur le plan analytique il faut noter :

1)-Le rapport entre DCO et DBO_5 des eaux résiduaires industrielles est souvent très différents de celui des eaux résiduaires urbains. Il évolue aux divers stades du traitement, la DCO finale pouvant quelquefois dépasser dix fois la valeur de la DBO_5 correspondante [12].

a)- DCO/DBO_5 est supérieur ou égale à 1, l'eau peut être épurée biologiquement.

b)-Si DCO/DBO_5 est inférieur ou égale à 1,6, l'eau peut être épurée par voie biologique en assurant la présence de micro-organismes capable de dégrader les matières organiques.

c)-Si DCO/DBO_5 est comprise entre 1,6 et 3,2, il faut se recourir à une épuration combinée, c'est-à-dire une épuration biologique plus une épuration chimique.

d)-Si DCO/DBO_5 est comprise entre 3,2 et 5,2, il faut recourir à une épuration physico-chimique.

e)-Si DCO/DBO_5 est supérieur à 5,2, l'épuration est impossible le paraque les micro-organisme ne peuvent pas vivre dans une telle eau.

Remarque : Dans le cas b, c et d, il faut toujours rechercher l'origine de la DCO (métaux lourds, cyanures, phénols, détergents, hydrocarbures).

II.3.6-La protection de l'environnement [16] :

Dans beaucoup de pays, la politique de l'environnement comprend toutes les activités qui sont nécessaires pour atteindre les trois objectifs suivants :

- Assurer à l'être humain un environnement propice à sa santé et à son existence ;
- Protéger le sol, l'air, l'eau, la végétation et les animaux contre les effets néfastes de l'activité humaine ;

- Réparer les dommages causés par l'activité humaine.

Ces objectifs sont formulés de manière générale dans des nombreux textes réglementaires nationaux et notamment on ce qui concerne les installations classées pour la protection de l'environnement qui répond à plusieurs objectifs :

- Assurer un haut niveau de protection de l'environnement et de la population en mettant en œuvre les meilleures technologies disponibles à un coût économiquement acceptable ;
- Protéger les milieux dans lesquels nous vivons et où doivent prendre place des activités industrielles dans un souci de respect permanent de l'environnement et d'intégration harmonieuse dans le paysage ;
- Assurer la sécurité juridique des exploitants en évitant des distorsions de concurrence ;
- Présenter une plus grande lisibilité pour tout intervenant notamment au moment de la conception des projets industriels.

II.3.7-Procédés de traitement des eaux résiduaires [17]:

Il existe un grand nombre de procédés de traitement des eaux résiduaires dont l'application dépend à la fois des caractéristiques des eaux résiduaires et du degré de traitement désiré. Les divers traitements sont indiqués dans la figure II.1 sous forme d'une série de traitements successifs avec un diagramme figurant les possibilités de substitution.

Le prétraitement ou traitement primaire est utilisé pour l'élimination des huiles et des matières flottantes et en suspension, pour la neutralisation et l'homogénéisation et pour préparer l'eau résiduaire en vue de son admission dans des stations de traitement ultérieur ou dans le milieu récepteur

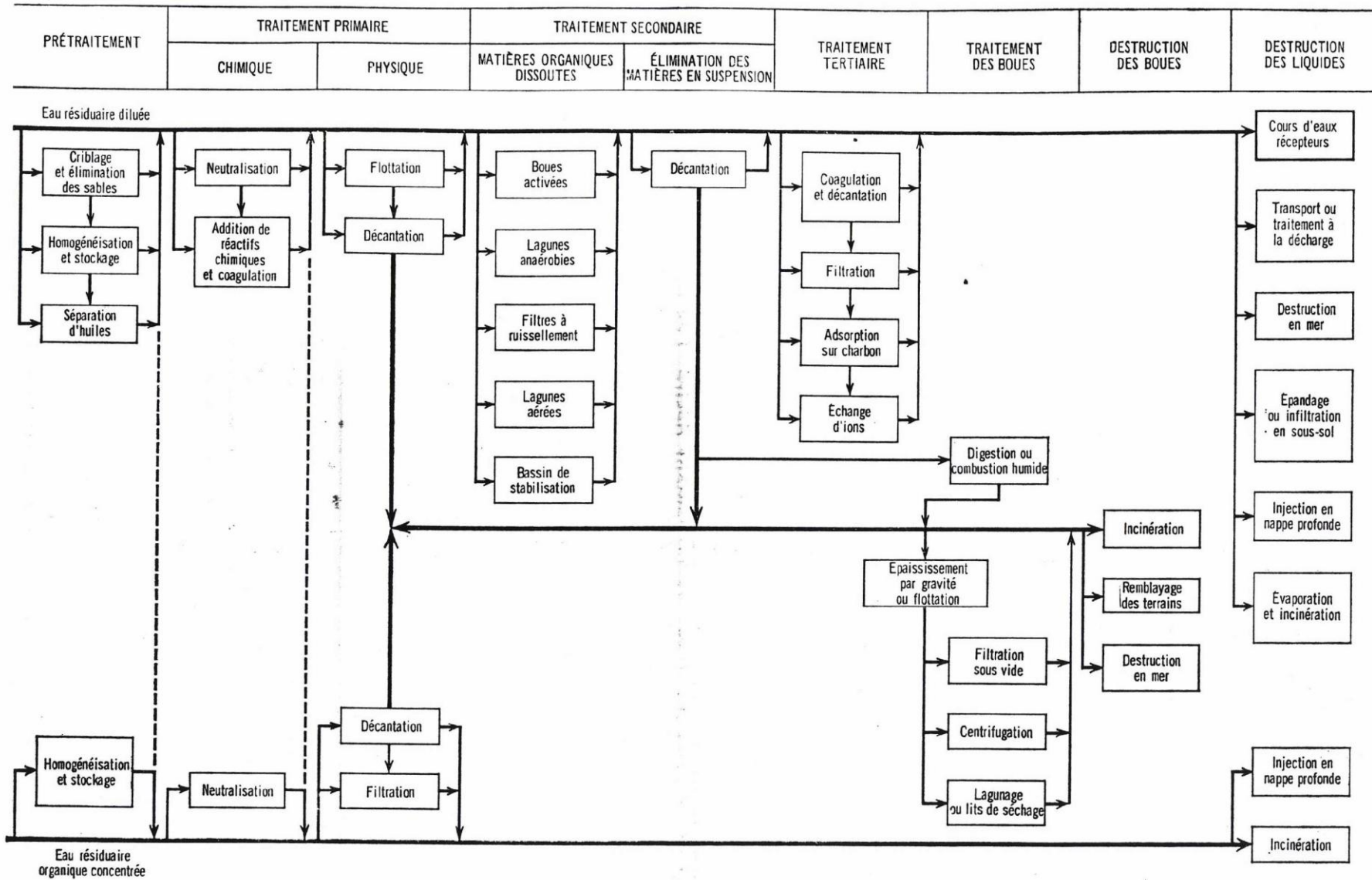


Figure II.1 : Etapes de traitement d'eau résiduaire : schéma général de répartition des procédés [17].

Chapitre III

Traitement physico-chimique des eaux résiduaires

III.1-Introduction :

La présence de nombreuses impuretés de différentes natures impose le traitement des eaux avant utilisation pour les rendre aptes aux applications envisagées, ou après utilisation pour éviter tout dommage à notre environnement.

Pour parvenir aux résultats recherchés depuis l'obtention d'un liquide clair et limpide pour la consommation humaine jusqu'à celle de l'eau extra pur, il faudra appliquer seuls ou en combinaison différents types de traitements.

III.2-Types de traitements :

Les deux principaux traitements de l'eau sont :

1-Le traitement physique.

2-Le traitement chimique.

III.2.1-Le traitement physique :

C'est la mise en œuvre de tous les moyens physiques, susceptible de débarrasser des substances non dissoutes dans l'eau, quelle que soit la nature et les dimensions. Il fait appel à un ensemble de techniques très variées telles que la décantation et la filtration.

III.2.1.1-La décantation :

1.1-Introduction : [18]

En soumettant l'eau à un ralentissement important ou à un repos relatif suffisamment long, il est possible de la débarrasser d'une fraction substantielle de sa charge de matières en suspension. En supprimant la turbulence, on permet aux particules en suspension, plus lourdes que l'eau, de se sédimenter c'est la décantation.

1.2-Définition de la décantation:[21]

C'est un procédé utilisé pratiquement dans toutes les stations de traitement des eaux. Elle a pour but d'éliminer les particules en suspension dont la densité est supérieure à celle de l'eau. Les particules s'accumulent au fond du bassin de décantation d'où on les extrait périodiquement. L'eau clarifiée, située près de la surface, est dirigée vers l'unité de filtration.

1.3-Classification des matières décantables : [22]

On distingue deux types de matières décantables :

- Les particules grenues, qui conservent les mêmes dimensions au cours de leur chute ; elles sédimentent indépendamment les unes des autres avec une vitesse de chute constante.
- Les particules coalescentes s'agglomèrent pendant la sédimentation, on distingue : la décantation diffuse et la décantation en piston

-La décantation diffuse : lorsque la concentration en MES est faible ; le floc dispersé décante comme s'il était seul, sa vitesse de chute augmente au fur et à mesure que d'autres particules plus fines s'y agglomèrent.

-La décantation en piston : lorsque la concentration en MES est élevée, on a une décantation d'ensemble des floes qui sont freinés au cours de leur chute.

1.4-Types de décantation: [21]

Selon la concentration en solide et la nature des particules (densité et forme), on distingue quatre types de décantation: la décantation de particules discrètes, de particules floculantes, la décantation freinée et en compression de boues.

1.4.1-Décantation de particules discrètes :

Ce type de décantation (dite discrète ou individuelle) est caractérisé par le fait que les particules conservent leurs propriétés physiques initiales (forme, dimension et densité) au cours de leur chute.

La vitesse de chute est indépendante de la concentration en solide ; c'est pourquoi les lois classiques de Newton et de Stokes s'appliquent ici.

1.4.1.1-Principe de base :

Lorsqu'une particule chute, sa vitesse augmente jusqu'à ce que les forces de décantation (poids) équilibrent les forces de frottement. Cette situation, pour laquelle $dV_p / dt = 0$, correspond au point d'équilibre des forces autour de la particule.

Considérons les forces agissantes sur une particule qui chute (figure III.1). D'après cette figure, on peut écrire que :

$$F_r = F_g - F_D \quad \dots\dots\dots (III.1)$$

On sait que

$$F_g = (\rho_p - \rho_L) g b \quad \dots\dots\dots (III.2)$$

$$F_D = \frac{C_D A_P \rho_L v_P^2}{2} \quad \dots\dots\dots (III.3)$$

et

$$F_r = \rho_p b \frac{dv_P}{dt} \quad \dots\dots\dots (III.4)$$

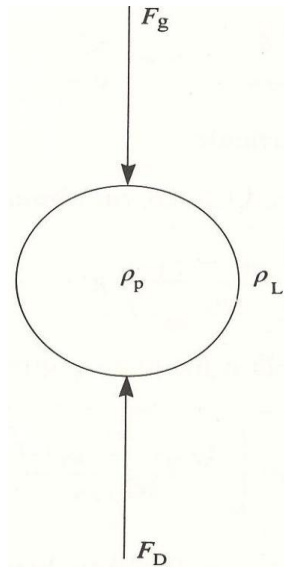


Figure III.1 : Forces agissantes sur une particule qui chute.

Où

F_g = force de décantation due à la pesanteur (N).

F_D = force de traînée (N).

F_r = force résultante (N).

ρ_p = masse volumique de la particule (kg/m^3).

ρ_l = masse volumique de l'eau (kg/m^3).

b = volume de la particule (m^3).

A_p = aire de la section de la particule (m^2).

C_D = coefficient de traînée.

v_p = vitesse de chute de la particule (m/s).

t = temps (s)

g = accélération due à la pesanteur (m/s^2).

Pour les particules sphériques, on sait que :

$$A_p = \frac{\pi d^2}{4} \dots\dots\dots (III.5)$$

Et

$$b = \frac{\pi d^3}{6} \dots\dots\dots (III.6)$$

Où d : diamètre de la particule

En combinant les équations III.1 à III.6, on obtient

$$\frac{dv_p}{dt} = \left(\frac{\rho_p - \rho_L}{\rho_p} \right) g - \frac{3 C_D \rho_L v_p^2}{4 \rho_p d} \dots\dots\dots (III.7)$$

La particule qui chute accélère jusqu'à ce que sa vitesse à l'équilibre soit :

$$\frac{dv_p}{dt} = 0$$

$$v_p = \left[\frac{4g(\rho_p - \rho_L)}{3C_D \rho_L} d \right]^{1/2} \dots\dots\dots \text{(III.8)}$$

La valeur de C_D , coefficient de traînée, est définie par la perturbation, elle même fonction de la vitesse de chute [12]. Cette perturbation est caractérisée par le nombre de Reynolds R_e défini par:

$$R_e = \frac{\rho_L v_p d}{\mu} \dots\dots\dots \text{(III.9)}$$

R_e : nombre de Reynolds.

μ : viscosité dynamique de l'eau (pas.s).

Le coefficient de traînée est donné par : $C_D = a \cdot R_e^{-n}$ avec a et n constantes

Le tableau III.1, donne les différentes valeurs de a, n et C_D en fonction du nombre de Reynolds

Tableau III.1 : Les différentes valeurs de a, n et C_D en fonction du nombre de Reynolds.

| R_e | Régime | A | n | C_D | Formule |
|-----------------------------|---------------|------|-----|-------------------------|---------|
| $10^{-4} < R_e < 1$ | Laminaire | 24 | 1 | $24 \cdot R_e^{-1}$ | Stokes |
| $1 < R_e < 10^3$ | Intermédiaire | 18,5 | 0,6 | $18,5 \cdot R_e^{-0,6}$ | Allen |
| $10^3 < R_e < 4 \cdot 10^5$ | Turbulent | 0,44 | 0 | 0,44 | Newton |

Par ailleurs, pour ces particules sphériques. On peut estimer la valeur du coefficient de frottement pour le cas suivant :

Nombre de Reynolds inférieur ou égal à 1.

$$C_D = \frac{24}{R_e} \dots\dots\dots \text{(III.10)}$$

Puis, en combinant les équations (III.9) et (III.10) on obtient :

$$C_D = \frac{24\mu}{\rho_L v_p d} \dots\dots\dots \text{(III.11)}$$

Puis, en combinant les équations (III.8) et (III.11), on obtient l'expression de la vitesse par la relation :

$$v_p = \frac{g(\rho_p - \rho_L)d^2}{18\mu} \dots\dots\dots (III.12)$$

1.4.2-Décantation de particules floculantes: [21]

Ce type de décantation est caractérisé par l'agglomération des particules au cours de leur chute. Les propriétés physiques de ces particules (formes, dimension, densité et vitesse de chute) sont donc modifiées pendant le processus

Durant la décantation, les particules s'agglomèrent à un certain rythme, et les particules qui résultent de cette agglomération sont à la fois plus grosses et moins denses que les particules initiales. Cette modification continue des caractéristiques des particules rend la conception de modèle mathématique beaucoup plus complexe. On doit donc, dans la plupart des cas, procéder à des essais de laboratoire.

1.4.2.1-Principes de base :

La décantation d'une solution diluée de particules floculantes est fonction non seulement des caractéristiques de décantation de ces dernières, mais également de leurs caractéristiques de floculation. En effet, l'agglomération des particules favorise la décantation, même si la densité des particules résultantes est inférieure à celle des particules initiales, puisque la vitesse de décantation est fonction du diamètre et de la densité des particules, ainsi que de la viscosité dynamique de l'eau. Dans la plupart des cas, on ne peut pas contrôler ce dernier paramètre μ . Toutefois, on peut contrôler les deux premiers, diamètre et densité, en agissant sur l'agglomération des particules, puisque la formation d'un floc modifie la densité des particules résultantes de façon importante. Ainsi, lorsque ρ_p passe de 1,10 à 1,09 (modification de 0,9 %), la valeur de $(\gamma_p - \gamma_l)$ diminue de 10 %. Par contre, étant donné que la vitesse de chute est proportionnelle au carré du diamètre, l'effet final est favorable à une meilleure décantation, C'est -à- dire à une augmentation de V_p .

La floculation joue un rôle important dans le procédé de décantation. Le taux de floculation des particules est fonction :

- a) de la distance que les particules parcourent.
- b) de la charge superficielle;
- c) des gradients de vitesse dans le bassin;
- d) de la concentration des particules;
- e) du diamètre des particules.

Contrairement à ce qu'on peut faire dans le cas des particules discrètes, on ne dispose pas d'expression mathématique qui permette de quantifier l'influence de la floculation sur la décantation. On constate que la vitesse de chute des particules floculantes varie le long de leurs trajets (figure III.2). On doit donc procéder à une analyse de décantation, en laboratoire, dans une colonne de décantation (figure III.3).

1.4.2.2-Essai de décantation en colonne :

Grâce à l'essai de décantation en colonne, on peut simuler en laboratoire les conditions de décantation d'une solution diluée de particules floculantes. La réalisation de l'essai nécessite le recours à une colonne de décantation (figure III.3) d'une hauteur égale à la profondeur du décanteur (entre 1,8 et 2,4m). On effectue en général des prélèvements d'échantillons à 0,6, 1,2 et 1,6 m de la surface. Le prélèvement d'échantillons à intervalles réguliers permet de tracer des courbes de même pourcentage d'élimination des particules (figure III.4).

À partir de ces résultats, on peut évaluer le pourcentage de particules éliminées par un bassin idéal de décantation, en fonction de divers temps de rétention et de diverses profondeurs, à l'aide de l'équation suivante :

$$R = \frac{\Delta h_1}{H} \cdot \frac{(R_1 + R_2)}{2} + \frac{\Delta h_2}{H} \cdot \frac{(R_2 + R_3)}{2} + \dots + \frac{\Delta h_n}{H} \cdot \frac{(R_n + R_{n+1})}{2} \dots \text{ (III.13)}$$

Où

R = pourcentage total de particules éliminées dans un bassin de décantation idéal (rendement)

R₁ R₂ ..., R_n = pourcentages de particules éliminées dans un bassin de décantation idéal, à une profondeur h, et après un temps de rétention t

Δh₁ Δh₂, ..., Δh_n = hauteurs moyennes entre deux courbes de même pourcentage d'élimination des particules

H = hauteur totale de la colonne

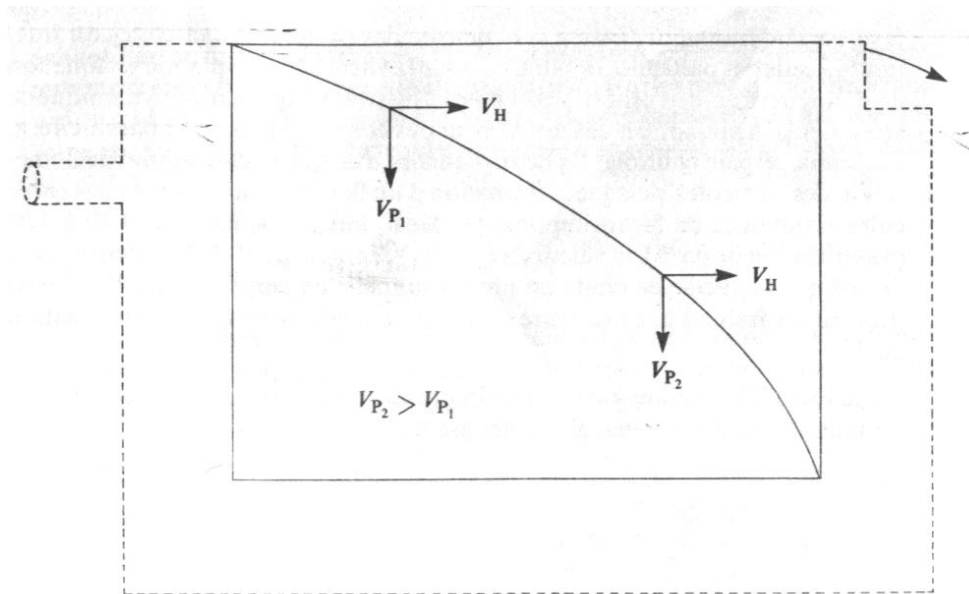


Figure III.2 : Vitesse de décantation de particules floculantes.

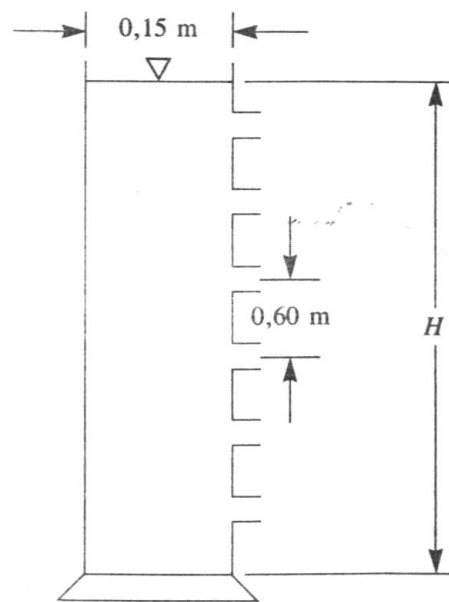


Figure III.3 : Colonne de décantation.

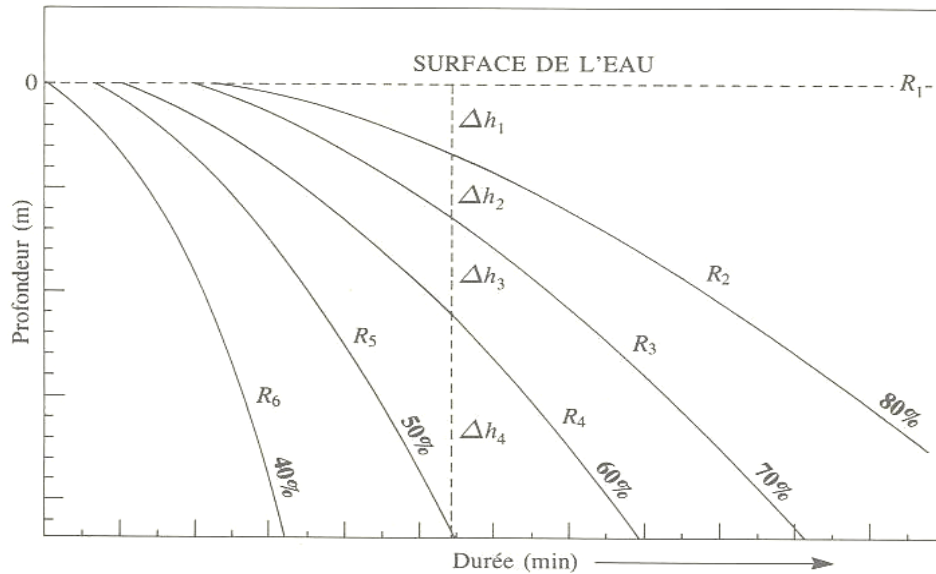


Figure III.4 : Courbes de mêmes pourcentages d'élimination des particules.

1.4.3-Décantation freinée :

Ce type de décantation est caractérisé par une concentration élevée de particules ; ce qui entraîne la formation d'une couche de particule et, par conséquent, l'apparition d'une démarcation nette entre les solides décantés et le liquide surnageant. On trouve ce type de décantation dans la partie profonde des décanteurs.

1.4.4-Décantation en compression de boue :

Dans ce type de décantation, les particules entrent en contact les unes avec les autres et reposent sur les couches inférieures. Dans cette zone, le phénomène de consolidation est relativement lent. On retrouve ce type de décantation dans les épaisseurs de boues par gravité.

1.5-Les décanteurs :

Les décanteurs sont des appareils dans lesquels l'eau circule d'une manière continue, très lentement, de façon qu'elle puisse abandonner ses matières en suspension et colloïdales rassemblées dans les flocons formés dans le flocculateur.

Les boues sont recueillies à la partie inférieure puis évacuées périodiquement ou par raclage continu si leur volume est important. [23]

D'après leur forme extérieure et le sens de l'écoulement de l'eau, on peut distinguer deux types de décanteurs : [24]

-*Décanteurs à écoulement horizontal, ou décanteurs couloirs* : L'eau circule sensiblement horizontalement et les flocons se déposent au fur et à mesure de la progression du floc vers la sortie de l'appareil. Les installations très importantes sont parfois équipées de décanteurs

horizontaux à étages dans le but de multiplier les surfaces de décantation tout en maintenant une surface projetée au sol relativement faible. On trouve le décanteur :

- Rectangulaire
- Circulaire

-Décanteurs à écoulement vertical : Dans les décanteurs verticaux, l'eau circule de bas en haut, c'est-à-dire en sens inverse de la chute des particules : la vitesse de chute de ces derniers doit donc être supérieure à celle de la vitesse ascensionnelle de l'eau. Ces types de décanteurs conviennent plutôt pour les faibles débits, à moins que l'eau à traiter ne renferme des flocons de fortes densités. [23]

Pour plusieurs types d'eaux résiduaires, on utilise les décanteurs à circulation verticale.

La vitesse dans le cylindre d'amenée ne doit pas dépasser 0,1 m/s. [23]

Ces types de décanteurs, encore appelés décanteurs statiques, on retrouve de nombreux types de décanteurs, circulaire, rectangulaire, raclé ou non raclé, précédé ou pas d'un flocculateur. Les plus récents sont garnis d'un dispositif de décantation lamellaire. Le temps de rétention, dans ces appareils, est normalement compris entre 2 et 4h.

La technique a évolué depuis les simples décanteurs statiques jusqu'au décanteurs modernes qui possèdent une zone de réaction ou l'on met en contact l'eau brut et ses réactifs avec les boues déjà existantes.

1.5.1-Théorie du décanteur parfait : [22]

Le décanteur parfait est une idéalisation analogue à celle des gaz parfait, il correspond à :

- Une équipartition du courant.
- Une absence de turbulence (régime d'écoulement laminaire).
- Une répartition uniforme des matières en suspension. Celle-ci devant obéir aux lois de la sédimentation (équation de Stocks, Allen et Newton).
- Immobilité des particules lorsqu'elles atteignent le lit de boues.

1.5.1.1-Bassin rectangulaire à fond horizontal : [21]

Dans un tel bassin, les paramètres sont les suivants (figure III.5):

A= aire de la section longitudinale de la zone de décantation ($L \cdot w$)

A' = aire de la section transversale de la zone de décantation ($H \cdot w$)

H = profondeur totale de la zone de décantation

h = profondeur partielle de la zone de décantation

L = longueur de la zone de décantation

Q = débit de l'eau

V_H = vitesse horizontale de l'eau (Q/A')

V_p = vitesse de chute d'une particule

V_0 = vitesse de chute « cible » d'une particule

w = largeur de la zone de décantation

On peut par ailleurs déterminer les différentes zones suivantes à l'intérieur du bassin idéal de décantation

Zone d'entrée : zone à l'intérieur de laquelle le débit est distribué uniformément à travers la section A' .

Zone de décantation : zone à l'intérieur de laquelle a lieu la décantation dite "tranquille" (débit uniforme).

Zone de sortie : zone où a lieu l'évacuation de l'eau décantée.

Zone de boues : zone où il y a accumulation des solides décantés

On remarque dans la figure III.5 que toutes les particules dont la vitesse de chute est supérieure à V_0 sont éliminées, quant aux particules dont la vitesse de chute est inférieure à V_0 (par exemple V_p), elles ne sont éliminées que si elles pénètrent dans la zone de décantation à une hauteur inférieure à h .

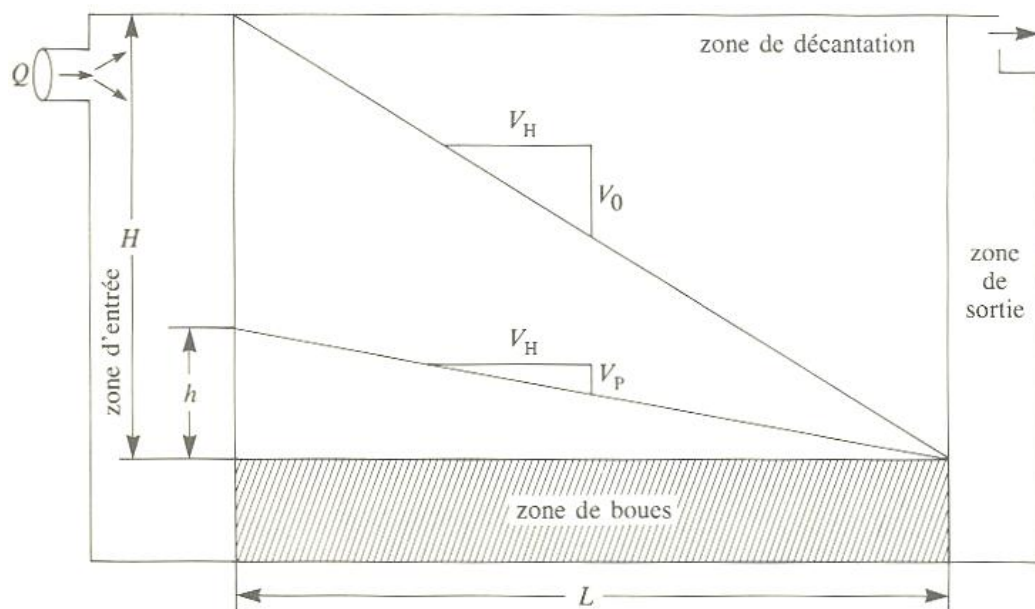


Figure III.5 : Bassin de décantation idéal rectangulaire à fond horizontal.

La durée de séjour de l'eau dans le décanteur est : [18]

$$t = \frac{H}{V_0}$$

D'autre part, la composante horizontale de la vitesse de la particule est constante, elle est donnée par l'équation :

$$\frac{dx}{dt} = \frac{Q}{A'} = \frac{Q}{w.H} = V_H$$

D'où le fait que la trajectoire de la particule est une droite, il s'ensuit que :

$$dx = \frac{Q}{w.H} dt$$

$$\int_0^L dx = \frac{Q}{w.H} \int_0^t dt$$

$$L = \frac{Qt}{wH} = \frac{QH}{wHV_0} = \frac{Q}{wV_0}$$

Et

$$V_0 = \frac{Q}{Lw} = \frac{Q}{A}$$

La vitesse d'une particule entrant dans le bassin à son niveau supérieur a deux composantes : [12]

V_H : vitesse horizontale du fluide $V_H = Q/A'$

V_0 : vitesse de chute ou vitesse verticale limite donnée par la loi de Stokes. Dans le cas d'un décanteur à courant ascendant, la particule est retenue dans le bassin si :

$$\frac{V_0}{H} > \frac{V_H}{L} = \frac{Q}{H.w.L}$$

$$\text{Soit : } V_0 > Q/A = V_S$$

V_S : vitesse de Hazen (ou charge hydraulique superficielle)

Il est à noter que V_S est indépendante de la profondeur du bassin

Toutes les particules ayant des vitesses de sédimentation supérieures à V_S seront théoriquement éliminées.

1.5.1.2-Bassins circulaires à radier plat et alimentation centrale : [18]

L'eau est amenée par une conduite au centre du bassin, d'où elle s'écoule vers le bord.

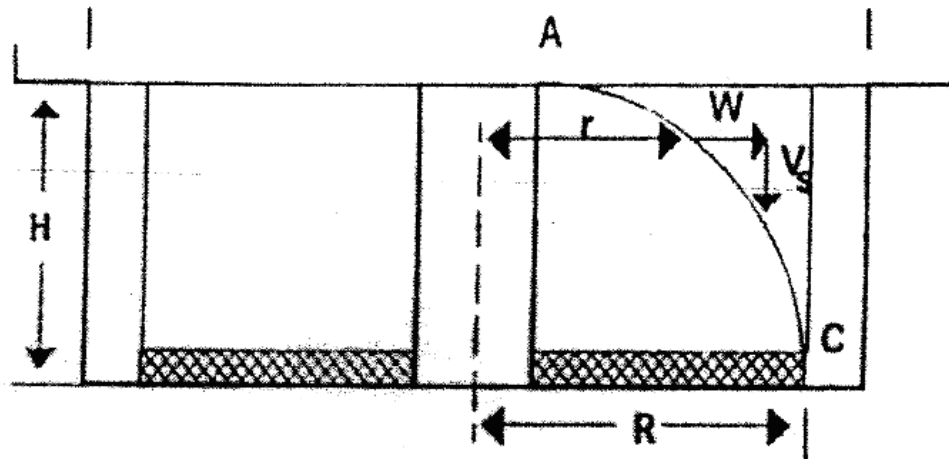


Figure III.6 : Décanteur circulaire à radier plat et alimentation centrale.

$$\frac{dr}{dt} = \frac{Q}{2\pi Hr} \Rightarrow 2\pi Hr dr = Q dt.$$

$$2\pi H \int_0^R r dr = Q \int_0^t dt \Rightarrow \pi R^2 H = Qt = Q \frac{H}{V_0}$$

$$V_0 = \frac{Q}{\pi R^2} = \frac{Q}{A}$$

Cette expression est identique à celle trouvée pour le bassin rectangulaire.

1.5.2-Le décanteur réel : [18]

Plusieurs facteurs viennent perturber le comportement d'un décanteur :

- Le régime d'écoulement est rarement laminaire ; le tourbillonnement de l'eau retarde la chute de la particule ;
- Les dispositifs d'admission et de sortie occasionnent des courants d'inertie ;
- L'eau brute est plus chargée que l'eau partiellement décantée ; ceci engendre un courant de densité qui longe le fond et qui tend à soulever les boues.
- Les particules en suspension se concentrent en s'approchant du fond et cessent d'être en chute libre ; elles entreprennent un régime de chute dite « gênée » ou « freinée ».

Ces facteurs ont plusieurs conséquences sur le régime de fonctionnement du décanteur :

- La vitesse de chute effective des particules est inférieure à leur vitesse de chute théorique ;
- La présence de courants préférentiels donne lieu à des zones quasi-stagnantes et, pour une fraction importante de l'eau, la durée de séjour dans le décanteur est inférieure à la durée théorique, la durée effective de séjour peut être mesurée à l'aide d'un traceur.

Il s'ensuit que le rendement d'un décanteur n'est jamais de 100%, selon certaines considérations théoriques, il ne peut dépasser 63% (et plus souvent 50%)

Donc pour éliminer toutes les particules ayant une vitesse de chute théorique $V = Q/A$, en supposant un rendement de 63%, il faut réduire le débit Q à $0,63Q$.

III.2.1.2-La filtration :

1-Généralités : [19,21]

La filtration est un procédé physique destiné à clarifier un liquide qui contient des matières solides en suspension en le faisant passer à travers un milieu poreux. Si ces matières à retenir sont de dimensions supérieures à celle des pores de filtre, elles sont retenues à la surface et la filtration est dite « en surface », ou en « gâteau » ou en encore « sur support ».

Dans le cas contraire, les matières en suspension sont retenues à l'intérieur de la masse poreuse, et la filtration est dite « en volume » ou « en profondeur » ou encore « sur lit filtrant ». Les solides en suspensions ainsi retenus par le milieu poreux s'y accumulent ; il faut donc nettoyer ce milieu de façon continue ou de façon intermittente.

La filtration, habituellement précédée des traitements de décantation, permet d'obtenir une bonne élimination des bactéries, de la couleur, de la turbidité et, indirectement, de certains goûts et odeurs.

2-Mécanisme de filtration : [12]

Suivant les caractéristiques des particules à retenir et du matériau filtrant mis en œuvre, peuvent intervenir l'un ou plusieurs des trois mécanismes principaux suivants : capture, fixation et détachement.

2.1-Mécanisme de capture :

Ils sont essentiellement de deux natures :

- **Tamissage mécanique** : il s'agit de la rétention des particules plus grosses que la maille du filtre ou que celle des éléments déjà déposés formant eux-mêmes matériau filtrant.

Ce phénomène intervient d'autant plus que la maille du matériau filtrant est plus fine : il est de peu d'importance pour un lit filtrant composé de matériau relativement grossier, par contre il est prépondérant dans une filtration sur support mince : tamis, manchon filtrant.

- **Dépôt sur le matériau filtrant** : la particule en suspension suit dans le liquide une ligne de courant ; sa taille, comparée à celle des pores, pourrait lui permettre de traverser le matériau filtrant sans être arrêtée. Différents phénomènes entraînent cependant un changement de trajectoire et le contact avec le matériau.

On distingue en particulier :

- L'interception directe par frottement,
- La diffusion par mouvement brownien,
- L'inertie de la particule,

-La décantation : par leur poids les particules peuvent se déposer sur le matériau filtrant quel que soit le sens de filtration.

Ces différents mécanismes de capture interviennent principalement dans la filtration en profondeur.

2.2 Mécanisme de fixation :

La fixation des particules à la surface du matériau filtrant est favorisée par une faible vitesse d'écoulement. Elle est due à des forces d'origine physique (coincement, cohésion...), et à des forces d'adsorption, principalement les forces de Van der Waals.

2.3-Mécanisme de détachement :

Sous l'action des mécanismes précédents, il se produit une diminution de l'espace entre les parois du matériau recouvertes de particules déjà déposées. Les dépôts déjà retenus peuvent se détacher partiellement et être entraînés plus avant dans le matériau filtrant ou même dans le filtrat.

Les particules solides contenues dans un liquide et les particules colloïdales plus ou moins floculées n'ont pas les mêmes caractéristiques et ne réagissent pas dans la même proportion aux divers mécanismes précédents.

3-Matériaux filtrants : [21]

Selon le type de filtre adopté, on recourt à divers matériaux filtrants ; on utilise:

-Des tissus de fibres, des toiles métalliques ou des pierres poreuses à interstices très fins. Ces matériaux retiennent les solides en surface; on ne les utilise jamais pour traiter des quantités d'eau importantes.

-Des granules libres qui n'adhèrent pas les unes aux autres. Ces matériaux sont insolubles et inattaquables par le liquide filtré ou par les solides qui s'y déposent. La filtration a lieu soit en surface, soit en profondeur, selon les caractéristiques granulométriques du matériau filtrant et selon la grosseur et la cohésion des solides en suspension. Le sable, l'antracite et l'ilménite sont couramment utilisés dans les usines de traitement des eaux.

4-Nature du milieu filtrant : [12]

Le sable quartzéux a été le premier des matériaux utilisés pour la filtration et c'est encore le matériau de base pour la plupart des filtres actuels.

L'antracite ou le marbre peuvent lui être substitués quand il est nécessaire d'éviter toute trace de silice dans les traitements industriels, ou quand leur approvisionnement est plus facile.

Pour certains traitements tels qu'affinage, traitement tertiaire des eaux résiduaires, etc., il est intéressant d'utiliser des matériaux à forte surface spécifique, tels que BIOLITE, schistes expansés, pouzzolane, etc.

Certains filtres utilisent une combinaison de plusieurs matériaux (filtres multicouches).

5-Caractéristiques des matériaux filtrants : [21]

Le milieu filtrant doit être constitué d'un matériau insoluble, chimiquement inerte vis-à-vis des eaux agressives, et apte à subir, sans s'effriter, le frottement intense que provoquent les lavages. Le sable de silice répond bien à ces exigences et son emploi est universel. Cependant, d'autres matériaux ont fait leur apparition dans les filtres modernes. D'autre part il faut noter que la conductibilité hydraulique (ou perméabilité) d'un lit filtrant est étroitement liée à sa porosité et au caractère granulométrique du matériau qui le constitue.

Les principales caractéristiques d'un matériau filtrant sont: le diamètre effectif, le coefficient d'uniformité, la densité relative, la porosité et la perméabilité. Il existe d'autres caractéristiques, beaucoup plus difficiles à mesurer, comme la forme des grains et la surface spécifique.

5.1-Diamètre effectif et coefficient d'uniformité :

Le diamètre effectif, D_E , et le coefficient d'uniformité, C_U , sont deux caractéristiques granulométriques importantes d'un matériau filtrant. Le diamètre effectif correspond à la grosseur des mailles du tamis qui laissent passer 10 % de la masse de l'échantillon. Ainsi, si on connaît D_E , on sait que 90 % (en masse) des grains de l'échantillon ont un diamètre supérieur à D_E . Le coefficient d'uniformité est le rapport entre le diamètre qui laisse passer 60 % des particules et celui qui en laisse passer 10 %, soit D_{60}/D_{10} .

Le diamètre effectif D_{10} doit être choisie en fonction de l'eau devant être filtrée et du type de filtration (tableau III.2).

Tableau III.2 : Application des sables en fonction de leur taille effective.

| Eau/application | D_{10} (mm) |
|--|---------------|
| Eaux de piscine | 0,55 |
| Filtres bicouches anthracite-sable | 0,75 |
| Eau destinée à la consommation humaine | 0,95 |
| Traitement tertiaire d'eaux usées urbaines | 1,35 |

Le coefficient d'uniformité C_U doit être inférieur à 1,5. Plus la valeur de C_U se rapproche de 1, meilleure est l'homogénéité obtenue pour le lit filtrant, ce qui permet de réduire les pertes de charge et d'obtenir une rétention en profondeur des matières en suspension. [25]

5.2-Densité relative du sable :

On peut calculer expérimentalement la densité relative du sable, γ_s , en divisant sa masse par celle de l'eau qu'il déplace. On procède de la façon suivante:

- On pèse un certain volume d'eau (on obtient m_e);
- On pèse le sable sec (on obtient m_s);
- On ajoute le sable à l'eau (l'eau déplacée déborde du récipient);
- On pèse le mélange d'eau et de sable (on obtient m_{es}).

On peut ainsi écrire

$$\gamma_s = \text{masse du sable} / \text{masse de l'eau déplacée} = m_s / (m_e + m_s - m_{es}) \dots\dots (III.14)$$

5.3-Porosité :

La porosité d'un amas de granules désigne la fraction de son volume occupée par de l'air si l'amas est sec, ou par de l'eau si l'amas est saturée d'eau.

$$\varepsilon = \frac{V_e}{V_T} = \frac{V_T - V_s}{V_T} \dots\dots\dots (III.15)$$

ε : porosité.

V_T : volume totale qui égale le volume des grains + le volume d'eau ($V_s + V_e$).

V_s : volume du solide (volume des grains).

V_e : volume de l'eau.

5.4-La perméabilité :

Ce paramètre est exprimé par le coefficient de perméabilité K qui figure dans la loi de Darcy :

$$Q = K.A. \frac{\Delta H}{L} \dots\dots\dots (III.16)$$

Q : débit de l'eau.

A : l'aire de la couche saturée.

L : l'épaisseur de la couche.

ΔH : la chute totale de pression à travers la couche.

6-Les différents procédés de filtration [26]:

Le but de la filtration est de séparer les constituants d'un mélange liquide -solide par passage à travers un milieu filtrant.

On distingue:

6.1-La filtration par gravité:

Le mélange est soumis uniquement à la pression atmosphérique. Le liquide passe à travers le support filtrant, tandis que le solide est récupéré sur le support filtrant.

6.2-La filtration par surpression:

L'effluent, arrive sous pression dans le filtre.

6.3-La filtration sous pression réduite:

Le mélange est soumis d'un côté du filtre à la pression atmosphérique, et de l'autre côté, où sort le filtrat, à une dépression réalisée grâce à une pompe à vide.

Le passage de l'eau à travers un milieu filtrant entraîne, une dissipation d'énergie qui se traduit par une perte de pression, ou « perte de charge », entre l'amont et l'aval.

Cette perte de charge croît plus ou moins rapidement au fur et à mesure que le milieu filtrant se charge d'impuretés, et le flux d'eau filtrée décroît en conséquence, pour une pression donnée.

7-Types de filtre

En fonction des performances qu'ils peuvent réaliser on peut distinguer différents types de filtres: [21]

- Des filtres à sable lents;
- Des filtres à sable rapides;
- Des filtres sous pression;
- Des filtres à terre diatomée.

7.1-La filtration lente :

La filtration lente consiste à faire passer l'eau à traiter à travers un lit de matériau filtrant à une vitesse de 0,1 à 0,2 m/h. Le matériau filtrant le plus approprié est le sable. Au cours de ce passage, la qualité de l'eau s'améliore considérablement par l'élimination de matières en suspension et colloïdales et par des changements dans sa composition chimique.

[27]

Un filtre de ce type est un filtre ouvert, constitué le plus généralement d'un bassin rectangulaire en béton armé - divisé en deux compartiments horizontaux par un faux-plancher situé à quelques décimètres au-dessus du radier.

Un matériau filtrant (le plus souvent du sable) est déposé sur ce faux-plancher et constitue un lit dont l'épaisseur est de l'ordre de 1 m, (de 0,70, à 1,20m). La figure III.7 représente une coupe schématique d'un filtre ouvert.

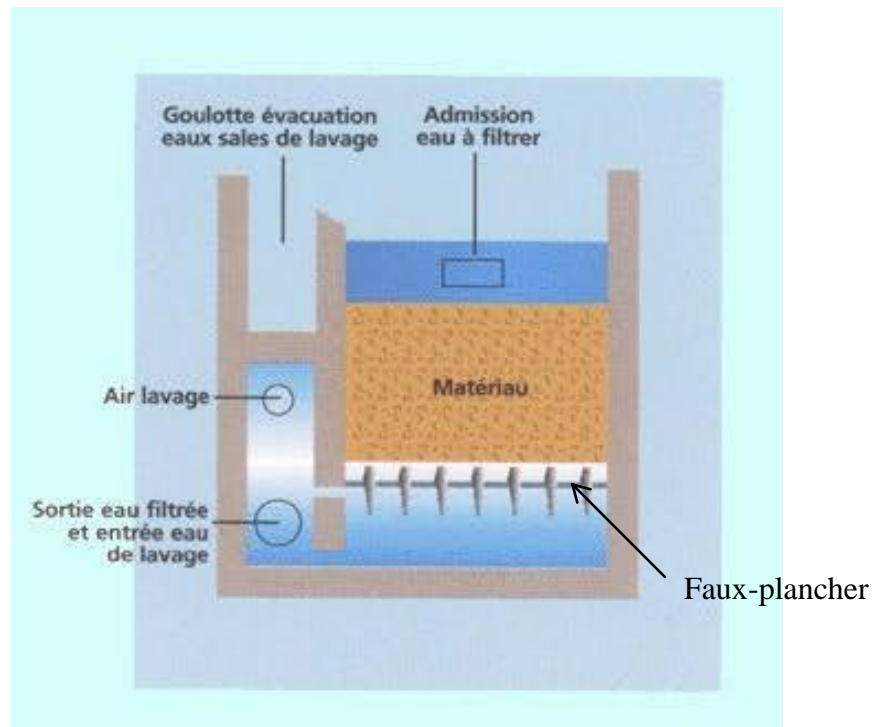


Figure III.7 : Exemple de filtre (coupe schématique) [28]

L'eau décantée admise au-dessus du lit filtrant, traverse celui-ci de haut en bas, ainsi que le faux-plancher qui comporte les dispositifs nécessaires à cet effet, et pénètre dans le faux fond (entre faux-plancher et radier) où elle est débarrassée des impuretés les plus fines, puis elle est évacuée à l'extérieur.

Nettoyage des filtres lents :

Le processus est généralement le suivant :

- détassage à l'eau à faible débit de l'ordre de $5 \text{ à } 7 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^2$ durant 2 minutes.
- lavage à fort débit d'air et faible débit d'eau pour brasser le sable et décoller les impuretés.
- dégazage pendant quelques minutes pour éviter toute embolie gazeuse du filtre.
- rinçage à fort débit d'eau, pour éliminer les impuretés, jusqu'à obtenir de l'eau claire.

7.2-La filtration rapide :

Elle s'applique à des eaux préalablement traitées (eau flocculée et décantée ou flottée) et aura pour but d'obtenir une clarification de l'eau par l'élimination des MES, au fur et à mesure des passages de l'eau à travers le lit filtrant. [18]

Selon le cas d'application, la filtration rapide met en œuvre des vitesses allant de 4 à 50 $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$. [12]

Le débit spécifique peut aller jusqu'à $5-7 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$. La filtration en profondeur intervient ici beaucoup plus que dans les filtres lents. Le colmatage se fait très rapidement et le nettoyage par un contre courant d'eau mélangée ou non à de l'air doit être effectué journallement.

Les eaux filtrées sont recueillies en utilisant l'une des deux méthodes suivantes :

- la couche filtrante peut reposer directement sur des dalles de béton, qui sont soit poreuses soit munies de bougies poreuses ou de buselures à fentes ;
- la deuxième méthode consiste à recueillir l'eau filtrée au moyen de tuyaux perforés qui sont noyés dans une couche de sable fin.

La filtration rapide a pour «inconvenient» qu'elle est une opération relativement complexe, nécessitant du personnel qualifié.

D'autre part, la surface nécessaire à l'installation d'un filtre rapide est très réduite et les débits d'eau filtrée très élevés. [18]

7.3-Filtration sous pression : [21]

Les filtres sous pression fonctionnent selon les mêmes principes que les filtres à sable rapide, sauf que leur couches de sable et de gravier, ainsi que leur réseau de drainage, sont situés dans des cylindres horizontaux ou verticaux, les quels sont conçus pour supporter des pressions de l'ordre de 1000 KPa. On peut ainsi filtrer de l'eau sous pression et la distribuer sans recourir au double pompage. Cet avantage ne compense toutefois pas les difficultés aux quelles on se heurte lorsque les filtres sont précédés d'unités de coagulation, de floculation et de décantation. En effet, pour éviter le double pompage, il faut alors que toutes ces unités de traitement fonctionnent sous pression.

7.4-Filtration sur terre diatomée : [21]

La terre diatomée qui constitue le milieu filtrant est produite à partir de dépôts naturels de diatomite, laquelle est une roche formée par des débris de diatomées, ces algues brunes unicellulaire, microscopiques, qui croissent dans les eaux douces ou salées, et dont la membrane est entourée d'une couche siliceuse.

Un filtre à terre diatomée est composé :

- D'un ensemble de tamis, qui jouent sensiblement le même rôle que les drains profonds, mais dont les mailles sont assez fine pour arrêter la terre diatomée ;
- D'un mince revêtement de terre diatomée placé sur ces tamis ;
- D'une cuve, ouverte ou fermée, dans laquelle on installe les éléments filtrants.

On utilise fréquemment ces types de filtres pour clarifier l'eau des piscines destinée à être recyclée.

III.2.2-Le traitement chimique :

1-Introduction : [21]

La turbidité et la couleur d'une eau sont principalement causées par des particules très petites, dites particules colloïdales. Ces particules, qui peuvent rester en suspension dans l'eau durant de très longues périodes de temps, peuvent même traverser un filtre très fin. Par ailleurs, du fait de leur grande stabilité, elles n'ont pas tendance à s'accrocher les unes aux autres.

Pour éliminer ces particules, on a recours aux procédés de coagulation et de floculation. La coagulation a pour but principal de déstabiliser les particules en suspension, c'est-à-dire de faciliter leur agglomération. En pratique, ce procédé est caractérisé par l'injection et la dispersion de produits chimiques. La floculation a pour but de favoriser, à l'aide d'un mélange lent, les contacts entre les particules déstabilisées. Ces particules s'agglutinent pour former un flocc qu'on pourra facilement éliminer par les procédés de décantation et de filtration.

2-Système colloïdale :

Les matières existantes dans l'eau peuvent se présenter sous les trois groupes suivants :

-Matières en suspension qui regroupe les plus grosses particules, ces matières sont d'origine minérale ou organique et possèdent un diamètre supérieur à 1 μm . Leur temps requis pour décanter d'un mètre varie de quelques dixièmes de secondes à plusieurs jours selon leur diamètre et leur densité.

-Matières colloïdales sont des MES de même origine mais de diamètre inférieur à 1 micron. Leur vitesse de décantation est pratiquement nulle. Les matières colloïdales d'origine minérale ont une densité relative de l'ordre de 2,65 alors que celles d'origine organique ont une densité relative beaucoup plus faible, soit de l'ordre de 1.1. Les particules colloïdales de faible densité peuvent nécessiter théoriquement jusqu'à 66600 années pour décanter de un mètre [20].

-Les matières dissoutes, sont généralement des cations ou anions de quelques nanomètres de diamètre

Cette classification résulte de la taille des particules. La figure III.8 illustre la classification des particules ainsi que les méthodes de leur séparation de la phase aqueuse.

La difficulté de sédimentation des particules colloïdales est essentiellement due d'une part, à la faible taille de la particule, à leur densité proche de l'eau et d'autre part, aux charges électriques réparties à leur surface qui leur confère une grande stabilité.

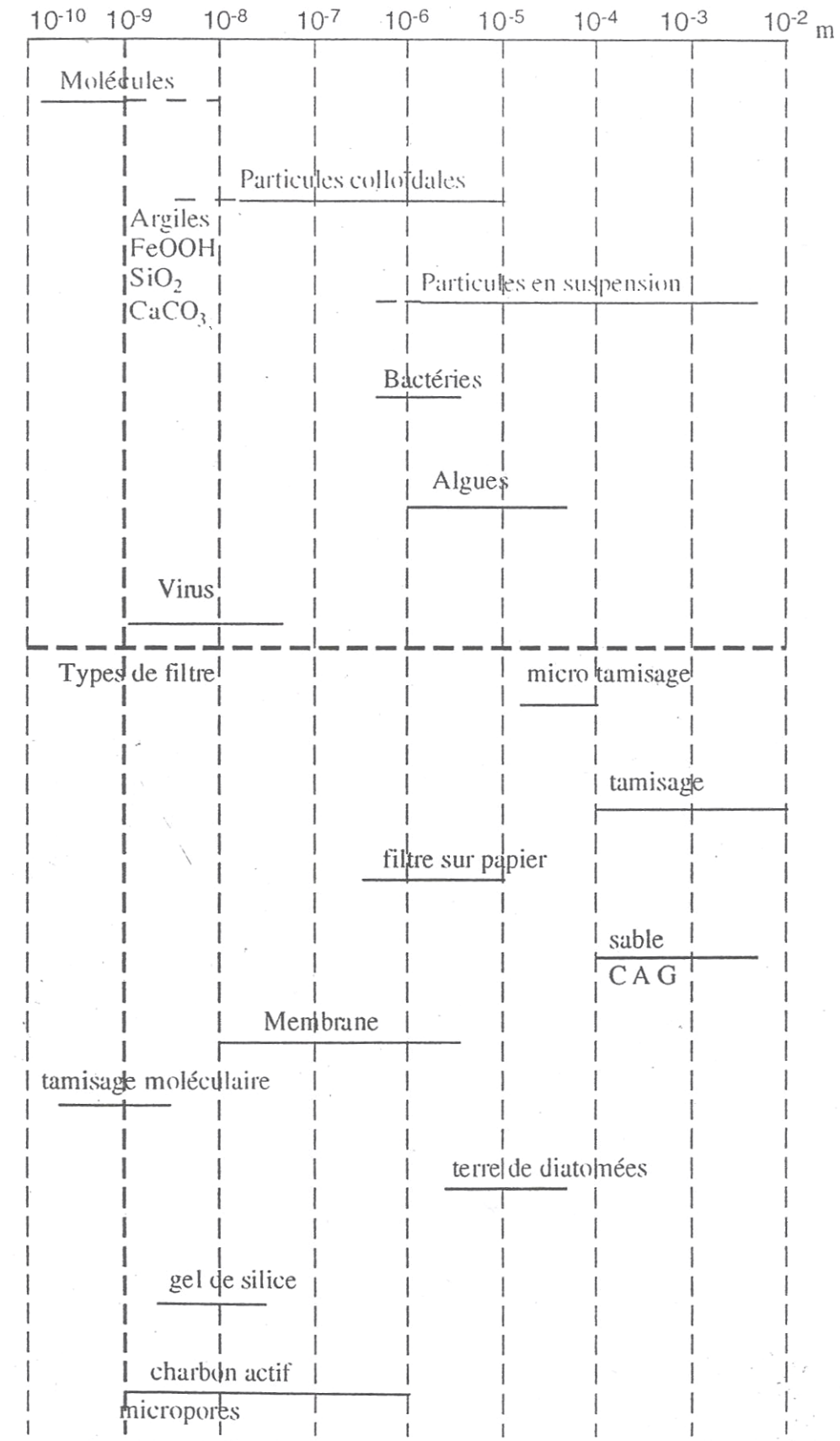


Figure III.8 : Classification des particules en fonction de leur diamètre et des méthodes de séparation [34].

L'origine de cette charge peut être diverse : [76]

-adsorption préférentielle d'ions, comme OH^- en milieu aqueux, petit et fortement polarisable.

-ionisation de groupes chimiques à la paroi de la particule.

-ions formés par réaction entre la particule et le liquide.

En effet, les particules sont entourées par un nuage ionique qui s'oppose au rapprochement des particules et diminue l'action des forces attractives inter particulaires [31].

2.1-Nature des systèmes colloïdaux:

Les particules colloïdales sont classées en deux catégories suivant leur comportement vis-à-vis de l'eau. Il s'agit des particules hydrophobes et hydrophiles.

2.1.1-Les particules hydrophobes :

Les particules hydrophobes n'ont aucune affinité pour l'eau. Leur stabilité est due à la charge électrique que portent ces particules qui engendre une répulsion mutuelle empêchant toute agglomération [33].

Ce sont en général des particules minérales telle que la silice et les argiles. [21]

2.1.2-Les particules hydrophiles :

Les particules hydrophiles présentent une grande affinité avec l'eau. Ces particules sont entourées d'une enveloppe d'eau fixée par des liaisons physico-chimiques à certains groupement de la matière tels que $-\text{COOH}$, $-\text{NH}_2$, ou $-\text{OH}$ [33]. Les particules colloïdales hydrophiles sont le plus souvent de nature organique. Parmi les substances de cette nature on peut citer les protéines, les savons, la gélatine et la matière organique naturelle. Les colloïdes hydrophiles sont plus difficiles à déstabiliser que les solutions hydrophobes. En effet, il faut agir d'abord sur les molécules d'eau qui les entourent pour permettre leur agglomération c'est-à-dire les déssolvater. [21]

2.2-Stabilité des particules :

Les particules colloïdales dans l'eau possèdent une charge électrique qui est généralement négative. Comme elles ont toutes la même charge, elles se repoussent et n'ont pas tendance à former des agrégats plus gros et donc plus facile à éliminer. Elles demeurent donc stables. Une particule typique est représentée dans la figure suivante :

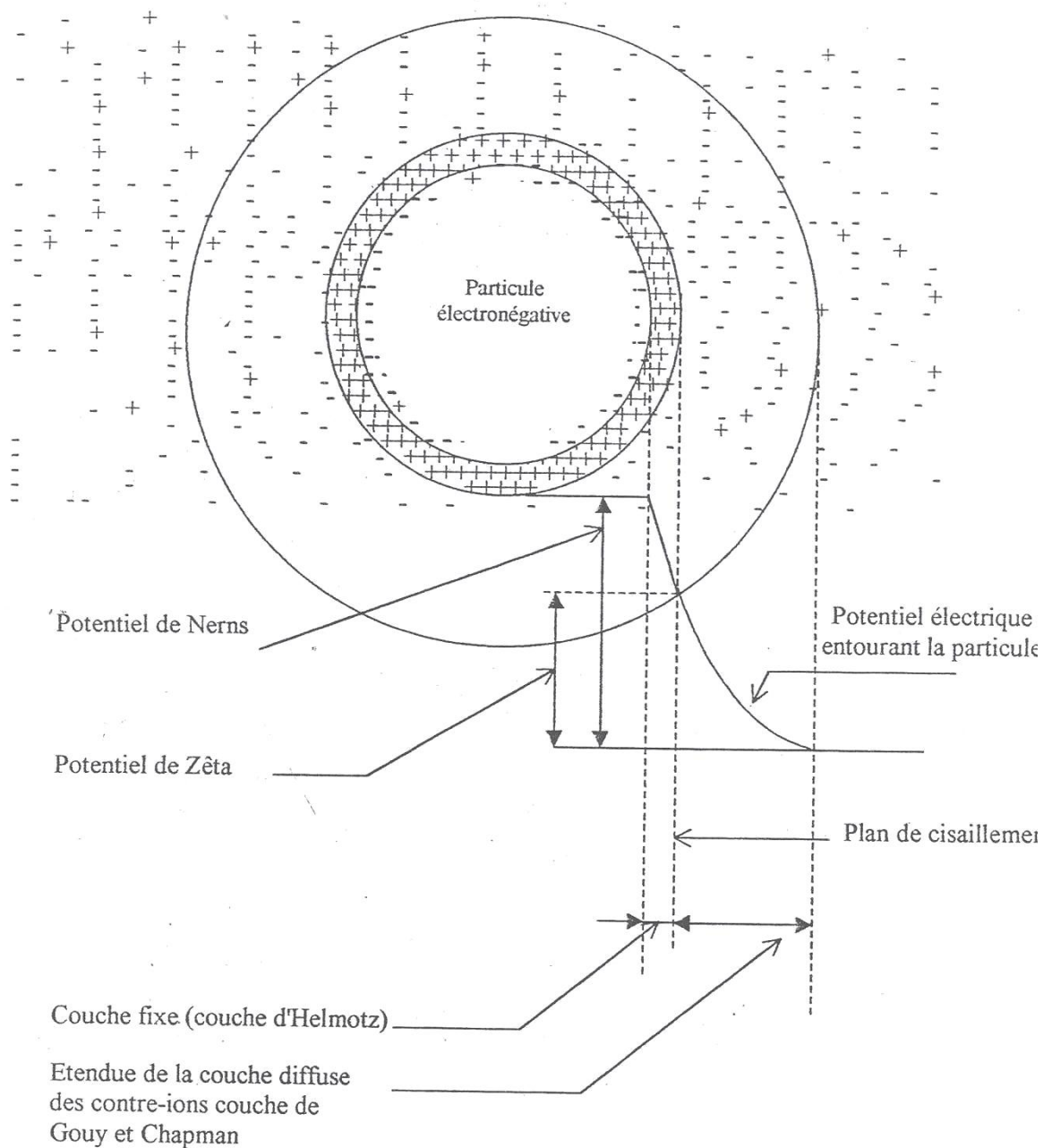


Figure III.9 : Représentation schématique de la double couche d'une particule colloïdale [33].

Les charges négatives superficielles attirent les ions positifs en solution dans l'eau ; ces derniers adhèrent fortement à la particule et attirent les ions négatifs accompagnés à leur tour d'une faible quantité d'ions positifs. Les ions fortement liés à la particule et qui se déplacent avec elle forment la couche fixe de Helmholtz. Les ions positifs qui adhèrent ainsi fortement à la particule, attirent à leur tour les anions accompagnés d'une faible quantité d'ions positifs formant ainsi la couche diffuse de Gouy et Chapman (figure III.9).

La couche fixe et la couche diffuse forment la double couche de Stern. Il y'a donc un gradient électrostatique entre la surface de la particule et la solution [35].

Le potentiel à la surface de la particule est appelé potentiel de Nernst. Le plan de cisaillement est la limite entre la partie de la solution qui se déplace avec la particule et la partie de la solution qui se déplace indépendamment de la particule. Le potentiel électrostatique mesuré au plan de cisaillement est appelé potentiel zêta (figure III.9) [21].

2.3-Potentiel Zêta :

Le potentiel Zêta est responsable du comportement électrocinétique de la particule colloïdale dû à la charge effective de l'ensemble particule-double couche. Quand la charge effective diminue, le potentiel Zêta et la stabilité diminuent.

Le potentiel qui existe entre la surface délimitant l'entité mobile et la surface extérieure de la couche diffuse, s'appelle potentiel Zêta.

Le potentiel Zêta est défini par l'équation :

$$\eta = \frac{4 \times \pi \times \mu \times U}{D} \dots\dots\dots \text{(III.17)}$$

μ : viscosité dynamique du liquide ($\text{Kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$) ;

U : mobilité de la particule (m.s^{-1}) ;

D : constante diélectrique du milieu.

Pour une particule hydrophobe, ce potentiel est de l'ordre de 50 à 100 mv.

Le potentiel électrostatique est influencé par la force ionique I de l'eau.

$$I = \frac{1}{2} \sum C_i \times Z_i^2 \dots\dots\dots \text{(III.18)}$$

I : Force ionique (mole/l) ;

C_i : Concentration de l'ion i (mole/l) ;

Z_i : Valence de l'ion i .

Une augmentation de la force ionique comprime la couche diffuse vers la particule se qui réduit le potentiel Zêta des particules hydrophobes. Pour les particules hydrophiles il faut plutôt agir sur la couche d'eau liée lorsqu'on veut favoriser leur agglomération [21].

3-La coagulation-floculation :

La coagulation-floculation est un procédé physico-chimique visant la déstabilisation et l'agglomération des particules colloïdales présente dans l'eau.

3.1-La coagulation :

La coagulation est la première étape dans le processus de traitement physico-chimique des eaux, elle consiste essentiellement à neutraliser ou à diminuer la charge électrique et favoriser ainsi le rapprochement des particules en vue de leur agglomération.

La coagulation résulte de l'addition de réactifs chimiques dans les dispersions aqueuses afin d'assembler en agrégats plus gros, les fines particules dispersées [36].

3.1.1-Mécanisme de la coagulation :

Le but principal de la coagulation est de déstabiliser ces particules, on peut obtenir cette déstabilisation par :

Compression de la couche diffuse

Lorsqu'on rapproche deux particules colloïdales semblables, leurs couches diffuses interagissent et génèrent une force de répulsion. Pour vaincre cette force on ajoute un électrolyte qui va créer, au sein de l'eau une force ionique plus élevée qui va contribuer à faire diminuer l'épaisseur de la double couche [31].

L'épaisseur δ du nuage ionique qui entoure et protège les particules est donnée par la formule de Debye Huckel (en nm et à 25°C) :

$$\delta = \frac{0,31}{\sqrt{\sum CZ^2}} \dots\dots\dots \text{(III.19)}$$

Où C : la concentration molaire de chaque espèce ;

Z : la valence de l'espèce.

Lorsque l'épaisseur diminue, les particules peuvent se rapprocher d'avantage et les forces d'attraction de Van der Waals vont être supérieures aux forces électrostatiques ce qui va favoriser l'agrégation des particules [37]. La figure III.10 représente schématiquement ce mécanisme

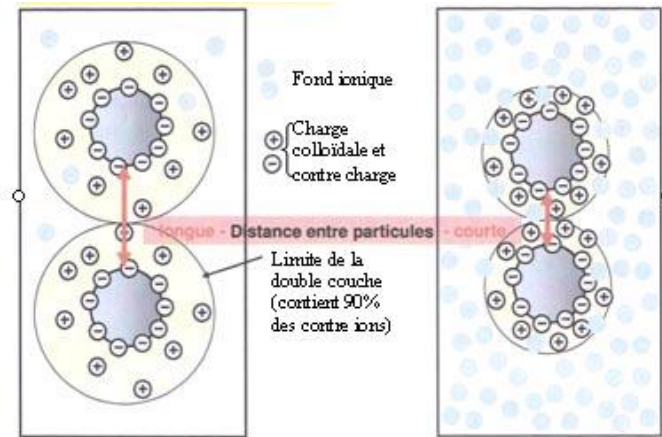


Figure III.10 : Représentation schématique de la compression de la couche diffuse

Adsorption et neutralisation des charges

Ce mécanisme repose sur l'ajout suffisant de cations afin de neutraliser la charge négative des particules stables par adsorption des cations sur leur surface. Par contre, la surdose de coagulant, source de cations, peut résulter en une adsorption trop importante de cations et inverser la charge des particules qui devient alors positive. Les particules seraient ainsi restabilisées [29]. La figure III.11 représente ce mécanisme.

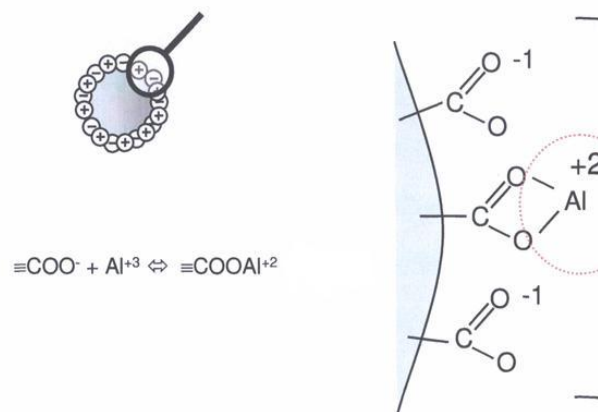


Figure III.11 : Représentation schématique de neutralisation des charges.

Emprisonnement des particules dans un précipité

Lorsque des quantités suffisantes de coagulant comme le $Al_2(SO_4)_3$, ou le $FeCl_3$, sont ajoutées, ils forment un précipité possédant généralement une charge positive. Le pH de l'eau doit se situer dans une plage où la solubilité des sels est minimale. Le précipité formé, appelé floc, entre en contact avec les particules de charge négative et les emprisonne. Les particules sont ensuite entraînées lors de la décantation. La figure III.12 montre ce mécanisme.

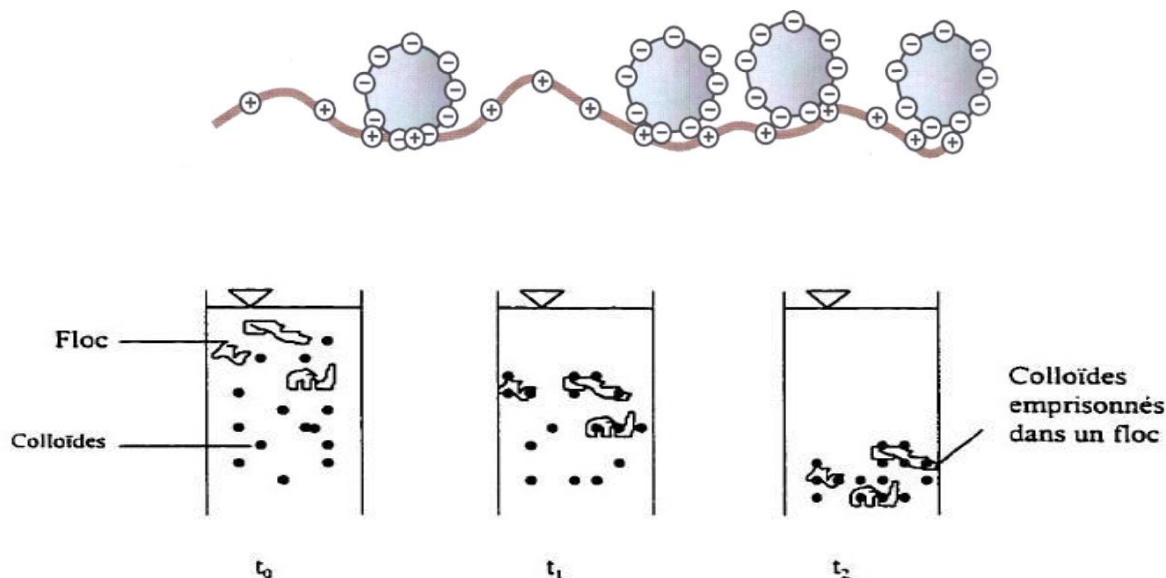


Figure III.12 : Emprisonnement des particules dans les flocs pendant la décantation

Adsorption et pontage :

L'utilisation de polymères synthétiques ou naturels comme agents destabilisants dans le traitement des eaux, a montré que l'on obtenait des résultats très encourageants. Ce phénomène par fois inexplicable à l'aide de la théorie de la double couche peut être expliqué par l'adsorption et le pontage. En effet, il peut se produire l'adsorption de molécules de polymères sur la particule qui conduit à une modification de son état de surface du point de vue des charges entraînant ainsi une variation du potentiel Zêta.

Par ailleurs le pontage, découle du fait que les molécules de polymères, très longues, contiennent des groupements généralement polaire chimique qui peuvent s'adsorber sur des particules colloïdales. La molécule de polymère peut ainsi se fixer sur une particule colloïdale à une de ces extrémités, alors que les autres sites sont libres pour « piéger » d'autres particules. On dit que les molécules de polymères forment des « ponts » entre les particules colloïdales, la figure III.13 décrit le processus. Il peut y avoir aussi restabilisation de la suspension, imputable à une concentration excessive de polymère [39].

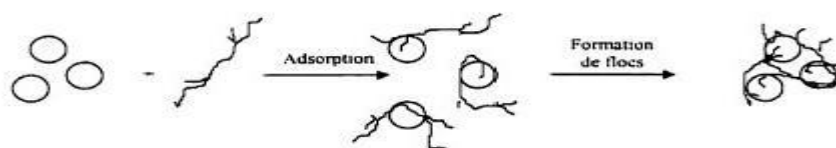


Figure III.13 : Adsorption et pontage à l'aide de polymères

3.1.2-Facteurs influençant la coagulation:

De nombreux facteurs influencent le mécanisme et l'efficacité de la coagulation. Certains sont liés à la qualité de l'eau à traiter : le pH, l'alcalinité, la turbidité, la couleur, et les matières organiques, la température. D'autres sont liés au traitement lui-même : la nature, la dose du coagulant et le mode d'injection. [40]

3.1.2.1-L'influence du pH :

Le pH est la variable la plus importante à prendre en considération au moment de la coagulation. Pour chaque eau, il existe une plage de pH pour laquelle la coagulation est optimale, elle est fonction du coagulant utilisé, de la concentration et de la composition de l'eau à traiter. Les floccs sont des précipités d'hydroxydes de métaux. Leur formation et leur stabilité dépendent donc du pH. Les zones de prédominance des hydroxydes de fer et d'aluminium sont présentées dans le tableau suivant :

| Forme prédominante | pH |
|----------------------|-----------|
| Al (OH) ₃ | 5,8 à 7,2 |
| Fe (OH) ₃ | 5,5 à 8,3 |

Pour que la coagulation puisse se produire hors de cette plage optimale, il faut soit augmenter la quantité de coagulant, soit se contenter d'une eau de moins bonne qualité.

3.1.2.2-L'influence de la minéralisation :

En règle générale, la minéralisation de l'eau exercent des influences sur la coagulation et la floculation :

- Modification de la plage de pH optimale.
- Modification du temps requis pour la floculation.
- Modification de la quantité de coagulant requis.

3.1.2.3-L'influence de la température de l'eau :

Une diminution de la température de l'eau entraîne une augmentation de la viscosité, c'est ce qui explique les difficultés de décantation du flocc.

L'abaissement de la température entraîne [21, 41,42] :

- Une augmentation de la concentration en sulfate d'aluminium (alun) à l'optimum de floculation.
- Une décroissance de la taille des floccs.
- Un déplacement du pH optimum de floculation vers les pH basique

3.1.2.4-L'influence du coagulant :

Le choix du coagulant influence les caractéristiques de la coagulation, autrement dit, les finalités de traitement, même si l'alun est le coagulant le plus utilisé. Il peut être avantageux de le remplacer par un autre coagulant ou de mettre de l'adjuvant selon les caractéristiques de l'eau à traiter. On ne peut choisir un coagulant et en déterminer la concentration optimale qu'après essai au laboratoire vu la complexité du phénomène [43].

3.1.2.5-Conditions d'agitation :

Le processus de coagulation floculation se déroule généralement en deux étapes :

- Une étape de mise en contact entre l'eau à traiter et le coagulant. Cette étape se déroule généralement sous forte agitation ; son but est également de permettre la neutralisation de la charge des particules et d'amorcer le processus de floculation par la formation de microflocs.

La turbidité résiduelle dépend du temps de mélange rapide et pour chaque combinaison de gradient de vitesse et dose du coagulant injecté ; il existe un temps de mélange rapide associé au minimum de turbidité [44].

- Une étape d'agitation lente qui assure la mise en contact et la croissance des floes, Camp et Stein proposent que le critère GT (dit critère de Camp) soit retenu le bon contrôle du bon fonctionnement d'un flocculateur $10^4 < GT < 10^5$ avec $20 < G < 60 \text{ s}^{-1}$.

Il existe un maximum pour la taille de floc de l'ordre de 500 μm qui correspond à une valeur de $GT = 10^4$ [45]:

-Pour les faibles valeurs de GT, le mécanisme de croissance prédomine.

-Pour $GT > 10^4$ le mécanisme de cassage de floc est plus important.

-Plus la valeur de G est grande et plus le cassage du floc est important.

Le cassage de floc est indépendant de la géométrie du flocculateur mais dépend en plus de l'énergie d'agitation, de la dimension, de la structure et de l'âge du floc [46].

3.1.2.6-Nature et charges des substances colloïdales :

Les études réalisées sur la coagulation-floculation de suspensions colloïdales affirment qu'il existe une relation stoechiométrique entre la charge des substances colloïdales et le taux de sulfate d'aluminium ajouté [41].

Dans le cas de coagulation par adsorption-déstabilisation, on a observé une relation stoechiométrique entre la surface spécifique et la dose du coagulant [47].

La structure minéralogique et les propriétés surfaciques des particules affectent la dose du coagulant [48].

Dans le cas de déstabilisation par neutralisation de charge la dose du coagulant est liée à [49] :

- La solubilité de l'hydrolyse de l'aluminium.
- La densité de charge des particules primaires.
- La surface spécifique des particules primaires.

3.1.3-Réactifs utilisés en coagulation :

Les travaux déjà anciens, ont abouti aux conclusions suivantes : [39]

- Tous les sels minéraux possèdent une activité coagulante plus ou moins importante ;
- L'efficacité coagulante est liée à la valence du cation du sel, Ainsi un ion divalent est-il jusqu'à 200 fois plus efficace et un trivalent jusqu'à 10000 fois plus efficace qu'un monovalent, la valence de l'anion ne jouant qu'un faible rôle ;
- Les concentrations nécessaires pour provoquer une agglomération identique des particules, par des sels contenant des cations mono, bi et trivalentes sont dans le rapport 100/10/1.

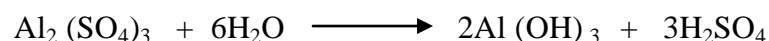
En pratique, on utilisera surtout des sels à cations trivalents (Al^{3+} , Fe^{3+}).

Les coagulants sont des produits qui neutralisent les charges de surface des matières colloïdales [24]. Les coagulants principalement utilisés pour déstabiliser les particules colloïdales sont à base de sels d'aluminium ou de fer hydrolysable au pH voisin de la neutralité.

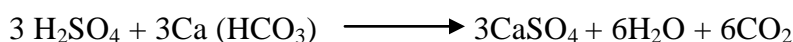
1-Les sels d'aluminium :

Parmi les sels d'aluminium les plus utilisés en coagulation on peut citer le sulfate d'aluminium [50].

C'est un sel basique, hydraté, commercialisé sous la forme solide $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, il se dissocie dans l'eau en ions aluminium et sulfate, conduisant à des réactions chimiques avec les ions hydroxydes de l'eau. En effet, l'ion aluminium réagit sur l'eau pour former l'hydroxyde d'aluminium qui précipite sous la forme d'un flocc volumineux [52]



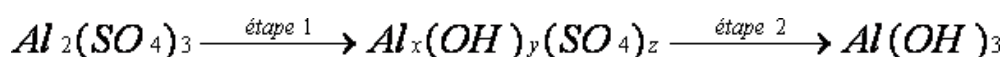
Il se forme un acide qui réagit avec le bicarbonate présent dans l'eau.



La réaction globale est :



La mise en solution d'un coagulant se déroule en deux étapes.



L'étape 1 est une phase d'hydrolyse. Des intermédiaires polychargés positifs se forment. Ils sont très efficaces pour neutraliser la charge des colloïdes. Il s'agit de la véritable forme coagulante qui déstabilise les particules chargées négativement.

L'étape 2 permet la formation du précipité d' $\text{Al}(\text{OH})_3$. Cette réaction dépend de l'agitation du milieu. Ce précipité est l'élément qui assure la coalescence des colloïdes déstabilisés : c'est la forme floculante [30].

1.1-Hydrolyse des sels d'aluminium :

La coagulation est une étape indispensable avant l'étape de séparation solide-liquide : décantation, flottation, filtration, etc. Son rôle est de déstabiliser les particules colloïdales pour les agglomérer. De nombreux travaux ont été consacrés à l'hydrolyse des sels d'aluminium [34,53].

Réaction d'hydrolyse et les espèces formées

En solution très acide ($\text{pH} < 3$), les sels d'aluminium sont dissociés sous forme d'ions hydratés coordonnant 6 molécules d'eau selon la formule $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$. Quand on dilue ces coagulants concentrés on augmente le pH, des réactions d'hydrolyse ont lieu : les ions métalliques hydratés libèrent des ions H^+ , diminuant ainsi la charge sur les ions métalliques hydratés.

La première étape très rapide (réaction d'hydrolyse) conduit à la formation de monomère. Elle est suivie d'une seconde étape où se produisent des réactions de polymérisation. La troisième étape est la formation de $\text{Al}(\text{OH})_3$ solide amorphe puis leur lent vieillissement, vers le solide α - $\text{Al}(\text{OH})_3$ (s).

Selon Baes [53], les espèces hydrolysées existent sous les formes suivantes :

- 1-cinq monomères d'aluminium (Al^{3+} , AlOH^{2+} , $\text{Al}(\text{OH})_2^+$, $\text{Al}(\text{OH})_3^0$, $\text{Al}(\text{OH})_4^-$),
- 2-trois polymères d'aluminium ($\text{Al}_2(\text{OH})_2^{4+}$, $\text{Al}_3(\text{OH})_4^{5+}$, $\text{Al}_{13}\text{O}_4(\text{OH})_{24}^{7+}$),
- 3-un précipité solide d'aluminium ($\text{Al}(\text{OH})_3$ (s)).

Les réactions d'hydrolyse ou de polymérisation des espèces d'aluminium ci-dessus et leurs constantes d'équilibre à 25°C sont résumées dans le tableau (III.3).

Tableau III.3: Réactions d'hydrolyse de Al (III) et constantes d'équilibre à 25°C [54]

| Réaction | Constante (log K) | Références |
|--|-------------------|--------------------------|
| $(am)Al(OH)_3(s) + 3H^+ \rightleftharpoons Al^{3+} + 3H_2O$ | 9,15 | Sillen et Martell (1971) |
| $Al^{3+} + H_2O \rightleftharpoons AlOH^{2+} + H^+$ | -4,97 | Baes et Mesmer (1976) |
| $Al^{3+} + 2H_2O \rightleftharpoons Al(OH)_2^+ + 2H^+$ | -9,30 | Stumm et Morgan (1981) |
| $Al^{3+} + 3H_2O \rightleftharpoons Al(OH)_3^0 + 3H^+$ | -15,0 | Stumm et Morgan (1981) |
| $Al^{3+} + 4H_2O \rightleftharpoons Al(OH)_4^- + 4H^+$ | -21,7 | Sillen et Martell (1971) |
| $2Al^{3+} + 2H_2O \rightleftharpoons Al_2(OH)_2^{4+} + 2H^+$ | -7,70 | Baes et Mesmer (1976) |
| $3Al^{3+} + 4H_2O \rightleftharpoons Al_3(OH)_4^{5+} + 4H^+$ | -18,9 | Baes et Mesmer (1976) |
| $13Al^{3+} + 28H_2O \rightleftharpoons Al_{13}O_4(OH)_{24}^{7+} + 32H^+$ | -98,7 | Baes et Mesmer (1976) |

D'autres polymères sont aussi proposés par divers chercheurs, par exemple :

$Al_8(OH)_{24}^{4+}$ [55]. L'existence de $Al_2(OH)_2^{4+}$ et $Al_{13}O_4(OH)_{24}^{7+}$ est confirmée par cristallographie à rayon-X [56] et par résonance magnétique nucléaire [57]. L'existence de certains polymères présumés tels que $Al_3(OH)_4^{5+}$ et $Al_8(OH)_{24}^{4+}$ ne se fonde que sur des observations indirectes ou des considérations théoriques.

La formation des monomères par réactions d'hydrolyse est très rapide (de l'ordre de 10^{-10} à 10^{-4} s), et les dimères se forment en 1s environ [58]. La vitesse de formation de $Al(OH)_3$ (s) est fonction du pH et de la concentration en espèces solubles [34]. Le précipité peut se former en 1 à 7s [59]. La formation de polymère $Al_{13}O_4(OH)_{24}^{7+}$ dépend de plusieurs conditions : température élevée, ajout et mélange spécifiques de la base, temps long de mise en réserve [60].

Répartition des espèces d'hydrolyse à l'équilibre

Le pH est un paramètre particulièrement important car il détermine à la fois l'importance des charges des particules (donc leur stabilité) et la précipitation du coagulant.

MATTSON a été l'un des premiers à noter que l'ion Al^{3+} , pouvait provoquer une inversion de charge de la suspension à certaines valeurs du pH. Il suggère alors que ce sont les produits d'hydrolyse de l'aluminium qui sont responsables de ce phénomène [62].

En effet, la réaction des sels d'aluminium avec l'eau donne lieu à la formation de différentes espèces dont la charge électrique est fonction du pH dont l'influence est déterminante sur la coagulation. La figure (III.14), montre que le pH le plus favorable se situe entre 6 et 7,4, domaine qui correspond à l'existence de l'hydroxyde $Al(OH)_3$

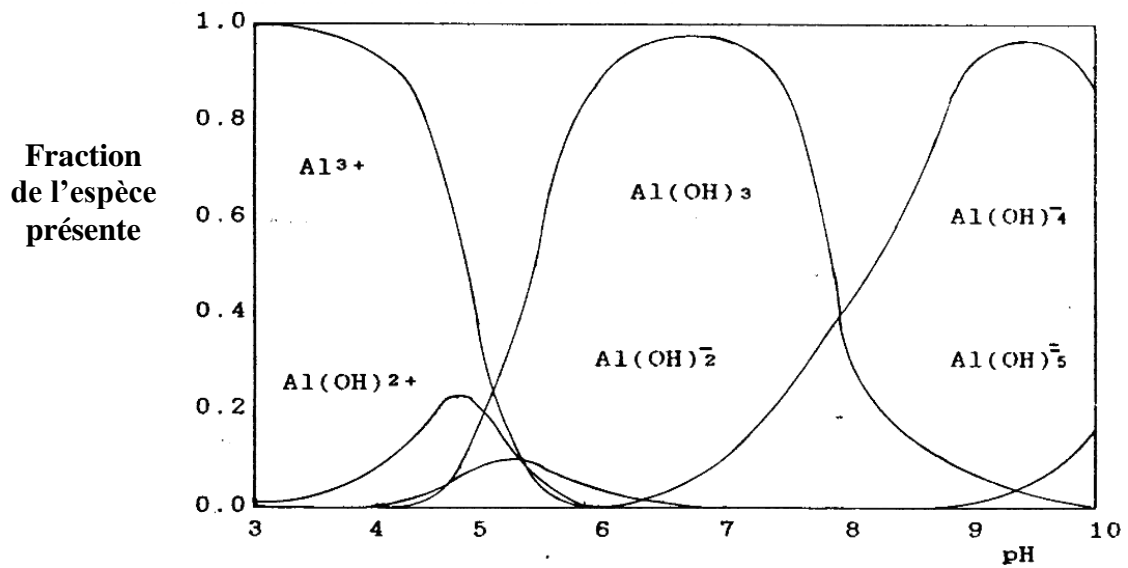


Figure III.14 : Diagramme de stabilité des espèces ioniques dérivant de l'hydrolyse des sels d'aluminium.

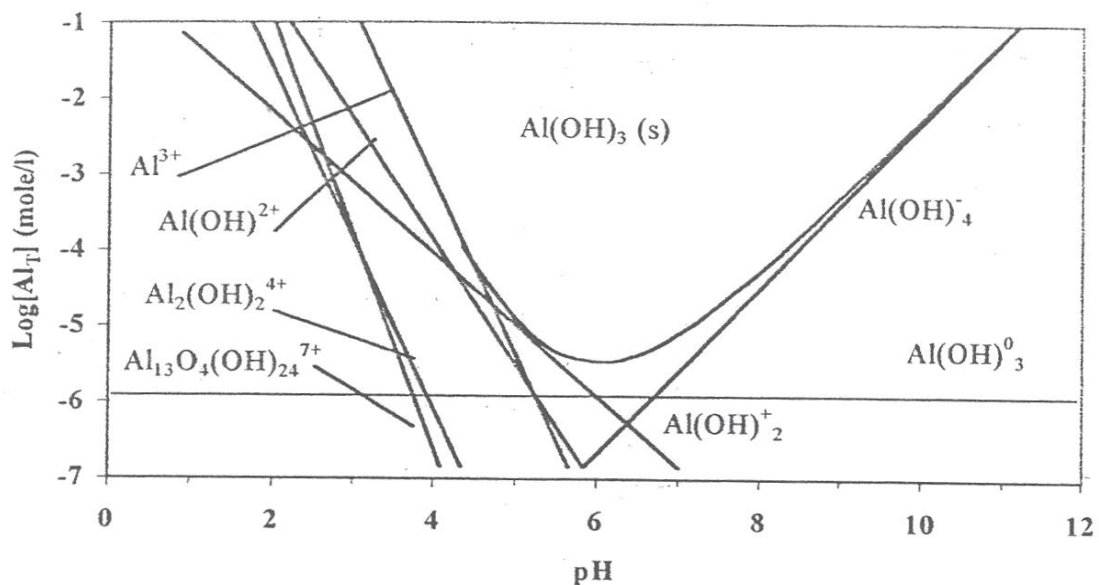


Figure III.15 : Diagramme de solubilité dans l'eau de $\text{Al}(\text{OH})_3$ à 25°C

De nombreux diagrammes $\text{Log Al} = f(\text{pH})$ figure III.15, permettant de délimiter différentes zones d'existence et mode d'action des diverses espèces, ont successivement été proposés par plusieurs chercheurs.

Il existe d'autres sels d'aluminium utilisés dans le traitement des eaux qui sont :

- Le chlorure d'aluminium : $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.
- L'aluminate de soude : NaAlO_2 .
- Polychloro sulfate basique d'aluminium: $\text{Al}_n(\text{OH})_m\text{Cl}_{3n-m-2p}(\text{SO}_4)_p$.

•Polyalumino-silico-sulfate (pass) : $(Al_a(OH)_b(SO_4)_c(SiO_x)_d)_n$

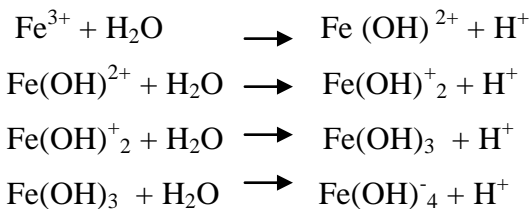
Ce dernier coagulant est plus avantageux pour les eaux dont le pH et la turbidité sont faibles et en particulier à basse température [63].

2-Sels de fer :

En général, les composés du fer semblent avoir de légers avantages comparativement aux autres et ces, grâce au fait que le floc formé soit lourd et se dépose facilement sous des conditions favorables [64].

La composition des espèces dans une solution d'un sel ferrique dépend principalement du pH, de la concentration, de la température et autre facteurs.

L'hydrolyse d'un sel ferrique mène à la formation d'espèces monomériques, dimériques et possiblement de petits complexes polymériques, après la dissociation de sel ferrique hydraté, $Fe(H_2O)_6^{3+}$ les réactions d'hydrolyse s'écrivent selon SNOEYINK et JENKINS [65] :



Pour que la coagulation par les sels ferriques s'effectue correctement, il faut que le pH soit supérieur à 5,5 ou 6. Aucune redissolution de l'hydroxyde, $Fe(OH)_3$, n'est à craindre aux pH élevés [39]. La figure III.16, montre clairement les différents domaines de pH correspondant à la stabilité des différents produits d'hydrolyse.

Enfin, il faut signaler que l'hydroxyde ferrique montre plus d'affinité pour les matières humiques et se révèle plus efficace comme décolorant. Les sels du fer sont généralement plus coûteux que le sulfate d'aluminium, ce qui explique leur emploi plus restreint. Il faut néanmoins les considérer dans le cas d'eaux brutes pauvres en alcalinité et fortes en couleurs ou dans des circonstances exigeant une coagulation à pH très élevé [18]

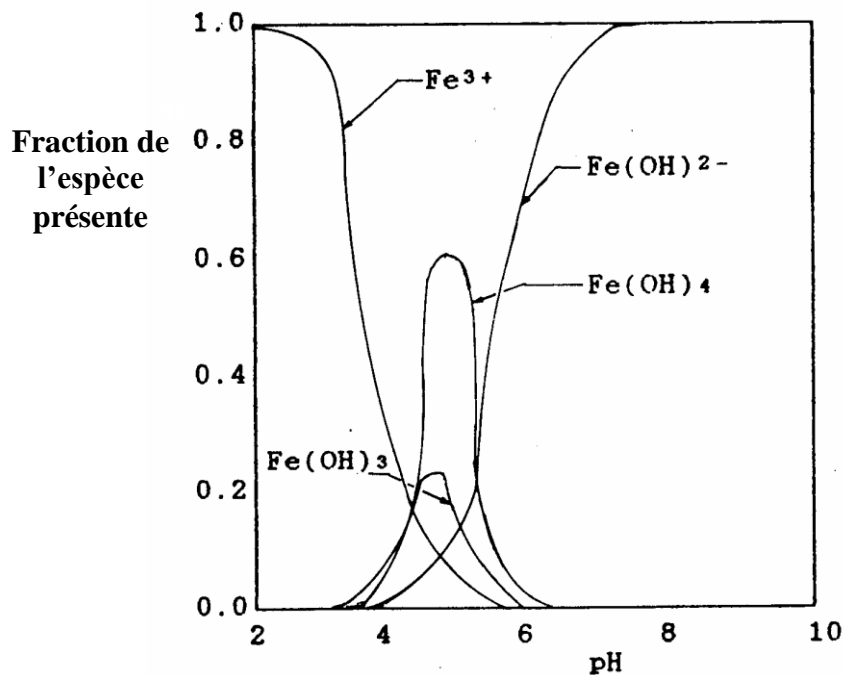


Figure III.16 : Diagramme de stabilité des espèces ioniques dérivant de l'hydrolyse des sels de fer [66].

Les sels de fer utilisés dans le traitement des eaux sont :

- Chlorure ferrique $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
- Sulfate ferrique $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$
- Sel double FeClSO_4
- Sulfate ferreux $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

3.2-La floculation :

La floculation est l'agrégation des particules déjà déstabilisées, par collision les unes contre les autres ce qui conduit à la croissance en taille du floc et à la diminution en nombre des particules en solution [21].

Les processus préalables à la floculation sont :

- La coagulation,
- Les oxydations chimiques ou biologiques qui détruisent les « colloïdes protégés »,
- Le changement des conditions générales tel que le pH et la température,
- Et enfin, l'utilisation de réactifs auxiliaires (par exemple : les adjuvants de floculation).

La coagulation demeure l'étape préparatoire la plus importante pour la floculation. Cette dernière peut être provoqué par trois mécanismes [67] :

-Le mouvement brownien : on parlera alors de la floculation péricinétique ; elle est fonction du produit KT où K est la constante de Boltzmann et T est la température absolue de la suspension. Son importance est limitée dès que le diamètre des particules ou des micro-flocs dépasse le micron.

-L'écoulement du fluide donnant naissance à un gradient de vitesse : c'est la floculation orthocinétique.

-Le mouvement relatif des particules dû à la différence de densité entre les particules (cas de la sédimentation).

3.2.1-Types de floculation :

3.2.1.1-Floculation péricinétique :

La rencontre de deux particules conduit à la formation d'un agrégat : c'est la floculation péricinétique [68].

La vitesse de floculation ou la variation du nombre de particules au cours du temps est donnée par :

$$F_p = -\frac{dn}{dt} = \frac{4 \times \alpha \times k \times T \times n^2}{3\mu} \dots\dots\dots (III.20)$$

Où :

n : nombre de particules par unité de volume ;

α : fraction du nombre de chocs productive de floc ;

k : constante de Boltzmann qui vaut $13,8 \times 10^{-24} \text{ j.K}^{-1}$;

μ : viscosité dynamique de l'eau (pa.s) ;

T : température absolue ($^{\circ}\text{K}$) ;

$\frac{dn}{dt}$: variation du nombre de particule à un instant t .

Au cours du processus de floculation lui-même, le mouvement Brownien a de moins en moins d'effet sur le mouvement des particules dont la taille augmente progressivement.

Cette augmentation accroît aussi l'influence de la barrière énergétique et ceci réduit encore le contact péricinétique dès que le diamètre de particules dépasse $1 \mu\text{m}$ [36].

3.2.1.2-Floculation orthocinétique :

Le mouvement relatif de différentes couches parallèles du liquide dû à un gradient de vitesse permet de mettre en contact des particules se déplaçant à des vitesses différentes.

3.2.1.2.1-Définition du gradient de vitesse :

La variation de la distribution des vitesses entre les plans parallèles du liquide est caractérisée par le rapport [69] :

$$G = \frac{dU}{dY} \dots\dots\dots (III.21)$$

Où G est appelé gradient de vitesse et s'exprime en s^{-1} ,

U est la vitesse d'un élément de surface mobile au sein du fluide,

Y est la distance entre deux éléments de surface.

3.2.1.2.2-Théorie de la floculation [69,70] :

SMOLUCHOWSKI (1917) a établi un modèle mathématique donnant le nombre de contact H_{ij} entre les particules dans un écoulement laminaire.

$$H_{ij} = \frac{4}{3} n_i n_j R_{ij}^3 \frac{dU}{dZ} \dots\dots\dots (III.22)$$

Où H_{ij} est le nombre de contacts entre toutes les particules i et les particules j par unité de temps.

n_i est le nombre de particules i par unité de volume.

n_j est le nombre de particules j par unité de volume.

R_{ij} est la somme de deux rayons r_i et r_j de particules i et j.

$\frac{dU}{dZ}$ est le gradient de vitesse constant dans la direction Z.

L'application de cette équation au cas réel est évidemment limitée par l'hypothèse d'un écoulement laminaire. En effet, les flocculateurs industriels opèrent en régime turbulent.

Dans le cas d'un écoulement turbulent, les gradients de vitesse ne sont pas constants.

En remplaçant le terme $\frac{dU}{dZ}$ par une valeur moyenne mesurable « G » donnée par la formule de CAMP et STEIN :

$$\frac{dU}{dZ} = G = \left[\frac{p}{\mu V} \right]^{1/2} \dots\dots\dots (III.23)$$

Où p est la puissance totale dissipée dans le liquide.

μ est la viscosité dynamique de liquide.

V est le volume du liquide agité.

D'où l'équation (III.22) dans un écoulement turbulent devient :

$$H_{ij} = \frac{4}{3} n_i n_j R_{ij}^3 G \dots\dots\dots (III.24)$$

CAMP et STEIN (1943) ont étendu l'équation de SMOLUCHOWSKI pour définir le taux de variation de concentration des particules, l'expression proposée par ces deux auteurs et adoptée par HUDSON (1964), est la suivante :

$$\frac{dn_1}{dt} = -\frac{4}{3} n_1 n_2 R_2^3 G \dots\dots\dots (III.25)$$

Où n_1 est le nombre de particules primaires par unité de volume.

n_2 est le nombre de floccs par unité de volume.

R_2 est le rayon des floccs.

3.2.2-Cas d'un flocculateur « JAR-TEST »

Dans le cas du Jar-test, le gradient de vitesse « G » est défini comme indiqué précédemment par :

$$G = \left[\frac{P}{\mu V} \right]^{1/2}$$

Où « p » dépend directement de la géométrie et de la vitesse de rotation des pâles « U_p »

La puissance dissipée « p » peut être évaluée de différentes méthodes parmi lesquelles celle de la force de traînée (F_t) exercée sur la pale.

$$P = F_t (U_p - U_l) \dots\dots\dots (III.26)$$

Où U_p , U_l sont respectivement la vitesse périphérique de la pale et tangentielle du liquide.

$U_p - U_l$ est la vitesse relative de la pale.

La force de traînée F_t s'exprime par la relation suivante :

$$F_t = \frac{\rho C_d A_p (U_p - U_l)^2}{2} \dots\dots\dots (III.27)$$

Où ρ est la masse volumique de liquide.

C_d est le coefficient de traînée qui dépend de la géométrie et de la vitesse de la pale.

A_p est l'air de la pale.

Dans ce cas, la puissance s'écrit :

$$P = \frac{\rho C_d A_p (U_p - U_l)^3}{2} \dots\dots\dots (III.28)$$

et l'équation (III.21) devient :

$$G = \left[\frac{C_d A_p \rho (U_p - U_l)^3}{2V\mu} \right]^{1/2} \dots\dots\dots (III.29)$$

L'utilisation de cette formule conduit à la connaissance de deux paramètres dépendant de la géométrie du flocculateur et de la vitesse de la pale, le coefficient de traînée C_d , et la vitesse relative de la pale ($U_p - U_l$). Le tableau (III.4) résume quelques valeurs de ces deux paramètres donnés par différents auteurs.

Tableau III.4 : Récapitulatif de quelques valeurs de C_d et U_l/U_p par différents auteur [45].

| Auteurs | C_d | U_l/U_p |
|---------|------------|-------------|
| LEIPOLD | 1,8 | 0,50 |
| HYDE | 1,0 | - |
| CAMP | - | 0,24 à 0,32 |
| HARIS | 1,9 | 0,35 |
| POLASEK | 1,10 à 2,0 | - |
| BHOLE | 0,94 à 1,8 | 0,52 |

De nombreuses études faites par différents auteurs pour caractériser l'intensité de brassage (exprimée par G) en utilisant diverses configurations de Jar-test ont conduit aux conclusions suivantes [71] :

- Les différentes formes de pâles produisent une même valeur de « G » lorsqu'elles ont une aire projetée identique ;
- Les valeurs du moment du couple ne changent pas quand la position de la pale varie par rapport au fond du béccher du Jar-test.

3.2.3-Les différents types de flocculants :

On appelle adjuvants de floculation (ou flocculants), des produits utilisés en quantités plus faibles que les réactifs coagulants. Ils modifient nettement le comportement de ces derniers du point de vue de la rapidité de la formation des floccs, de leurs dimensions, leurs densités, leurs vitesses de sédimentation et leurs comportements ultérieurs dans les filtres.

Les polyélectrolytes sont des polymères de haut poids moléculaire ayant une structure linéaire qui leur donne la propriété d'être solubles dans l'eau. Ils présentent périodiquement, sur leur chaîne, des groupements chimiques fonctionnels, ionisables. Ces molécules réagissent avec la matière colloïdale dans l'eau par la neutralisation des charges ou par le pontage (enchaînement) des particules individuelles. Le but étant de former un précipité ou flocc qui soit visible et insoluble.

Bien que les polyélectrolytes soient des matériaux organiques synthétiques, il existe une variété infinie de produits d'origine naturelle comme [33,72] :

-Les dérivés amylicés, les amidons oxydés anioniques, les amidons cationiques traités par des amines et les amidons phosphatés.

-Les polysaccharides : la gomme de caroube et la gomme guar, ils sont non ioniques et donc peu influencés par les variations du pH.

-Les alginates tirés des algues et de caractère fortement anionique, ils sont employés dans le traitement des eaux, leur non-toxicité constitue un grand avantage.

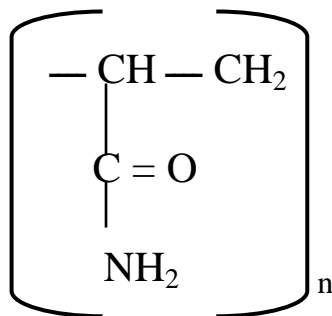
-Les gélatines et les colles animales.

Les polyélectrolytes diffèrent du point de vue chimique par leur taille moléculaire et le caractère ionique de leurs groupements actifs, sont classés en trois catégories [53] :

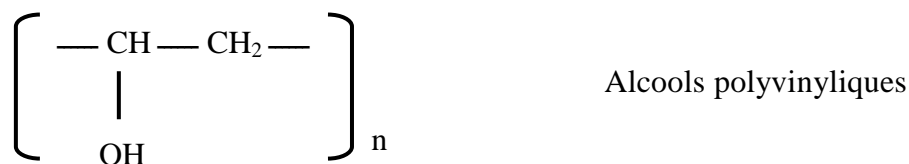
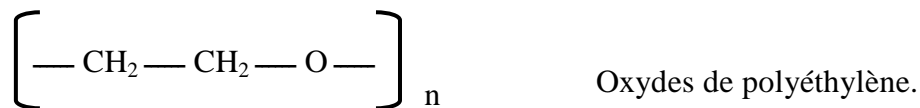
- Polymères non ioniques,
- Polyélectrolytes anioniques,
- Polyélectrolytes cationiques.

Les polymères non ioniques

Les plus connus de ce groupe sont les polyacrylamides de masse moléculaire pouvant atteindre 30 millions. La formule générale du polyacrylamides est :

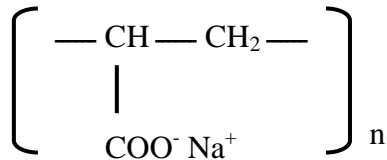


Il existe également les oxydes de polyéthylène et les alcools polyvinyliques

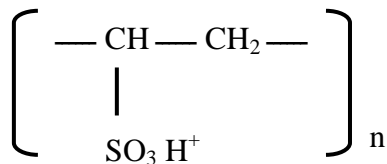


Les polyélectrolytes anioniques

Ce sont des macromolécules de masse moléculaire élevée (environ 5 millions), portant sur leur chaîne des groupements actifs chargés négativement. Il existe une gamme très importante à partir de structures sulfonique, phosphonique ou carboxylique. Les plus courants sont les copolymères de l'acrylate-acrylamide avec des groupes amides partiellement ionisés sous l'action d'une base.



Polyacrylate de sodium.

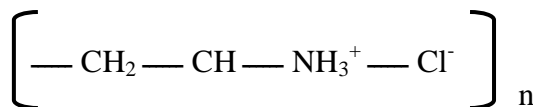


Acide polyvinylsulfonique.

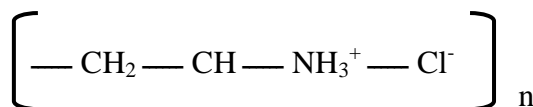
Les polyélectrolytes cationiques

Ce sont des macromolécules de masse moléculaire faible (250.000 à 1 million), portant sur leur chaîne des charges positives, le groupement actif étant le radical ammonium.

Les plus connus sont les chlorures de polyéthylénimine et de polyvinyle ammonium.



Chlorure de polyéthylénimine.



Chlorure de polyvinyle ammonium.

3.2.4-Mécanisme d'action des polyélectrolytes :**1-Mécanismes de neutralisation de la charge électrique :**

Ce phénomène se produit au cours de la floculation des particules chargées négativement, par les polyélectrolytes cationiques.

La figure (III.17) donne la variation du potentiel zêta en fonction de la concentration de réactif utilisée.

A partir de la valeur initiale du potentiel zêta, la courbe présente d'abord une partie approximativement rectiligne, puis pour une concentration optimale de produit, la charge

des particules se trouve annulée ; enfin un excès de polyélectrolytes produit une inversion de signe de la charge, et le potentiel zêta, devenu positif, croît en fonction de la concentration ajoutée, jusqu'à l'atteinte d'un palier correspondant à un état d'équilibre.

L'inversion de la charge est due à un mécanisme d'adsorption des chaînes macromoléculaires à la surface des particules.

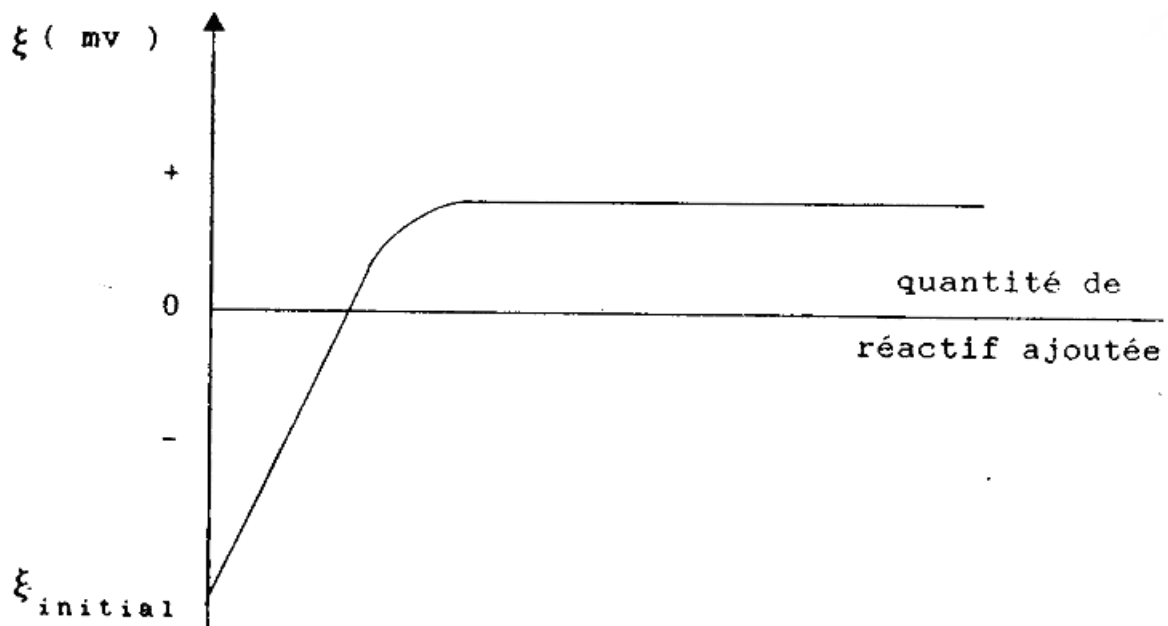


Figure III.17 : Variation du potentiel Zêta en fonction de la concentration de réactif

[39]

2-Mécanismes d'adsorption et de réticulation :

C'est les mécanismes exclusifs de la floculation des particules négatives par les polymères non ioniques et anioniques, où aucune neutralisation de charge électrique ne peut avoir lieu [62,73].

Les substances macromoléculaires peuvent s'adsorber à la surface de la phase solide dispersée, sur un nombre de sites limité. Dès l'addition de la solution de flocculant à la solution, les macromolécules se répartissent de façon uniforme entre les particules, une chaîne macromoléculaire pouvant se fixer en un ou plusieurs sites libres à la surface de la particule. Quelle que soit la quantité de polymère ajoutée, il s'établit un équilibre entre les macromolécules adsorbées et celle qui restent dispersées au sein du liquide.

Lorsque les molécules de flocculant fixées aux particules individuelles possèdent encore des centres actifs libres pour l'adsorption, ces derniers vont pouvoir fixer des sites de surface d'autres particules. Il se crée ainsi entre plusieurs particules des « ponts » formant un réseau tridimensionnel, donnant naissance à un floc.

Partie II

Etude expérimentale

Chapitre IV

Prélevement, échantillonnage, résultats et discussion

Dans le but de minimiser l'impact de la pollution engendrée par les rejets industriels de l'unité céramit -TENES- sur l'environnement nous avons entrepris une étude physico-chimique des différents effluents de l'unité afin nous permettra de prévoir un traitement adapté à ce type de rejet avec l'éventualité d'un recyclage et valorisation des boues.

IV.1-Prélèvement des échantillons :

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté ; il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (gaz dissous, matières en suspension).

Globalement, il est donc nécessaire de mettre en place une organisation structurée, de développer une méthodologie adaptée à chaque cas, de procéder à un choix judicieux des points de prélèvements et d'utiliser le matériel convenable.

Quelque soit la méthode adoptée, on doit obéir aux principes de bases suivants :

- Localisation des différents points de prélèvement :

Dans notre travail nous avons procédé aux prélèvements de la phase liquide comme suit :

-Le point X_1 désigne le point de prélèvement sur la conduite des rejets située à 150 mètre de l'entreprise qui correspond à l'effluent industriel brut (rejet principal).

-Le point X_2 en aval du point X_1 , qui désigne le point de prélèvement de l'oued Makhatla après le contact des rejets de l'usine avec l'oued à 100 mètre du rejet principal. Le prélèvement a été effectué sur un lit de l'oued de largeur de 1 m et de 20 cm de profondeur, on prélève l'eau de 11 cm de surface et de 30 cm à partir de bord de l'oued.

-Le point X_3 est le point de prélèvement de l'oued Allala à 350 mètre du point X_2 . Le lit de l'oued à une largeur de 3 m et une profondeur de 15 cm, on prélève l'eau à 10 cm de surface et de 1,20 m au bord de l'oued.

Les points de prélèvement sont illustrés dans la figure IV.1

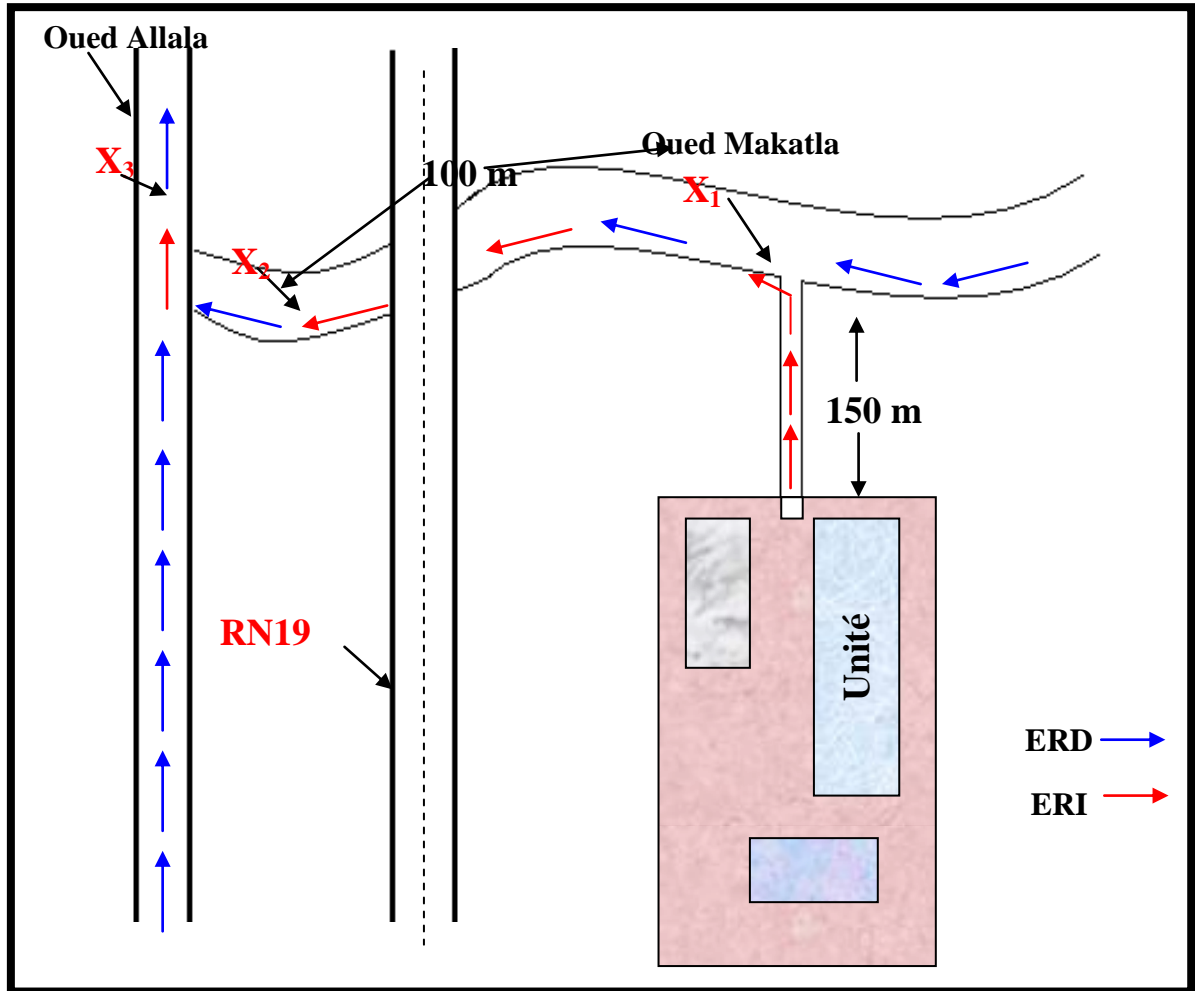


Figure IV.1 : Présentation des points de prélèvements



Photo IV.1 : Présentation du rejet principal (point X1)



²²Photo IV.2 : Présentation du point X₂



Photo IV.3 : Présentation du point X₃

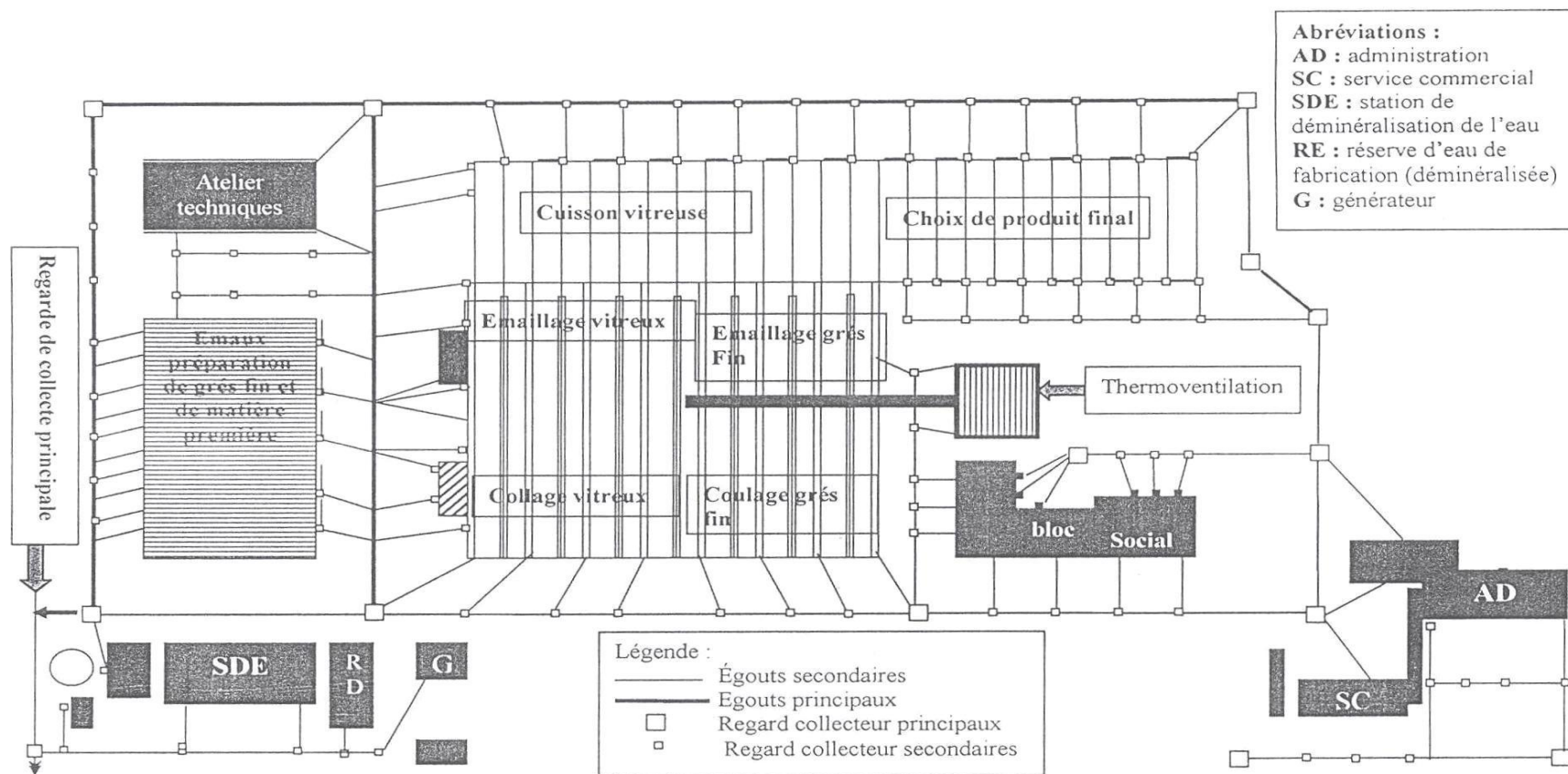


Figure IV.2 : Plan d'assainissement général de l'unité

- Définir les quantités à prélever : le volume nécessaire pour une analyse complète est de 2 l [74].
- Stabiliser l'échantillon en le conditionnant dans un récipient hermétique approprié

Les prélèvements seront effectués dans des flacons bien propre en polyéthylène ou en verre borosilicaté, bouchés émeri ou au téflon. Pour une meilleure conservation des échantillons, certains matériels sont à déconseiller comme les bouteilles en plastique ou en caoutchouc, leur réemploi poserait des problèmes de contamination résiduelle. Ainsi que certaines matières sont à proscrire pour éviter toutes contaminations comme la graisse.

Dans notre travail on a utilisé des flacons en verre fumé qui sont lavés et séchés de la manière suivante :

1-Lavage au détergent avec de l'eau chaude plusieurs fois.

2-La verrerie est ensuite abondamment rincée avec de l'eau distillée, puis séchée à l'étuve à 105°C pendant deux heures.

3-Avant remplissage, rincer les flacons avec l'eau à analyser ;

4-Eviter toutes bulles d'air dans les flacons.

Les flacons destinés au prélèvement pour l'analyse des éléments minéraux seront traités pendant 24 h à l'acide nitrique dilué au 1/10, égouttés puis rincés à l'eau distillée. Un deuxième lavage sera pratiqué avec de l'acide nitrique dilué à 1/3, il sera suivi d'un rinçage de plusieurs fois à l'eau distillée. [74]

Dans le cas d'analyse des métaux lourds, l'échantillon sera conservé par quelques gouttes de l'acide nitrique.

Les échantillons soigneusement étiquetés et conservés à 4°C seront transportés jusqu'au laboratoire dans un laps de temps ne dépassant pas 24 heures. Toutefois, un certain nombre d'analyses sont pratiqués sur place : température, pH, oxygène dissous. En ce qui concerne les matières en suspension, leur mesure doit intervenir dans les 6 heures après le prélèvement.

- Les conditions climatiques lors du prélèvement (pluie, neige, température....) ;
- Le débit de l'eau de rejet ;
- Etiqueter l'échantillon en précisant l'origine exacte et la date de prélèvement.

IV.2- Matériel et appareillages d'analyse :

Les appareillages consignés dans le tableau (IV.1) ont été utilisés au cours de notre travail.

Tableau IV.1 : types d'appareillages utilisés pour les différentes analyses.

| Paramètres mesurés | Types d'appareils |
|--|---|
| Température | Conductimètre modèle LF 197 |
| pH | pH mètre portable modèle HACH |
| Turbidité (NTU) | Turbidimètre de laboratoire modèle 2100 N HACH 0 à 4000 NTU |
| Conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$) | Conductimètre modèle LF 197 |
| Salinité (%), taux des sels dissous (TDS mg/l) | Conductimètre modèle LF 197 |
| Matières en suspension (MES mg/l) | Spectrophotomètre modèle (DR/2010) |
| DBO ₅ (mg/l) | DBO mètre à 6 postes modèle HACH |
| Fe, Zn, Cu, Ag, Pb, ... (mg/l) | Absorption atomique modèle PU 9800X atomic absorption spectrometer |
| Le solide (%) | Spectromètre à fluorescence X SRS 3400 séquentiel à dispersion de longueur d'onde |
| La densité de l'eau de rejet | Densimètre de laboratoire PROLABO |
| La viscosité de l'eau de rejet | Viscosimètre à chute de bille modèle HAAKE |
| DCO (mg/l) | DCO mètre modèle HUNKER |

IV.3-Les méthodes d'analyse :

- ✚ L'analyse gravimétrie utilisée pour les résidus secs.
- ✚ L'analyse volumétrique utilisée pour la détermination de la dureté, de la DCO, du TA, du TAC, et des chlorures.
- ✚ L'analyse spectrophotométrie utilisée pour mesurer les matières en suspension.
- ✚ L'analyse par absorption atomique pour identifier la concentration des métaux lourds, les analyses ont été effectués au niveau du laboratoire de L'**ORGM** (Office National des **R**echerches **G**éologique et **M**inière) et CNTC.
- ✚ La DCO et la DBO₅ ont été fait au niveau du laboratoire du **CNTC** (Centre National de Technologie et de Consulting).
- ✚ L'analyse de dépôt a été fait au niveau du laboratoire de recherche de **Sonatrach** à Boumerdes.

IV.4-Résultats des analyses:**IV.4.1-Résultats d'analyse du point X₁ de la partie liquide :**

En suivant les protocoles expérimentaux présentés en annexe II, nous avons pu analyser le rejet de l'entreprise ceramit en déterminant ses caractéristiques physiques et chimiques, sa minéralisation globale, des critères chimiques indicateurs de pollution puis identifier les paramètres considérés comme toxiques et indésirables.

Les tableaux IV.2 donnent les résultats de l'analyse du point X₁ à différentes périodes.

Tableau IV.2, a₁ : Paramètres physico-chimiques durant l'année 2004.

| Dates / Paramètres | 10-05-04 | 18-05-04 | 26-05-04 | 31-05-04 | 05-06-04 |
|-------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Heure de prélèvement | 10:35 | 9 :30 | 9 :35 | 8 :50 | 9 :20 |
| T (°C) | 21,6 | 23,5 | 23,8 | 26 | 27,7 |
| pH | 8,12 | 8,12 | 8,23 | 7,85 | 8,11 |
| Cond (µs/cm) | 4240 | 4300 | 4520 | 5160 | 4060 |
| Tur (NTU) | 4108 | 3654,2 | 10110 | 7300 | 5116 |
| MES (mg/l) | 3700 | 3440 | 9700 | 6200 | 5197 |
| RS (mg/l) | 8000 | 5604 | 5604 | 5300 | 6260 |
| TDS (mg/l) | 1859,49 | 1885,96 | 1982,45 | 2263,15 | 1780,70 |
| O ₂ dissous (mg/l) | | | | 5,63 | 5,14 |

Tableau IV.2, a₂ : Paramètres physico-chimiques au cours de l'année 2005.

| Dates / Paramètres | 15-06-05 | 02-07-05 | 02-08-05 | 06-09-05 | 09-10-05 | 07-11-05 |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Heure de prélèvement | 9 :00 | 10 :25 | 9:30 | 9 :15 | 9 :20 | 9 :50 |
| T (°C) | 22 | 25 | 27,7 | 24,4 | 19,5 | 17 |
| pH | 8,11 | 7,84 | 8,42 | 7,70 | 7,45 | 7,77 |
| Cond (µs/cm) | 4200 | 4970 | 3880 | 4620 | 4330 | 3580 |
| Tur (NTU) | 1900 | 4080 | 2190 | 5900 | 17950 | 2150 |

| | | | | | | |
|-------------------------------|---------|---------|------|---------|---------|---------|
| MES (mg/l) | 1486 | 4950 | 2008 | 4670 | 10960 | 1700 |
| RS (mg/l) | 6346 | 6900 | 2828 | 8830 | 17200 | 4470 |
| TDS (mg/l) | 1842,10 | 2179,82 | 2008 | 2026,31 | 1899,12 | 1570,17 |
| Sal % | 2,2 | 2,2 | 2,4 | 2,4 | 2,2 | 1,6 |
| O ₂ dissous (mg/l) | | 6,93 | | 6,54 | | |
| Matière décantable (ml/l) | 10 | | 2 | | | |

Tableau IV.2, a₃ : Analyse physico-chimiques au cours de l'année 2006.

| Dates | 22-01-06 | 20-02-06 | 20-03-06 | 17-04-06 | 15-05-06 | 12-06-06 |
|------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Paramètres | | | | | | |
| Heure de prélèvement | 9:20 | 10:30 | 9:30 | 10:30 | 9:30 | 8:50 |
| T (°C) | 15,1 | 25,5 | 20,6 | 25,5 | 23,5 | 26,5 |
| pH | 7,8 | 8,2 | 8,3 | 8,2 | 8,2 | 8,4 |
| Cond (µs/cm) | 4520 | 4360 | 4400 | 4370 | 4320 | 4510 |
| Tur (NTU) | 1412 | 10000,8 | 10620 | 3120 | 9090 | 5058 |
| MES (mg/l) | 1772 | 10262,5 | 10800 | 3612,5 | 9175 | 5775 |
| RS (mg/l) | 4000 | 10924 | 12010 | 5452 | 11036 | 6964 |
| RC (mg/l) | 3880 | 7176 | 10480 | 5092 | 10604 | 6416 |
| PAF (mg/l) | 120 | 3748 | 1530 | 360 | 432 | 548 |
| TDS (mg/l) | 1982,45 | 1912,28 | 1929,82 | 1916,66 | 1894,73 | 1978,07 |
| S (%) | 2,3 | 2,2 | 2,3 | 2,3 | 2,2 | 2,4 |
| Matière décantable (ml/l) | | | 6 | 3 | 19 | 20 |

Tableau IV.2, b : Paramètres de pollution.

| Dates \ Paramètres | 15-06-05 | 06-09-05 | 07-11-05 | 22-01-06 | 15-05-06 |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| DCO (mg/l) | 761,9 | 280 | 150 | 450 | 60 |
| DBO ₅ (mg/l) | 40 | 60 | 40 | 150 | 20 |
| Ammonium [NH ₄ ⁺] (mg/l) | 0,198 | 09 | | | |
| Ortho phosphate [PO ₄ ³⁻] (mg/l) | 0,488 | 0,115 | | | |
| Nitrite [NO ₂ ⁻] (mg/l) | <0,05 | 0,115 | | | |

Tableau IV.2, c : Minéralisation globale.

| Dates \ Paramètres | 20-02-06 | 20-03-06 | 17-04-06 | 15-05-06 | 12-06-06 |
|--------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Na ⁺ (mg/l) | 960 | 1001,1 | 950 | 950 | 950 |
| K ⁺ (mg/l) | 23 | 26 | 16,3 | 16 | 17 |
| Cl ⁻ (mg/l) | 700,15 | 737 | 703,5 | 619,75 | 653,25 |
| HCO ₃ ⁻ (mg/l) | 1866,6 | 2382,05 | 1592,1 | 2283,84 | 1259,65 |
| CO ₃ ²⁻ (mg/l) | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 |
| TH (°f) | 29,8 | 35 | 22,3 | 23,3 | 32 |
| TA (°f) | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 |
| TAC (°f) | 153 | 195,25 | 130,5 | 187,2 | 103,25 |

Tableau IV.2, d : Paramètres indésirables

| Dates \ Paramètres | 07-11-05 | 22-01-06 | 20-02-06 | 20-03-06 | 17-04-06 | 15-05-06 | 12-06-06 |
|-----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Aluminium (Al) (mg/l) | Traces | Traces | 1,67 | 2,9 | Traces | Traces | Traces |
| Cuivre (Cu) (mg/l) | <0,04** | <0,04** | <0,04** | <0,04** | <0,04** | <0,04** | <0,04** |
| Fer (Fe) (mg/l) | 0,297 | <0,05** | 0,37 | 0,54 | 0,20 | <0,05** | 0,35 |
| Manganèse (Mn) (mg/l) | <0,04** | <0,04** | <0,04** | 0,08 | <0,04** | <0,04** | 0,08 |
| Zinc (Zn) (mg/l) | 0,728 | 15 | 2,3 | 54 | 8,00 | 43 | 04 |

Tableau IV.2, e : Paramètres toxiques.

| Dates \ Paramètres | 07-11-05 | 22-01-06 |
|---------------------|----------|----------|
| Cadmium (mg/l) | < 0,03** | < 0,03** |
| Chrome total (mg/l) | <0,05** | <0,05** |
| Cobalte (mg/l) | Traces | Traces |
| Nickel (mg/l) | 0,063** | 0,063** |
| Plomb (mg/l) | < 0,1** | < 0,1** |

IV.4.2-Résultats d'analyse du point X₂ :

Les résultats de l'analyse sont illustrés dans le tableau (IV.3).

Tableau IV. 3 : Résultats d'analyse du point X₂

| Date \ Paramètres | 06-09-05 | 09-10-05 | 07-11-05 | 22-01-06 | 20-02-06 | 20-03-06 |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Heure de prélèvement | 9:25 | 9:30 | 10:00 | 9:30 | 10:40 | 9:40 |
| T (°C) | 26 | 21,5 | 12,6 | 15,6 | 14,3 | 26,1 |
| pH | 7,94 | 7,33 | 7,80 | 7,7 | 8,10 | 8,00 |
| Cond (µs/cm) | 4600 | 4610 | 3660 | 3520 | 3870 | 3160 |
| Tur (NTU) | 2625 | 9700 | 5275 | 610 | 5430 | 2415 |
| MES (mg/l) | 2890 | 6480 | 4560 | 440 | 7025 | 3362,5 |
| RS (mg/l) | 5400 | 7200 | 6120 | 2690 | 5492 | 4476 |
| TDS (mg/l) | 2017,54 | 2021,92 | 1605,26 | 1543,85 | 1697,36 | 1385,96 |
| S (%) | 2,5 | 2,4 | 2,3 | 2 | 2,2 | 2,4 |

IV.4.3-Résultats d'analyse du point X₃ :

Les résultats de l'analyse sont illustrés dans le tableau (IV.4).

Tableau IV.4 : Résultats d'analyse du point X₃

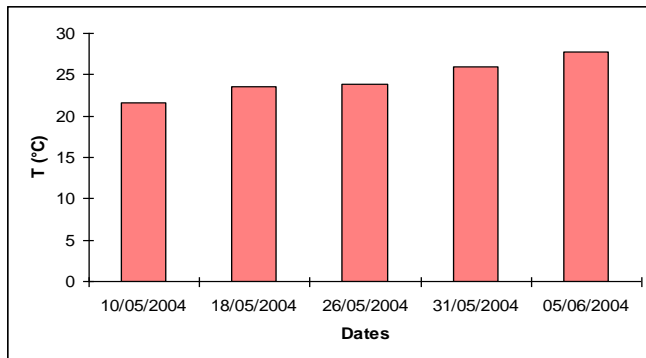
| Dates \ Paramètres | 06-09-05 | 09-10-05 | 07-11-05 | 22-01-06 | 20-02-06 | 20-03-06 |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Heure de prélèvement | 9:40 | 9:40 | 10:15 | 9:40 | 10:50 | 9:55 |
| T (°C) | 24,7 | 16,9 | 13,4 | 10,7 | 17,5 | 17,2 |
| pH | 7,98 | 7,26 | 7,58 | 7,6 | 8,00 | 7,8 |
| Cond (µs/cm) | 4380 | 3040 | 920 | 2410 | 3160 | 3540 |
| Tur (NTU) | 240 | 401 | 2850 | 315 | 94,32 | 147 |
| MES (mg/l) | 102 | 258 | 2560 | 1950 | 106 | 233 |
| RS (mg/l) | 2730 | 2060 | 3000 | 1610 | 2544 | 1756 |
| TDS (mg/l) | 1921,05 | 1333,33 | 403,50 | 1057,01 | 1385,96 | 1552,63 |
| S (%) | 2,2 | 1,4 | 2,3 | 1,1 | 1,6 | 1,8 |

IV.5-Interprétation des résultats de l'analyse:**IV.5.1-Interprétation des résultats de l'analyse du point X₁ de la phase liquide:**

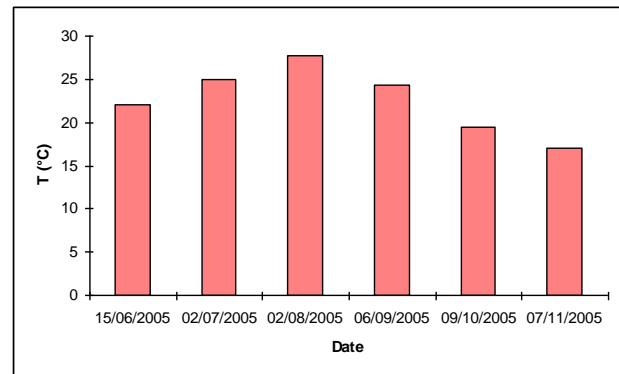
Pour une analyse large des résultats trouvés, enregistrés dans les tableaux précédents, et pour savoir plus sur la qualité de rejet industriel, on a tracé les histogrammes déterminants les différents paramètres de cet rejet

1-Les paramètres physico-chimiques :**1.1-La température :**

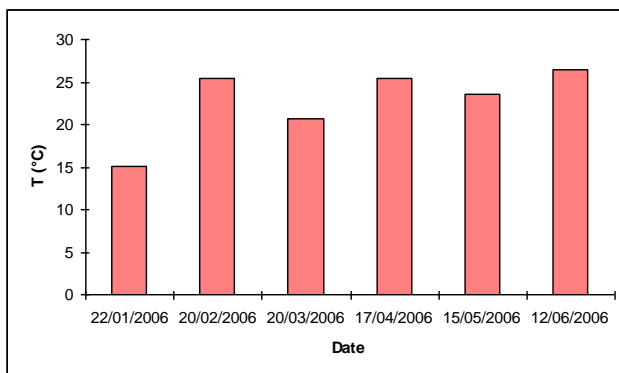
La figure IV.3 donne l'évolution de la température en fonction du temps durant les trois années.



évolution de la température en fonction du temps durant l'année 2004



évolution de la température en fonction du temps durant l'année 2005



évolution de la température en fonction du temps durant l'année 2006

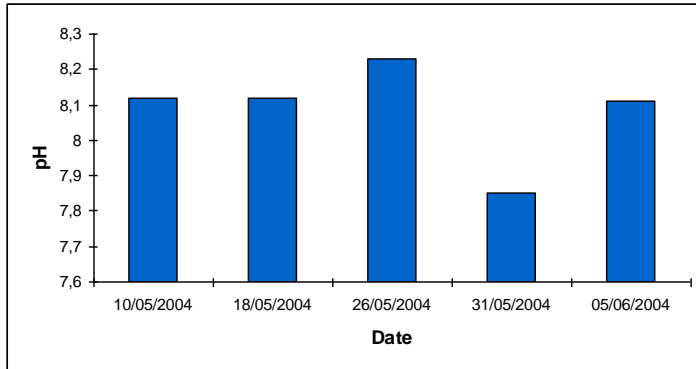
Figure IV.3 : évolution de la température en fonction du temps durant les trois années.

D'après les résultats obtenus durant les trois années, on remarque une légère variation de la température ; c'est des températures saisonnière parfois dépassent les normes 25°C

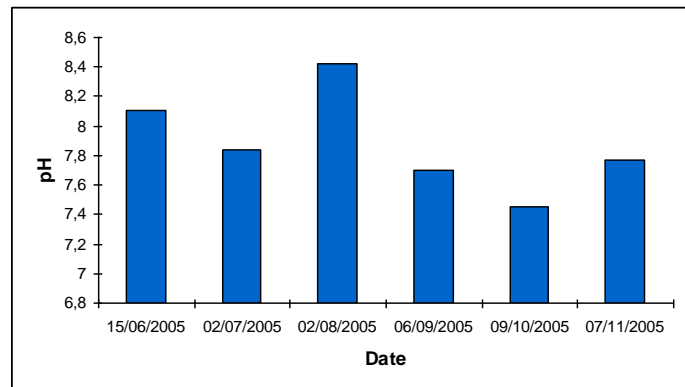
durant la période d'été. Cependant une élévation de la température s'accompagne d'une modification de la densité qui décroît lorsque la température croît, d'une réduction de la viscosité, d'une augmentation de la tension de vapeur saturante à la surface (évaporation), d'une diminution de la solubilité de gaz (oxygène). L'augmentation de la température favorise le développement des micro-organismes donc consommation de l'oxygène et par conséquent la réduction de la teneur en oxygène dissous.

1.2-Le pH :

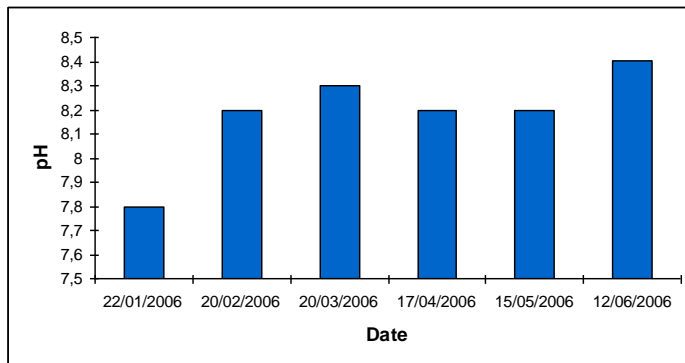
La figure IV.4 représente l'évolution du pH en fonction du temps durant les trois années.



évolution du pH en fonction du temps
durant l'année 2004



évolution du pH en fonction du temps
durant l'année 2005



évolution du pH en fonction du temps
durant l'année 2006

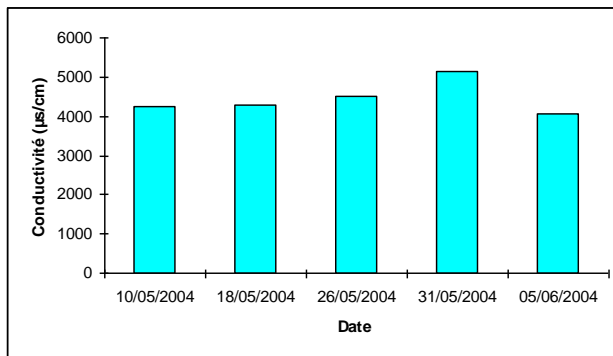
Figure IV.4 : évolution du pH en fonction du temps durant les trois années

Le pH est un élément important pour définir le caractère agressif ou incrustant d'une eau. On constate d'après les résultats obtenus durant les trois années une valeur moyenne de 8,04 ce qui confirme que le rejet est légèrement alcalin. En effet le milieu alcalin favorise la

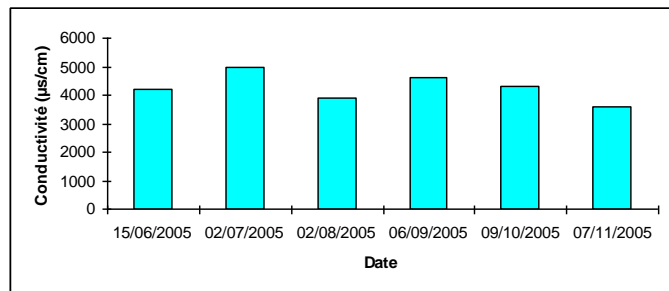
précipitation des sels comme le carbonate de calcium avec diminution du titre alcalimétrique et hydrotimétrique.

1.3-La conductivité et le taux de sels dissous TDS :

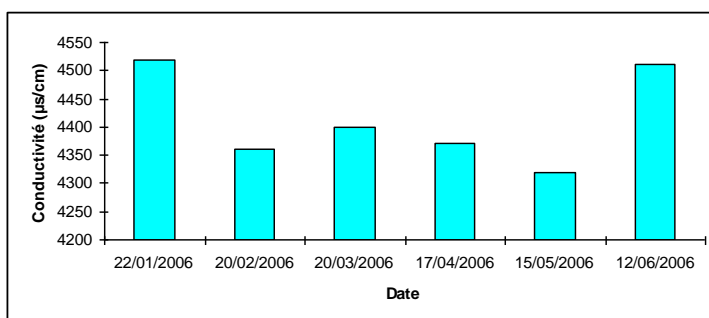
La figure IV.5 représente l'évolution de la conductivité en fonction du temps durant les trois années.



évolution de la conductivité en fonction du temps durant l'année 2004



évolution de la conductivité en fonction du temps durant l'année 2005



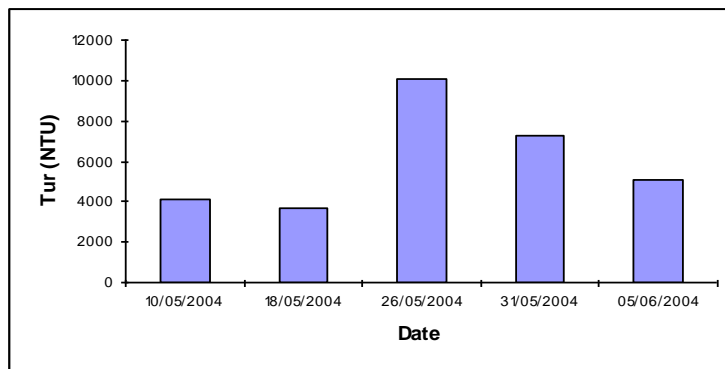
évolution de la conductivité en fonction du temps durant l'année 2006

Figure IV.5 : évolution de la conductivité en fonction du temps durant les trois années.

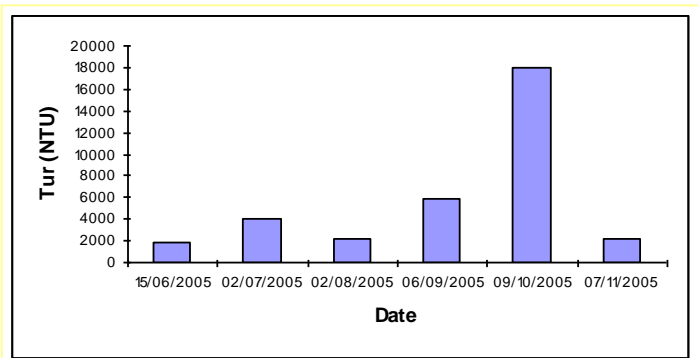
La conductivité électrique moyenne du rejet est de 4433 $\mu\text{s}/\text{cm}$ qui dépasse les normes recommandées par l’OMS qui est de 1500 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Une conductivité électrique supérieure à 1500 $\mu\text{s}/\text{cm}$ fait considérer une eau comme difficilement utilisable dans les zones irriguées. La mesure de la conductivité permet d’évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l’eau qui est de 1936,97 mg/l.

1.4-La turbidité :

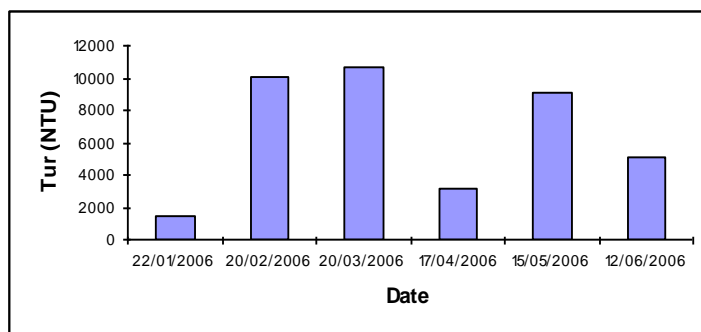
La figure IV.6 donne l’évolution de la turbidité en fonction du temps durant les trois années.



évolution de la turbidité en fonction du temps durant l’année 2004



évolution de la turbidité en fonction du temps durant l’année 2005



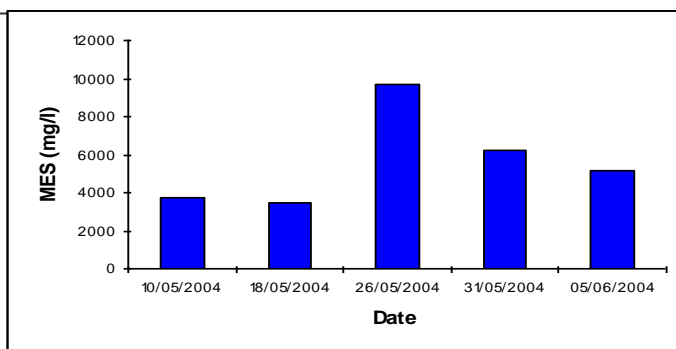
évolution de la turbidité en fonction du temps durant l’année 2006

Figure IV.6 : évolution de la turbidité en fonction du temps durant les trois années.

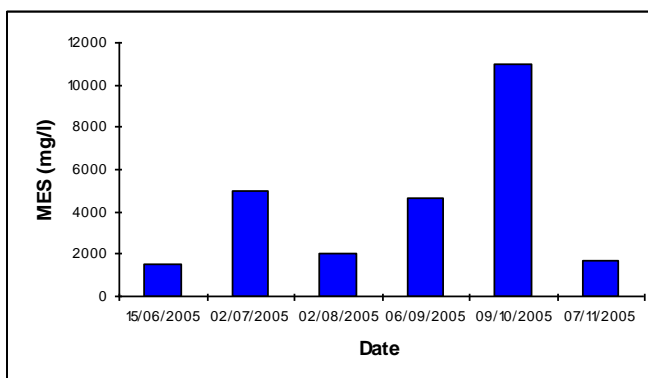
D'après les résultats de la figure IV.6, on remarque que la turbidité est très variables durant les trois années, ces valeurs sont comprises entre 1412 et 17950 NTU cela est du au perte importante de l'émail lors de sa pulvérisation. Une importance turbidité empêche la propagation de la lumière qui a pour conséquence de limiter et même d'éliminer la végétation donc une clarification de ces eaux s'avère nécessaire, soit par décantation, soit par addition d'un coagulant, soit par filtration, soit encore par une combinaison de ces différents procédés.

1.5-Les matières en suspension :

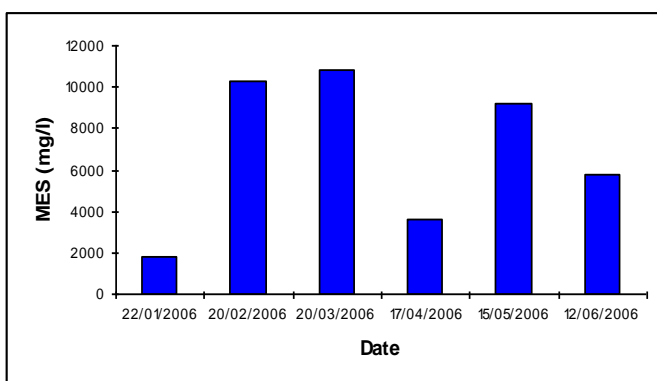
La Figure IV.7, représente l'évolution des MES en fonction du temps durant les trois année.



évolution des MES en fonction du temps durant l'année 2004



évolution des MES en fonction du temps durant l'année 2005



évolution des MES en fonction du temps durant l'année 2006

Figure IV.7 : évolution des MES en fonction du temps durant les trois année

Les matières en suspension varient de 1486 à 10960 mg/l qui sont des teneurs très élevées, cela est dû à la production et la matière première utilisée dans l'industrie. Lors de la préparation de la barbotine et les émaux des pertes importantes d'argile, kaolin et silice qui sont entraînées par les eaux de lavage du sol. En particulier les argiles ayant une large surface d'adsorption constituent un support idéal pour les ions, les molécules diverses et les agents biologiques. De ce fait, elles peuvent constituer un vecteur pour la pénétration de ces produits dans l'organisme.

1.6-Le résidu sec RS :

La Figure IV.8, représente l'évolution du RS en fonction du temps durant les trois années.

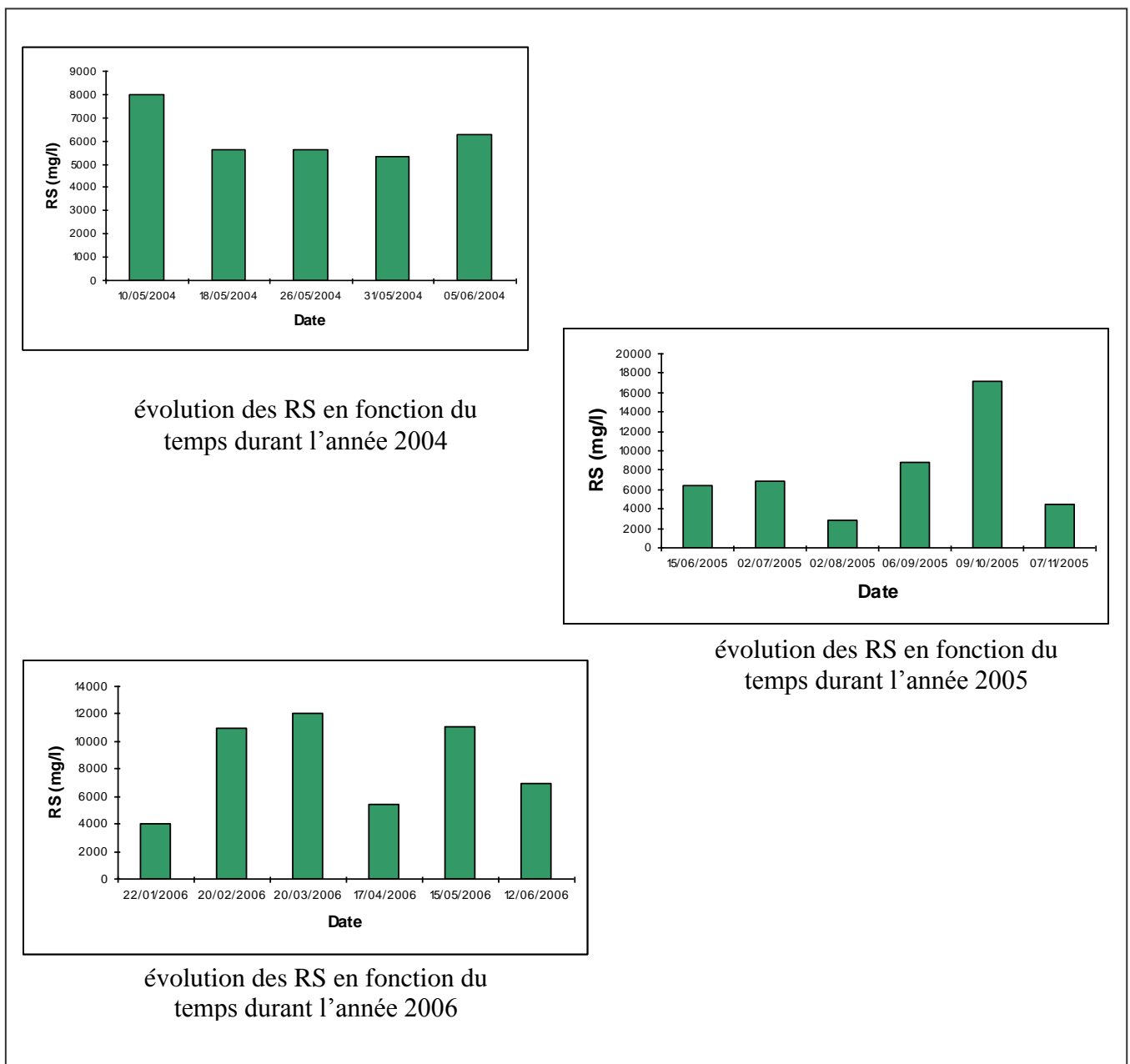


Figure IV.8 : évolution de RS en fonction du temps durant les trois années.

On constate d'après l'histogramme de la figure (IV.8) que les RS sont compris entre 3000 et 17200 mg/l, ces valeurs montrent que le rejet est très minéralisé du fait de leur teneur en calcium, en magnésium, en sodium, en chlorure et en hydrogénocarbonate, ces eaux dépassent largement les valeurs limitées par la directive des communautés européenne qui est de 1500 mg/l. Une calcination à 525°C, montre que les valeurs trouvées d'après l'histogramme de la figure (IV.9) (3880-10604 mg/l) le résidu calciné et la figure (IV.10) (120-3748 mg/l) la perte au feu affirme que les M.E.S sont de nature minérale cela est dû au caractère minéral des matières premières utilisées dans l'industrie.

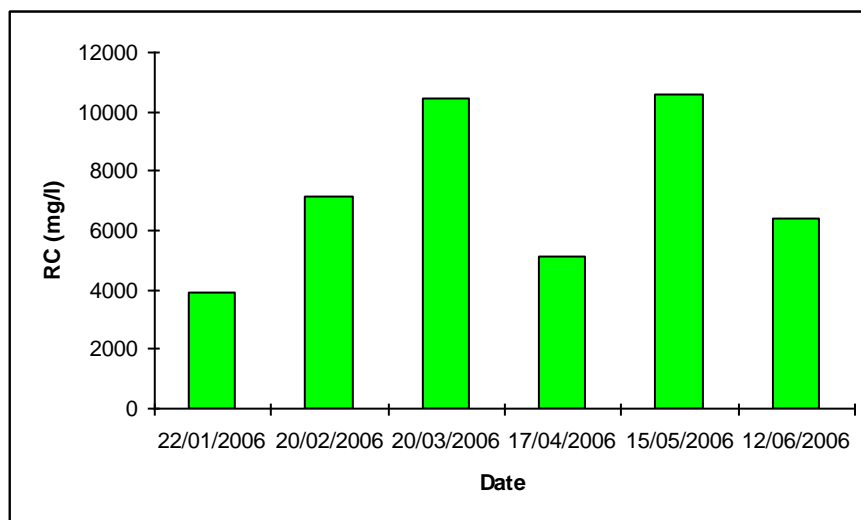


Figure IV.9 : évolution du RC en fonction du temps.

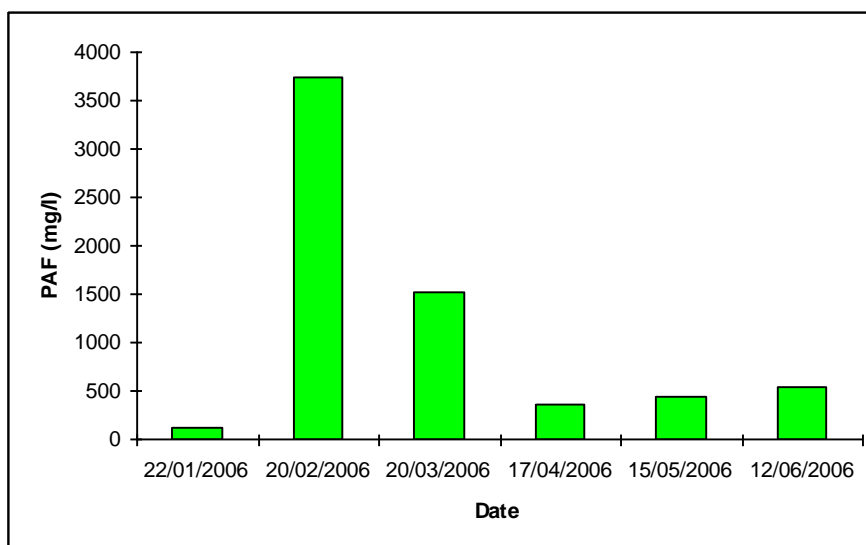


Figure IV.10 : évolution du PAF en fonction du temps.

1.7-La matière décantable :

La Figure IV.11, représente l'évolution de la matière décantable en fonction du temps.

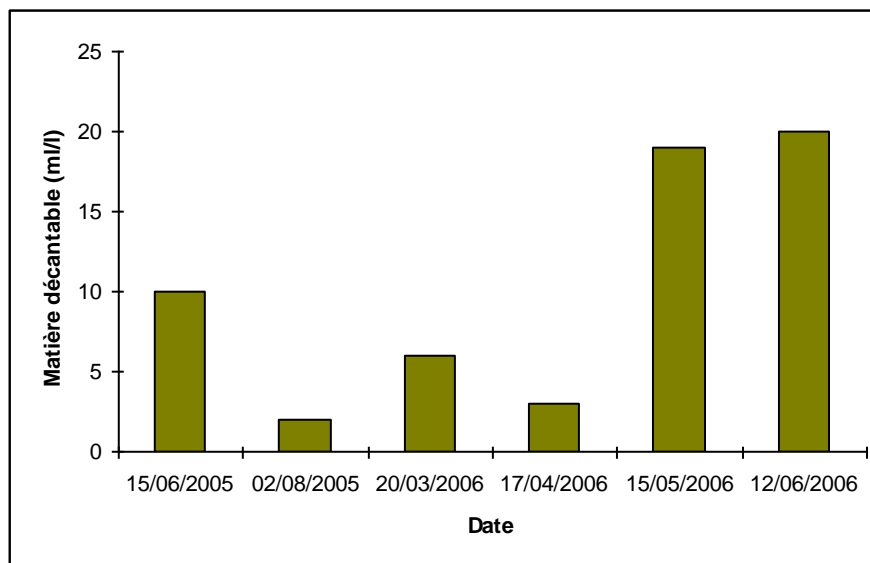


Figure IV.11 : évolution de la matière décantable en fonction du temps.

D'après la figure IV.11, la matière décantable varie entre 2 et 20 ml/l après deux heures de décantation, cela dû à la variabilité de la composition des MES, elle est classée dans l'intervalle des faibles diamètres des particules qui se traduit par des faibles valeurs de matières décantable ; et à des valeurs élevés, les MES sont de nature siliceuse qui se décantent facilement.

2-Les paramètres de pollution :

D'après les résultats obtenus (Tableau IV.2, b) on constate que le rejet a de faibles teneurs en NH_4^+ (0,198-09 mg/l) et NO_2^- (<0,05-0,115 mg/l) par rapport aux norme Algérienne qui sont fixées de 30mg/l pour l'ammonium et de 10mg/l pour les nitrites, cela traduit par l'absence des bactéries qui provoquent des processus de dégradation incomplète de la matière organique.

Les eaux de rejet renferment également de très faibles valeurs en phosphate PO_4^{3-} (0,115-0,488 mg/l), c'est des valeurs inférieurs à la norme Algérienne qui est fixée de 2 mg/l. Des teneurs élevées en PO_4^{3-} conduit à la présence d'une eutrophisation ce qui traduit par une multiplication des algues et du plancton qui réduit le passage de la lumière, accroît la consommation d'oxygène et s'accompagne d'une modification profonde de la faune.

2.1-La demande chimique en oxygène:

La DCO est la quantité d'oxygène consommée par les matières existant dans l'eau et oxydables dans les conditions opératoires définies. En fait la mesure correspond à une

estimation des matières oxydables, quelle que soit leur origine organique ou minérale (fer ferreux, nitrite, ammonium, sulfure).

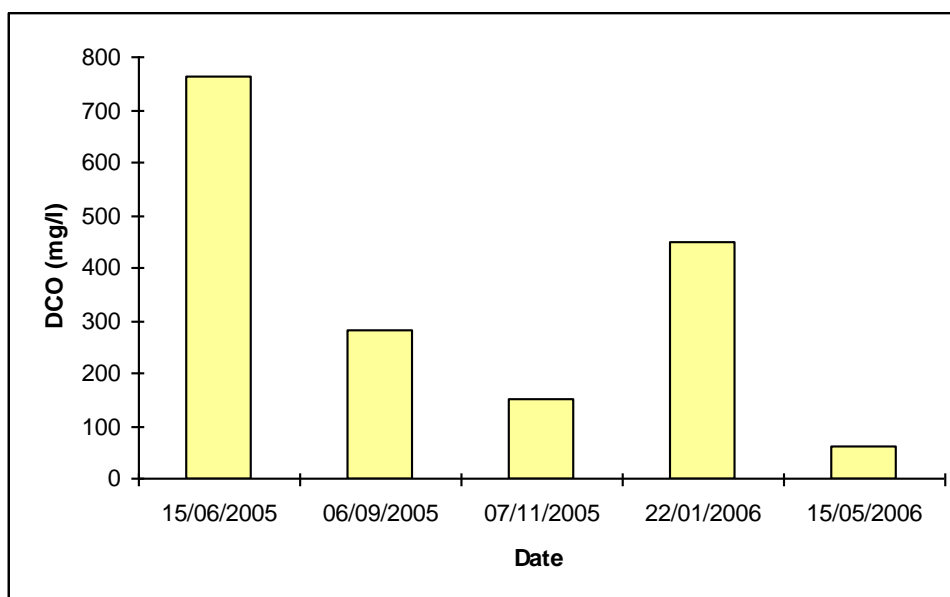
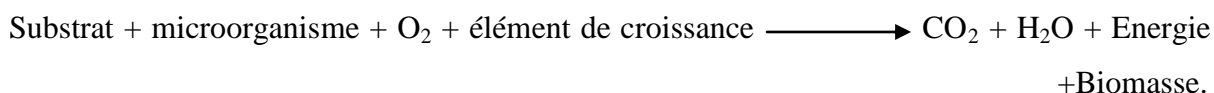


Figure IV.12 : évolution de la DCO en fonction du temps.

On constate d'après l'histogramme de la figure (IV.12) que le rejet atteint des valeurs très variables de la DCO (60-761,9 mg/l) et cela est dû à la variabilité de la composition du rejet. La valeur élevée de la DCO reflète la quantité importante de matières oxydables contenues dans le rejet.

2.2-La demande biochimique en oxygène

La demande biochimique en oxygène (DBO_5) exprime la consommation potentielle d'oxygène des principaux polluants (MES, microorganismes aérobies) d'un milieu récepteur conformément au schéma réactionnel suivant :



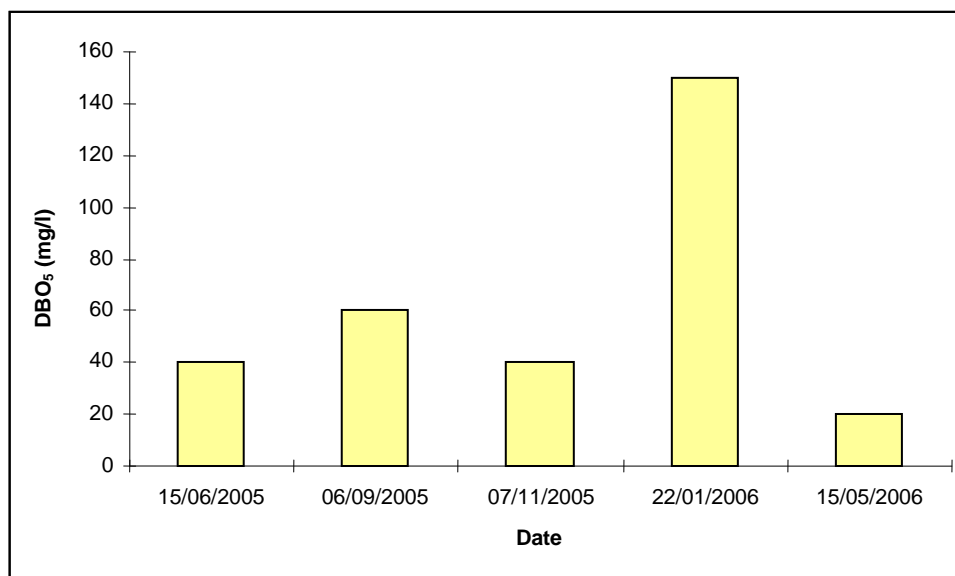


Figure IV.13: évolution de la DBO₅ en fonction du temps.

D'après l'histogramme de la figure (IV.13), on constate une valeur élevée de la DBO₅ qui est de 150 mg/l par rapport au norme Algérienne 35 mg/l, cela est du à la stagnation de l'eau utilisée dans l'industrie dans le réservoir ainsi les faibles valeurs sont dues à la présence d'éléments toxique qui empêchent l'activité des micro-organismes.

Souvent, on introduit le rapport DCO/ DBO₅, pour des valeurs comprises entre 3,2 et 5,2 on recour à un traitement physico-chimique, les résultats trouvés montrent que les valeurs sont comprises entre 3 et 4,66 qui nous amène a prévoir une épuration physico-chimique.

3-La minéralisation globale :

La minéralisation est indiquée par les paramètres tel que :

3.1-La duresté totale TH :

La duresté d'une eau correspond essentiellement à la somme des concentrations en cations alcalino-terreux.

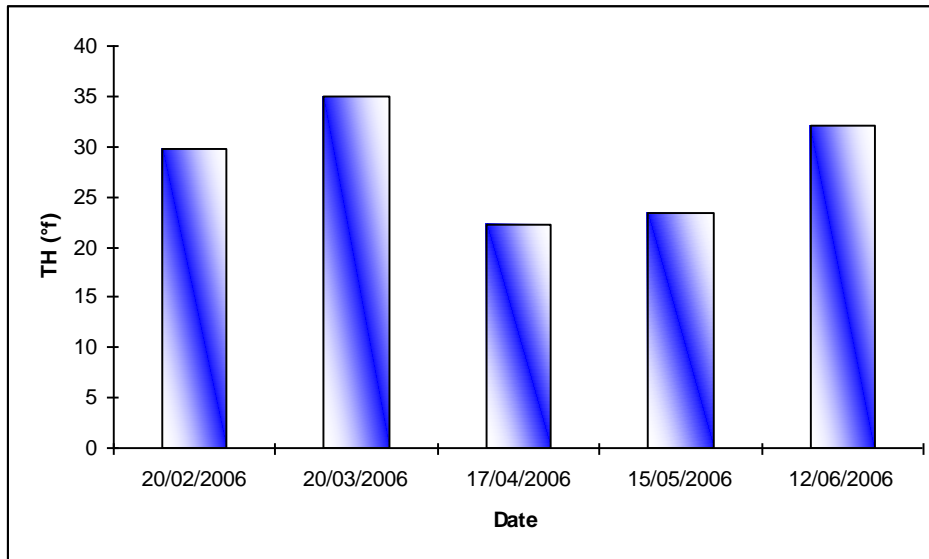


Figure IV.14 : évolution de la dureté en fonction du temps.

D'après la figure (IV.14), on remarque que la dureté varie de 22,3°f à 35°f.

On considère que :

- de 0 à 5 °f une eau est très douce.
- de 5 à 15 °f une eau est douce.
- de 15 à 25 °f une eau est moyennement dure.
- de 25 à 35 °f une eau est dure.

Donc on constate que l'eau de rejet est dure, cette dureté est le résultat de l'utilisation de carbonate de calcium CaCO_3 et la chaux $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dans la fabrication des moules et dans la préparation de l'émail blanc et la barbotine, cette dureté peut avoir sur l'eau des effets d'ordre esthétiques ou organoleptique.

Les eaux dures peuvent gêner le développement de la couverture biologique des eaux.

3.2-Le titre alcalimétrique TA et TAC :

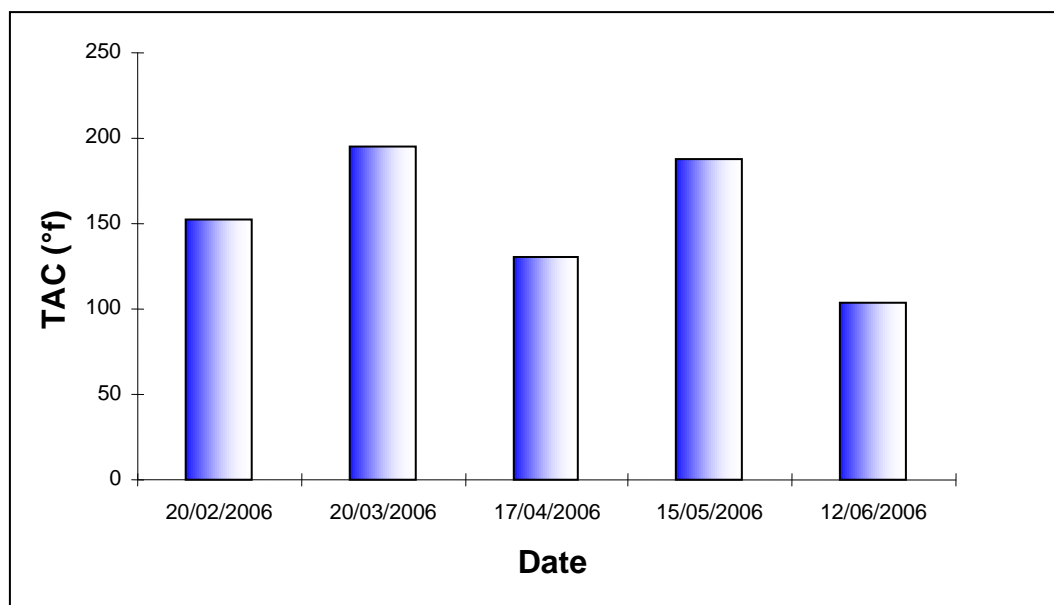


Figure IV.15: évolution de TAC en fonction du temps.

Le titre TA étant nul, la concentration en ion hydroxydes (OH⁻) est donc négligeable, l'alcalinité est donc constituée par les hydrogénocarbonates, ces derniers associés au calcium et magnésium ne peuvent rester stables dans l'eau que s'ils sont en présence de gaz carbonique dissous CO₂.

D'après l'histogramme de la figure (IV.15), le TAC a des valeurs comprises entre (103,25-195,25 °f) ces valeurs dépassent la norme qui est 50 °f. Cette alcalinité est due à l'utilisation des matières premières carbonatées tel que le carbonate de baryum et le carbonate de soude.

La valeur élevée en hydrogénocarbonates (1259,65-2382,05 mg/l) provoque la formation des tartres dans les conduites d'eaux.

3.3-Le sodium Na^+ :

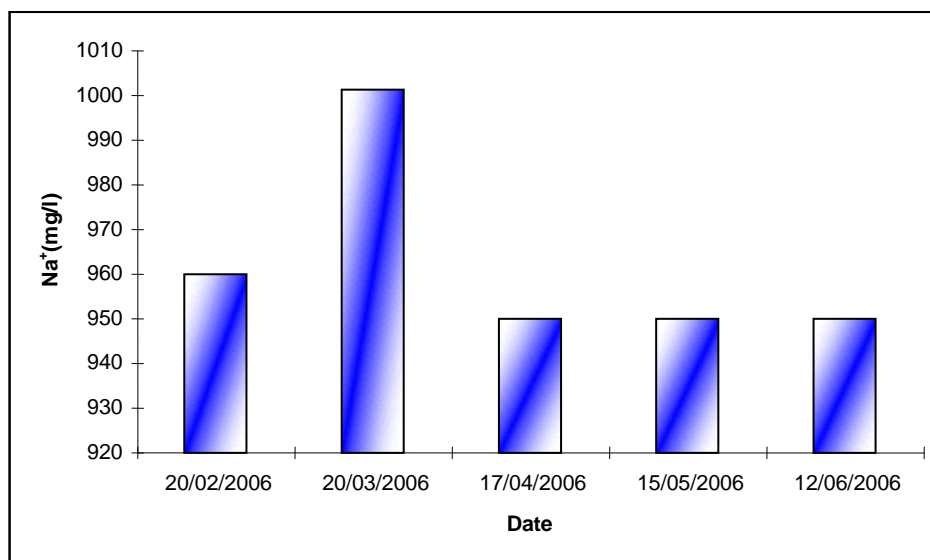


Figure IV.16 : évolution de sodium en fonction du temps.

D'après l'histogramme de la figure IV.16, on constate une très légère variation de Na^+ (950-1001,1 mg/l), ces valeurs dépassent les normes recommandés par l'OMS qui sont fixées de 200 mg/l. La valeur très élevée de sodium est due à l'utilisation de feldspath sodique comme une matière première dans la préparation de la barbotine.

3.4- Le potassium K^+

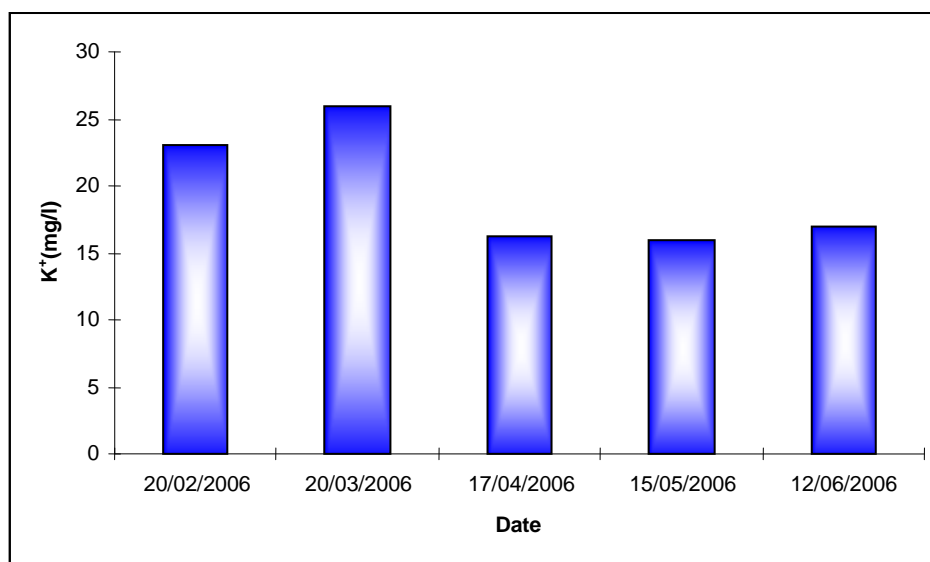


Figure IV.17 : évolution de potassium en fonction du temps.

D'après l'histogramme de la figure IV.17, on constate une très légère variation de K^+ (16-26 mg/l), ces valeurs dépassent les normes recommandés par la directive des communautés européennes qui sont fixées de 12 mg/l.

3.5-Les chlorures :

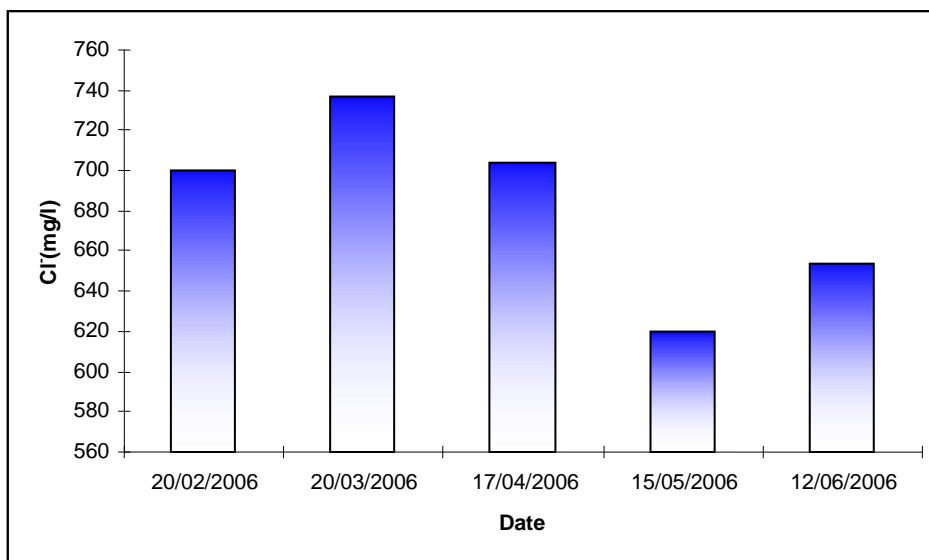


Figure IV.18 : évolution des chlorure en fonction du temps.

La figure IV.18 montre que les chlorures sont très élevés (619,75-737 mg/l) et dépassent la norme qui est de 250mg/l. Ces dernières sont très agressives forment avec l'eau l'acide chlorhydrique qui cause la corrosion des conduites.

4-Les paramètres indésirables :

D'après les résultats obtenus on remarque l'absence d'aluminium, de cuivre et de manganèse (Tableau IV-2, d), mais il contient les éléments tel que le zinc et le fer.

4.1-Le zinc :

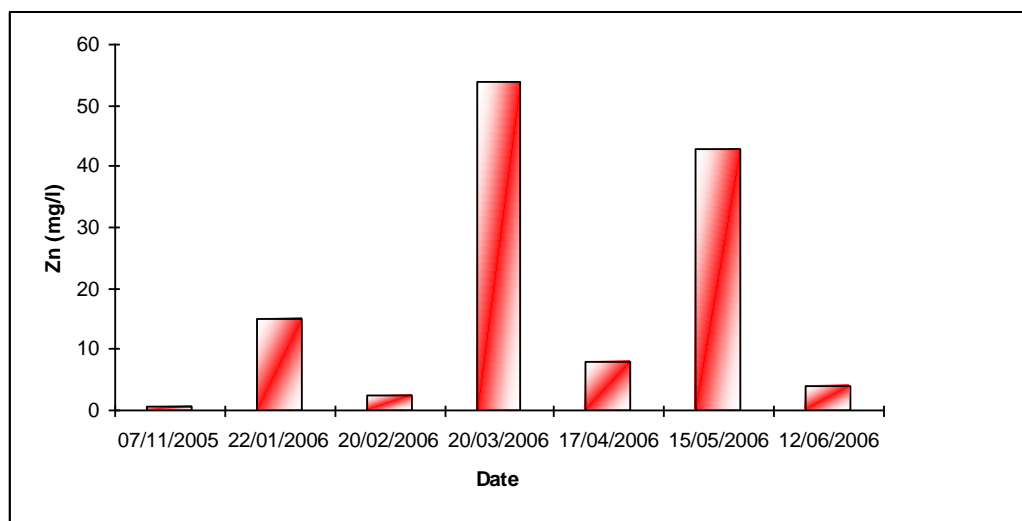


Figure IV.19 : évolution du zinc en fonction du temps.

D'après l'histogramme de la figure IV.19 une variabilité remarquable de la concentration en zinc qui varie de 0,728 à 54 mg/l et cela est due à la variabilité du rejet. Ces

variations de zinc sont dues à l'utilisation de l'oxyde de zinc dans la préparation de l'émail blanc opaque.

Le zinc présente une certaine toxicité vis-à-vis de la vie aquatique, la toxicité pour le poisson s'exerce à partir de quelques milligrammes par litre.

Pour l'usage agricole, le dépérissement des plantes peut intervenir à partir de 5mg/l.

4.2-Le fer

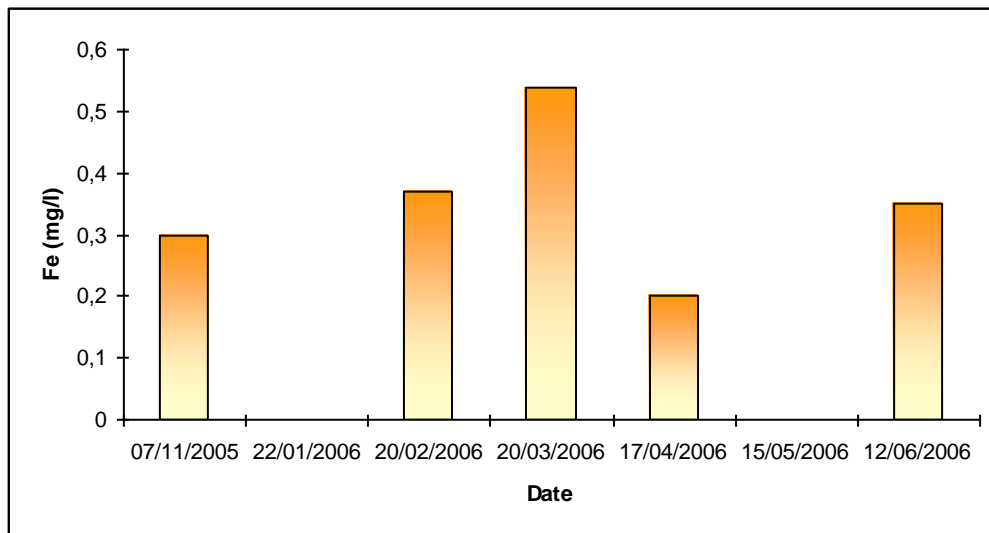


Figure IV.20 : évolution du fer en fonction du temps.

D'après l'histogramme de la figure IV.20, on remarque des faibles valeurs de fer, une partie provient de l'oxyde de fer contenue dans la matière première sous forme de Fe_2O_3 et l'autre partie est la conséquence de la corrosion des pompes de refroidissement.

IV.5.2-Comparaison des résultats de l'analyse du point X_1 , X_2 et X_3 :

1-La conductivité :

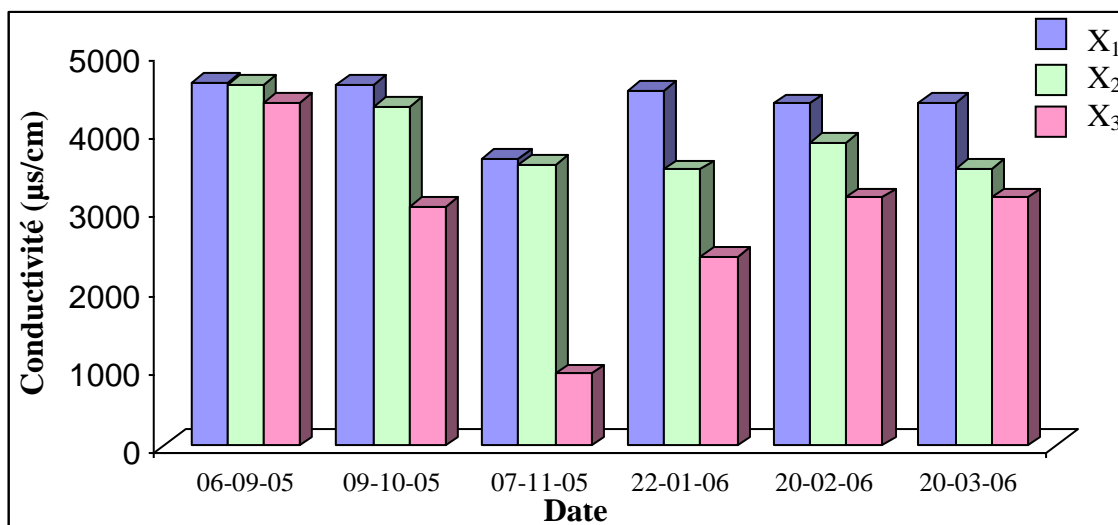


Figure IV.21 : évolution de la conductivité en fonction du temps des trois prélèvements X_1 , X_2 et X_3

D'après l'histogramme de la figure IV.21 on remarque que la conductivité est très élevée dans les trois points, et surtout dans le rejet principal (X_1), elle atteint comme une valeur maximale de 4620 $\mu\text{s}/\text{cm}$, donc le rejet est trop chargé en éléments minéraux en solution. La valeur de la conductivité diminue au fur et à mesure qu'on s'éloigne du rejet principal donc dans les points X_2 et X_3 cela est dû à une dilution des eaux de l'oued Allala par les rejets domestiques.

2-La turbidité :

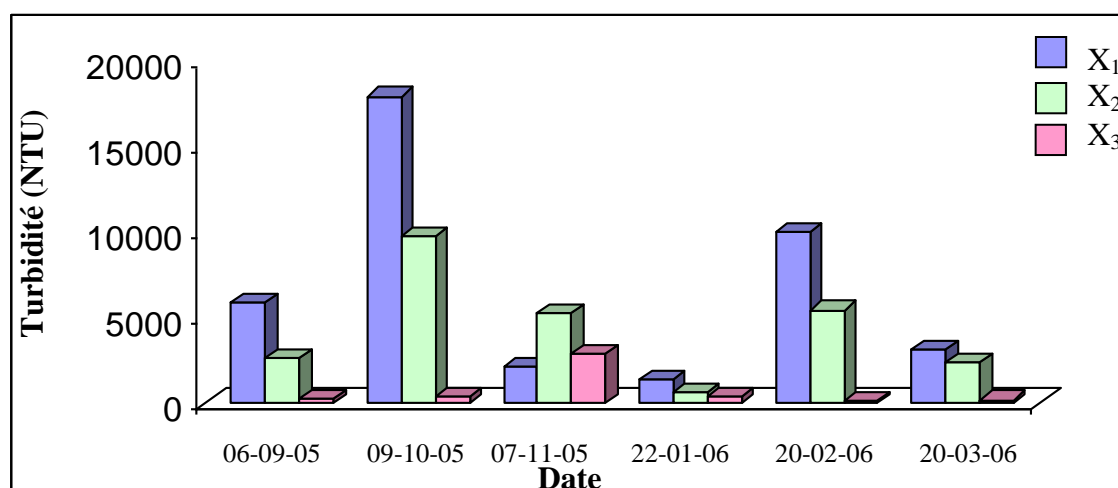


Figure IV.22 : évolution de la turbidité en fonction du temps des trois prélèvements X_1 , X_2 et X_3 .

On constate que la turbidité atteint parfois des valeurs très élevées de 1412 NTU à 17950 NTU au point X_1 , la présence des produits comme l'argile et le sable dans le rejet est due à la perte des produits lors de la préparation de la barbotine qui vont être entraînées par les eaux de lavage. La turbidité diminue ensuite au point X_2 (610-9700 NTU) et X_3 (94,32-2850 NTU) cela confirme la sédimentation des différents éléments.

3-Les MES :

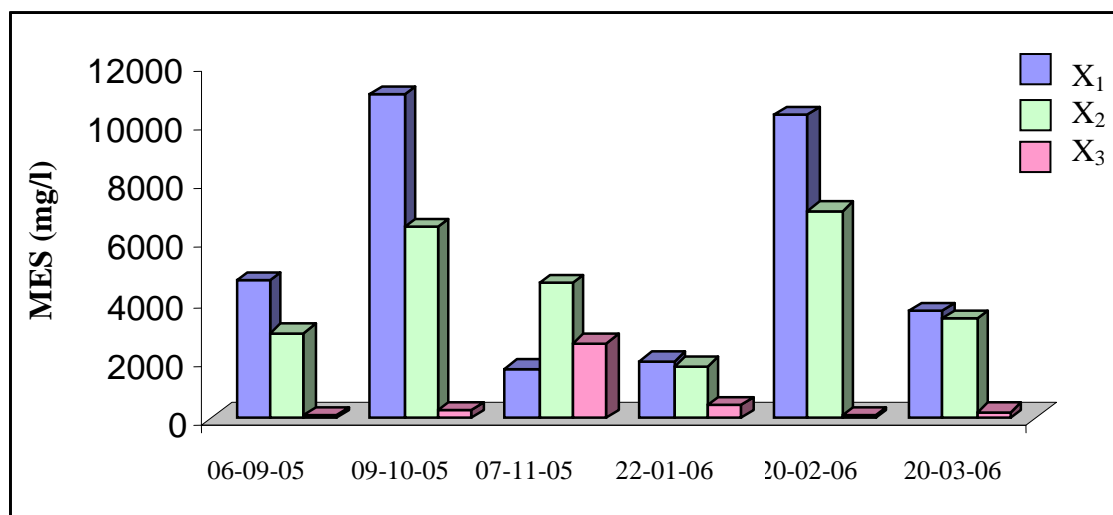


Figure IV.23 : évolution des MES en fonction du temps des trois prélèvements X_1 , X_2 et X_3 .

Pour les MES, nous remarquons d'après l'histogramme de la figure (IV.23) que la concentration des matières en suspension dans le rejet est toujours élevée au point X_1 (1772-10950 mg/l) par rapport aux eaux des points X_2 (440-7025 mg/l) et X_3 (102-2560 mg/l), cela est dû à une dilution des eaux de l'oued Allala par les rejets domestiques.

4-Le résidu sec :

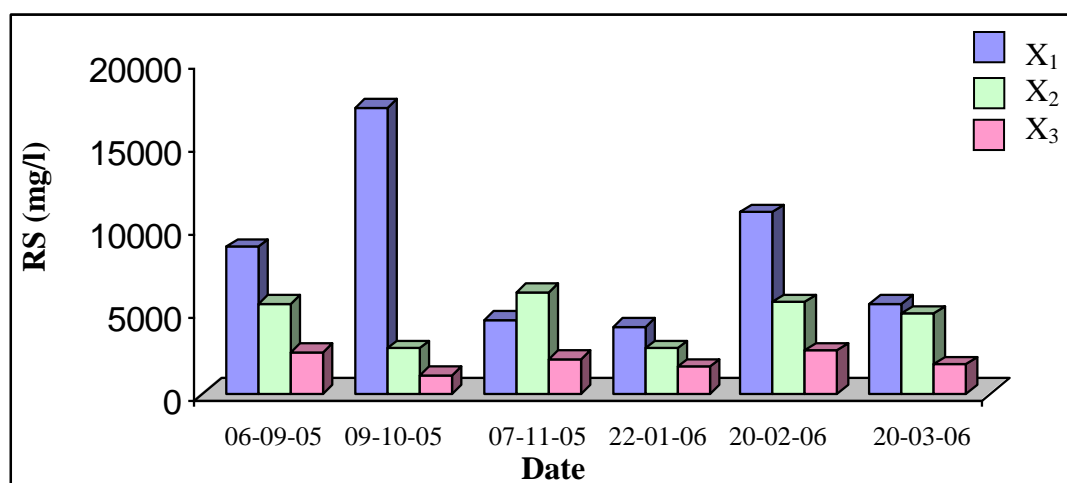


Figure IV.24 : évolution du RS en fonction du temps des trois prélèvements X_1 , X_2 et X_3 .

Une valeur élevée de MES s'accompagne toujours d'une valeur élevée du RS ce qui confirme l'existence de matière minérale dissoute dans le rejet industriel, les valeurs obtenues (4000-17200 mg/l), permettent d'apprécier la minéralisation de l'eau.

IV.6-Les analyses de la phase solide du point X₁ :

IV.6.1-Les résultats de l'analyse de la phase solide :

L'analyse a été effectuée sur la couche de solide déposée après décantation et séparation de la phase liquide. Le dépôt est récupéré, séché à l'étuve. L'étude du solide a donné les résultats suivants :

Tableau IV.5, a : Les éléments majeurs.

| Dates | 22-01-06 | 20-03-06 | 15-05-06 |
|--------------------------------|----------|----------|----------|
| Les éléments majeurs (%) | | | |
| SiO ₂ | 53,08 | 60,35 | 52,10 |
| Al ₂ O ₃ | 23,39 | 15,56 | 29,40 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,97 | 0,56 | 1,33 |
| CaO | 3,53 | 6,08 | 0,60 |
| MgO | 0,47 | 0,77 | 0,38 |
| MnO | 0,154 | 0,202 | 0,014 |
| Na ₂ O | 2,09 | 2,52 | 1,76 |
| K ₂ O | 1,34 | 2,69 | 1,74 |
| P ₂ O ₅ | 0,139 | 0,155 | 0,104 |
| TiO ₂ | 0,540 | 0,360 | 0,604 |
| SO ₃ | 0,55 | 0,67 | 0,04 |
| Cl | 0,2200 | 0,13 | |
| PAF | 11,70 | 10,40 | 11,60 |

Tableau IV.5, b : Les éléments mineurs.

| Dates Les éléments mineurs ppm | 22-01-06 | 20-03-06 | 15-05-06 |
|-----------------------------------|----------|----------|----------|
| Zirconium (Zr) | 5811,0 | 4851,0 | 1841,6 |
| Strontium (Sr) | 12,6 | 136,0 | 158,3 |
| Rubidium (Rb) | 38,7 | 65,9 | 135,9 |
| Plomb (Pb) | 17,3 | 34,0 | 73,2 |
| Zinc (Zn) | 3569,0 | 2645,0 | 1066,1 |
| Cuivre (Cu) | 307,1 | 319,3 | 61,9 |
| Nickel (Ni) | 203,0 | 975,2 | 33,9 |
| Chrome (Cr) | 63,6 | 64,0 | 60,5 |
| Vanadium (V) | 136,2 | 63,8 | 46,4 |
| Baryum (Ba) | 8202,0 | 8439,7 | 1554,1 |

IV.6.2-Interprétation des résultats de l'analyse :

Les solides des rejets sont divisés en deux parties, les éléments majeurs et les éléments mineurs. D'après les tableaux IV.5,a et IV.5,b Il y a lieu de constater une hétérogénéité dans la composition de dépôt ; cela est du à la variabilité des composés rentrant dans la fabrication.

On note que l'analyse des solides donne un aperçut sur la composition des matières en suspension.

D'après l'histogramme de la figure IV.25, on constate que les MES sont à base de silice constituées principalement d'oxyde de silice (52,10%- 60,35%), cela est du à l'utilisation du sable de 23% dans la composition de la pâte.

Suivi par l'oxyde d'aluminium qui constitue un pourcentage considérable dans le solide (figure IV.26) (15,56%- 29,40%) car il rentre dans la composition de toutes les matières premières utilisées.

La présence de l'oxyde de sodium Na_2O à (1,76%- 2,52%) (figure IV.27) est confirmé par l'utilisation de feldspath sodique autant que fondant dans la préparation de la barbotine

L'utilisation du zirconium, du zinc et du baryum dans la préparation des émaux, reflète un faible pourcentage mais non négligeable de ces éléments dans le dépôt. Par exemple si on prend 1 g du solide donne 5811 ppm de zinc, soit 0,5811 % \Rightarrow 5,811 mg, donc 1 Kg de boue donne 6 g de zinc.

La présence des autres éléments mineurs est du à l'utilisation des colorants dans les émaux.

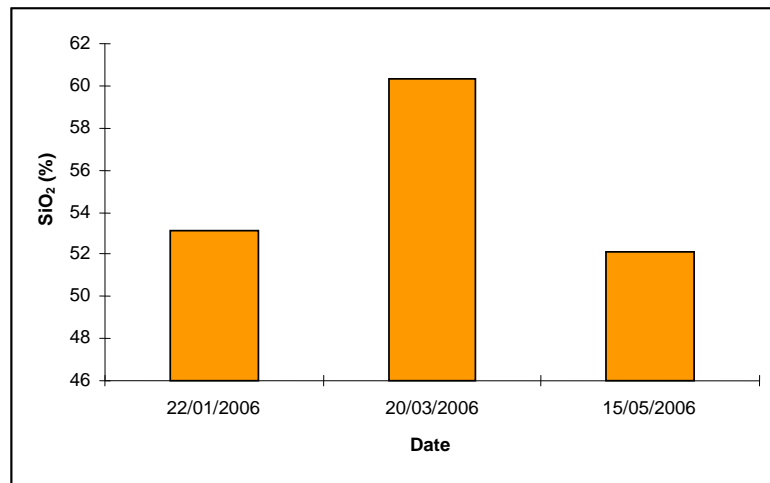


Figure IV.25 : évolution de SiO₂ en fonction du temps.

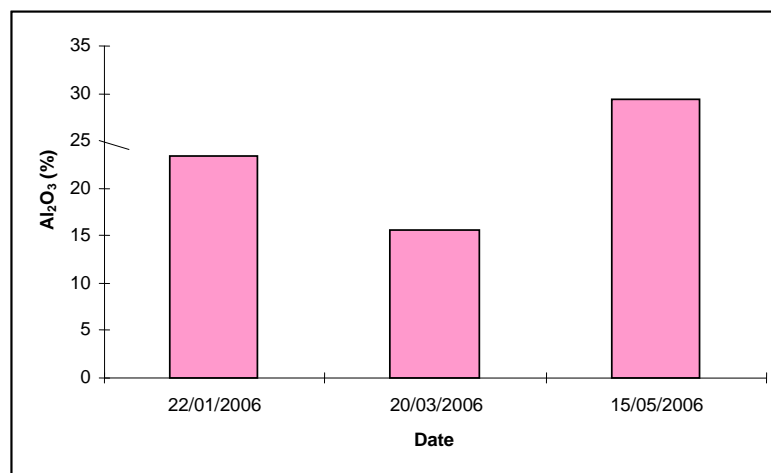


Figure IV.26 : évolution de Al₂O₃ en fonction du temps.

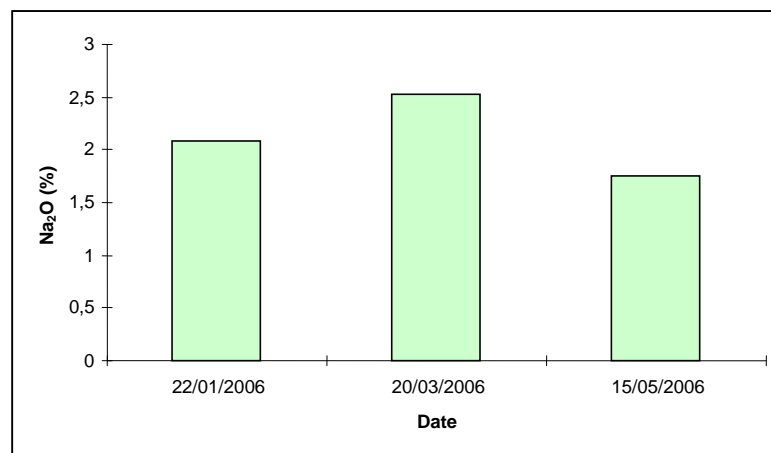


Figure IV.27 : évolution de Na₂O en fonction du temps.

Pour caractériser le degré de pollution on a effectué trois prélèvements à des moments différents pendant la journée au point X₁. Les résultats obtenus sont illustrés dans les tableaux IV.6, a, IV.6, b, IV.6, c et IV.6, d.

IV.7-Les analyses de l'eau de rejet à différentes périodes de la journée :

IV.7.1- les analyses de la partie liquide :

1-Résultats de l'analyse

Tableau IV.6, a : Les résultats de l'analyse physico-chimique de l'eau pour différentes heures de la journée

| Paramètres | Eau brute | X ₁ (8 :50) | X ₁ (12 :00) | X ₁ (15 :00) |
|----------------------|-----------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Heure de prélèvement | 9 :00 | 8 :50 | 12 :00 | 15 :00 |
| T (°C) | 32,4 | 26,5 | 26,7 | 27 |
| pH | 6,9 | 8,4 | 8,4 | 8,4 |
| Conductivité (µs/cm) | 4230 | 4510 | 4350 | 4340 |
| Tur (NTU) | 7,57 | 5058 | 1636 | 5130 |
| MES (mg/l) | 5 | 5750 | 1325 | 6150 |
| RS (mg/l) | 2404 | 6872 | 3520 | 6856 |
| RC (mg/l) | 2284 | 6420 | 3392 | 6384 |
| PAF (mg/l) | 120 | 452 | 128 | 472 |
| TDS (mg/l) | 1855,26 | 1978 | 1907 | 1903 |
| S (%) | 2,2 | 2,4 | 2,2 | 2,2 |

Tableau IV.6, b : Paramètres de pollution.

| Paramètres de pollution | Eau brute | X ₁ (8 :50) | X ₁ (12 :00) | X ₁ (15 :00) |
|-------------------------|-----------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| DCO (mg/l) | 270 | 60 | 80 | 140 |
| DBO ₅ (mg/l) | 10 | 20 | 25 | 40 |

Tableau IV.6, c : Minéralisation globale.

| Minéralisation globale | Eau brute | X₁(8 :50) | X₁ (12 :00) | X₁ (15 :00) |
|---|------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Chlorures (Cl ⁻¹) mg/l | 636,50 | 653,25 | 656,6 | 670 |
| Bicarbonates (HCO ₃ ⁻) mg/l | 1073,6 | 1198,65 | 1061,4 | 1427,4 |
| Carbonates (CO ₃ ²⁻) (mg/l) | 00 | 00 | 00 | 00 |
| Dureté totale (TH) °f | 25 | 32 | 34,6 | 26,6 |
| Titre alcali (TA) °f | 00 | 00 | 00 | 00 |
| Titre alcalin complet (TAC) °f | 88 | 98,25 | 87 | 117 |

Tableau IV.6, d : Paramètres indésirables

| Paramètres indésirables | Eau brute | X₁(8 :50) | X₁ (12 :00) | X₁ (15 :00) |
|--------------------------------|------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Cuivre (Cu) (mg/l) | <0,04** | <0,04** | <0,04** | <0,04** |
| Fer (Fe) (mg/l) | <0,05** | 0,35 | <0,05** | 0,20 |
| Manganèse (Mn) (mg/l) | <0,04** | 0,08 | <0,04** | 0,08 |
| Zinc (Zn) (mg/l) | < 0,1 | 04 | 15 | 19 |

2-Interprétation des résultats:**2.1-Paramètres physico-chimiques :****2.1.1-La température :**

D'après les résultats obtenus (Tableau IV.6, a), on remarque que la température de l'eau de rejet présente une faible variation (presque constante).

2.1.2-Le pH :

On constate que le pH de l'eau brute est neutre donc il est acceptable pour une utilisation industrielle. Par contre, L'eau de rejet présente un pH de 8,4 du à l'alcalinité des eaux de lavage.

2.1.3-La conductivité :

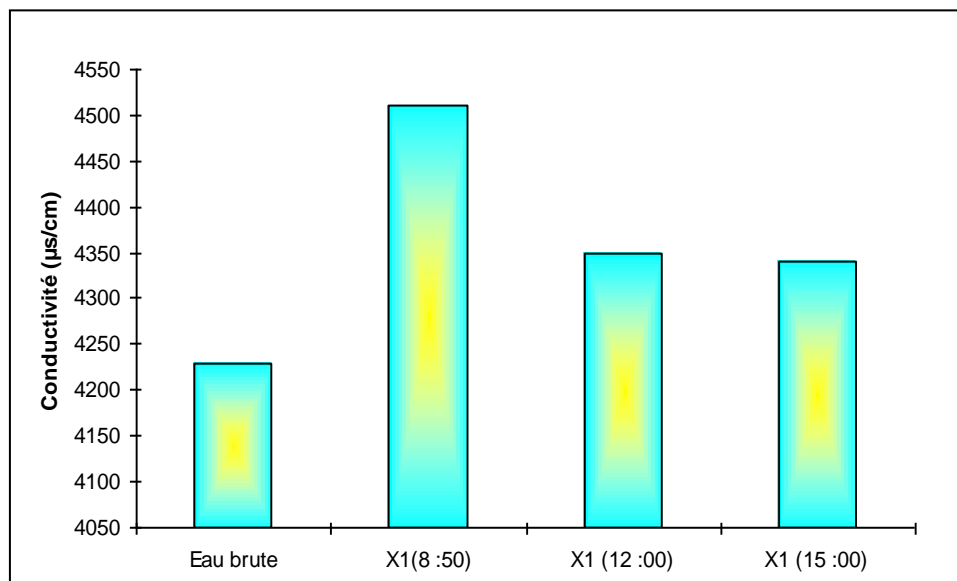


Figure IV.28 : évolution de la conductivité en fonction du temps pendant la journée.

D'après l'histogramme de la figure (IV.28) on remarque que l'eau brute présente une conductivité de 4230 µs/cm. Pour l'eau de rejet, on constate une légère variation de la conductivité avec le temps pendant la journée qui passe de 4550 à 4350 µs/cm cela est dû à la perte de la matière première lors de la préparation de la barbotine qui sont entraînées par les eaux de lavage.

2.1.4-Les MES:

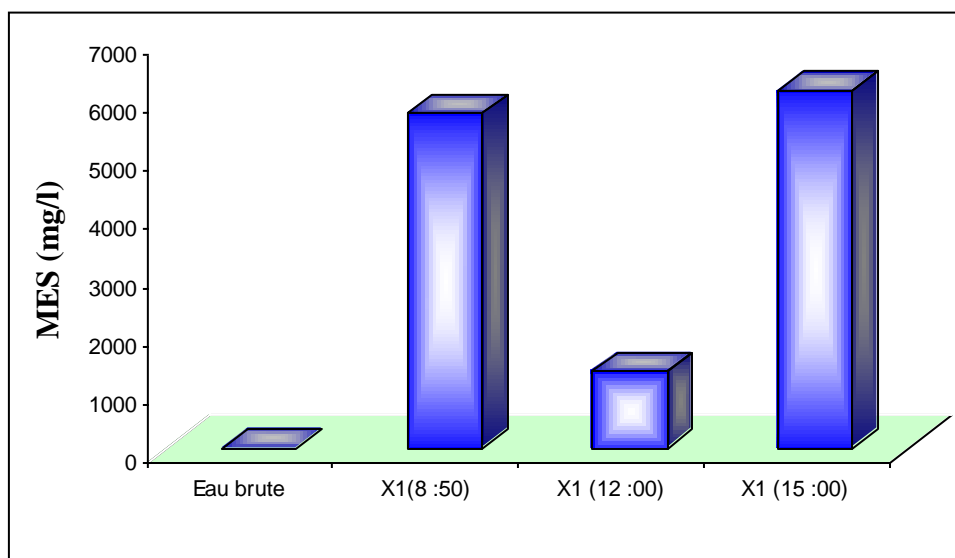


Figure IV.29 : évolution des MES en fonction du temps pendant la journée.

L'eau de rejet présente une concentration importante en MES durant les premières heures du travail, cette élévation est due à la matière première utilisée dans l'industrie qui est à base d'argile, de kaolin et de sable. On constate une diminution des MES à midi (figure IV.29), cela du à un diminution du taux de production, puis une augmentation à la fin de la journée cela est dû au lavage du sol et des postes de travail.

2.1.5-La turbidité:

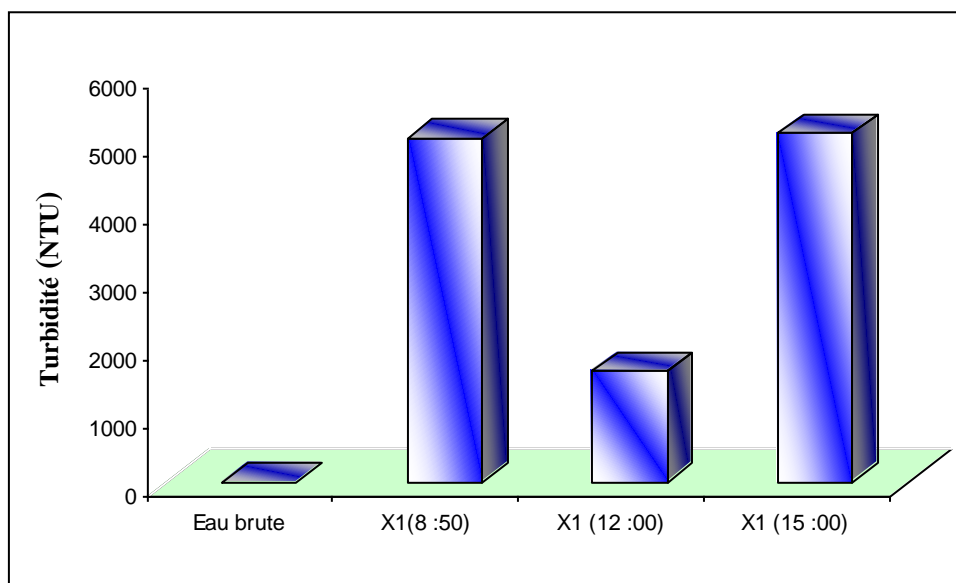


Figure IV.30 : évolution de la turbidité en fonction du temps pendant la journée.

D'après la figure (IV.30) on remarque que l'eau brute présente une turbidité assez faible. La turbidité de l'eau de rejet est élevée, elle atteint 5058 NTU au début du travail puis elle passe de 5058 à 5130 NTU à la fin de la journée cela est dû au nettoyage des postes de travail.

2.1.6-Le résidu sec RS:

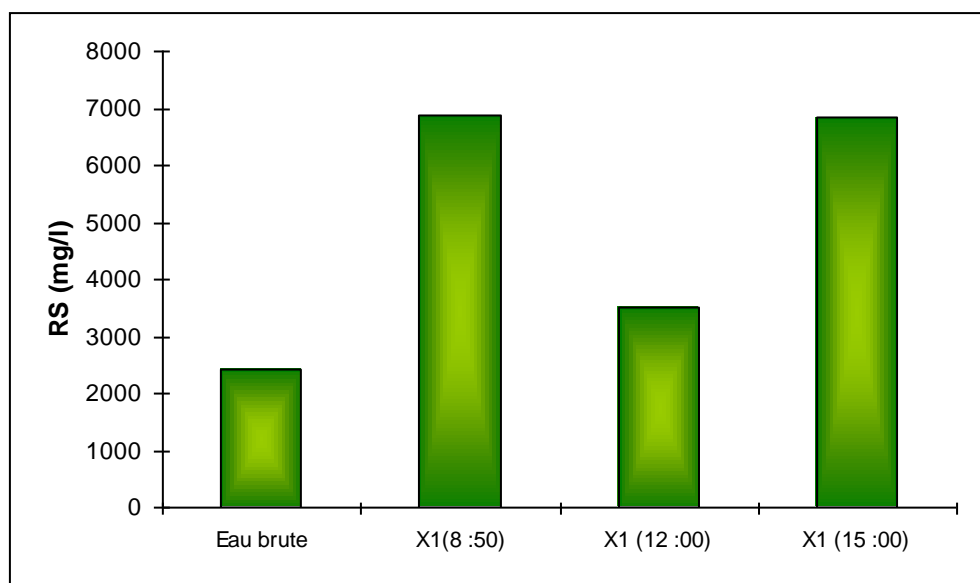


Figure IV.31 : évolution du RS en fonction du temps pendant la journée.

La valeur de 2404 mg/l en RS de l'eau brute montre qu'elle est riche en matière minérale. L'augmentation du RS (6872 mg/l-3520 mg/l-6856 mg/l) pour les trois autres prélèvements montre que les eaux de rejet sont très minéralisées due aux eaux de lavage lors de la préparation de la barbotine et les émaux.

2.2-Les paramètres de pollution :

2.2.1-La demande chimique en oxygène DCO :

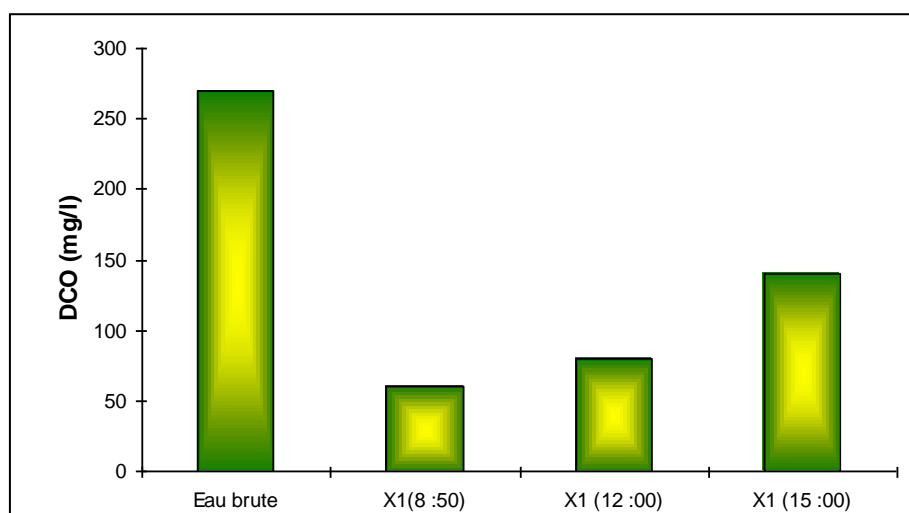


Figure IV.32 : évolution de la DCO en fonction du temps pendant la journée.

L'augmentation de la DCO (60-80-140 mg/l) durant la journée (figure IV.32) confirme l'existence des matières oxydables qui sont de nature minérale.

2.2.2-La demande biochimique en oxygène DBO₅ :

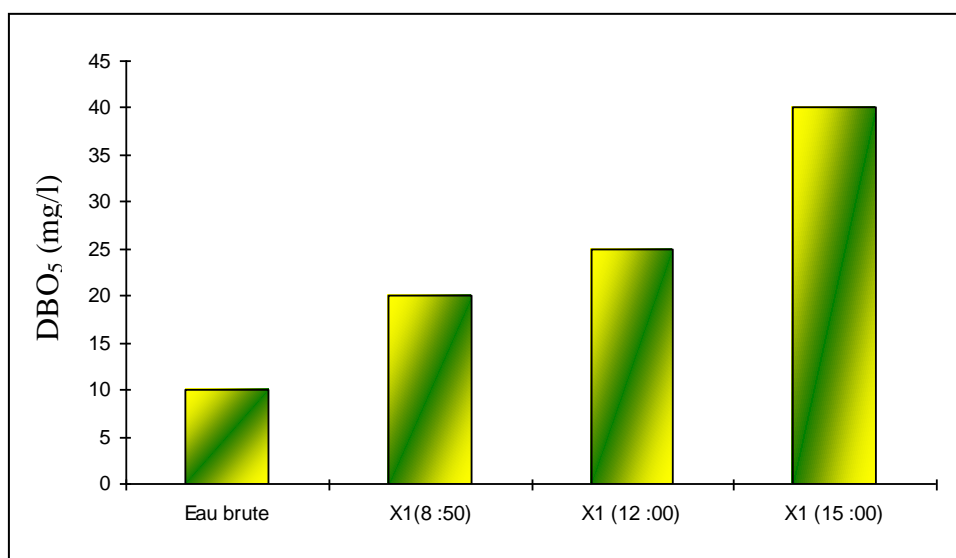


Figure IV.33 : évolution de la DBO₅ en fonction du temps pendant la journée.

D'après la figure (IV.33) on remarque que l'eau brute présente une faible valeur de la DBO_5 qui confirme l'absence des micro-organismes qui favorisent l'oxydation de la matière organique.

Pour l'eau de rejet on constate un accroissement de la DBO_5 durant la journée, ces valeurs sont inférieures à la norme Algérienne.

2.3-La minéralisation globale :

2.3.1-Les chlorures :

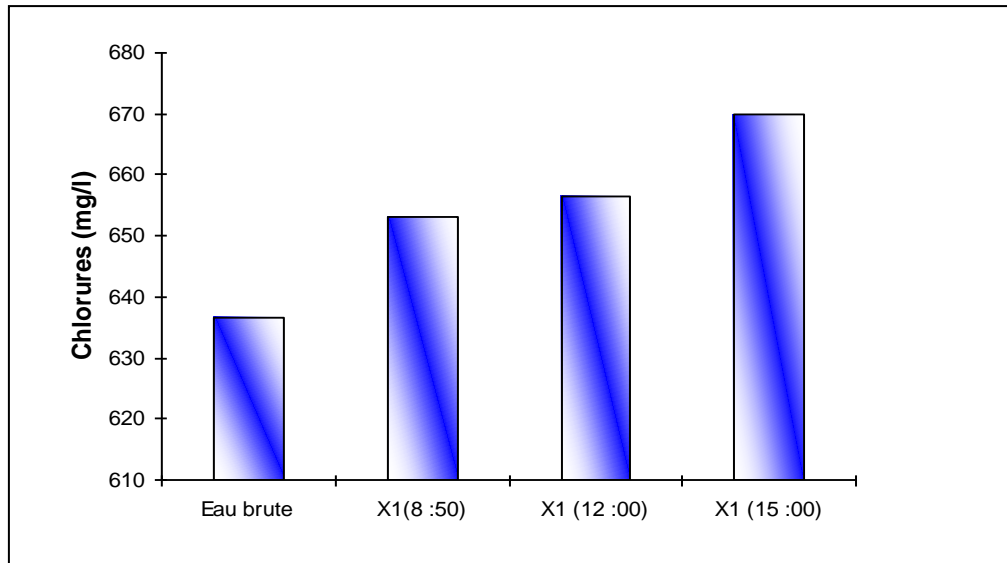


Figure IV.34 : évolution des chlorures en fonction du temps pendant la journée.

La présence des concentrations élevées en chlorure dans l'eau de rejet est traduite par l'utilisation de l'eau brute dans le lavage du sol et par les rejets de l'eau traitée.

3.2-La dureté :

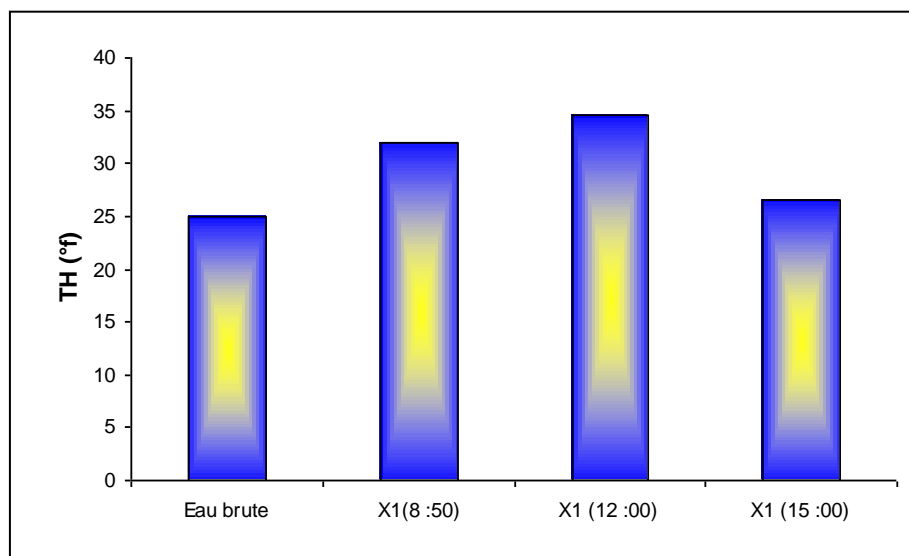


Figure IV.35 : évolution de la dureté en fonction du temps pendant la journée.

D'après l'histogramme de la figure (IV.35) on remarque que l'eau de rejet présente une légère variabilité de la dureté durant la journée.

2.3.3-Le TAC:

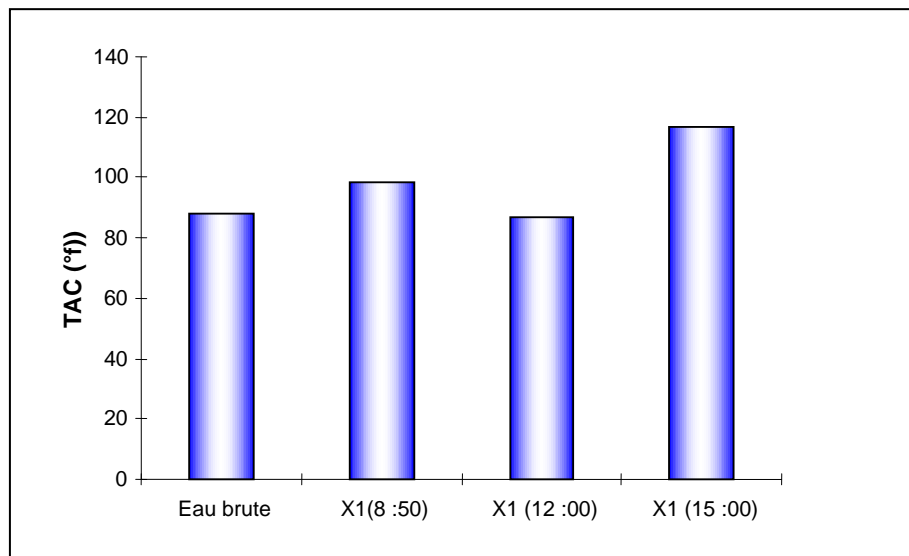


Figure IV.36 : évolution du TAC en fonction du temps pendant la journée.

L'eau brute et l'eau de rejet renferment des valeurs importantes de TAC (figure IV.36) cela confirme que ces eaux sont de nature alcaline, cette dernière est due à l'utilisation de matière carbonatée dans l'industrie.

2.4-Les paramètres indésirables :

2.4.1-Le zinc :

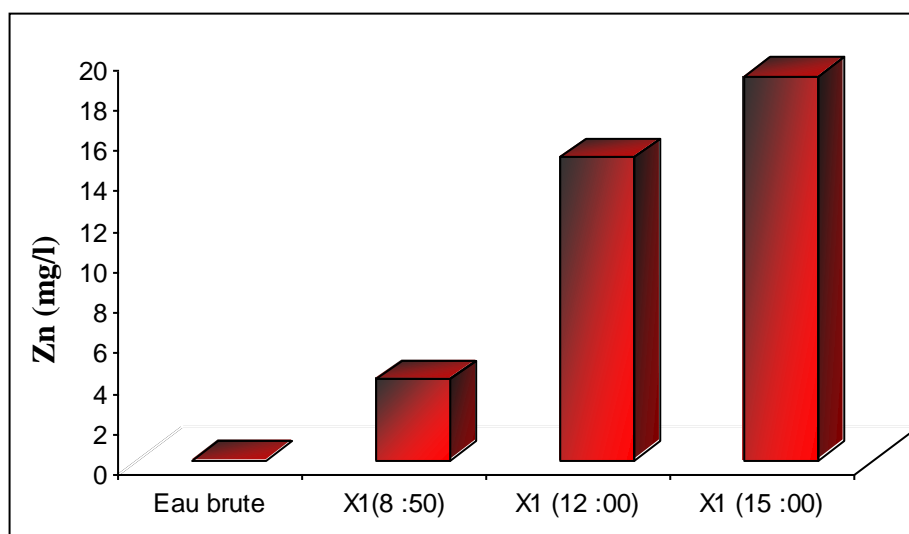


Figure IV.37 : évolution du zinc en fonction du temps pendant la journée

D'après la figure ((IV.37) on constate une légère variation de la concentration en zinc durant la journée qui varie de 4 à 19 mg/l due à l'utilisation de l'oxyde de zinc dans la préparation des émaux.

IV.7.2-Les analyses de la phase solide à différentes périodes de la journée :

1-Résultats de l'analyse :

L'étude du solide a donné les résultats suivants :

Tableau IV.7, a : Les éléments majeurs.

| Les éléments majeurs (%) | X ₁ (8 :50) | X ₁ (12 :00) | X ₁ (15 :00) |
|--------------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| SiO ₂ | 52,10 | 50,11 | 58,12 |
| Al ₂ O ₃ | 29,40 | 11,38 | 19,23 |
| Fe ₂ O ₃ | 1,33 | 0,37 | 1,08 |
| CaO | 0,60 | 5,99 | 2,41 |
| MgO | 0,38 | 0,74 | 0,47 |
| MnO | 0,014 | 0,036 | 0,020 |
| Na ₂ O | 1,76 | 8,61 | 3,37 |
| K ₂ O | 1,74 | 0,55 | 1,16 |
| P ₂ O ₅ | 0,104 | 0,127 | 0,110 |
| TiO ₂ | 0,604 | 0,244 | 0,658 |
| SO ₃ | 0,04 | 0,25 | 0,07 |
| PAF | 11,60 | 13,50 | 10,00 |

Tableau IV.7, b : Les éléments mineurs.

| Les éléments mineurs ppm | X ₁ (8 :50) | X ₁ (12 :00) | X ₁ (15 :00) |
|--------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Zirconium (Zr) | 1841,6 | 22777,2 | 12224,7 |
| Strontium (Sr) | 158,3 | 66,3 | 97,4 |
| Rubidium (Rb) | 135,9 | 110,1 | 118,4 |
| Plomb (Pb) | 73,2 | 62,4 | 47,7 |
| Zinc (Zn) | 1066,1 | 14595,6 | 6276,9 |
| Cuivre (Cu) | 61,9 | 517,4 | 252,6 |
| Nickel (Ni) | 33,9 | 344,3 | 172,6 |
| Chrome (Cr) | 60,5 | 74,2 | 54,1 |
| Vanadium (V) | 46,4 | 26,4 | 50,9 |
| Baryum (Ba) | 1554,1 | 21976,0 | 9967,9 |

2-Interprétation des résultats de l'analyse de la phase solide:

L'analyse de dépôt à trois prises de temps dans une journée conduit aux résultats suivants :

D'après l'histogramme de la figure IV.38, on constate que le solide est de nature siliceux constituées principalement d'oxyde de silice (52,10-50,11-58,11%) cela est du à l'utilisation du sable dans la composition de la pâte.

L'oxyde de l'aluminium constitue un pourcentage considérable dans le solide (figure IV.39) (29,40-11,38-19,23%) car il rentre dans la composition de toutes les matières premières utilisées.

La présence de l'oxyde de sodium Na_2O à (1,76%-8,61-3,37%) (figure IV.40) est confirmé par l'utilisation de feldspath sodique autant que fondant dans la préparation de la barbotine.

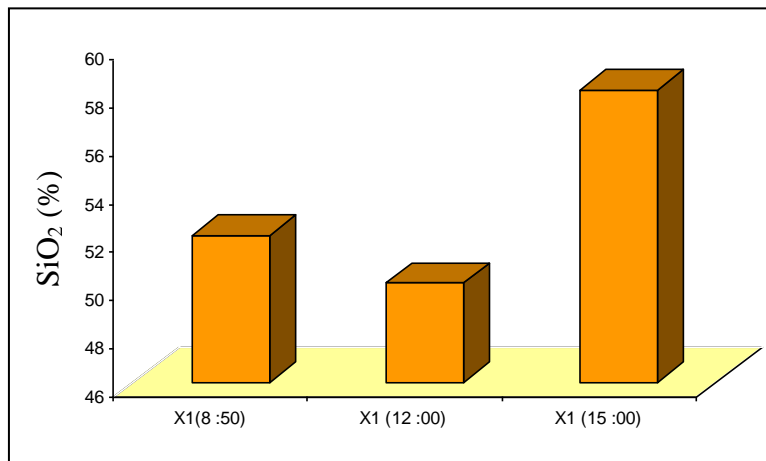


Figure IV.38: évolution de SiO_2 en fonction du temps pendant la journée

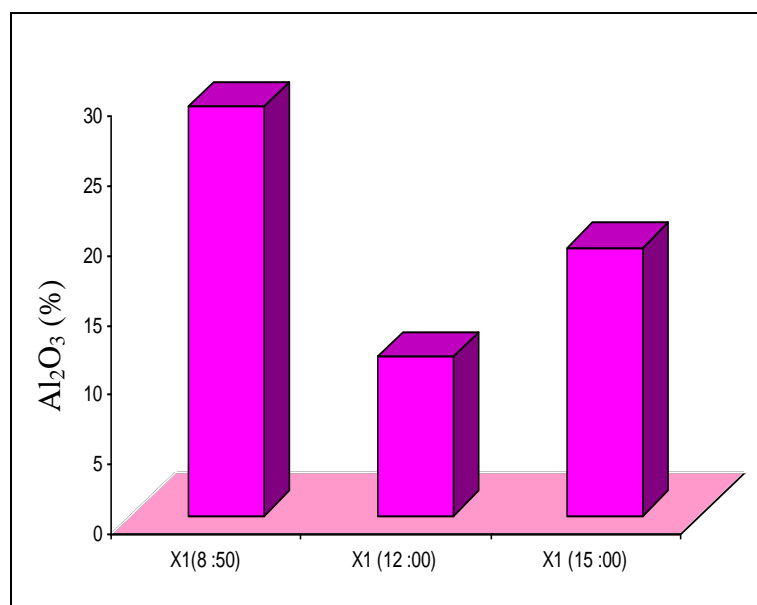


Figure IV.39 : évolution de Al_2O_3 en fonction du temps pendant la journée

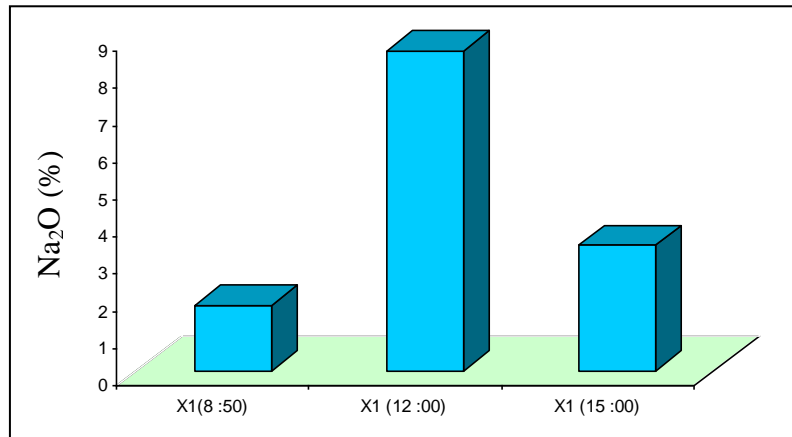


Figure IV.40 : évolution de Na₂O en fonction du temps pendant la journée

Chapitre V

Calcul et dimensionnement

Introduction :

La turbidité d'une eau est due à la présence des matières en suspension finement divisées : argile, limons, grains de silice, matières organique etc....

Les principaux inconvénients de la présence d'une partie solide dans l'eau sont :

-L'obstruction de canalisation, abrasion des pompes ou d'organe de mesure, usure de matériel divers etc....

La séparation des particules solide de l'eau résiduaire peut se faire selon deux principes, à savoir :

1-Le traitement physique suivi d'un traitement chimique.

2-La filtration sur sable.

A-Dimensionnement d'un décanteur :**V.1-Le traitement physique :**

Pour réduire la turbidité de l'eau non traitée, on procède à un essai sur colonne en PVC de 1,2 m de hauteur et de 200 mm de diamètre, pourvue de robinets équidistants de 20 cm pour les prises d'échantillons. Des échantillons de 100 ml d'eau sont prélevés à 10 ; 20 ; 30; 60; 90 et 120 minute et à des hauteurs équidistantes de haut en bas correspondant à : I: 20 cm; II: 40 cm; III: 60 cm; IV: 80 cm et V: 100 cm.

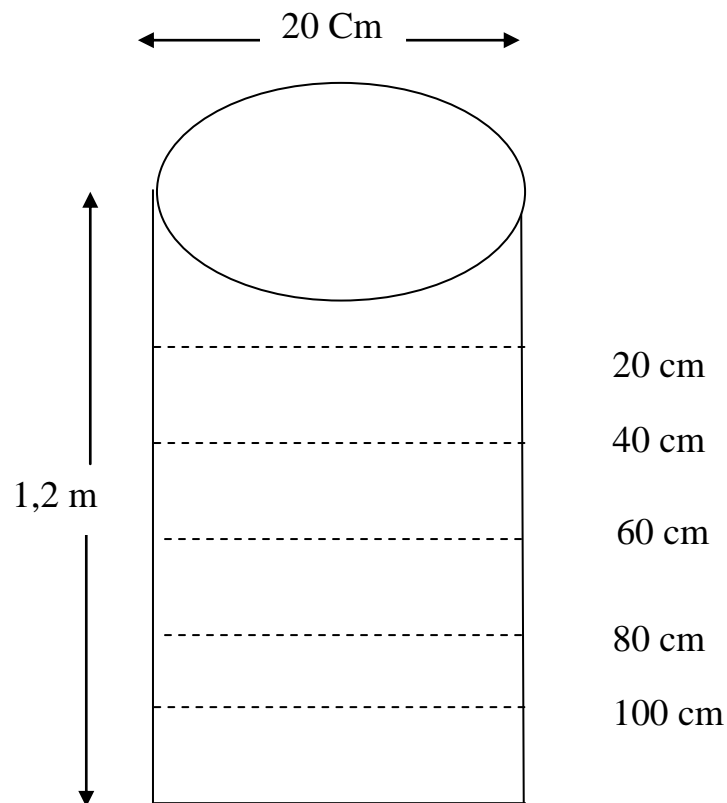


Figure V.1: Représentation de la colonne de décantation

Les résultats obtenus à différentes périodes sont regroupés dans les tableaux suivants.

V.1.1-L'analyse de l'eau avant et après décantation :

1-L'analyse de l'eau avant et après décantation à la date du 20-02-06 :

Tableau V.1 : Les résultats de l'analyse de l'eau avant et après décantation.

| Temps (min) | Profondeurs à partir du haut (cm) | MES mg/l | R (%) | Turbidité NTU | RS mg/l | RC mg/l | PAF mg/l |
|-------------|-----------------------------------|----------|-------|---------------|---------|---------|----------|
| 0 | | 10262,5 | / | 10000,8 | 10924 | 7176 | 3748 |
| 10 | I | 4662,5 | 54,56 | 3675 | 7132 | 4956 | 2176 |
| | II | 7587,5 | 26,06 | 5760 | 8056 | 6808 | 2228 |
| | III | 8337,5 | 18,75 | 6615 | 9036 | 5892 | 2164 |
| | IV | 9750 | 04,99 | 6990 | 10776 | 8240 | 2536 |
| | V | 10025 | 02,36 | 7650 | 10920 | 8616 | 2304 |
| 20 | I | 2287,5 | 77,71 | 1620 | 6060 | 4024 | 2036 |
| | II | 4100 | 60,04 | 2955 | 6240 | 4415 | 1824 |
| | III | 4562,5 | 55,54 | 6000 | 6852 | 4664 | 2188 |
| | IV | 6612,5 | 35,56 | 6025 | 9428 | 7636 | 1792 |
| | V | 7212,5 | 29,71 | 5925 | 10992 | 8540 | 2452 |
| 30 | I | 1875 | 81,72 | 1440 | 5164 | 3604 | 1560 |
| | II | 2575 | 74,90 | 1935 | 4720 | 3716 | 1004 |
| | III | 2625 | 74,42 | 1995 | 5044 | 3164 | 1880 |
| | IV | 2650 | 74,17 | 1980 | 5076 | 3084 | 1992 |
| | V | 2800 | 72,71 | 2100 | 5152 | 3840 | 1312 |
| 60 | I | 1475 | 85,62 | 1288,5 | 4244 | 4243,99 | 1104 |
| | II | 1537,5 | 85,01 | 1305 | 4092 | 3480 | 612 |
| | III | 1600 | 84,40 | 1350 | 4008 | 4007,99 | 1092 |
| | IV | 1925 | 81,24 | 1578,5 | 4112 | 3192 | 920 |
| | V | 2500 | 75,63 | 2253 | 4132 | 4131,90 | 1232 |
| 90 | I | 1075 | 89,52 | 907,5 | 3720 | 3204 | 516 |
| | II | 1125 | 98,03 | 925 | 3796 | 2256 | 1540 |
| | III | 1150 | 88,79 | 942 | 3744 | 2652 | 1092 |
| | IV | 1225 | 88,06 | 1060,5 | 3752 | 2544 | 1208 |
| | V | 1375 | 86,77 | 1105,5 | 3800 | 2932 | 868 |

| | | | | | | | |
|-----|-----|-------|-------|-------|------|--------|------|
| 120 | I | 750 | 92,69 | 645 | 3340 | 3339,9 | 314 |
| | II | 755 | 92,44 | 669 | 3624 | 2164 | 1460 |
| | III | 800 | 92,20 | 670,5 | 3448 | 1972 | 1476 |
| | IV | 850 | 91,71 | 750 | 3512 | 1768 | 1744 |
| | V | 887,5 | 91,35 | 765 | 3544 | 1884 | 1660 |

2-L'analyse de l'eau avant et après décantation à la date du 20-03-06 :

Tableau V.2 : Les résultats de l'analyse de l'eau avant et après décantation.

| Temps (min) | Profondeurs à partir du haut (cm) | MES mg/l | R (%) | Turbidité NTU | RS mg/l | RC mg/l | PAF mg/l |
|-------------|-----------------------------------|----------|-------|---------------|---------|---------|----------|
| 0 | | 10800 | | 10620 | 12010 | 10480 | 1530 |
| 10 | I | 9725 | 09,95 | 8700 | 10770 | 8370 | 2400 |
| | II | 9800 | 09,25 | 9030 | 10990 | 8960 | 2030 |
| | III | 10200 | 05,55 | 9420 | 11250 | 9259 | 1991 |
| | IV | 10250 | 05,09 | 9600 | 11400 | 9370 | 2030 |
| | V | 10325 | 04,39 | 9750 | 11450 | 8740 | 2090 |
| 20 | I | 9175 | 15,04 | 6420 | 9540 | 7580 | 1960 |
| | II | 9350 | 13,42 | 6180 | 9980 | 7650 | 2330 |
| | III | 9475 | 12,26 | 6510 | 10090 | 7670 | 2420 |
| | IV | 9800 | 09,25 | 6630 | 10110 | 7980 | 2130 |
| | V | 10050 | 06,94 | 6990 | 10500 | 8430 | 2070 |
| 30 | I | 8075 | 25,23 | 5340 | 8310 | 6420 | 2420 |
| | II | 8175 | 24,30 | 6120 | 8440 | 6580 | 2460 |
| | III | 8725 | 19,21 | 6270 | 8810 | 6640 | 2170 |
| | IV | 8900 | 17,59 | 6360 | 8940 | 6850 | 1890 |
| | V | 9250 | 14,35 | 6560 | 9310 | 6960 | 1350 |
| 60 | I | 6875 | 36,34 | 6090 | 6740 | 4130 | 1610 |
| | II | 7175 | 33,56 | 6030 | 7480 | 5600 | 1880 |
| | III | 7625 | 29,39 | 6120 | 7780 | 4560 | 2220 |
| | IV | 8250 | 23,61 | 6310 | 8340 | 5640 | 1800 |
| | V | 8325 | 22,91 | 6420 | 8440 | 5180 | 2060 |

| | | | | | | | |
|-----|-----|------|-------|------|------|------|------|
| 90 | I | 5850 | 45,83 | 5400 | 6960 | 3800 | 3160 |
| | II | 6400 | 40,74 | 5640 | 6980 | 4950 | 2030 |
| | III | 6550 | 39,35 | 6030 | 6940 | 5280 | 1660 |
| | IV | 6650 | 38,42 | 5940 | 7290 | 5420 | 1870 |
| | V | 6875 | 36,34 | 6030 | 7380 | 5460 | 1920 |
| 120 | I | 5750 | 46,75 | 5280 | 6400 | 4990 | 1410 |
| | II | 6150 | 43,05 | 5520 | 6480 | 5000 | 1480 |
| | III | 6450 | 40,27 | 5790 | 6820 | 5400 | 1420 |
| | IV | 6650 | 38,42 | 5820 | 6920 | 5320 | 1600 |
| | V | 6775 | 37,26 | 5940 | 7040 | 5420 | 1620 |

3-L'analyse de l'eau avant et après décantation à la date du 17-04-06 :

Tableau V.3 : Les résultats de l'analyse de l'eau avant et après décantation.

| Temps (min) | Profondeurs à partir du haut (cm) | MES (mg/l) | R (%) | Turbidité (NTU) | RS (mg/l) | RC (mg/l) | PAF (mg/l) |
|-------------|-----------------------------------|------------|-------|-----------------|-----------|-----------|------------|
| 0 | | 3612,5 | | 3120 | 5452 | 5092 | 360 |
| 10 | I | 2826 | 21,77 | 2190 | 4860 | 4344 | 516 |
| | II | 3025 | 16,26 | 2250 | 4884 | 4544 | 340 |
| | III | 3050 | 15,57 | 2460 | 5356 | 5028 | 328 |
| | IV | 3262,5 | 9,68 | 2625 | 5568 | 5056 | 512 |
| | V | 3525 | 2,42 | 2700 | 6208 | 5332 | 876 |
| 20 | I | 2075 | 42,56 | 1620 | 3776 | 3520 | 256 |
| | II | 2350 | 34,94 | 1665 | 4048 | 3692 | 356 |
| | III | 2362,5 | 34,66 | 1875 | 4240 | 3856 | 384 |
| | IV | 2375 | 34,25 | 1890 | 4356 | 3964 | 392 |
| | V | 2387,5 | 33,91 | 1915 | 4544 | 4140 | 404 |
| 30 | I | 1950 | 46,62 | 1530 | 3516 | 3268 | 248 |
| | II | 2025 | 43,94 | 1605 | 3612 | 3272 | 340 |
| | III | 2075 | 42,56 | 1680 | 3616 | 3416 | 200 |
| | IV | 2100 | 41,86 | 1720 | 3712 | 3504 | 208 |
| | V | 2180 | 39,65 | 1890 | 3796 | 3608 | 188 |

| | | | | | | | |
|-----|-----|--------|-------|--------|------|------|-----|
| 60 | I | 1575 | 56,40 | 1200 | 3372 | 3104 | 268 |
| | II | 1587,5 | 56,05 | 1270,5 | 3392 | 3112 | 280 |
| | III | 1612,5 | 55,36 | 1281,5 | 3416 | 3120 | 296 |
| | IV | 1887,5 | 47,75 | 1394,5 | 3680 | 3380 | 300 |
| | V | 2000 | 44,63 | 1429 | 3750 | 3400 | 350 |
| 90 | I | 1337,5 | 62,97 | 1210,5 | 2996 | 2848 | 148 |
| | II | 1350 | 62,62 | 1289 | 3044 | 2876 | 168 |
| | III | 1362,5 | 62,28 | 1325 | 3102 | 3002 | 100 |
| | IV | 1375 | 61,93 | 1360 | 3196 | 3068 | 128 |
| | V | 1412,5 | 60,89 | 1403 | 3248 | 3092 | 156 |
| 120 | I | 1050 | 70,93 | 945 | 2904 | 2766 | 138 |
| | II | 1187,5 | 67,12 | 984 | 2952 | 2824 | 128 |
| | III | 1250 | 65,39 | 1068 | 2976 | 2887 | 89 |
| | IV | 1337,5 | 62,97 | 1105 | 3001 | 2901 | 100 |
| | V | 1387,5 | 61,59 | 1159,5 | 3120 | 3008 | 112 |

4-L'analyse de l'eau avant et après décantation à la date du 15-05-06 :

Tableau V.4 : Les résultats de l'analyse de l'eau avant et après décantation.

| Temps (min) | Profondeurs à partir du haut (cm) | MES (mg/l) | R (%) | Turbidité (NTU) | RS (mg/l) | RC (mg/l) | PAF (mg/l) |
|-------------|-----------------------------------|------------|-------|-----------------|-----------|-----------|------------|
| 0 | | 9175 | | 9090 | 11036 | 10604 | 432 |
| 10 | I | 2775 | 69,75 | 3490 | 4440 | 3720 | 720 |
| | II | 2800 | 69,48 | 3604 | 4668 | 3852 | 816 |
| | III | 3450 | 62,40 | 4268 | 5196 | 4216 | 980 |
| | IV | 4450 | 51,50 | 5050 | 5956 | 4892 | 1064 |
| | V | 5825 | 36,51 | 5160 | 7220 | 6428 | 792 |
| 20 | I | 2150 | 76,56 | 2778 | 4176 | 3688 | 488 |
| | II | 2300 | 74,93 | 3239 | 4212 | 3744 | 468 |
| | III | 2350 | 74,38 | 3008 | 4216 | 3776 | 440 |
| | IV | 2825 | 69,21 | 3187 | 4368 | 3896 | 472 |
| | V | 2950 | 67,85 | 3977 | 4648 | 4128 | 520 |

| | | | | | | | |
|-----|-----|------|-------|------|------|---------|-----|
| 30 | I | 1800 | 80,38 | 2367 | 3868 | 3484 | 384 |
| | II | 2000 | 78,20 | 2464 | 3968 | 3516 | 452 |
| | III | 2075 | 77,38 | 2519 | 3988 | 3628 | 360 |
| | IV | 2125 | 76,83 | 2616 | 3960 | 3552 | 408 |
| | V | 2200 | 76,02 | 2678 | 3980 | 3979,99 | 388 |
| 60 | I | 1700 | 81,47 | 1966 | 3616 | 3124 | 492 |
| | II | 1725 | 81,20 | 2063 | 3732 | 3204 | 528 |
| | III | 1775 | 80,65 | 2229 | 3796 | 3240 | 596 |
| | IV | 2000 | 78,20 | 2464 | 3836 | 3064 | 732 |
| | V | 2050 | 77,65 | 2496 | 3988 | 3192 | 796 |
| 90 | I | 1625 | 82,28 | 1651 | 3568 | 3172 | 396 |
| | II | 1675 | 81,74 | 1754 | 3644 | 3400 | 244 |
| | III | 1600 | 82,56 | 1815 | 3680 | 3416 | 264 |
| | IV | 1475 | 83,92 | 1870 | 3692 | 3264 | 428 |
| | V | 1625 | 82,28 | 2015 | 3760 | 3294 | 496 |
| 120 | I | 1200 | 86,92 | 1312 | 3428 | 3104 | 324 |
| | II | 1250 | 86,37 | 1386 | 3556 | 3236 | 320 |
| | III | 1325 | 85,55 | 1340 | 3516 | 3120 | 396 |
| | IV | 1400 | 84,74 | 1490 | 3560 | 3092 | 468 |
| | V | 1525 | 83,37 | 1728 | 3592 | 3228 | 264 |

Les résultats de différents paramètres d'analyse sont représentés par les figures suivantes :

Les MES :

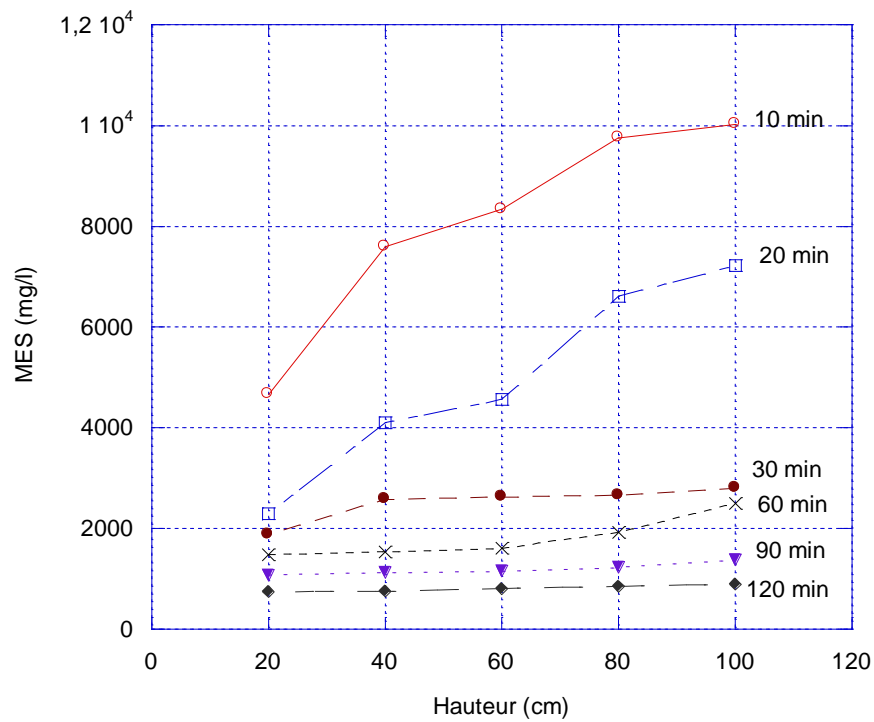


Figure V.2 : Variation des MES en fonction de la hauteur de décantation à différents temps à la date 20-02-2006.

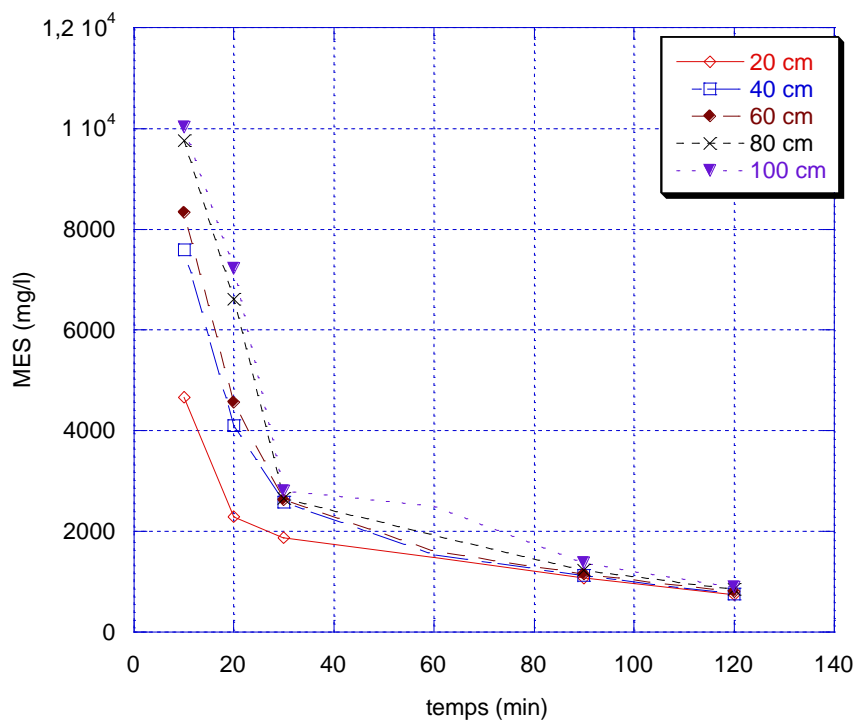


Figure V.3 : Variation des MES en fonction du temps de décantation à différentes hauteurs à la date 20-02-2006.

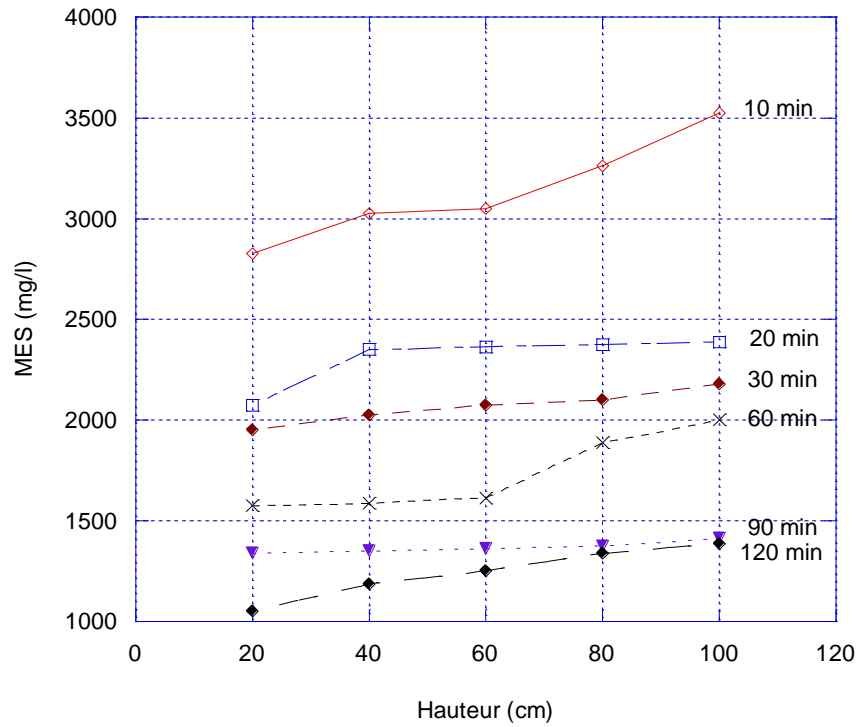


Figure V.4: Variation des MES en fonction de la hauteur de décantation à différents temps à la date 20-03-2006.

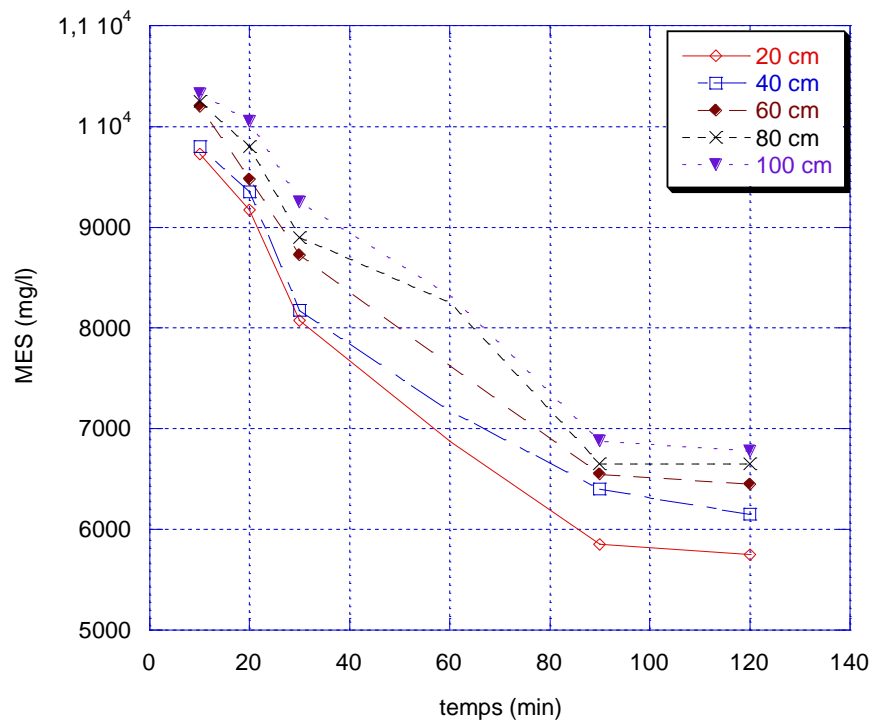


Figure V.5 : Variation des MES en fonction du temps de décantation à différentes hauteurs à la date 20-03-2006.

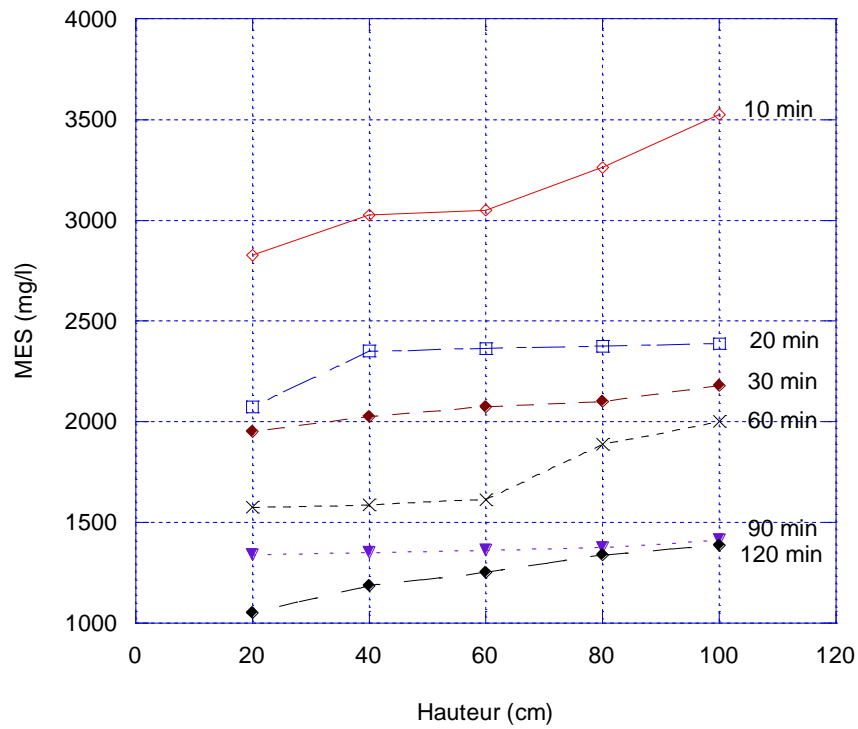


Figure V.6 : Variation des MES en fonction de la hauteur de décantation à différents temps à la date 17-04-2006.

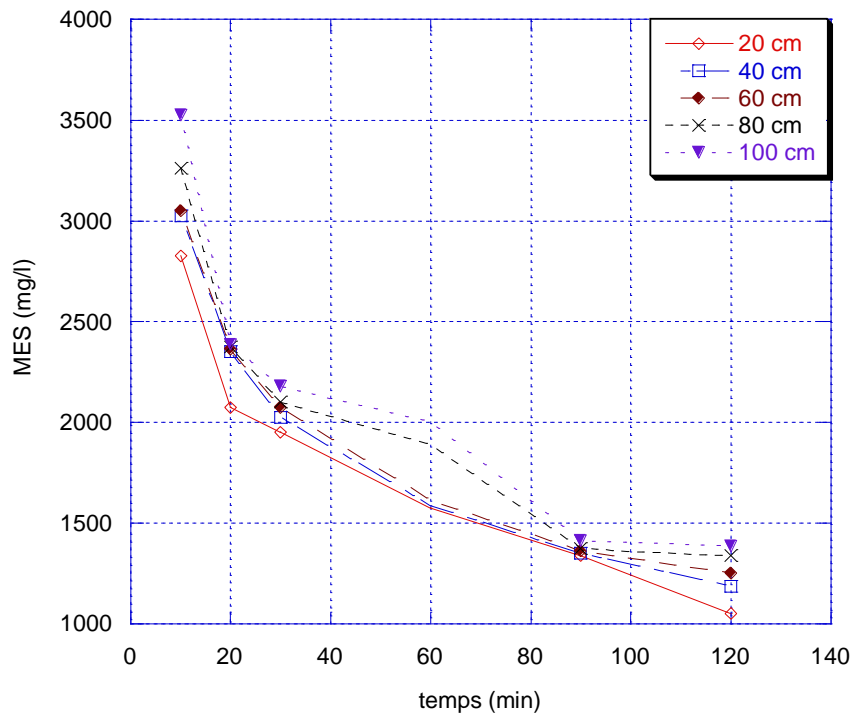


Figure V.7 : Variation des MES en fonction du temps de décantation à différentes hauteurs à la date 17-04-2006.

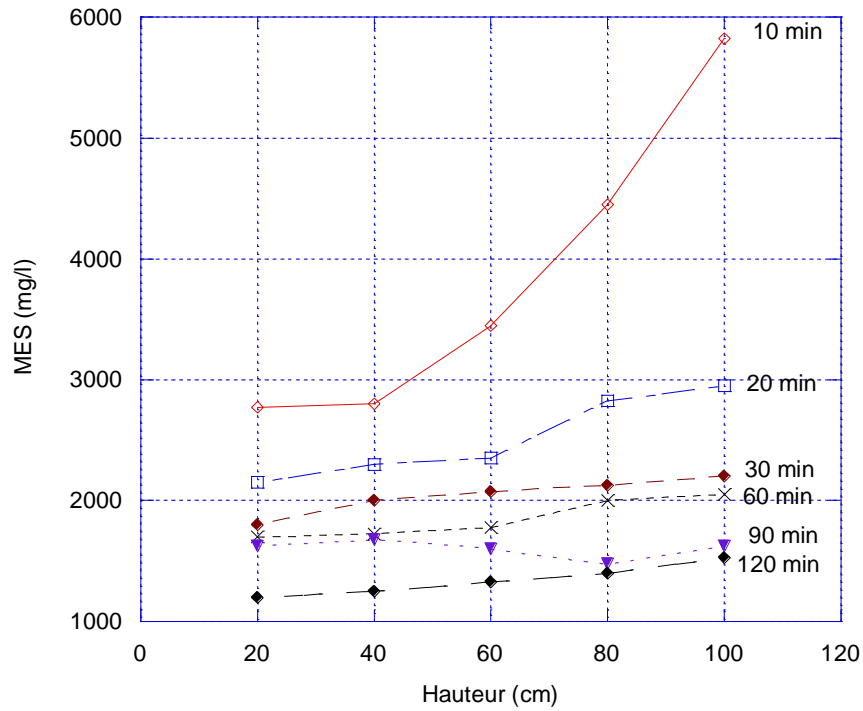


Figure V.8 : Variation des MES en fonction de la hauteur de décantation à différents temps à la date 15-05-2006.

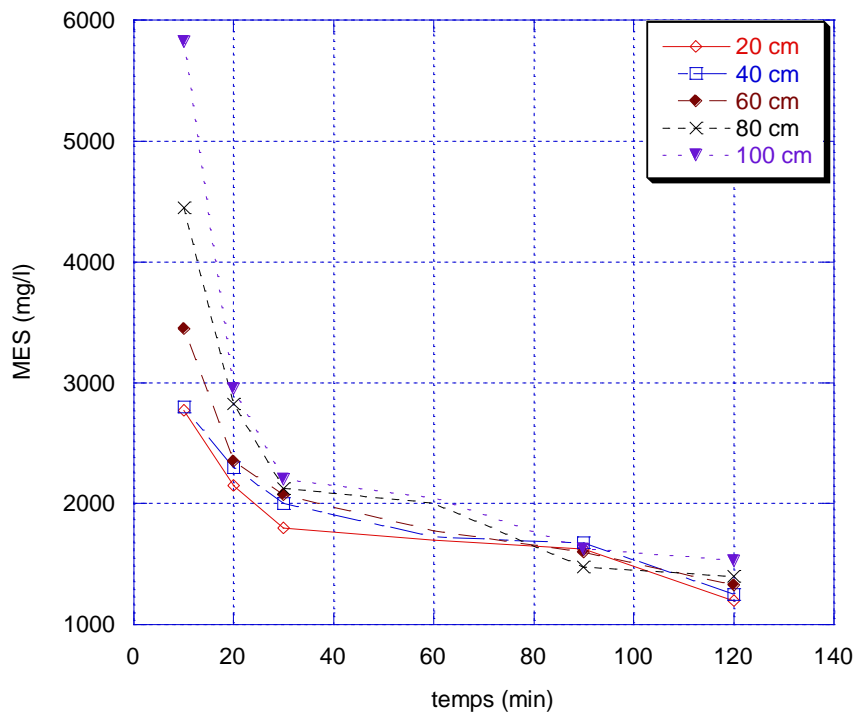


Figure V.9 : Variation des MES en fonction du temps de décantation à différentes hauteurs à la date 15-05-2006.

D'après les figures V.2 à V.9, on remarque que les MES diminuent en fonction du temps de décantation et augmentent avec la hauteur.

Selon les résultats obtenus, on constate que la concentration en MES varie légèrement de la hauteur 20 cm à 60 cm, une zone d'eau clarifiée est de 60 cm.

Après un temps de séjour de 60 minutes, la majorité des matières en suspension ont décantées.

La turbidité :

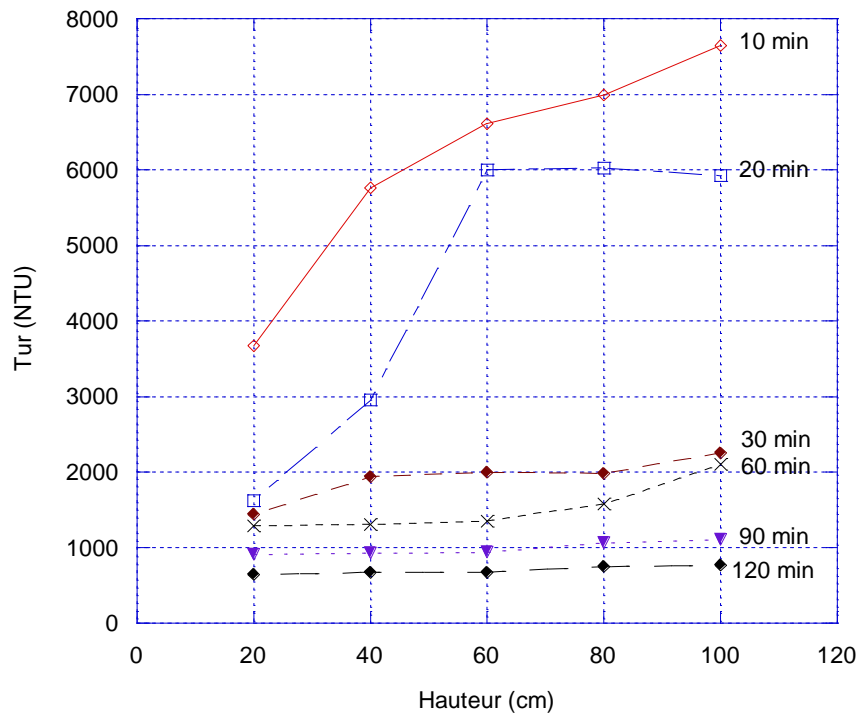


Figure V.10: Variation de la turbidité en fonction de la hauteur de décantation à différents temps à la date 20-02-2006.

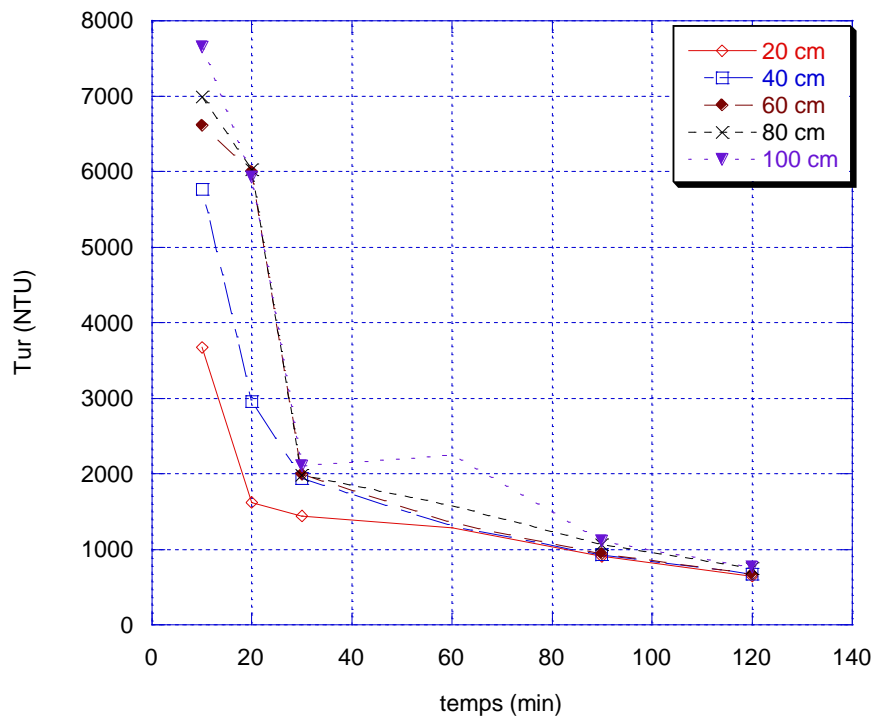


Figure V.11 : Variation de la turbidité en fonction du temps de décantation à différentes hauteurs à la date 20-02-2006.

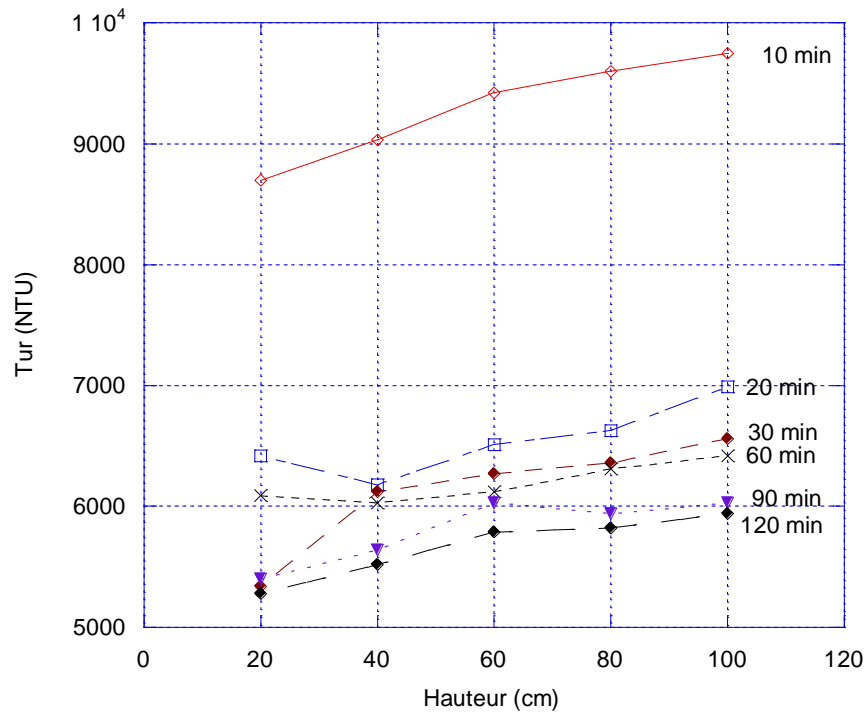


Figure V.12: Variation de la turbidité en fonction de la hauteur de décantation à différents temps à la date 20-03-2006.

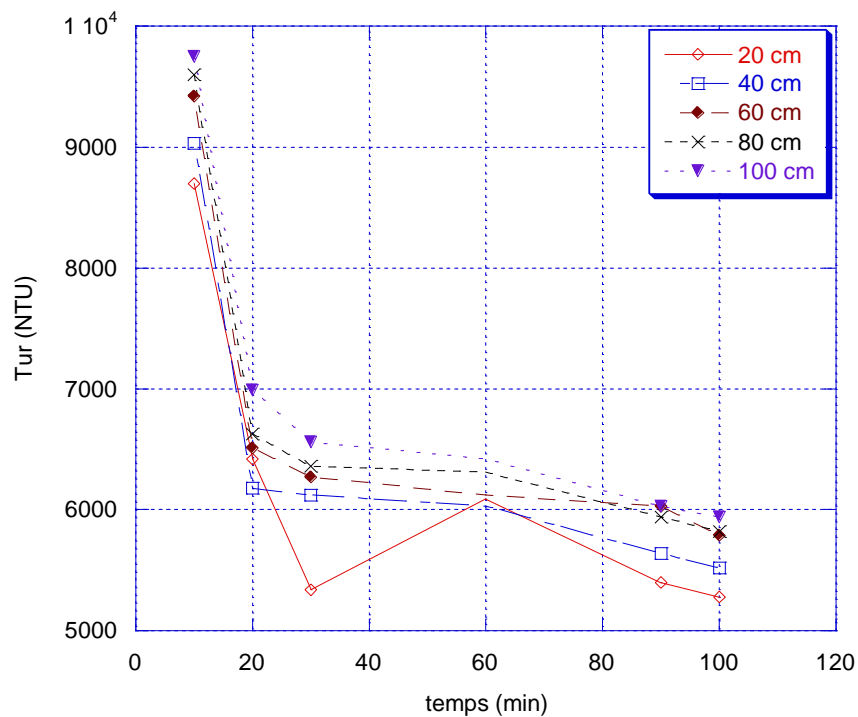


Figure V.13 : Variation de la turbidité en fonction du temps de décantation à différentes hauteurs à la date 20-03-2006.

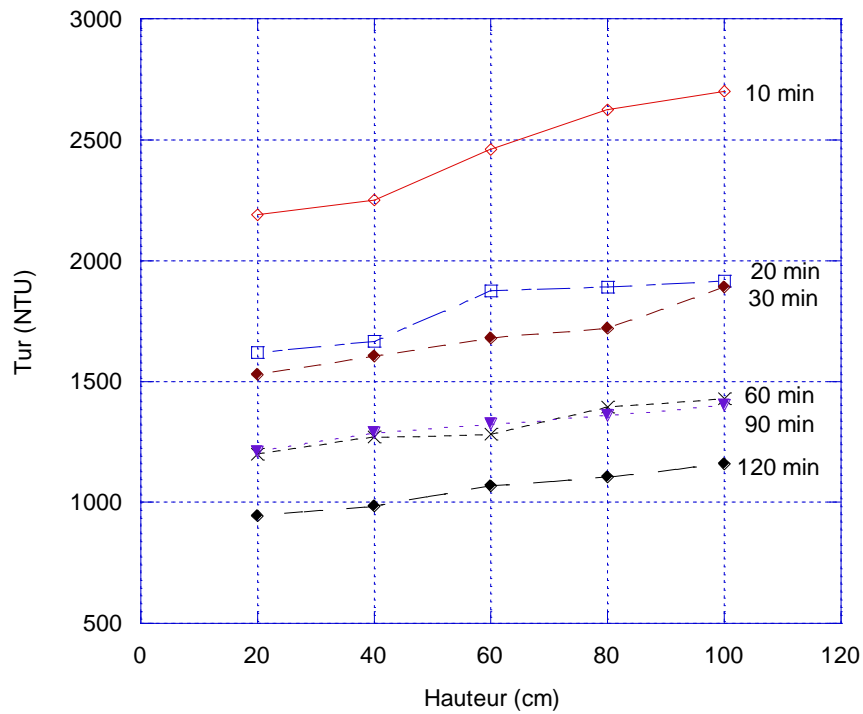


Figure V.14 : Variation de la turbidité en fonction de la hauteur de décantation à différents temps à la date 17-04-2006.

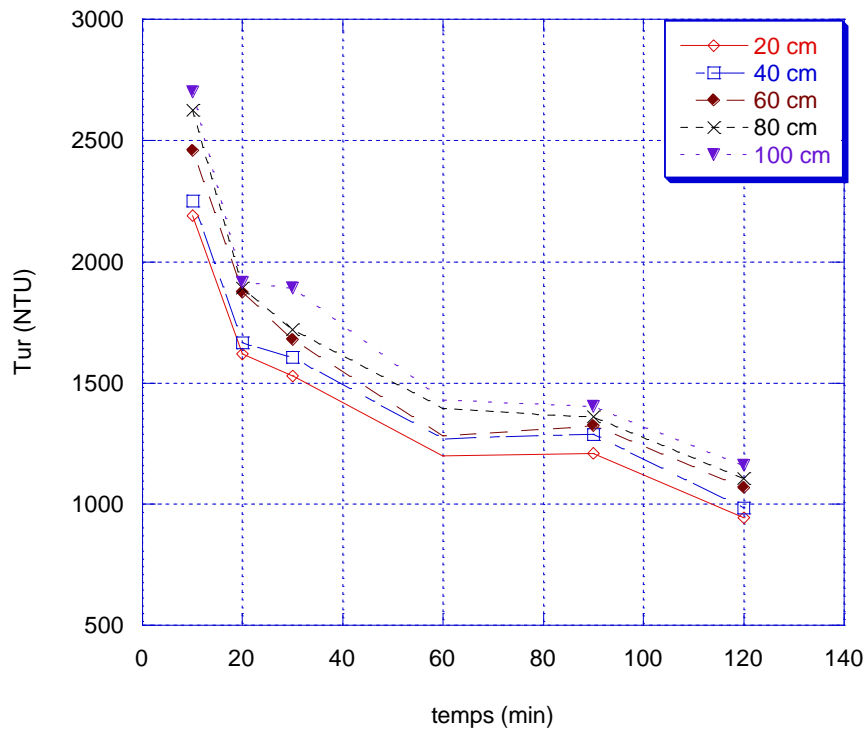


Figure V.15 : Variation de la turbidité en fonction du temps de décantation à différentes hauteurs à la date 17-04-2006.

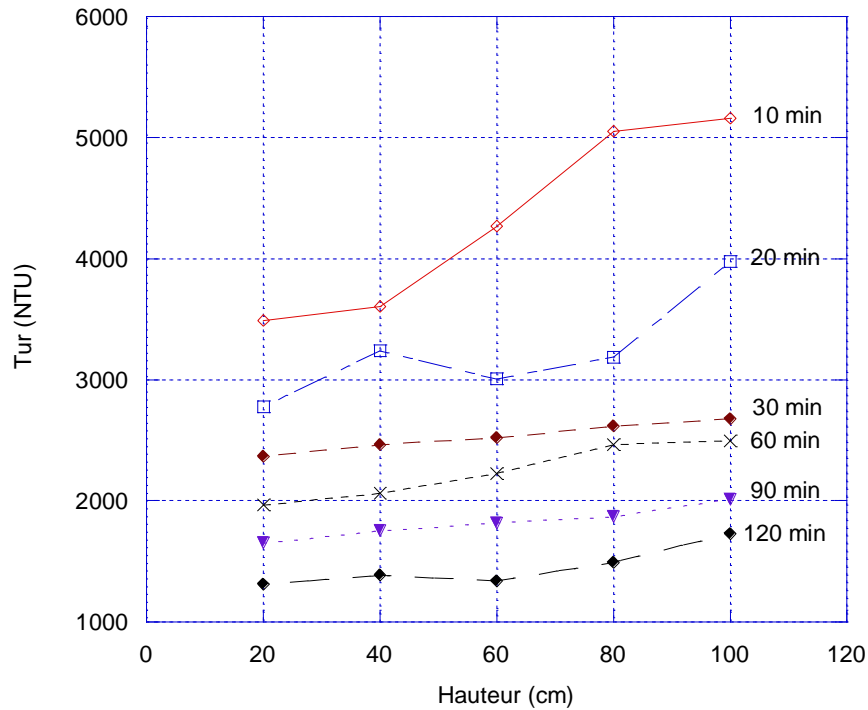


Figure V.16 : Variation de la turbidité en fonction de la hauteur de décantation à différents temps à la date 15-05-2006.

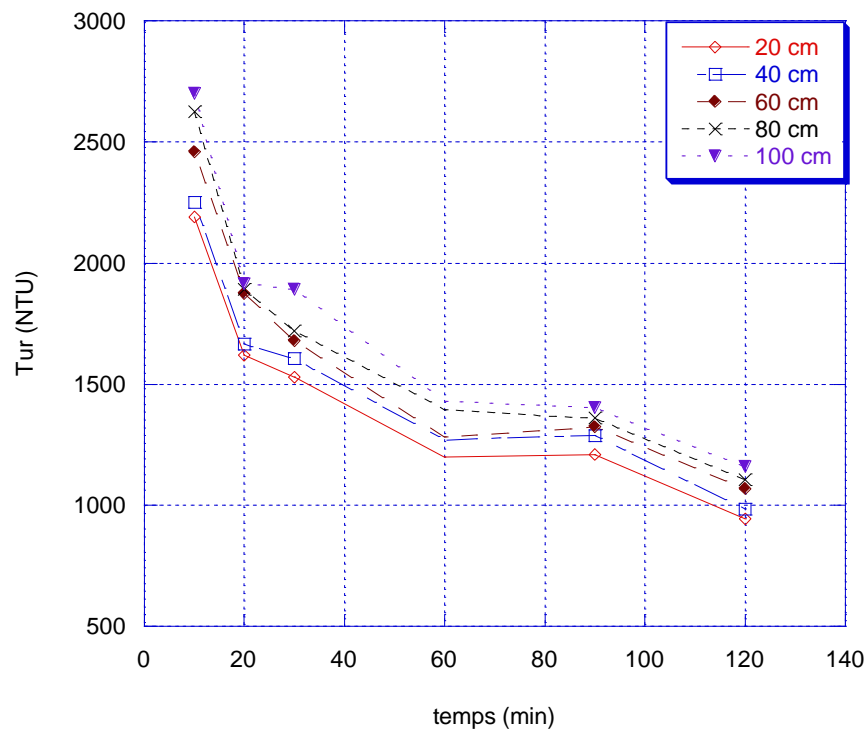


Figure V.17 : Variation de la turbidité en fonction du temps de décantation à différentes hauteurs à la date 15-05-2006.

D'après les figures V.10 jusqu'à V.17 on remarque que la turbidité diminue avec le temps de décantation et augmente avec la hauteur.

Résidus secs :

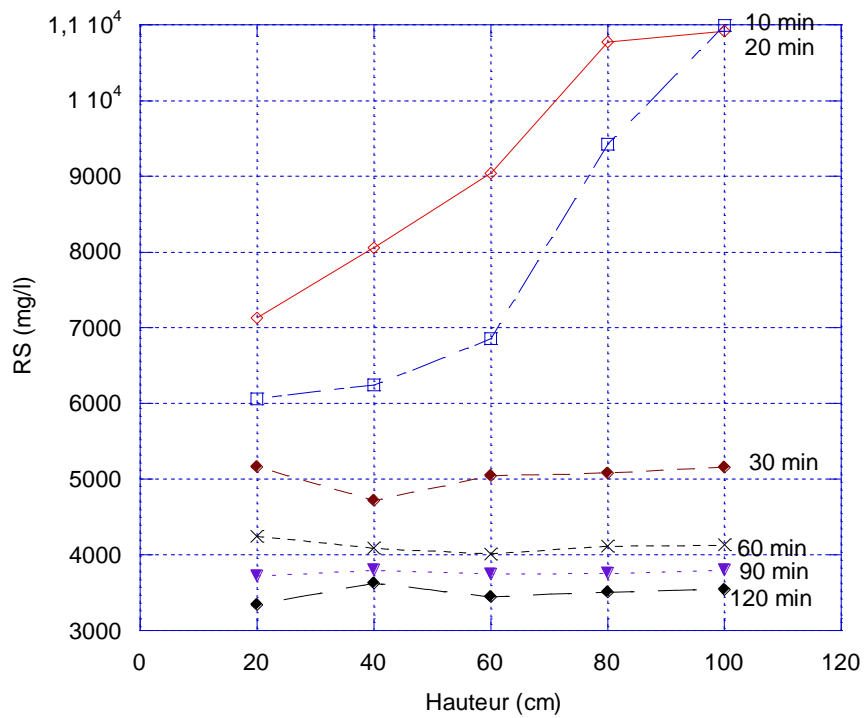


Figure V.18 : Variation des RS en fonction de la hauteur de décantation à différents temps à la date 20-02-2006.

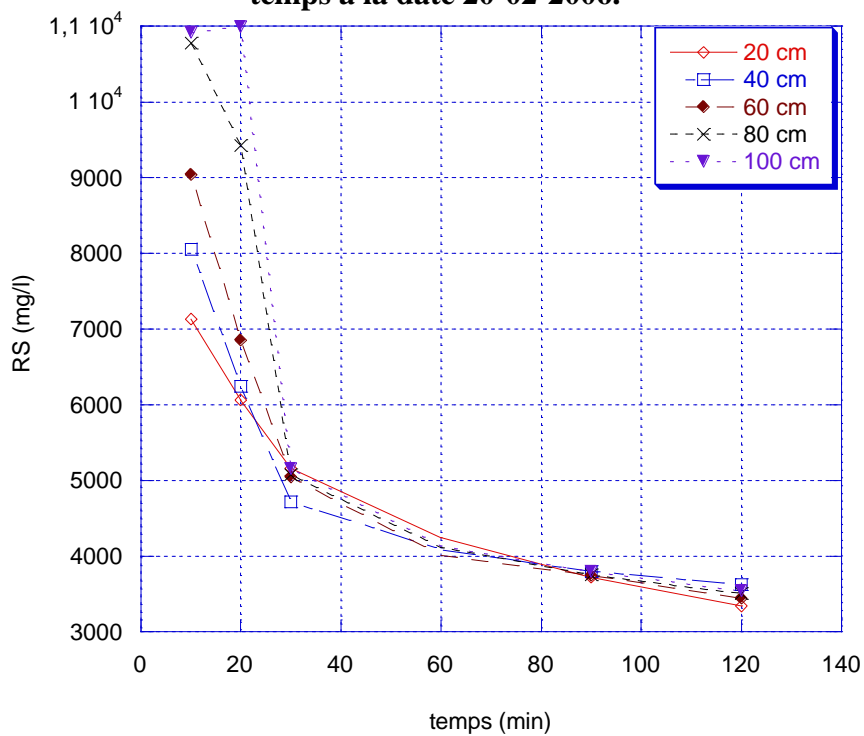


Figure V.19 : Variation des RS en fonction du temps de décantation à différentes hauteurs à la date 20-02-2006.

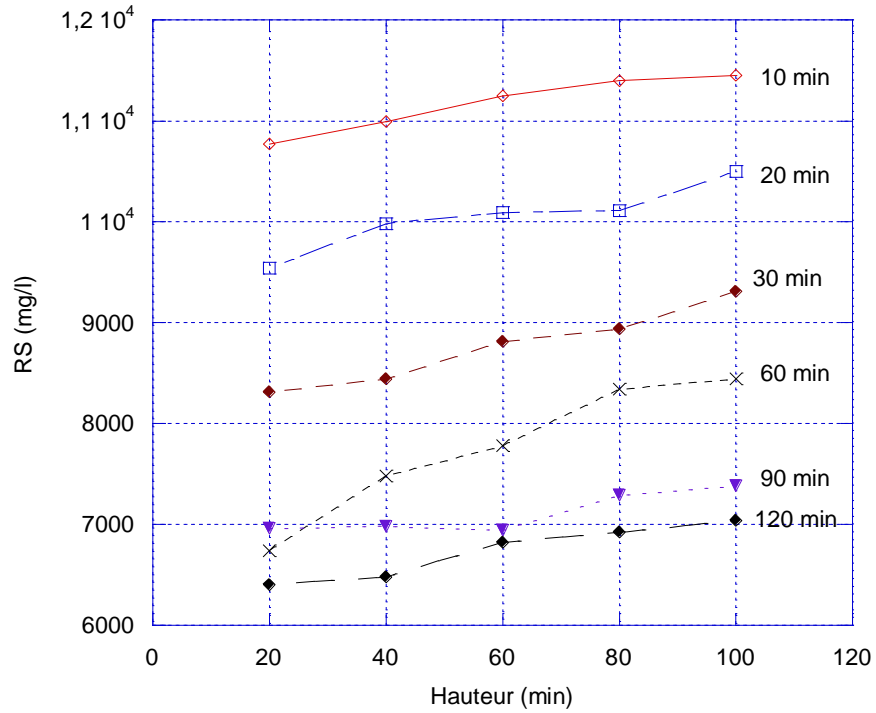


Figure V.20 : Variation de RS en fonction de la hauteur de décantation à différents temps à la date 20-03-2006.

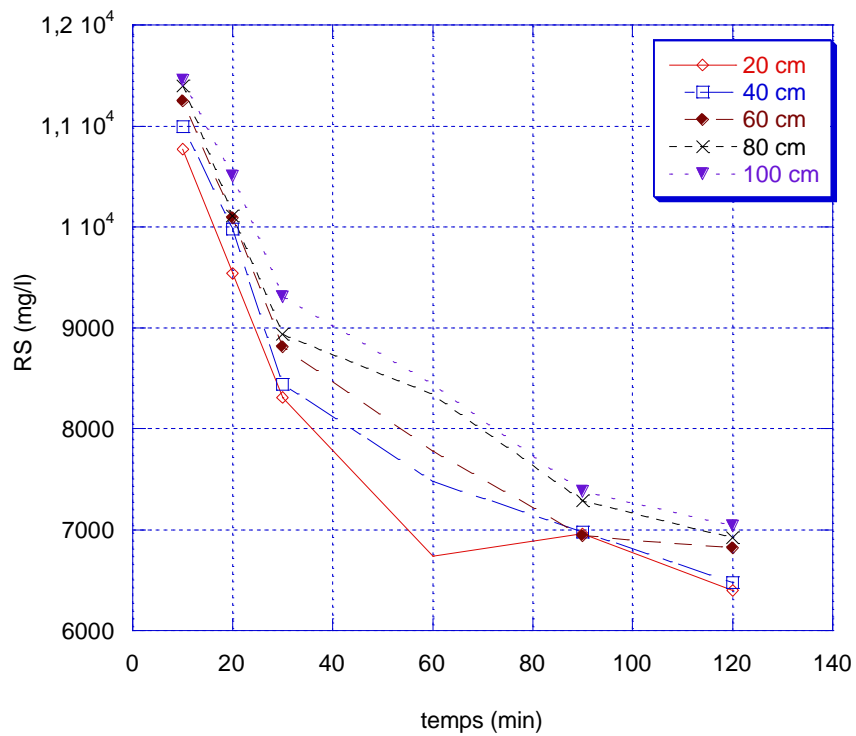


Figure V.21 : Variation des RS en fonction du temps de décantation à différentes hauteurs à la date 20-03-2006.

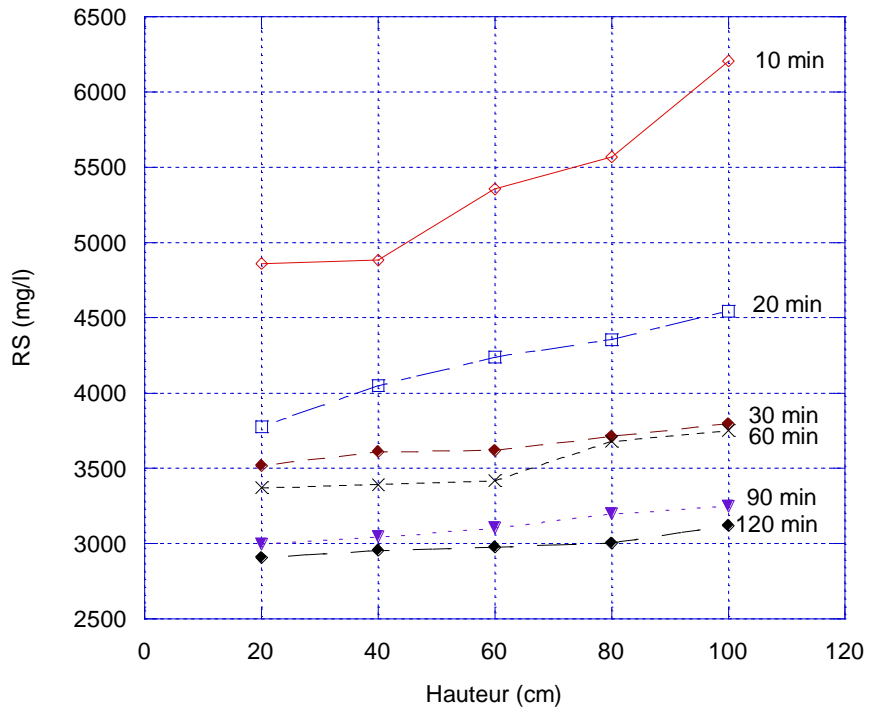


Figure V.22 : Variation de RS en fonction de la hauteur de décantation à différents temps à la date 17-04-2006.

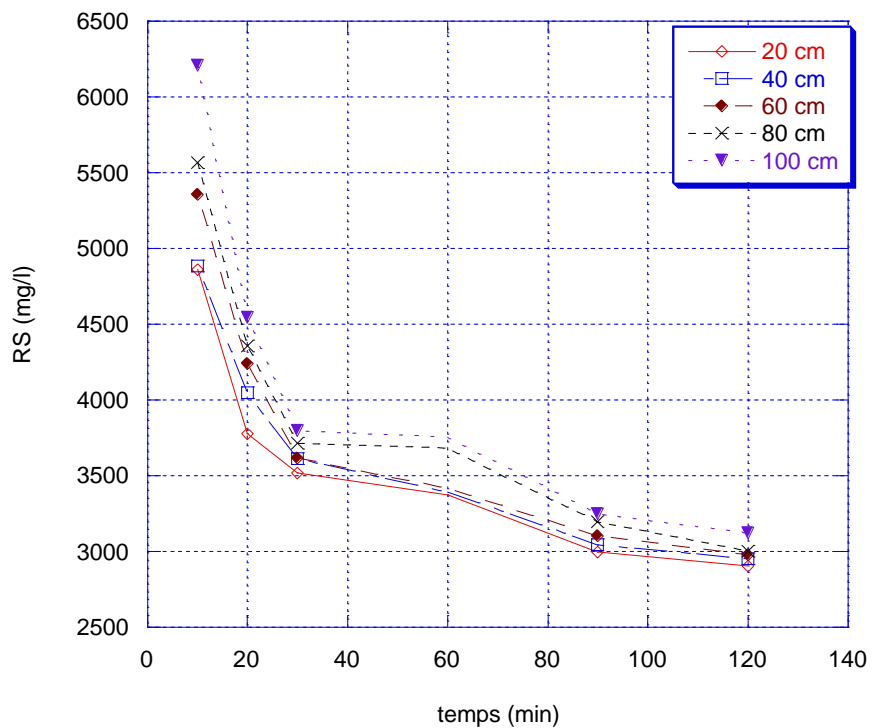


Figure V.23 : Variation de RS en fonction du temps de décantation à différentes hauteurs à la date 17-04-2006.

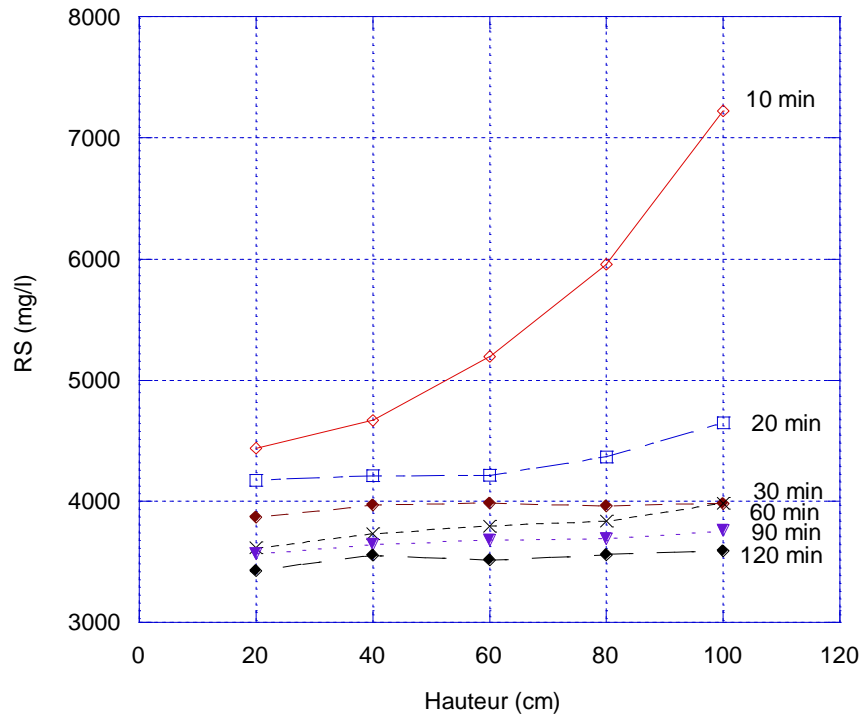


Figure V.24 : Variation de RS en fonction de la hauteur de décantation à différents temps à la date 15-05-2006.

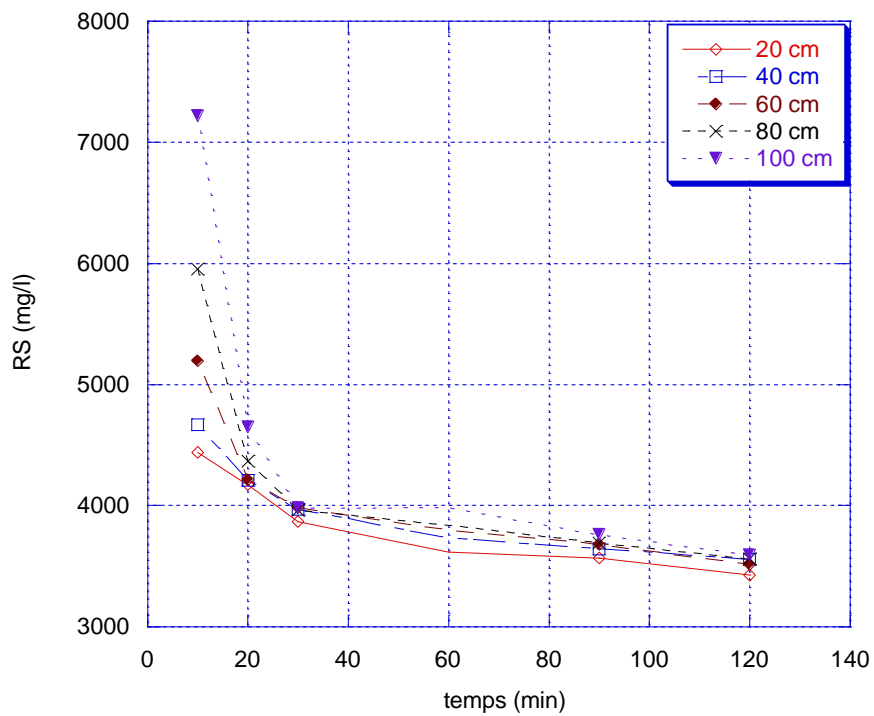


Figure V.25 : Variation des RS en fonction du temps de décantation à différentes hauteurs à la date 15-05-2006.

Pour les résidus secs, on voit clairement dans les figures ci-dessus qu'ils sont en augmentation avec la hauteur de décantation et une diminution avec le temps

V.1.2-Ouvrage de sédimentation :

La sédimentation se produit dans n'importe quel bassin. Les bassins réservoirs à travers lesquels l'eau s'écoule très lentement sont particulièrement efficaces, dans les stations traitement d'eau, les bassins de sédimentation conçus spécialement pour assurer la sédimentation sont très largement utilisés. La conception la plus commune est celle dans laquelle l'eau s'écoule horizontalement à travers le bassin, ce dernier est en général de forme rectangulaire à flux horizontal et il est à la fois simple à construire et facile à exploiter.

1-Dimensionnement du bassin de sédimentation :

Pour dimensionner un bassin de sédimentation, il faut déterminer au début la valeur de la vitesse de sédimentation d'une particule solide (v), qui dépend du sens de circulation de l'eau (horizontal, vertical), de la viscosité du milieu (μ), du temps de rétention (t), de la masse spécifique des particules (ρ) et de leur diamètre.

1.1-Calcul de la profondeur :

Une particule isolée tombant dans un fluide atteint une vitesse v , si c'est une sphère, et dans un régime laminaire ($10^{-4} < Re < 1$) on obtient l'expression de la vitesse:

$$v = \frac{gd^2(\rho_s - \rho_l)}{18\mu} \dots\dots\dots (V.1)$$

Avec : d : Diamètre ($2r$) de la particule (m).

μ : Viscosité dynamique de l'eau (pas.s)

ρ_s : Poids spécifique de la particule (Kg/m^3).

L'équation (V.1) ne nous permet pas de déterminer la valeur de v , au moins dans cette étape, puisque la valeur de (d) est inconnue. D'autre part, et selon HAZEN, dans un tel bassin idéal et pour être éliminer, la particule doit avoir parcouru la hauteur h dans un temps de séjour (t_s). Sa vitesse doit être donc :

$$v = \frac{h}{t_s} \dots\dots\dots (V.2)$$

t_s est compris entre 30 minutes et 2 heures pour un bassin de sédimentation [75].

Selon *Kalbskopf* la profondeur d'un bassin de sédimentation est comprise entre 2 et 4 m [76], celle-ci est divisé en trois zone ; soit :

✚ Une zone d'eau clarifiée $> 0,5$ m, on prend 0,6 m.

✚ Une zone de séparation de 0,8 à 1,0 m, prenant 1 m.

✚ Une profondeur de stockage pouvant parfois dépasser 1,0 m prenant 1,4 m. [77]

La hauteur totale du bassin sera ainsi :

$$h = 0,6 + 1 + 1,4 = 3 \text{ m}$$

D'après les essais que nous avons faits sur la colonne de décantation, on a choisie un temps de séjour $t_s = 60 \text{ min}$, la vitesse v aura pour valeur :

$$v = \frac{h}{t_s} = \frac{3}{1} = 3 \text{ m/h} = 8,33 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$$

1.2-Détermination du diamètre de la particule :

La valeur du diamètre des particules éliminées dans le bassin est donnée par la loi de Stockes

$$v = \frac{gd^2(\rho_s - \rho_l)}{18\mu} \Rightarrow d^2 = \frac{18\mu v}{g(\rho_s - \rho_l)} \dots\dots\dots (V.3)$$

Avec $\rho_s = 2,36 \text{ g/cm}^3$

$\mu = 1,17 \cdot 10^{-3} \text{ pa.s}$

On aura par suite :

$$d = \sqrt{\frac{18 \cdot 1,17 \cdot 10^{-3} \cdot 8,33 \cdot 10^{-4}}{9,81(2360 - 1000)}} = 3,62 \cdot 10^{-5} \text{ m} = 0,036 \text{ mm}$$

Tableau V.5 : Taille des particules communes [18]

| Particule | Diamètre, mm |
|----------------|---------------|
| Galet | < 10mm |
| Gravier | 2 à 10 |
| Sable grossier | 0,5 à 2mm |
| Sable moyen | 0,25 à 0,50 |
| Sable fin | 0,10 à 0,25 |
| Sable très fin | 0,05 à 0,10 |
| Vase, limon | 0,005 à 0,05 |
| Bactéries | 0,001 |
| Argiles | 0,001 à 0,005 |

C'est-à-dire que toutes les particules ayant un diamètre supérieur ou égal à ce diamètre 0,036 mm auront sédimentées. Suivant le tableau (V.5), ce diamètre correspond à du vase et limon.

1.3-Calcul de la surface du bassin :

Considérant un bassin de sédimentation dont les dimensions sont $h \times l \times L$ reçoit un débit Q d'eau brute. La surface horizontale du bassin S est :

$$S = \frac{Q \left[\frac{m^3}{h} \right]}{v \left[\frac{m}{h} \right]} \left[m^2 \right] \dots \dots \dots (V.4)$$

Un bassin de sédimentation est divisé en quatre parties ; L'entrée, la sortie, la zone de sédimentation et la zone de dépôt des boues. La vitesse à laquelle se déplace une particule dans la zone de sédimentation au sein du bassin est la somme de deux composantes :

- ❖ Une composante verticale v : vitesse de sédimentation.
- ❖ Une composante horizontale v' : vitesse d'écoulement tel que :

$$v' = \frac{Q}{lh} \dots \dots \dots (V.5)$$

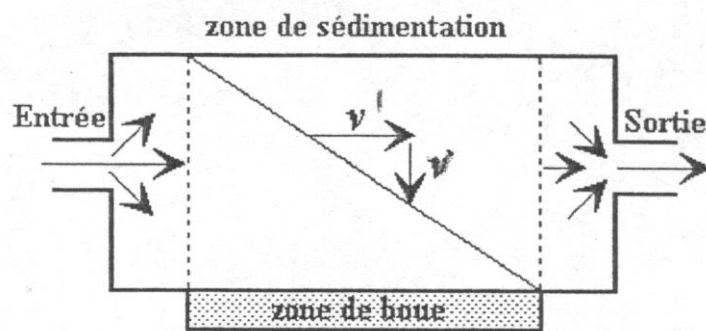


Figure V.26 : trajectoire suivie par les particules dans la zone de sédimentation.

Avec : l : largeur du bassin [m].

h : profondeur du bassin [m].

Pour qu'une particule, située en surface à l'entrée du bassin, puisse atteindre la zone de boue avant que l'eau ne sorte du bassin, il faut :

$$\frac{v'}{v} = \frac{L}{h} = \frac{Q}{l h v} \dots \dots \dots (V.6)$$

On obtient ainsi la surface longitudinale du bassin S :

$$\frac{Q}{v} = \frac{hL}{h} = l.L = S \left[m^2 \right] \dots \dots \dots (V.7)$$

Cette équation fait ressortir que la hauteur du bassin n'a pas d'influence sur la sédimentation. L'efficacité de la sédimentation dépend seulement du rapport entre le débit entrant et la surface de décanteur, $\frac{Q}{S}$ est la charge superficielle de bassin.

Suivant les conditions choisies précédemment :

- $h = 3 \text{ m}$.
- $t_s = 60 \text{ minute (1 heure)}$.
- Débit $Q = 15,8 \text{ l/s} = 56,88 \text{ m}^3/\text{h}$

La surface est calculée d'après l'équation suivante :

$$S = \frac{Q}{v} \dots\dots\dots (\text{V.8})$$

$$S = \frac{56,88}{3} = 18,96 \text{ m}^2 \approx 19 \text{ m}^2$$

1.4-Calcul de la longueur L et de la largeur l:

Le rapport L/l est un compromis, les longs bassins permettent une vitesse de courant moindre donc occasionnent moins de turbulence.

Par approximativement : $3 < \frac{L}{l} < 6$ [12]

On prend $\frac{L}{l} = 5 \Rightarrow L = 5l$

Donc: $S = 5l^2 \Rightarrow l = 1,94 \text{ m} \approx 2 \text{ m}$

$L = 9,7 \text{ m} \approx 10 \text{ m}$

En conclusion, pour un débit de $56,88 \text{ m}^3/\text{h}$, les dimensions du bassin de sédimentation sont :

- Longueur : 10 m
- Largeur : 2m
- Hauteur : 3 m
- Temps de séjours 60 minutes.

2-Vérification hydraulique du fonctionnement du bassin :

La décantation étant un procédé de séparation dont le but est l'élimination du plus grand nombre possible de particules. Pour une particule sphérique isolée de diamètre d et une densité ρ_s , elle peut se décanter, seulement si elle atteint une vitesse limite v . Cette vitesse dépend essentiellement du régime d'écoulement qui doit être largement laminaire ($10^{-4} < R_e < 1$) [12,21].

La vitesse de décantation d'une particule est donnée par la formule de *Stokes* :

$$v = \frac{gd^2(\rho_s - \rho_l)}{18\mu}$$

et le nombre de *Reynolds* correspond au régime d'écoulement qui permettra aux particules de se décanter doit être :

$$10^{-4} < R_e < 1 \dots \dots \dots (V.9)$$

Avec :

$$R_e = \frac{vd}{\gamma} \dots \dots \dots (V.10)$$

Où : R_e : Le nombre de Reynolds (adimensionnel).

v : Vitesse de chute de la particule (m/s).

d : Le diamètre de la particule (m).

γ : La viscosité cinématique de l'eau de rejet ($1,16 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ à 25°C).

Si nous vérifions cette condition pour notre bassin nous aurons :

$$R_e = \frac{8,33 \cdot 10^{-4} \cdot 0,036 \cdot 10^{-3}}{1,16 \cdot 10^{-6}} = 0,025 < 1$$

La condition est donc vérifiée.

Toutefois la stabilité de l'écoulement exige de réduire au maximum les courts circuits hydrauliques, les turbulences locales, ceci correspond à un nombre de *Froude* petit :

$$F_r = \frac{v'}{\sqrt{gR_h}} \dots \dots \dots [51] (V.11)$$

$$R_h = \frac{l \cdot h}{l + 2h} \dots \dots \dots (V.12)$$

$$F_r = \frac{0,00262}{\sqrt{9,81 \cdot 0,72}} = 0,000985$$

$F_r \ll 1$, ce qui assure la propagation stable de toutes ondes qui peuvent être provoquées sur la surface libre de l'eau dans le bassin (par le vent ou par le racleur) et caractérise un écoulement stable. La pratique montre que la condition de *Froude* prime sur celle du *Reynolds* et qu'une stabilité convenable est obtenue pour :

$$v' > 10^{-2} \sqrt{Fr} \quad [51]$$

Soit donc pour notre cas :

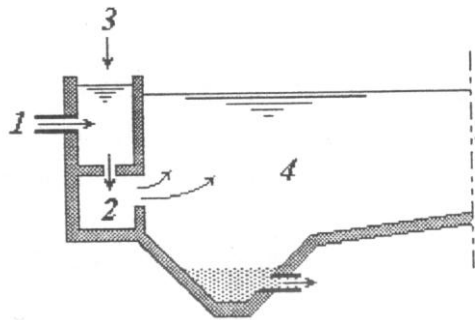
$$0,00262 > 0,000309$$

En conclusion, le dimensionnement de notre bassin de sédimentation répond largement à ces conditions.

3-Dimensionnement des organes du bassin de sédimentation

3.1-Dispositif d'entrée :

Les points sensibles d'un bassin de sédimentation ou un décanteur sont les structures d'entrée et de sortie, qui doivent être conçues de façon à préserver un écoulement aussi laminaire que possible, et une distribution homogène de l'eau sur toute la largeur et toute la profondeur du bassin . Le modèle proposé (figure V.27), est de forme d'une goulotte établie sur toute la largeur du bassin et percée au fond en des petites ouvertures dites *orifice*, à travers lesquels l'eau pénètre dans la zone de sédimentation pour tranquilliser l'eau.



1- Entrée d'eau brute, 2- Orifice, 3-Goulotte, 4- Zone de décantation.

Figure V.27 : Dispositif d'entrée du bassin de sédimentation.

Pour obtenir une distribution uniforme de l'eau, ces orifices doivent être dimensionnées selon les conditions suivantes [78] :

- Espacement entre les ouvertures (*orifice*) < 0,5 m.
- Diamètre d'ouverture de 3 à 5 cm.
- La goulotte doit être largement dimensionnée pour éviter le colmatage des orifices avec une section transversale au moins égale à 2 fois de surface totale des orifices.

Suivant ces conditions ; le nombre des orifices N_0 est calculé comme suit :

$$N_0 = \frac{l}{e} \dots\dots\dots (V.13)$$

Avec : N_0 : Nombre d'orifices.

l : Largeur du bassin.

e : Espacement entre orifices.

Pour notre bassin qui reçoit un débit de $56,88 \text{ m}^3/\text{h}$ avec une largeur de 2 m ; et si on choisit un espacement entre orifice de $0,5 \text{ m}$, le nombre de ces orifices est donné par l'équation (V.13)

$$N_0 = \frac{2}{0,5} = 4 \text{ orifices}$$

Pour le dimensionnement de la goulotte, le diamètre d_0 de chaque orifice est de 5 cm [78]. L'aire d'un orifice est :

$$A_0 = \frac{\pi d_0^2}{4} \dots\dots\dots (\text{V.14})$$

$$\Rightarrow A_0 = 1,96 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

La surface totale des orifices sera donc :

$$A_t = N_0 \cdot A_0 \dots\dots\dots (\text{V.15})$$

$$\Rightarrow A_t = 0,00784 \text{ m}^2$$

Les dimensions de la goulotte peuvent être déterminées selon les dimensions du bassin, et de débit entrant. Pour un dimensionnement ordinaire, on va choisir une surface de la goulotte A_g de 4 fois de la surface totale des orifices et une profondeur de 50 cm [78].

$$A_g = 4 \cdot A_t \Rightarrow A_g = 0,0313 \text{ m}^2$$

Avec :

$$A_g = b_g \cdot h_g$$

Où : b_g : Largeur de la goulotte (m).

h_g : Profondeur de la goulotte (m).

La largeur de la goulotte est donc :

$$b_g = \frac{A_g}{h_g} \Rightarrow b_g = 0,062 \text{ m} = 6,27 \text{ cm}$$

En conclusion les dimensions de la goulotte d'entrée sont :

- Longueur de la goulotte : 2 m
- Largeur de la goulotte : $0,062 \text{ m}$
- Profondeur de la goulotte : $0,50 \text{ m}$
- Diamètre des orifices : $0,05 \text{ m}$

3.2 Dispositif de sortie :

Les bassins de sédimentation, ou même de décantation, sont équipés d'un dispositif de sortie d'eau clarifiée. Ce dispositif comporte divers systèmes de goulotte équipés par des déversoirs, ces déversoirs doivent assurer une évacuation lente des eaux. L'opération

nécessite de prévoir un nombre bien précis de ces déversoirs. Leur nombre est donné par l'équation V.16 :

$$n_d = \frac{Q}{0,5 \cdot h \cdot v l} \quad [78]. \dots\dots\dots (V.16)$$

Avec : n_d : Nombre de déversoirs.

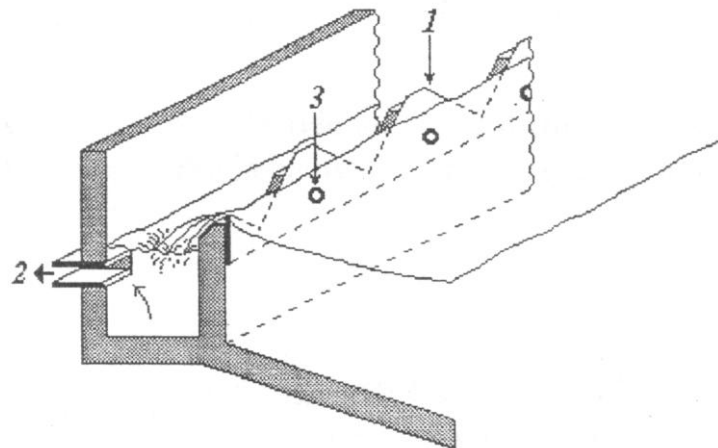
l : Largeur du bassin (m).

Q : Débit d'eau évacué (m^3/h)

h : Profondeur du bassin (m).

v : Vitesse de sédimentation (m/h).

Le dispositif de sortie avec ces déversoirs est figuré dans la figure suivante :



1- Déversoir, 2-Sortie d'eau clarifiée, 3-Boulon de fixation.

Figure V.28 : Dispositif de sortie d'un bassin de sédimentation.

Le nombre de déversoirs nécessaires est donné par la formule ci- dessus comme suit :

$$n_d = \frac{56,88}{0,5 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 3} \approx 6 \text{ déversoirs.}$$

Une analyse a été effectuée sur le rejet après une décantation, elle confirme les résultats suivants :

| Paramètres physiques | L'eau de rejet | L'eau après décantation |
|----------------------|----------------|-------------------------|
| MES (mg/l) | 12500 | 3500 |
| Turbidité (NTU) | 14000 | 3750 |

On conclue qu'un traitement par décantation ne suffit pas d'éliminer complètement la turbidité du rejet donc on recourt à un traitement chimique.

B-Dimensionnement d'un bassin de coagulation-floculation :**V.2-Le traitement chimique:****1-Etude expérimentale de la coagulation-floculation****1.1-Introduction:**

L'étude expérimentale de la coagulation-floculation a pour but de déterminer le choix d'un réactif et les concentrations optimales nécessaire à une réduction maximale de la turbidité de l'eau de rejet après une simple décantation.

Une étude comparative entre deux sels métalliques, à savoir le sulfate d'aluminium et le chlorure ferrique est présentée.

Des adjuvants de floculation de diverses natures ont été associés aux sels métalliques afin d'améliorer le rendement de réduction de la turbidité des eaux de rejet.

Afin de satisfaire cet objectif, on a choisi le jar-test comme technique expérimental. Le contrôle du degré de clarification de l'eau a été fait à l'aide d'un turbidimètre, afin de nous permettre le suivi du processus de clarification de l'eau.

1.2-Choix du coagulant et du floculant :**1.2.1-Choix des coagulants :**

Il est basée sur :

- Large disponibilité.
- Utilisation répandue dans le domaine de traitement des eaux.
- Coût des réactifs.
- Bonne efficacité de coagulation.

1.2.2-Choix des floculants :

En règle générale la clarification des eaux résiduaires industrielles est meilleur par les floculants anioniques [12], les quels sont influencés en terme d'efficacité par de nombreuses caractéristiques tel que, le pH, la conductivité électrique, la concentration et la granulométrie des particules solides en suspension.

Les différents paramètres étudiés sont:

- ✚ Le pH de l'eau à épurer
- ✚ La dose de coagulant
- ✚ La vitesse d'agitation lors de la coagulation
- ✚ La durée de coagulation
- ✚ La dose du floculant
- ✚ La vitesse d'agitation lors de la floculation
- ✚ La durée de floculation

La détermination de ces paramètres nous a permis de maximiser le degré de clarification des eaux résiduaires après une étape de décantation.

1.3-Dispositif expérimental et préparation des échantillons :

1.3.1-Jar-test :

Les essais au laboratoire à l'aide d'un Jar-test restent jusqu'à ce jour la méthode la plus couramment utilisée pour le choix des réactifs et de leurs concentrations.

Le Jar-test que nous avons utilisé, de marque Prolabo, comporte 6 agitateurs dont la vitesse de rotation peut varier entre 15 et 200 tr/min. Les pales sont de type à hélices (75mm × 20mm) (figure V.29) et le volume des béciers est de 1 litre.

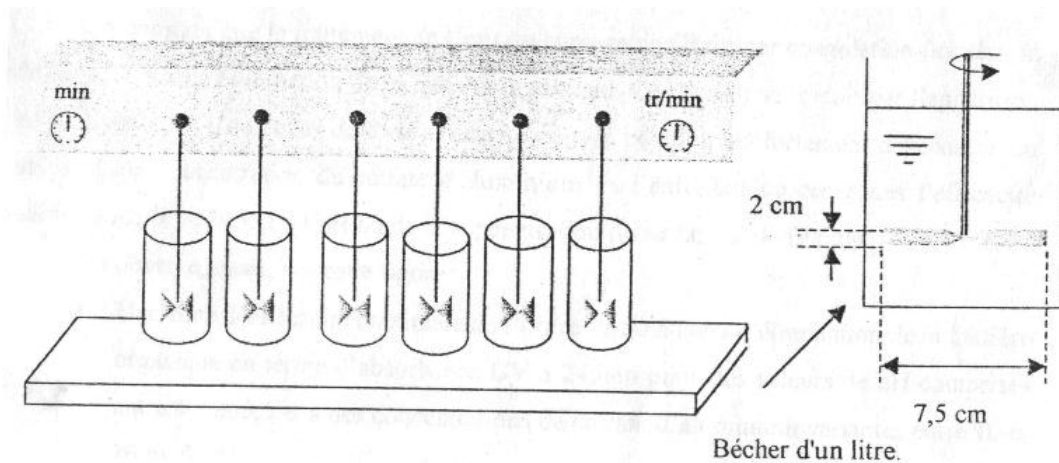


Figure V.29 : Dispositif expérimental de la coagulation floculation "jar-test".

1.3.2-Réactifs utilisés :

Les sels métalliques utilisés lors des essais en Jar-test sont le sulfate d'aluminium ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) et le chlorure ferrique ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). Les solutions de sels métalliques sont préparées journalièrement à une concentration de 10 g/l.

Taux de traitement (mg/l) = la concentration de la solution mère (10 g/l) × le volume prélevé de la solution mère

Les adjuvants de floculation utilisés sont :

- Alcools polyvinyliques : Polymère non ionique
- Polyélectrolyte cationique
- Polyélectrolyte anionique

Les adjuvants de floculation sont préparés journalièrement à des concentrations de 1g/l.

Taux de traitement (mg/l) = la concentration de la solution mère (1 g/l) × le volume prélevé de la solution mère

Autre réactifs

La soude et l'acide chlorhydrique utilisés pour ajuster le pH. Les solutions de ces réactifs sont préparées dans l'eau distillée.

1.3.3-Protocole expérimental :

Après avoir rempli chacun des 6 béchers d'un litre d'eau à traiter, les échantillons sont mélangés à grande vitesse 180 tr/min, en fixant au départ le pH en ajoutant une base (soude à 0,1 N) ou un acide (acide chlorhydrique à 0,1 N), puis on verse le coagulant. La vitesse d'agitation de mélange est maintenue pendant 1min. Cette étape est suivie d'une agitation lente effectuée à 40 tr/min pendant 20 minutes. On laisse reposer pendant 20 minutes, puis on prélève 50 ml du surnageant à l'aide d'une pipette placée à une profondeur constante dans chaque bécher.

L'addition des polyélectrolytes se fait juste après la phase d'agitation rapide.

Les mesures de turbidité et du pH se font après chaque prélèvement.

1.4-Résultats expérimentaux :

1.4.1-Introduction :

Les résultats sont exprimés en fonction du pourcentage de réduction de la turbidité, pour s'affranchir de toute variation de cette dernière.

$$\% \text{ réduction} = \frac{\text{turbidité initiale} - \text{turbidité résiduelle}}{\text{turbidité initiale}}$$

1.4.2-Détermination de la concentration optimale de coagulant :

1-Sulfate d'aluminium :

Une première série d'essais est effectuée pour approcher la concentration optimale de sulfate d'aluminium. Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau (V.6).

Tableau V.6 : Réduction de la turbidité pour différentes concentrations de sulfate d'aluminium

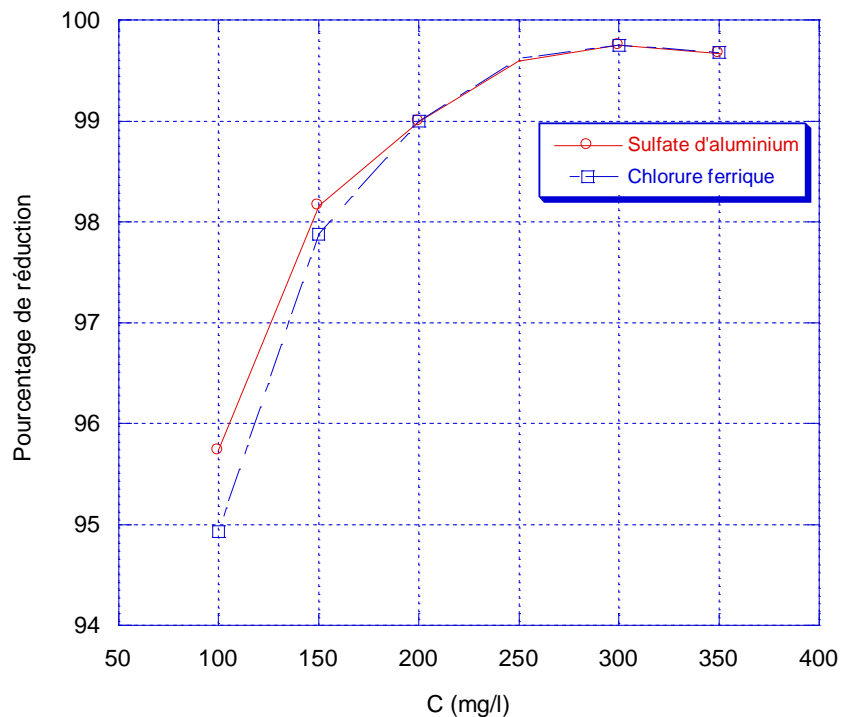
| | | | | | | |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| C (mg/l) | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 |
| Tur (NTU) | 160 | 68,9 | 37,8 | 15,15 | 9,25 | 12,3 |
| % de réduction | 95,73 | 98,16 | 98,99 | 99,59 | 99,75 | 99,67 |
| MES | 164 | 45 | 22 | 10 | 7 | 9 |
| pH | 7,9 | 7,8 | 7,6 | 7,3 | 7,2 | 6,9 |

2-Chlorure ferrique :

Une deuxième série d'essais est effectuée pour approcher la concentration optimale de chlorure ferrique. Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau (V.7).

Tableau V.7 : Réduction de la turbidité pour différentes concentrations de coagulant chlorure ferrique

| | | | | | | |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| C (mg/l) | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 |
| Tur (NTU) | 190 | 79,50 | 37,5 | 14,1 | 9,02 | 12 |
| % de réduction | 94,93 | 97,88 | 99,00 | 99,62 | 99,75 | 99,68 |
| MES | 176 | 70 | 21 | 10 | 7 | 10 |
| pH | 8,0 | 7,6 | 7,5 | 7,3 | 7,1 | 7,0 |

**Figure V.30 :** Comparaison du pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la concentration du sulfate d'aluminium et du chlorure ferrique.

Interprétation :

Le tracé du pourcentage de réduction en fonction de la concentration du sulfate d'aluminium et du chlorure ferrique, a permis d'obtenir des courbes passant par un maximum correspondant à la valeur optimale de coagulant (300 mg/l) nécessaire pour une bonne déstabilisation des particules colloïdales présentées dans l'eau (figure V.30)

Pour une concentration de 300 mg/l des deux sels, le pourcentage de réduction de la turbidité est de 99,75%, tous les deux ont donné de bons résultats donc on ne peut pas faire une sélection. D'après l'expérience on remarque que les floes formés ne sont pas rigide, donc un ajout d'un flocculant s'avère nécessaire.

Une troisième série d'essais est effectuée pour approcher la concentration optimale de flocculant anionique avec une concentration en coagulant (alun) de 300 mg/l. Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau (V.8).

Tableau V.8: Réduction de la turbidité pour différentes concentrations de polyélectrolyte anionique

| | | | | | | |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| C (mg/l) | 0,1 | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 |
| Tur (NTU) | 22 | 12,27 | 10,01 | 8,62 | 7,58 | 9,85 |
| % de réduction | 99,41 | 99,67 | 99,73 | 99,77 | 99,79 | 99,73 |
| MES | 25 | 12 | 8 | 7 | 5 | 6 |

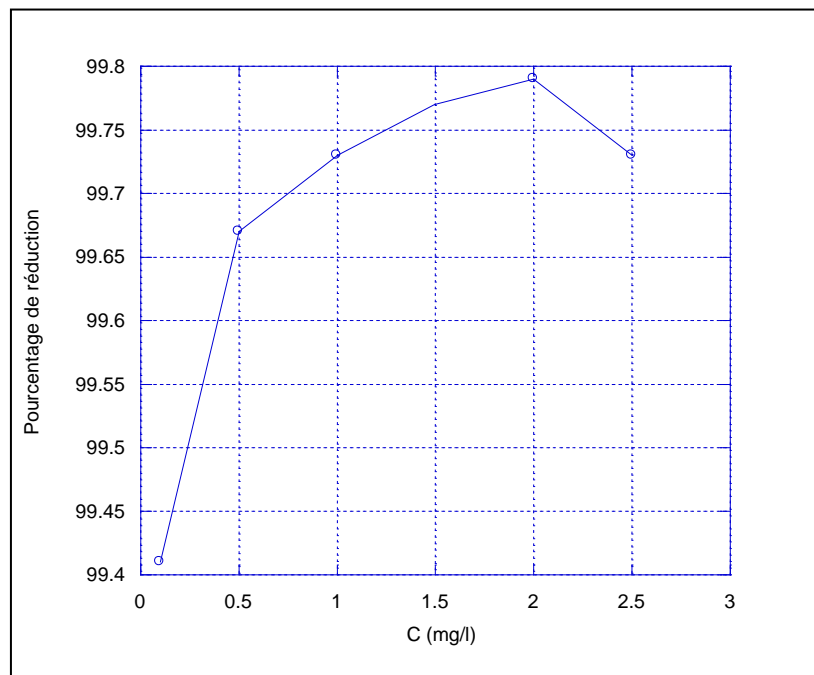


Figure V.31 : Pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la concentration du polyélectrolyte anionique.

La concentration optimale est déterminée à partir de courbe de pourcentage de réduction en fonction de la concentration de flocculant, d'après la figure V.31 cette concentration est de 2 mg/l qui correspond à un pourcentage de réduction de 99,79%.

A partir des concentrations optimales déterminées précédemment, une série d'essais avec différents flocculants ont été réalisés.

1.4.3-Sélection des réactifs de coagulation-floculation :

Le principe de sélection des réactifs de coagulation-floculation est basé sur l'effet apporté par la nature chimique des divers coagulants et flocculants utilisés sur le degré de clarification.

Toutes les combinaisons coagulants-flocculants possibles ont été testées expérimentalement à l'aide de jar-test et qui sont en nombre de six (06).

Tableau V.9: Les combinaisons coagulants-flocculants.

| | |
|-----------------------------------|----------------------|
| $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ + PC | FeCl_3 + PC |
| $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ + PA | FeCl_3 + PA |
| $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ + PN | FeCl_3 + PN |

Les résultats expérimentaux de chaque concentration coagulant-flocculant sont regroupés dans les tableaux (V.10) à (V.15) ainsi les courbes établies sont représentées par les figures (V.32) et (V.33).

Le choix définitif de la combinaison coagulant-flocculant adéquats est basé sur l'obtention d'une turbidité résiduelle minimale de l'eau résiduaire épurée pour un pH optimal.

Tableau V.10: Réduction de la turbidité pour le mélange sulfate d'aluminium + PC

| | | | | | | |
|-----------------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| Cc (mg/l) | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 |
| Cf (mg/l) | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| pH initial | 5,4 | 6,6 | 7,1 | 8,9 | 10,2 | 11,20 |
| pH final | 4,9 | 6,4 | 6,9 | 7,7 | 9,5 | 11,1 |
| Turbidité (NTU) | 9,32 | 6,13 | 9,78 | 22,5 | 47,9 | 185,0 |
| % de réduction | 99,75 | 99,83 | 99,73 | 99,4 | 98,72 | 95,06 |
| MES (mg/l) | 8 | 5 | 8 | 20 | 35 | 167 |

Tableau V.11 : Réduction de la turbidité pour le mélange sulfate d'aluminium + PA

| | | | | | | |
|------------|-----|-----|-----|-----|------|-------|
| Cc (mg/l) | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 |
| Cf (mg/l) | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| pH initial | 5,4 | 6,6 | 7,1 | 8,9 | 10,2 | 11,20 |

| | | | | | | |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| pH final | 4,9 | 6,4 | 6,9 | 7,7 | 9,5 | 11,1 |
| Turbidité (NTU) | 6,18 | 4,44 | 7,20 | 8,46 | 28,0 | 161,0 |
| % de réduction | 99,83 | 99,88 | 99,80 | 99,77 | 99,25 | 95,70 |
| MES (mg/l) | 4 | 3 | 4 | 5 | 16 | 129 |

Tableau V.12 : Réduction de la turbidité pour le mélange sulfate d'aluminium + PN.

| | | | | | | |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Cc (mg/l) | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 |
| Cf (mg/l) | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| pH initial | 5,4 | 6,6 | 7,1 | 8,9 | 10,2 | 11,20 |
| pH final | 4,9 | 6,4 | 6,9 | 7,7 | 9,5 | 11,1 |
| Turbidité (NTU) | 52,7 | 34,2 | 27,5 | 5,95 | 46,8 | 170 |
| % de réduction | 98,59 | 99,08 | 99,26 | 99,84 | 98,75 | 95,46 |
| MES (mg/l) | 48 | 25 | 19 | 4 | 31 | 135 |

Tableau V.13: Réduction de la turbidité pour le mélange Chlorure ferrique + PC.

| | | | | | | |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Cc (mg/l) | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 |
| Cf (mg/l) | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| pH initial | 5,4 | 6,6 | 7,1 | 8,9 | 10,2 | 11,20 |
| pH final | 4,5 | 6,3 | 6,9 | 7,6 | 8,6 | 10,5 |
| Turbidité (NTU) | 5,62 | 4,69 | 12,8 | 30,8 | 88,6 | 359 |
| % de réduction | 99,85 | 99,87 | 99,65 | 99,17 | 97,63 | 90,42 |
| MES (mg/l) | 5 | 3 | 10 | 29 | 62 | 352 |

Tableau V.14 : Réduction de la turbidité pour le mélange chlorure ferrique + PA.

| | | | | | | |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Cc (mg/l) | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 |
| Cf (mg/l) | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| pH initial | 5,4 | 6,6 | 7,1 | 8,9 | 10,2 | 11,20 |
| pH final | 4,5 | 6,3 | 6,9 | 7,6 | 8,6 | 10,5 |
| Turbidité (NTU) | 5,36 | 4,02 | 9,0 | 10,5 | 140 | 275 |
| % de réduction | 99,85 | 99,88 | 99,76 | 99,72 | 96,26 | 92,66 |
| MES (mg/l) | 4 | 2 | 7 | 9 | 114 | 220 |

Tableau V.15: Réduction de la turbidité pour le mélange chlorure ferrique + PN.

| | | | | | | |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Cc (mg/l) | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 |
| Cf (mg/l) | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| pH initial | 5,4 | 6,6 | 7,1 | 8,9 | 10,2 | 11,20 |
| pH final | 4,5 | 6,3 | 6,9 | 7,6 | 8,6 | 10,5 |
| Turbidité (NTU) | 18,9 | 4,49 | 5,02 | 5,65 | 220 | 375 |
| % de réduction | 99,49 | 99,76 | 99,86 | 99,84 | 94,13 | 90,0 |
| MES (mg/l) | 20 | 5 | 5 | 6 | 200 | 340 |

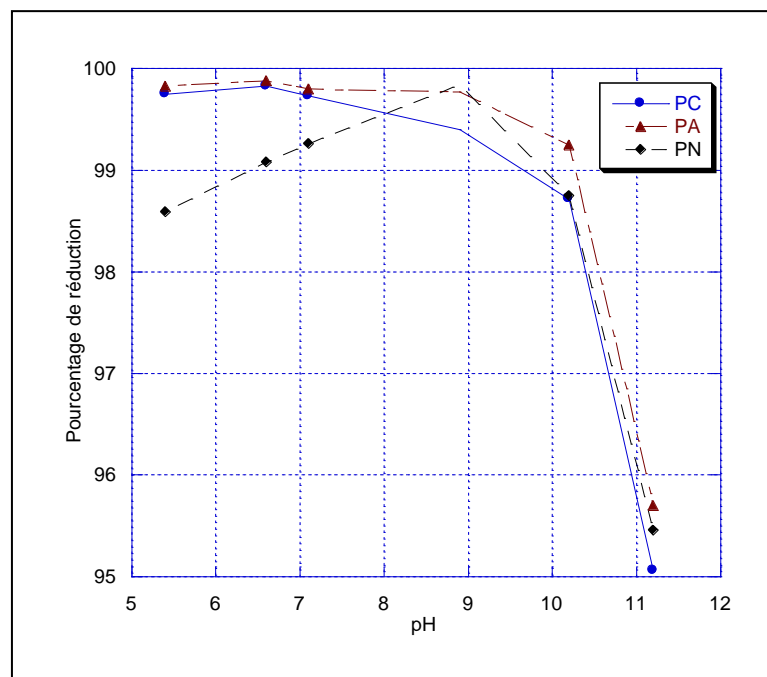


Figure V.32 : variation du pourcentage de réduction de la turbidité en fonction du pH pour la concentration optimale de sulfate d'aluminium et les 3 adjuvants de floculation.

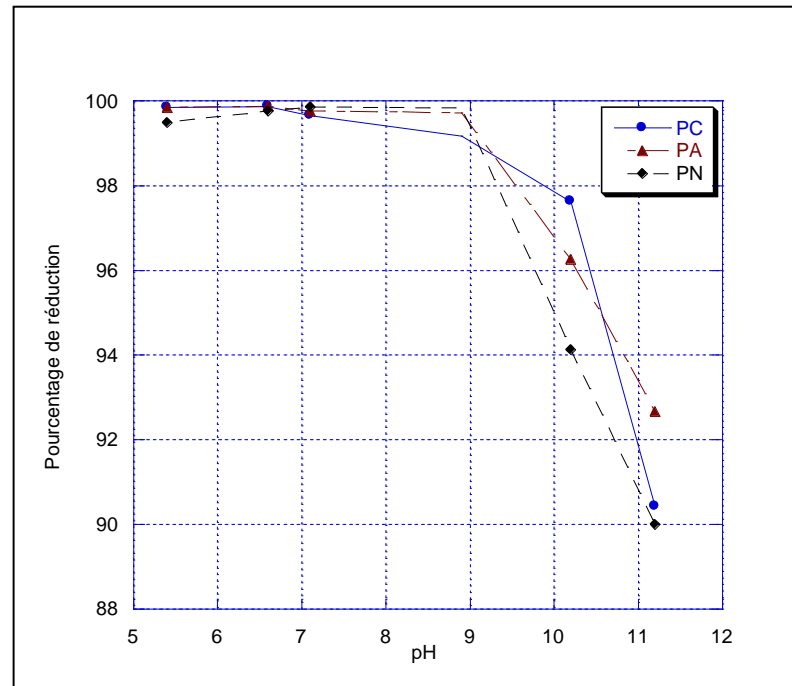


Figure V.33 : variation du pourcentage de réduction de la turbidité en fonction du pH pour la concentration optimale de chlorure ferrique et les 3 adjuvants de floculation.

1.5-Comparaison des résultats :

L'examen des résultats expérimentaux obtenus lors de l'étude consacrée à la sélection des réactifs de coagulation-floculation nous a permis d'observer deux effets importants :

- ✚ L'influence du pH sur le rendement de clarification, le pH optimum est de 6,6.
- ✚ L'effet de la nature chimique des coagulants et des flocculants sur le rendement de clarification.

On remarque que :

Le polymère neutre donne des floccs moins rigide ce qui nécessite un temps suffisant de décantation par contre le polyélectrolyte cationique et l'anionique donnent des floccs rigides et se décantent facilement dès qu'on arrête l'agitation.

Le polyélectrolyte anionique donne de meilleurs résultats que le cationique et le polymère neutre. Les réactions étant meilleures avec les précipités d'aluminium chargés positivement, la floculation par adsorption et pontage des particules serait avantageée.

On constate que le mélange « sulfate d'aluminium + PA » et « chlorure ferrique + PA » donnent un taux de réduction de la turbidité de 99,88%.

Pour le choix final on s'est basé sur les résultats des autres paramètres physico-chimiques qui sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau V.16: résultats des analyses physico-chimiques obtenus après un traitement chimique par coagulation-floculation.

| Paramètres | Eau après décantation | Après ajout de | |
|--------------------------------|-----------------------|---|-------------------|
| | | Al ₂ (SO ₄) ₃ | FeCl ₃ |
| T (°C) | 29,61 | 29,6 | 29,8 |
| pH | 8,9 | 6,4 | 6,3 |
| Couleur (pt/Co) | 177 | 63 | 81 |
| Conductivité (µs/cm) | 4270 | 4580 | 4650 |
| Turbidité (NTU) | 3750 | 4,44 | 4,02 |
| % de réduction de la turbidité | / | 99,88 | 99,88 |
| MES (mg/l) | 3500 | 3 | 2 |
| Salinité (%) | 2,2 | 2,4 | 2,4 |
| TDS (mg/l) | 1872,80 | 2008,77 | 2039,47 |
| TA (°f) | 00 | 00 | 00 |
| TAC (°f) | 79,5 | 31 | 34,5 |
| TH (°f) | 30 | 19,2 | 22,75 |

L'analyse de la partie solide a donné les résultats suivants :

Tableau V.17, a : Les éléments majeurs.

| Les éléments majeurs (%) | Eau après décantation | Al ₂ (SO ₄) ₃ | FeCl ₃ |
|--------------------------------|-----------------------|---|-------------------|
| SiO ₂ | 52,11 | 50,50 | 50,54 |
| Al ₂ O ₃ | 26,78 | 28,06 | 26,18 |
| Fe ₂ O ₃ | 1,13 | 1,15 | 4,22 |
| CaO | 1,16 | 0,41 | 0,38 |
| MgO | 0,52 | 0,53 | 0,11 |
| MnO | 0,0042 | 0,0036 | 0,0040 |
| Na ₂ O | 1,62 | 2,07 | 1,78 |
| K ₂ O | 1,64 | 1,64 | 1,55 |
| P ₂ O ₅ | 0,129 | 0,136 | 0,129 |
| TiO ₂ | 0,576 | 0,522 | 0,533 |
| SO ₃ | 0,82 | 1,13 | 0,96 |

| | | | |
|--------------------------------|-------|-------|-------|
| Cr ₂ O ₃ | 0,011 | 0,015 | 0,011 |
| PAF | 11,20 | 11,80 | 11,40 |

Tableau V.17, b : Les éléments mineurs.

| Les éléments mineurs ppm | Eau après décantation | Al ₂ (SO ₄) ₃ | FeCl ₃ |
|--------------------------|-----------------------|---|-------------------|
| Zirconium (Zr) | 4840,1 | 5418,1 | 6365,4 |
| Strontium (Sr) | 155,0 | 240,0 | 275,1 |
| Rubidium (Rb) | 116,6 | 135,3 | 150,1 |
| Plomb (Pb) | 74,5 | 61,5 | 86,1 |
| Zinc (Zn) | 3820,8 | 1729,7 | 1569,7 |
| Cuivre (Cu) | 50,8 | 74,7 | 66,6 |
| Nickel (Ni) | 12,5 | 16,8 | 19,5 |
| Chrome (Cr) | 50,6 | 57,4 | 55,8 |
| Vanadium (V) | 51,6 | 51,4 | 56,0 |
| Baryum (Ba) | 5712,9 | 6351,8 | 5796,5 |

On constate que :

- La conductivité augmente à cause des ions sulfates ou chlorures suivant les sels utilisés pour la coagulation,
- Le pH baisse par suite de l'hydrolyse de l'aluminium (ou de fer), le titre alcalimétrique TAC et la dureté TH diminuent également, des meilleurs résultats sont obtenus pour le sulfate d'aluminium
- Diminution de La couleur est meilleur avec le sulfate d'aluminium.

Il faut signaler que les sels de fer sont généralement plus coûteux que le sulfate d'aluminium, ce qui explique leur emploi plus restreint.

Sur la base de ces constatations le mélange « sulfate d'aluminium + PA », a été retenu.

Pour la mise en point d'une clarification efficace de l'eau de rejet on doit optimiser certains paramètres qui rentrent en jeu lors de processus de coagulation-floculation.

1.6-Recherche des paramètres de clarification des eaux résiduaires traitées par coagulation-floculation :

Les paramètres de clarification des eaux résiduaires après l'étape de décantation à l'échelle laboratoire sont présentés ci-dessous :

- ✚ La dose optimale du coagulant sulfate d'aluminium,
- ✚ La dose optimal du floculant anionique,
- ✚ La vitesse d'agitation durant la coagulation,

- ✚ La durée de coagulation,
- ✚ La vitesse d'agitation durant la floculation,
- ✚ La durée de floculation.

1.6.1-La dose du coagulant $Al_2(SO_4)_3$:

Les paramètres de clarification tel que le pH, le temps de coagulation et le temps de floculation, ainsi que la vitesse d'agitation durant la coagulation et la vitesse d'agitation durant la floculation ont été maintenus constants dans le jar-test.

Pour une concentration constante de 2 mg/l de floculant anionique, on a étudié l'évolution du degré de clarification (turbidité) en fonction de la dose du coagulant.

Les résultats expérimentaux sont répertoriés dans le tableau (V.18) la courbe établie est représentée par la figure (V.34).

Tableau V.18: Réduction de la turbidité pour différentes concentrations de sulfate d'aluminium.

| | | | | | | |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| C (mg/l) | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 |
| Tur (NTU) | 29 | 11,4 | 5,23 | 4,31 | 4,65 | 5,96 |
| % de réduction | 99,22 | 99,69 | 99,86 | 99,88 | 99,87 | 99,84 |
| MES | 20 | 10 | 5 | 4 | 5 | 6 |

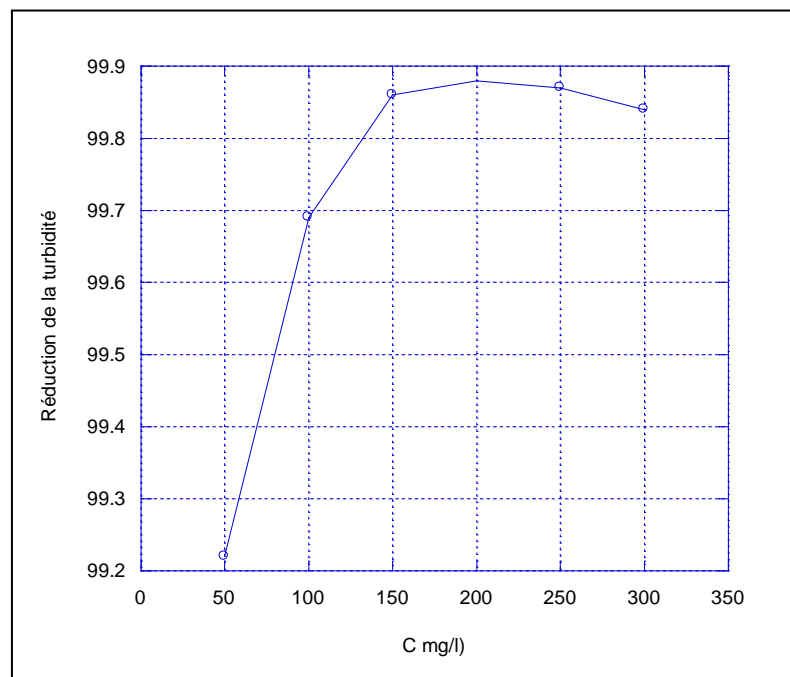


Figure V.34: Pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la concentration du sulfate d'aluminium.

La recherche d'un tel paramètre est importante non seulement sur le plan économique (prix des réactifs) mais aussi sur le plan technique (le rendement de clarification).

L'ajout d' Al^{3+} permet la coagulation du fait de l'effet lié à l'augmentation de la force ionique (compression de la couche diffuse), le mécanisme de la coagulation repose sur la neutralisation de la charge négative des particules stables par adsorption des cations sur leur surface. Pour une concentration de 200 mg/l en alun le pourcentage de réduction de la turbidité est de 99,88%, Par contre, la surdose de coagulant, source de cations, peut résulter en une adsorption trop importante de cations et inverser la charge des particules qui deviennent alors positive. Les particules seraient ainsi restabilisées

1.6.2-La dose du flocculant anionique :

Les mêmes paramètres de clarification précités ont été maintenus constants dans le jar-test.

Pour une concentration optimale de sulfate d'aluminium (200 mg/l) correspondante à un degré de clarification maximal, on a étudié l'évolution du degré de clarification en fonction de la dose du flocculant anionique.

Les résultats expérimentaux sont notés dans le tableau (V.19), la courbe établie est représentée par la figure (V.35).

Tableau V.19: Réduction de la turbidité pour différentes concentrations de flocculant anionique.

| | | | | | | |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| C (mg/l) | 0,1 | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 |
| Tur (NTU) | 18,0 | 7,37 | 4,77 | 3,46 | 5,48 | 7,68 |
| % de réduction | 99,52 | 99,80 | 99,87 | 99,90 | 99,85 | 99,79 |
| MES | 12 | 4 | 3 | 2 | 4 | 5 |

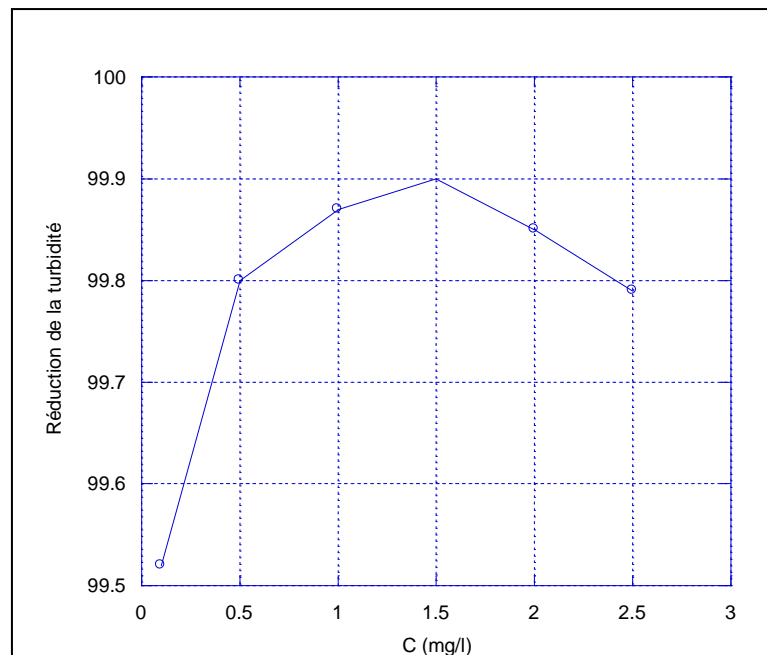


Figure V.35: Pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la concentration du floculant anionique.

D'après les résultats obtenus, une dose de floculant de 1,5 mg/l permet d'obtenir une bonne clarification correspond à un rendement de 99,90%, ils agissent par adsorption et pontage entre les particules colloïdales.

Un excès de floculant isole la surface des micelles qui aurait pu constituer des ponts de liaisons ce qui inhibe la floculation.

On conclue d'après le tableau V.19 que :

- ✚ Une dose inférieure à 0,1 mg/l s'avère trop faible pour une bonne clarification.
- ✚ Une dose allant de 1 à 2 mg/l assure une clarification fiable.
- ✚ Une dose supérieure à 2 mg/l ne fait que inhiber la floculation pour des raisons citées ci-dessus.

1.6.3-Vitesse et durée d'agitation durant la coagulation :

L'étude de la turbidité en fonction de la vitesse a été réalisée en maintenant les paramètres suivants constants :

- ✚ La dose du coagulant $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ est de 200 mg/l.
- ✚ La dose du floculant anionique égale 1,5 mg/l.
- ✚ pH initial de l'eau après correction est de 6,6.
- ✚ Temps de coagulation est de 1minute.
- ✚ La vitesse durant la floculation est maintenue à 40 tours/min
- ✚ La durée d'agitation durant la floculation est de 20min.

✚ Le volume de l'échantillon a traitée (1 litre).

Tableau V.20: Réduction de la turbidité pour différentes vitesses durant la coagulation.

| | | | | | | |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Vitesse (trs/min) | 100 | 120 | 140 | 160 | 180 | 200 |
| Tur (NTU) | 8,33 | 8,27 | 7,90 | 7,57 | 4,32 | 6,68 |
| % de réduction | 99,77 | 99,77 | 99,78 | 99,79 | 99,88 | 99,82 |
| MES | 10 | 10 | 9 | 7 | 5 | 7 |

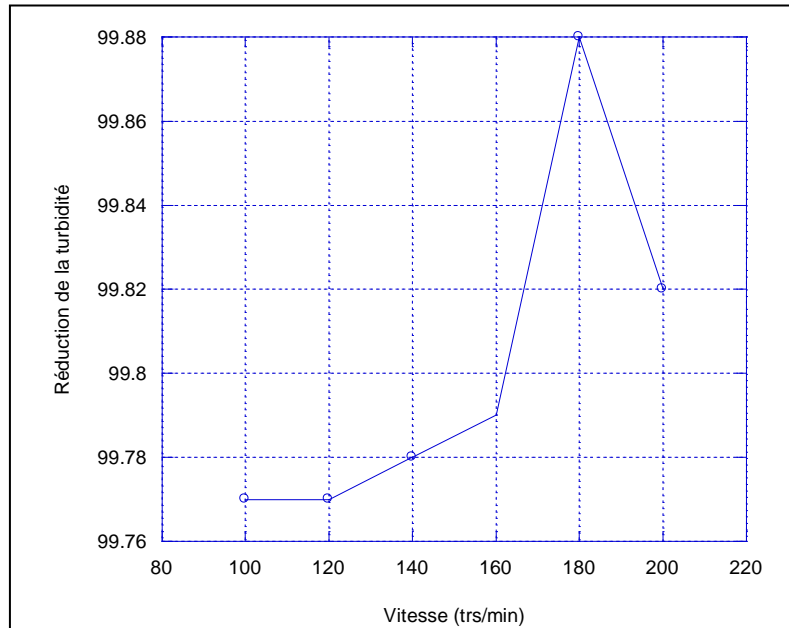


Figure V.36: Pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la vitesse d'agitation durant la coagulation.

Tableau V.21: Réduction de la turbidité pour différents temps d'agitation durant la coagulation

| | | | | | | |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Temps (min) | 0,5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Tur (NTU) | 6,38 | 4,11 | 6,58 | 11,6 | 12,0 | 13,1 |
| % de réduction | 99,82 | 99,89 | 99,82 | 99,69 | 99,68 | 99,65 |
| MES | 4 | 3 | 5 | 7 | 9 | 10 |

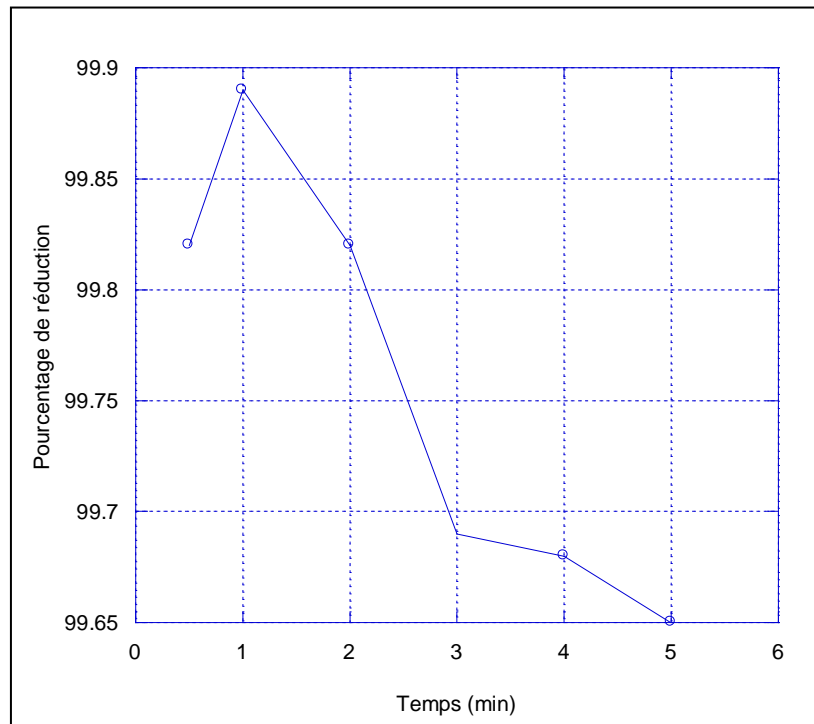


Figure V.37 : Pourcentage de réduction de la turbidité en fonction du temps d'agitation durant la coagulation.

Le processus de coagulation est très rapide, et il nécessite un temps très court pour la déstabilisation des colloïdes, en maintenant une agitation intense de 180 tr/min et un temps de coagulation de 1 min un degré de clarification de 99,89% a été obtenu.

1.6.4-Vitesse et durée d'agitation durant la floculation :

Une fois que les conditions optimales de la phase rapide sont fixées, on a effectué les mêmes opérations avec la phase lente pour optimiser la vitesse. Nous avons variés celle-ci en maintenant le temps d'agitation de 20 min.

Tableau V.22: Réduction de la turbidité pour différentes vitesses d'agitation durant la floculation.

| | | | | | | |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Vitesse (trs/min) | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 |
| Tur (NTU) | 13 | 5,71 | 4,77 | 3,82 | 5,25 | 5,82 |
| % de réduction | 99,65 | 99,84 | 99,87 | 99,89 | 99,86 | 99,84 |
| MES | 7 | 6 | 5 | 3 | 4 | 6 |

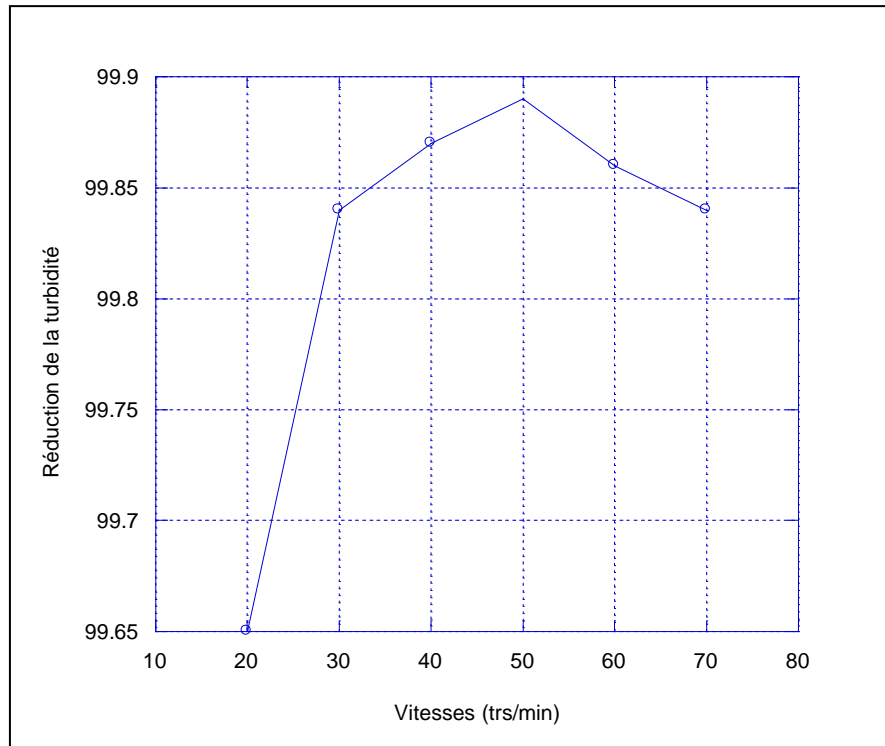


Figure V.38 : Pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la vitesse d'agitation durant la floculation.

Tableau V.23: Réduction de la turbidité pour différents temps d'agitation durant la floculation

| | | | | | | |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Temps (min) | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 |
| Tur (NTU) | 5,17 | 4,92 | 3,59 | 4,08 | 4,34 | 4,82 |
| % de réduction | 99,86 | 99,86 | 99,90 | 99,89 | 99,88 | 99,87 |
| MES | 4 | 3 | 1 | 2 | 3 | 3 |

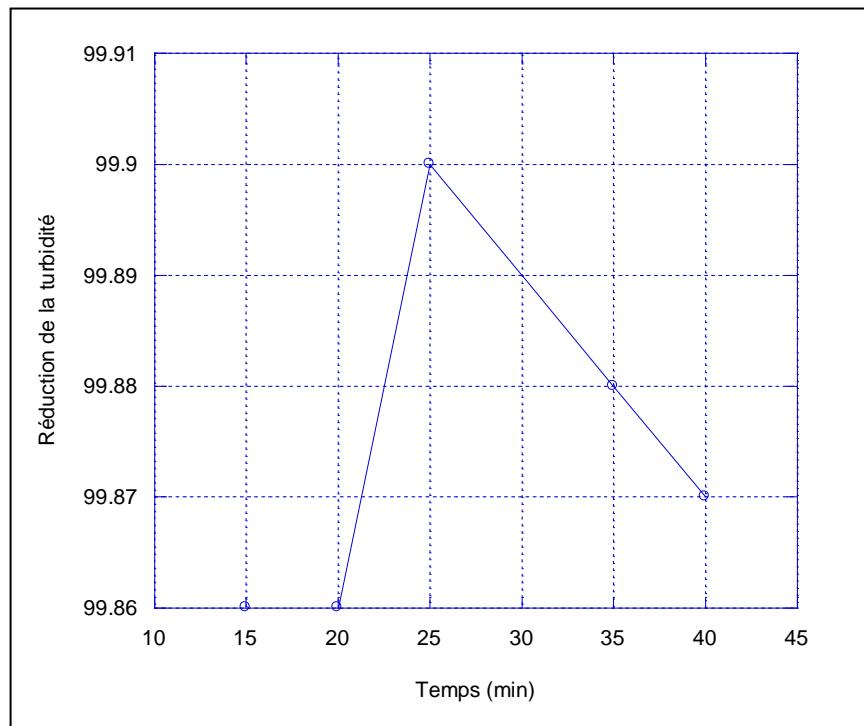


Figure V.39 : Pourcentage de réduction de la turbidité en fonction du temps d'agitation durant la floculation.

Le but recherché de cette étape est l'agglomération des colloïdes déjà déstabilisés par le coagulant $\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$. L'agglomération des colloïdes en flocons de taille et de rigidité suffisante est une action nécessaire pour faciliter toute séparation solide-liquide, soit qu'il s'agit de décantation ou de filtration.

Cette agglomération des colloïdes déstabilisés exige deux fonctions principales :

- ✚ Une interaction intense entre les particules déchargées en vue d'augmenter la probabilité de rencontre et des collisions, ce qui permettra la formation des flocons.
- ✚ Eviter la destruction des flocons formés par voie mécanique et on sait que le nombre de collisions entre particules est proportionnel au gradient de vitesse, mais les forces de cisaillement le sont aussi.

Ainsi la recherche d'un gradient de vitesse optimum est très important lors de la floculation ce qui explique que la durée et la vitesse d'agitation lors de cette étape pour assurer non seulement la formation des flocons mais aussi leur murcissement.

Pour une meilleure réduction de la turbidité, la vitesse optimale durant la floculation a été maintenue à 50 trs/min et cela durant un temps de 25 min.

Conclusion :

Cette étape nous a permis d'arriver aux conclusions suivantes :

Le chlorure ferrique et le sulfate d'aluminium présents des résultats sensiblement égaux, ils ont un pourcentage de réduction de la turbidité de l'ordre de 99,75%. Une baisse sensible de pH, due à l'hydrolyse de l'aluminium ou de fer.

L'addition de polyélectrolytes améliore le pourcentage de réduction de la turbidité, néanmoins les polyélectrolytes anioniques présentent les meilleurs taux de réduction de la turbidité.

La réduction de la turbidité des eaux résiduaires de l'industrie céramit après une décantation est possible par coagulation floculation. Les paramètres de clarification sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau V.24: Les paramètres de clarification des eaux de rejet traitée par le traitement chimique.

| | |
|--|--|
| La dose du coagulant $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ | 200 mg/l. |
| La dose du floculant anionique | 1,5 mg/l |
| La vitesse d'agitation durant la coagulation | 180 tours/min |
| Le temps de coagulation | 1 minute |
| La vitesse d'agitation durant la floculation | 50 tours/min |
| Le temps de floculation | 25 minutes |
| Le pH de l'eau après correction | 6,6 |
| Le débit de l'eau de rejet | $Q = 56,88 \text{ m}^3/\text{h} = 0,0158 \text{ m}^3/\text{s}$ |

Sur la base de ces données l'étude du bassin étant entamé.

1.7-Dimensionnement d'un bassin de coagulation-floculation :**1.7.1-La coagulation :**

L'étape de coagulation sera dimensionnée comme suit:

a-Détermination des caractéristiques du bassin:

❖ Le volume du bassin $V = Q \cdot t_s$

On a $V = 0,0158 \cdot 60 = 0,948 \text{ m}^3 \approx 1 \text{ m}^3$

❖ La hauteur du bac $h = 2 \text{ m}$ [8,79].

❖ La surface $S = \frac{V}{h} = 0,474 \text{ m}^2 \approx 0,5 \text{ m}^2$.

❖ La largeur $l = \sqrt{\frac{S}{2}} = 0,486 \text{ m} \approx 0,5 \text{ m}$.

$$\diamond \text{ La longueur } L = \frac{V}{l.h} = 0,975 \approx 1 \text{ m}$$

Donc on a un bassin de $1 \times 0,5 \times 2$.

b-Détermination du débit de la pompe doseuse du coagulant ainsi que le bac de coagulant :

Le débit de la pompe doseuse.

$$Q_{ER} \cdot C_{coagu} = q_p \cdot C_{con}$$

Q_{ER} : Débit de l'eau de rejet.

C_{coagu} : Dose optimale de coagulant.

q_p : Débit de la pompe doseuse.

C_{con} : Concentration de coagulant.

La hauteur du bac $h = (1,5-2)$ m.

t_s : Le temps de séjour est égale à 24 h.

Débit de la pompe doseuse :

$$q_p = \frac{Q_{ER} \cdot C_{coag}}{C_{con}} = \frac{0,0158 \cdot 200 \cdot 10^3 \cdot 10^3}{10} = 0,316 \text{ l/s} = 1137,6 \text{ l/h.}$$

t_s : le temps de séjour et égale à 24 h [79].

Donc on calcule le volume du bac :

$$V = q_p \cdot t_s = 1137,6 \cdot 24 \cdot 10^3 = 27,30 \text{ m}^3.$$

La coagulation a lieu dans un bassin dont le brassage est assuré par un mélangeur rapide. La correction du pH se fera dans le décanteur primaire. La préparation du réactif s'effectuera dans un bac de dilution, d'où la distribution sera par reprise par pompe doseuse dans le bassin.

1.7.2-La floculation :

L'étape de floculation sera dimensionnée comme suit:

a-Détermination des caractéristiques du bassin de floculation :

$$\diamond \text{ Le volume du bassin } V = Q_{ER} \cdot t_s$$

$$\diamond \text{ La surface } S = \frac{Qt}{1/2 \sqrt[3]{Qt}} \text{ [36]}$$

$$\diamond \text{ La profondeur } H_{\max} = 1/2 \sqrt[3]{Qt} \text{ [36]}$$

$$\diamond \text{ La largeur } l = \sqrt{\frac{S}{2}} \text{ [36]}$$

- $V = 23,7 \text{ m}^3$
- $S = 16,50 \text{ m}^2$
- $H_{\max} = 1,43 \text{ m}$
- $l = 2,87 \text{ m}$
- $L = 5,74 \text{ m}$

Détermination du nombre d'agitateurs X :

D'après l'équation empirique suivantes, nous déterminons X

$$X \leq \frac{L}{\beta.H} \quad [81]$$

β coefficient arbitraire pour les flocculateurs à agitation mécanique $1 \leq \beta \leq 1,5$

Pour $\beta = 1$ $X \leq 4$

Pour $\beta = 1,5$ $X \leq 2,68 \approx 3$

Pour des raisons économiques, on prend la plus faible valeur de X, donc $X = 3$

Dimensionnement des deux lames d'un agitateur :

En pratique, la distance entre les parois verticales et les lames doit être de 25 cm. La distance entre la lame inférieure jusqu'au fond du bassin et la lame supérieure à la surface de l'eau doit être de 15 cm.

La surface des deux lames doit être au maximum égale à 20 % de la section du bassin $l.H$ [36].

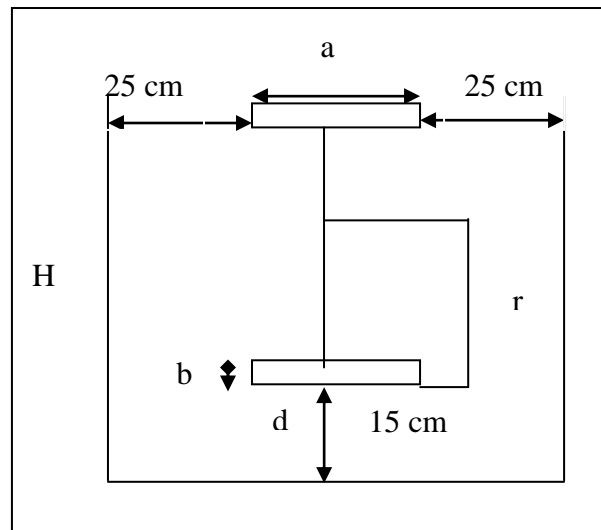


Figure V.40 : Représentation schématique des deux lames de l'agitateur.

- Longueur de la lame :

$$a = 1 - (2 \times 0,25) = 2,37 \text{ m.}$$

- Largeur de la lame :

$$H = 10 b \text{ [80]} \Rightarrow b = 0,143 \text{ m}$$

- Surface des deux lames d'un agitateur :

$$A = 2 \times a \times b = 0,67 \text{ m}^2$$

Vérifications du dimensionnement:

Nous avons convenu que A ne doit pas dépasser 20 % de la section du bassin

$$20 \% \times IH = 0,82 \text{ m}^2$$

$$A = 0,67 \text{ m}^2 < 0,82 \text{ m}^2 \Rightarrow \text{résultat acceptable.}$$

Vitesse périphérique :

$$W = 2\pi r.n$$

r : rayon de rotation

n : est le nombre de tours par minute (vitesse de rotation)

$$r = \frac{H - 2d}{2} = \frac{1,43 - (2 \times 0,15)}{2} = 0,56 \text{ m}$$

En générale, la vitesse de rotation des deux derniers agitateurs est inférieure à celle des premiers agitateurs afin de favoriser un grossissement progressif des floes [81]

En pratique, on prend $n_1 = 4$ tours/min [8]

$$n_{2-3} = 2 \text{ tours/min}$$

Nous avons donc :

$$W_1 = 2\pi r n_1 = 14,06 \text{ m/min}$$

$$W_{2-3} = 2\pi r n_{2-3} = 7,03 \text{ m/min}$$

Vérification du critère de Reynolds :

Le nombre de Reynolds doit être inférieur à 5.10^5 , afin d'éviter la cassure des floes.

$$R_e = \frac{U.b.\rho}{\mu}$$

U : différence entre la vitesse d'écoulement du liquide et la vitesse du mouvement de la lame d'agitateur.

b : largeur de la lame

ρ : densité de l'eau résiduaires industrielle $\rho = 1,005.10^3 \text{ Kg/m}^3$

μ : viscosité dynamique de l'eau résiduaire industrielle $\mu = 1,17.10^{-3} \text{ pa.s}$ à $T = 20^\circ\text{C}$.

En pratique, on adopte une valeur de U telle que :

$$U = 75 \% \cdot W$$

Où W représente la vitesse périphérique des lames

$$U_1 = 0,75 \cdot W_1 = 0,75 \cdot 14,06 = 10,54 \text{ m/min} = 0,17 \text{ m/s}$$

$$U_{2-3} = 0,75 \cdot W_{2-3} = 0,75 \cdot 7,03 = 5,27 \text{ m/min} = 0,08 \text{ m/s}$$

Nous aurons donc :

$$R_{e1} = \frac{U_1 \cdot b \cdot \rho}{\mu} = 0,20 \cdot 10^5$$

$$R_{e2-3} = \frac{U_{2-3} \cdot b \cdot \rho}{\mu} = 0,09 \cdot 10^5$$

Dans les deux cas $R_e < 5 \cdot 10^5$

Vérification du gradient de vitesse G : $G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}}$

P : puissance dissipée dans le liquide.

Calcul de la puissance P [81]

$$P_t = K \cdot A \cdot \rho \cdot \frac{U^3}{2} = P_1 + P_{2-3}$$

K : coefficient qui correspond à la forme de la lame

A : surface de la pale (m²)

ρ : masse volumique du liquide (Kg/m³)

$$P_1 = K \cdot A_1 \cdot \rho \cdot \frac{U_1^3}{2}$$

$$P_2 = K \cdot A_{2-3} \cdot \rho \cdot \frac{U_{2-3}^3}{2}$$

$$A = A_1 = 0,67 \text{ m}^2$$

$$A_{2-3} = 2 \cdot A = 1,34 \text{ m}^2$$

$$V_1 = \frac{V}{3} = 7,9 \text{ m}^3$$

$$V_{2-3} = \frac{2}{3} V = 15,8 \text{ m}^3$$

Le coefficient K varie avec le rapport $\frac{a}{b}$,

Le tableau suivant donne les valeurs de $\frac{a}{b}$ en fonction de K

| | | | | | | |
|-----|-----|------|-------|--------|---------|----|
| a/b | 1 | 1-2 | 2,5-4 | 4,5-10 | 10,5-18 | 18 |
| K | 1,1 | 1,15 | 1,19 | 1,29 | 1,4 | 2 |

$$\frac{a}{b} = \frac{2,37}{0,143} = 16,57 \quad 10,5 < \frac{a}{b} < 18 \Rightarrow K = 1,4$$

$$P_1 = 2,31 \text{ w}, \quad P_2 = 0,48 \text{ w}$$

$$G_1 = \sqrt{\frac{P_1}{\mu \cdot V_1}} = 15,80 \text{ s}^{-1} < 60 \text{ s}^{-1}$$

$$G_{2-3} = \sqrt{\frac{P_{2-3}}{\mu \cdot V_{2-3}}} = 5,09 \text{ s}^{-1} < 60 \text{ s}^{-1}$$

Dans les deux cas on a $G < 60 \text{ s}^{-1}$

b-Détermination du débit de la pompe doseuse du flocculant ainsi que le bac de flocculant:

Le débit de la pompe doseuse :

$$Q_{ER} \cdot C_{flocu} = q_p \cdot C_{con}$$

Q_{ER} : Débit de l'eau de rejet.

C_{flocu} : Dose optimale de flocculant.

q_p : Débit de la pompe doseuse.

C_{con} : Concentration de flocculant.

La hauteur du bac $h = 1,5 \text{ m}$.

t_s : Le temps de séjour est égale à 24 h.

Débit de la pompe doseuse :

$$q_p = \frac{Q_{ER} \cdot C_{flocu}}{C_{con}} = \frac{0,0158 \cdot 1,5 \cdot 10^3 \cdot 10^3}{1} = 0,0237 \text{ l/s} = 85,32 \text{ l/h.}$$

La floculation a lieu dans un bassin dont le brassage est lent et dure généralement 25 min.

Pour cela nous avons opté pour une floculation mécanique dont l'agitation est assurée par un mouvement de pales tournantes à axe horizontal.

1.8-Clarificateur ou décanteur secondaire:

Nous avons optés un décanteur de forme circulaire, avec un temps de séjour $t_s = 30 \text{ min}$.

La profondeur du décanteur :

Le calcul permettant de déterminer la profondeur du décanteur reste largement empirique et tient compte de trois paramètres :

- Obtention d'une eau claire;
- Bonne épaisseur de la boue ;
- Séparation entre l'eau claire et la boue.

Selon KALBSKOPF, on additionnera la hauteur nécessaire à chacune des 3 zones, soit :

Une zone d'eau clarifiée > 0,5 m, on prend 0,6 m ;

Une zone de séparation de 0,8 à 1 m, on prend 1 m ;

Une zone profonde de stockage pouvant dépasser parfois le 1 m, on prend 0,6 m.

Donc $h = 0,6 + 1 + 0,6 = 2,2$ m

Le temps de séjour $t_s = 30$ min

$$v_s = \frac{H}{t_s} = \frac{2,2}{1800} = 1,22 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

Volume du bassin de décantation :

$$V = Q \cdot t_s = 0,0158 \cdot 1800 = 28,44 \text{ m}^3$$

Surface du bassin de décantation :

$$S = \frac{Q}{v_s} = \frac{0,0158}{1,22 \cdot 10^{-3}} = 12,95 \text{ m}^2$$

$$\text{Le diamètre de ce décanteur est : } S = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$D'ou\ D = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = 4,06 \text{ m}$$

Les Caractéristiques des bassins de coagulation et floculation sont les suivants :

Bassin de coagulation :

- ✚ Temps de séjour : 1 min
- ✚ Le volume du bassin $V = 0,948 \text{ m}^3 \approx 1 \text{ m}^3$
- ✚ La hauteur du bac $h = 2$ m
- ✚ La surface $S = 0,474 \text{ m}^2 \approx 0,5 \text{ m}^2$.
- ✚ La largeur $l = 0,486 \text{ m} \approx 0,5$ m.
- ✚ La longueur $L = 0,975 \approx 1$ m

Bassin de floculation :

- ✚ Temps de séjour : 25 min
- ✚ Volume du bassin $V = 23,7 \text{ m}^3$
- ✚ La surface du bassin $S = 16,50 \text{ m}^2$
- ✚ La profondeur du bassin $H_{\max} = 1,43$ m
- ✚ La largeur du bassin $l = 2,87$ m
- ✚ La longueur du bassin $L = 5,77$ m
- ✚ Nombre d'agitateur : 3
- ✚ Longueur de la lame de l'agitateur : 2,37 m.

- ✚ Largeur de la lame de l'agitateur : 0,143 m
- ✚ Surface de la lame : 0,67 m²
- ✚ Rayon de rotation : 0,56 m

Le décanteur que nous proposons pour ce type d'eau a les caractéristiques suivantes :

- ✚ De forme circulaire
- ✚ Volume = 28,44 m³
- ✚ Surface = 12,95 m²
- ✚ Diamètre = 4,06 m

Une analyse physico-chimique a été effectuée après une étape de coagulation-floculation, les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

| Paramètres | Eau de rejet | Après décantation | Après coag-floc | Eau exigée dans l'industrie |
|----------------------|--------------|----------------------|-----------------|--------------------------------|
| T (°C) | 30,6 | 30 | 29,5 | / |
| pH | 8,7 | / | 6,4 | 5-8 |
| Conductivité (µs/cm) | 5030 | 4840 | 4910 | <900 |
| Turbidité (NTU) | 5632 | 3574 | 2,45 | < 6 |
| MES (mg/l) | 4125 | 2485 | 8 | Absence |
| RS (mg/l) | 5200 | 4120 | 2150 | / |
| TH °f | 68 | 68 | 41 | < 2 |

Dans le but de la réutilisation de l'eau de rejet à des fins industriels, on doit éliminer les matières en suspensions car celles-ci sont nuisibles pour le processus industriel, donc on doit procéder à une étape de filtration.

C-Dimensionnement d'un bassin de filtration:**V.3-La filtration :**

Le but de la filtration est d'opérer la séparation la plus complète possible entre l'eau et différentes sortes de particules en suspension. La séparation s'effectue dans une masse granulaire.

V.3.1-Choix du matériau filtrant :

Le matériau filtrant est un sable qui est utilisé dans la station de traitement des eaux de Maghnia.

Analyse granulométrique par tamisage :**Principe de base :**

Une colonne de tamisage est composée d'une série de tamis empilés les uns sur les autres, par ordre croissant d'ouverture de maille (de bas en haut). Chaque tamis est formé d'un boîtier cylindrique dans le fond duquel est tendue une toile généralement métallique, dont les ouvertures sont normalisées (normes NF ISO 565, Novembre 1990).

Un échantillon représentatif du matériau à analyser est déposé sur le tamis supérieur, et l'ensemble des tamis est soumis à des secousses conduisant à la répartition des particules le long de la colonne de tamisage. Ces secousses peuvent être provoquées grâce à une machine à tamiser. Chaque tamis divise les particules qui lui sont appliquées en deux fractions : un *refus*, correspondant aux particules retenues sur le tamis, et un *tamisât* (ou "passant") correspondant aux particules appliquées au tamis inférieur.

A l'issue de l'agitation, les refus de chaque tamis sont recueillis et pesés avec soin.

Les résultats sont illustrés dans le tableau suivant :

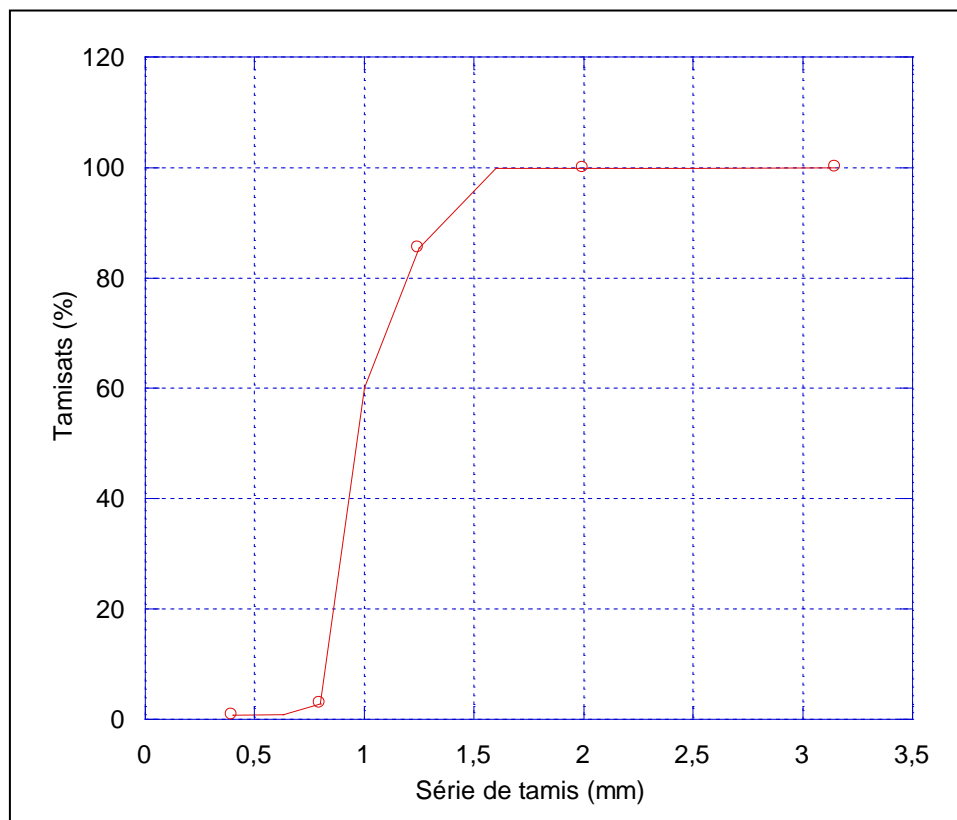
Tableau V.25 : L'analyse granulométrique du sable.

| Ouverture de tamis (mm) | Masse de refus cumulés (g) | Pourcentage refus cumulés (%) | Pourcentage des tamisât cumulés (%) |
|-------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| 3,15 | 0,0 | 0,0 | 100 |
| 2,50 | 1,0 | 0,10 | 99,90 |
| 2,00 | 2,0 | 0,20 | 99,80 |
| 1,60 | 2,0 | 0,20 | 99,80 |
| 1,25 | 146,0 | 14,65 | 85,35 |
| 1,00 | 399,0 | 40,03 | 59,97 |
| 0,80 | 968,0 | 97,12 | 2,8 |
| 0,63 | 989,0 | 99,23 | 0,77 |
| 0,40 | 990,0 | 99,33 | 0,67 |
| F.T | 991,0 | 99,43 | 0,57 |

Exploitation des résultats:

L'exploitation des résultats est faite sous la forme de courbes, les quelles sont tracés en portant

- En abscisse : les ouvertures nominales (mailles) des tamis employés pour l'analyse.
- En ordonnée : les tamisâts cumulés, exprimés en pourcentages.

**Figure V.41** : courbe granulométrique du sable.

La courbe des tamisats cumulés est encore appelée courbe granulométrique directe.

Elle permet donc de déterminer deux paramètres fondamentaux dans la caractérisation granulométrique des matériaux filtrants, soit :

1-La taille effective :

La taille effective, exprimée en mm et notée D_{10} , correspond à l'ouverture de maille laissant passer 10 % en poids de l'échantillon soumis à l'analyse.

D'après la courbe granulométrique $D_{10} = 0,83$ mm

La diversité 60 %, exprimée en mm est donnée par l'ouverture de maille laissant passer 60 % en poids de l'échantillon soumis à l'analyse $D_{60} = 1$ mm

2-Le coefficient d'uniformité :

C'est un nombre sans dimension, est égal au quotient de la diversité 60 % par la taille effective. Ce coefficient donne une indication sur l'homogénéité granulométrique de la masse

filtrante. Le coefficient d'uniformité $C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}} = 1,205$

V.3.2-Dispositif expérimental :

Le bassin de filtration est en verre de dimensions suivantes :

Largeur : 25cm, longueur : 25cm, hauteur : 125cm.

Au fond du filtre il ya un robinet permet de collecter et d'évacuer les eaux filtrées.

Un petit réservoir fixé au dessus du bassin, sert à régulariser la hauteur d'eau et le débit entrant.

V.3.3-Fonctionnement du filtre :

Au début de la filtration, on réglera la vitesse de filtration et cela à l'aide d'un chronomètre et d'un bécher. L'eau traitée par coagulation-floculation s'écoule à travers différentes hauteurs de lit de sable, ces hauteurs sont 60, 75 et 100 cm.

A une hauteur de 60 cm on prélève des échantillons d'eau filtrée à des temps prédéterminés : 10 ; 20 ; 30; 60; 90 et 120 minutes, l'expérience est schématisée dans la figure V.42.

Après cette étape on refait la même expérience que précédemment en utilisant une hauteur de sable 75 cm.

On refait la même expérience pour une hauteur de sable de 100 cm.

Les prélèvements d'eaux filtrées sont faits dans les mêmes conditions que la première étape.

Une analyse est effectuée pour déterminer : les matières en suspension, la turbidité, le résidu sec, le résidu calciné et la perte au feu, et on dresse le tableau V.26

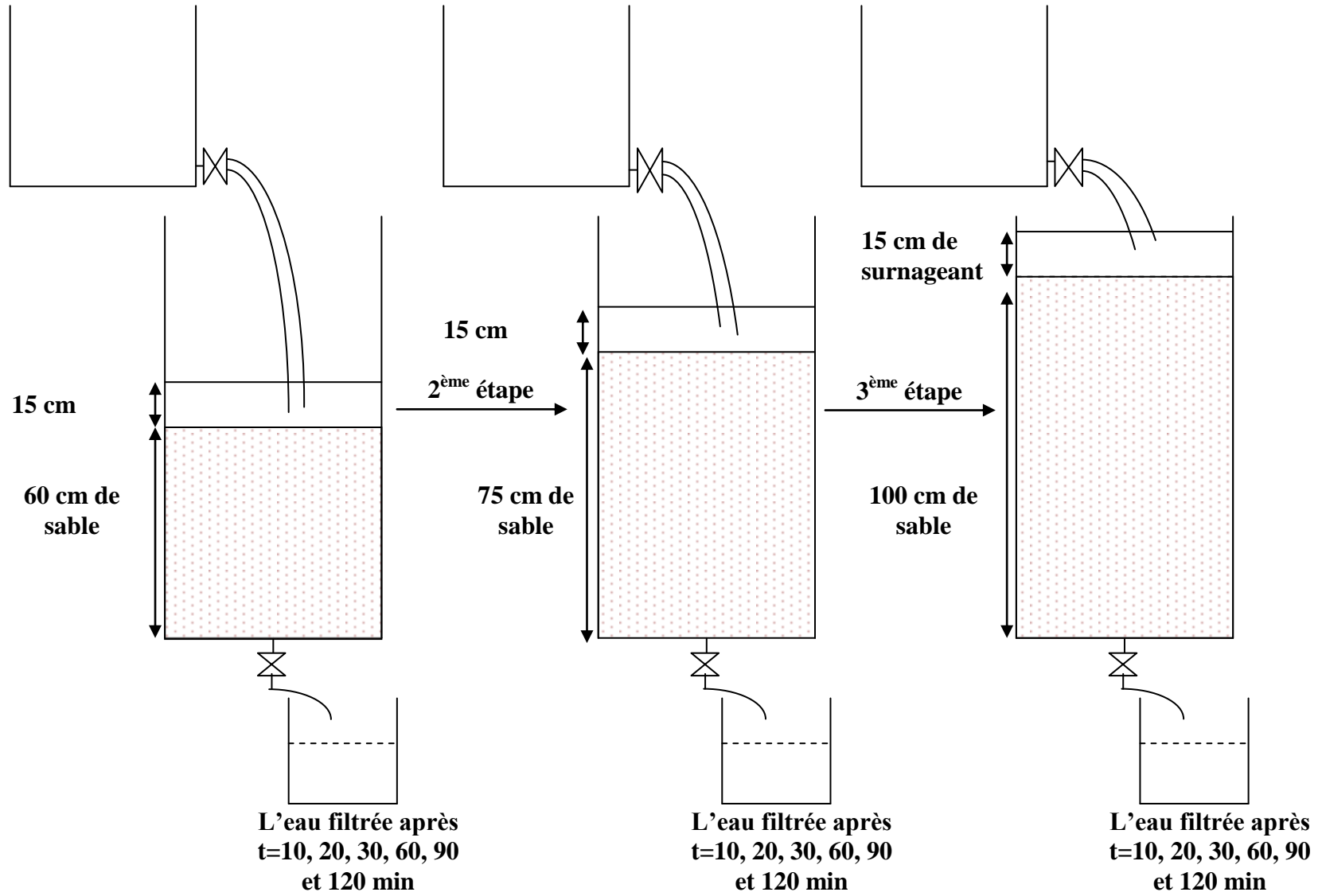


Figure V.42 : Représentation schématique de la filtration sur un lit granulaire

V.3.4-L'analyse de l'eau après filtration :

Tableau V.26 : Les résultats de l'analyse après filtration.

| Temps (min) | La hauteur du lit de sable (cm) | TUR (NTU) | MES (mg/l) | RS (mg/l) | RC (mg/l) | PAF (mg/l) |
|-------------|---------------------------------|-----------|------------|-----------|-----------|------------|
| 0 | | 2,45 | 8 | 2150 | 1470 | 680 |
| 10 | I | 1,69 | 7 | 2004 | 1484 | 520 |
| | II | 1,01 | 6 | 1920 | 1440 | 480 |
| | III | 0,606 | 4 | 1700 | 1380 | 320 |
| 20 | I | 0,89 | 6 | 1940 | 1480 | 460 |
| | II | 0,79 | 5 | 1785 | 1465 | 320 |
| | III | 0,458 | 3 | 1630 | 1350 | 280 |
| 30 | I | 0,72 | 5 | 1719 | 1339 | 380 |
| | II | 0,61 | 4 | 1576 | 1306 | 270 |
| | III | 0,250 | 2 | 1420 | 1220 | 200 |
| 60 | I | 0,65 | 5 | 1595 | 1325 | 270 |
| | II | 0,45 | 3 | 1370 | 1170 | 200 |
| | III | 0,113 | 1 | 1208 | 1068 | 140 |
| 90 | I | 0,56 | 4 | 1370 | 1210 | 160 |
| | II | 0,317 | 2 | 1250 | 1110 | 140 |
| | III | 0,112 | 1 | 1100 | 980 | 120 |
| 120 | I | 0,44 | 3 | 1208 | 948 | 130 |
| | II | 0,285 | 1 | 1120 | 900 | 220 |
| | III | 0,111 | 1 | 910 | 800 | 110 |

- **Le débit entrant :** $0,214 \text{ l/min} = 0,0128 \approx 0,013 \text{ m}^3/\text{h}$
- **Le débit sortant Q** $= 0,185 \text{ l/min} = 0,011 \text{ m}^3/\text{h}$.
- **La vitesse de filtration** $v = \frac{Q}{S} = 0,2 \text{ m/h}$.

D'après la vitesse de filtration $0,1 < v < 0,2 \text{ m/h}$ on procède à une filtration lente.

V.3.5-Interprétation des résultats :

Pour une analyse large des résultats trouvés, enregistrés dans le tableau (V.26), on a tracé les histogrammes déterminants l'évolution des différents paramètres physico-chimiques en fonction du temps de filtration.

1-La turbidité :

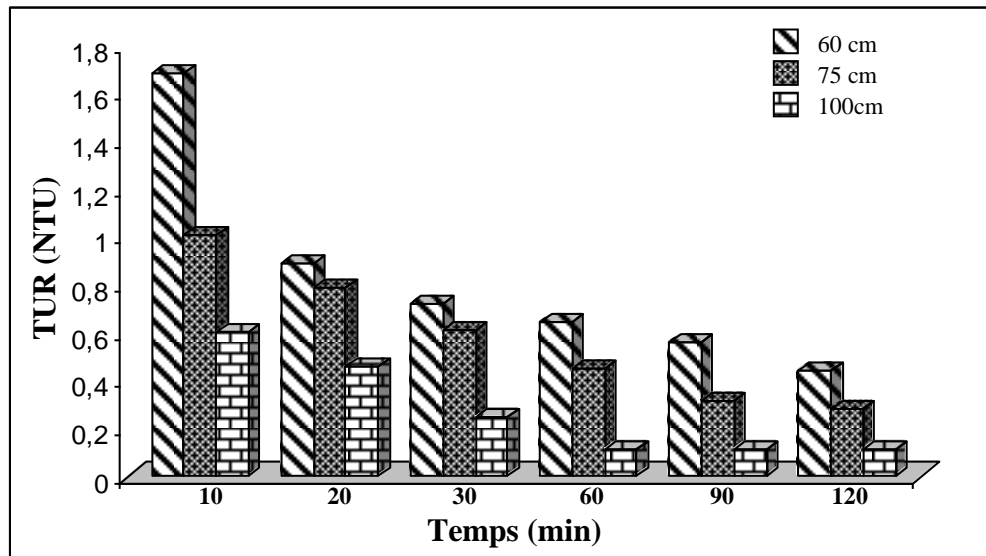


Figure V.43 : évolution de la turbidité en fonction du temps de filtration.

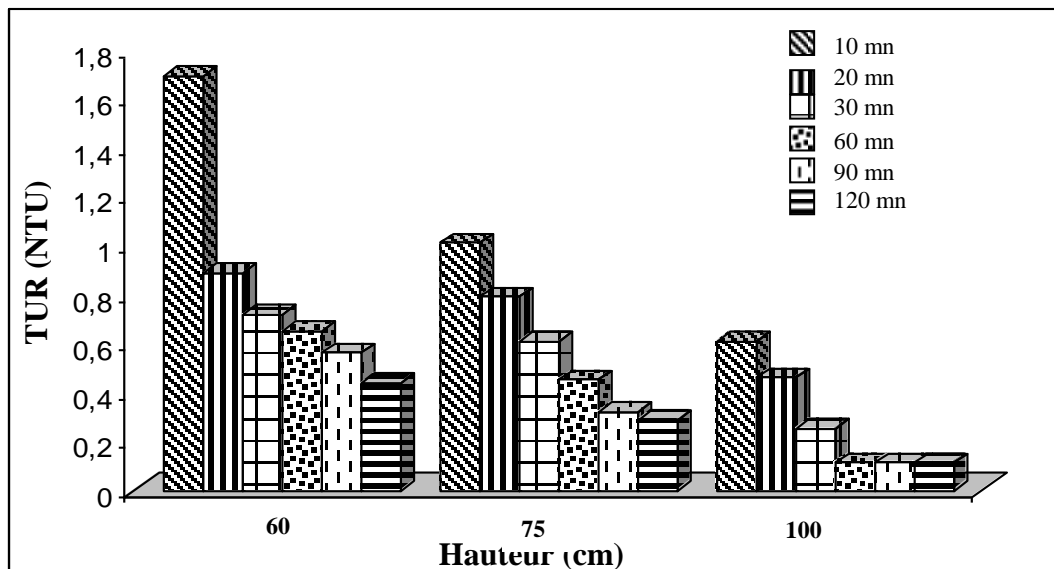


Figure V.44 : évolution de la turbidité en fonction de la hauteur du lit de sable.

D'après l'histogramme de la figure V.43 et V.44 on remarque que la turbidité diminue en fonction du temps et de la hauteur du lit de sable jusqu'à atteindre une valeur constante de 0,11 NTU pour une hauteur de 100 cm et un temps de 60 min.

On remarque que l'eau est complètement clarifiée après le passage à travers le filtre de sable.

2-Les matières en suspensions :

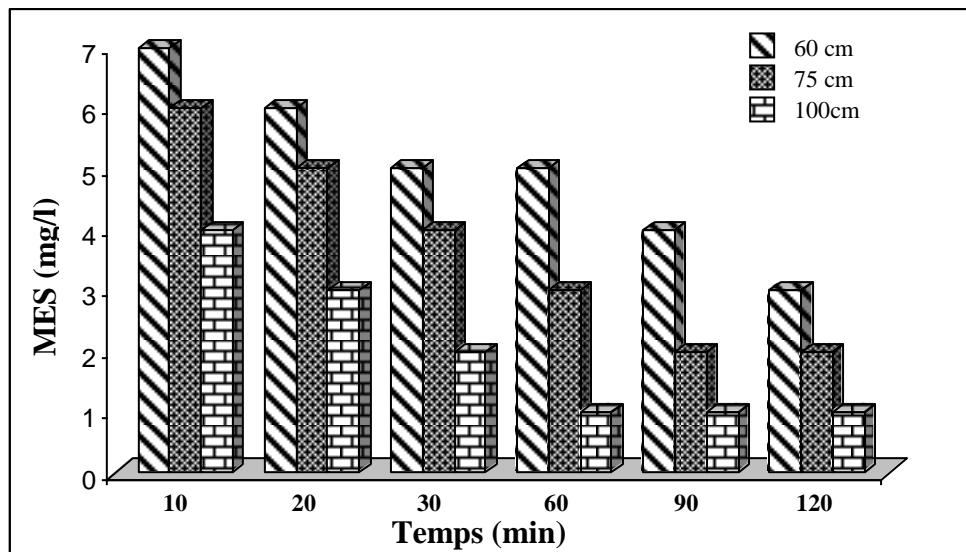


Figure V.45: évolution des MES en fonction du temps de filtration.

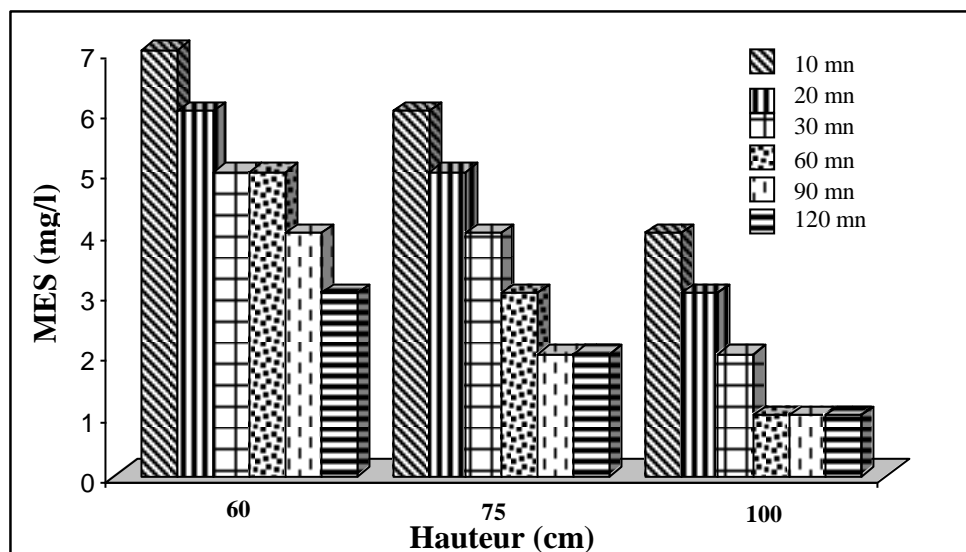


Figure V.46 : évolution des MES en fonction de la hauteur du lit de sable.

On constate que les MES ont diminué en fonction de temps de filtration et de la hauteur du lit de sable ce qui indique une bonne rétention des matières en suspension par le filtre de sable.

3-Le résidu sec :

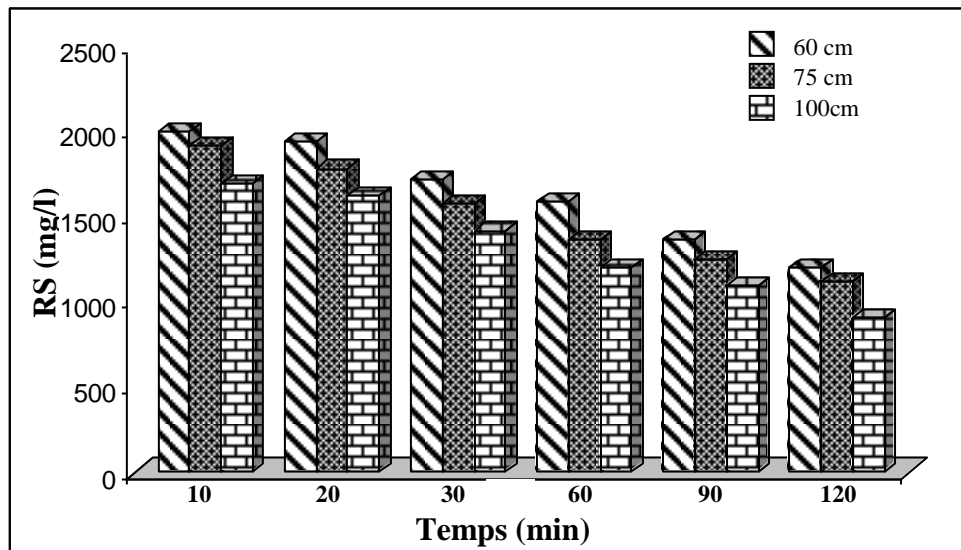


Figure V.47 : évolution du RS en fonction du temps de filtration.

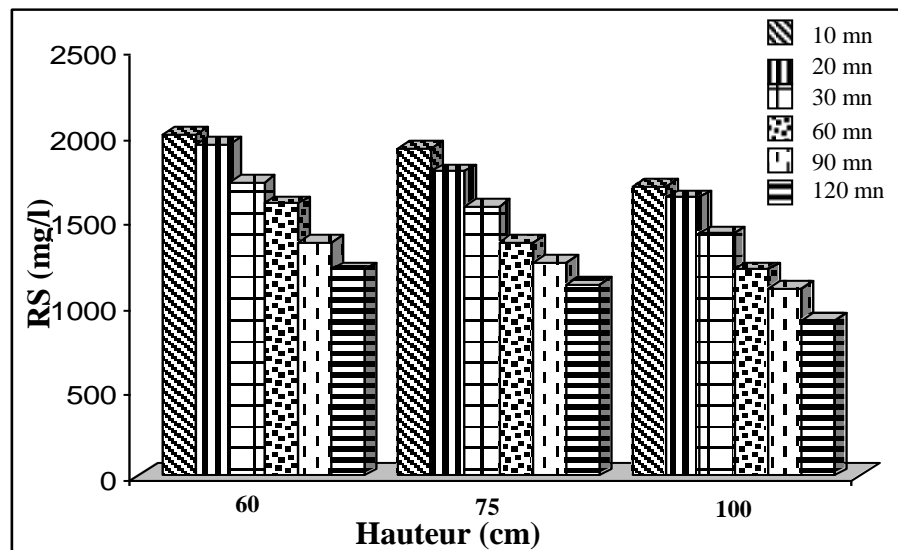


Figure V.48 : évolution du RS en fonction de la hauteur du lit de sable.

Comme les MES, les résidus sec diminuent comme le montre les figures (V.47) et (V.48) cela confirme la rétention des différents sels minéraux dans le milieu filtrant.

La hauteur du lit de sable joue un rôle très important ; plus la hauteur augmente, meilleur sera la filtration.

On constate qu'à une hauteur de 100cm et à 60min, les MES et la turbidité ont des valeurs très faibles.

On peut conclure que le temps de filtration et la hauteur du lit de sable optimums sont respectivement 60 min et 100 cm.

V.3.6-Dimensionnement du filtre lent :

V.3.6.1-Dimensionnement :

Pour dimensionner un filtre lent à sable, il convient de fixer les dimensions ci-après [77].

- *L'épaisseur du lit filtrant* : est comprise entre 1 et 1,2 m.
- *Granulométrie des matériaux filtrants* : on choisira du sable ayant un coefficient d'uniformité de moins de 3
- *Débit de filtration* est spécifique à chaque station de traitement.
- *Charge d'eau au-dessus du lit filtrant* : la couche d'eau au-dessus du sable est de 1 à 1,5 m [77].

1-Calcul de la surface totale de filtration :

La filtration lente a une vitesse de filtration d'environ 10 m/jours soit 0,42 m/heure [82], d'où on peut considérer que le régime d'écoulement est largement laminaire donc on peut utiliser l'équation de continuité :

$$Q = v.S$$

Avec v : vitesse de filtration (0,2 m/h) ;

Q : débit horaire entrant (m^3/h) ;

S : surface totale de filtration (m^2).

Donc :

$$S = \frac{Q}{v} = \frac{56,88}{0,2} = 284,4 \text{ m}^2$$

2-Calcul de la hauteur du filtre :

La hauteur du filtre lent doit être calculée de sorte qu'elle comporte les hauteurs partielles suivantes [77]:

h_c : hauteur d'eau sur le lit filtrant de 1 m ;

h_{sb} : épaisseur de la couche du sable de 0,6 à 1 m ; prenant 1 m ;

h_g : épaisseur de la couche de gravier de 20 cm ;

h_f : hauteur de la dalle du fond de 40 cm.

$$h = h_c + h_{sb} + h_g + h_f$$

$$h = 2,6 \text{ m}$$

La profondeur du bassin est d'environ 3 m [78], on prend comme une hauteur supplémentaire de sécurité de 40 cm; notre bassin a une hauteur 3 m

V.3.7-Analyse physico-chimique et bactériologique :

On se propose dans cette partie, de comparer les caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques de l'eau résiduaire industrielle des différentes étapes de traitement afin de mettre en évidence l'efficacité de traitement.

Résultats d'analyse :

Les résultats sont répertoriés dans les tableaux V.27, V.28 et V.29.

Les analyses de la minéralisation globale et bactériologiques ont été effectuées par le laboratoire de l'ADE de Chlef.

Tableau V.27: Paramètres physico-chimiques

| Paramètres | Eau de rejet | Après décantation | Après coag-floc | Après filtration |
|----------------------|--------------|----------------------|-----------------|------------------|
| T (°C) | 30,6 | 30 | 29,5 | 28,2 |
| PH | 8,7 | / | 6,4 | / |
| Conductivité (µs/cm) | 5030 | 4840 | 4910 | 3210 |
| Tur (NTU) | 5632 | 3574 | 2,45 | 0,113 |
| MES (mg/l) | 4125 | 2485 | 8 | 1 |
| RS (mg/l) | 5200 | 4120 | 2150 | 1208 |
| RC (mg/l) | 4250 | 3160 | 1470 | 1068 |
| PAF (mg/l) | 950 | 960 | 680 | 140 |
| TDS (mg/l) | 2206,14 | 1567,54 | 2153,50 | 1467,89 |
| S (%) | 2,3 | 2,2 | 2,4 | 2,1 |

Tableau V.28: Minéralisation globale

| Paramètres | Eau de rejet | Après décantation | Après coag- floc | Après filtration | Concentration maximale admissible (OMS). |
|--------------------------------------|--------------|----------------------|---------------------|---------------------|---|
| Ca ²⁺ (mg/l) | 546,7 | 246,49 | 70,14 | 36,07 | 200 mg/l |
| Mg ²⁺ (mg/l) | 32,06 | 15,79 | 12,52 | 9,72 | 50 mg/l |
| Na ⁺ (mg/l) | 236 | 195 | 130 | 113 | 200 mg/l |
| K ⁺ (mg/l) | 8,4 | 7,6 | 5,8 | 5,2 | 12 |
| HCO ₃ ⁻ (mg/l) | 1037 | 1000,4 | 939,4 | 854 | / |
| TH (°f) | 68 | 68 | 41 | 32 | 50 |
| TAC (°f) | 85 | 82 | 77 | 70 | 50 |

Tableau V.29: Paramètres indésirables.

| Paramètres | Eau de rejet | Après décantation | Après coag-floc | Après filtration |
|------------------|--------------|----------------------|-----------------|------------------|
| Zinc (Zn) (mg/l) | 1,14 | 0,685 | <0,05** | <0,05** |
| Fer (Fe) (mg/l) | 3,29 | 3,68 | 3,199 | 2,97 |

Tableau V.30: Résultats d'analyse bactériologique.

| Paramètres | Eau de rejet | Après décantation | Après coag-floc | Après filtration |
|--------------------------------------|--------------|----------------------|-----------------|------------------|
| Coliformes totaux (germes/100 ml) | 00 | 00 | 00 | 00 |
| Coliformes fécaux (germes/100 ml) | 00 | 00 | 00 | 00 |

On constate que :

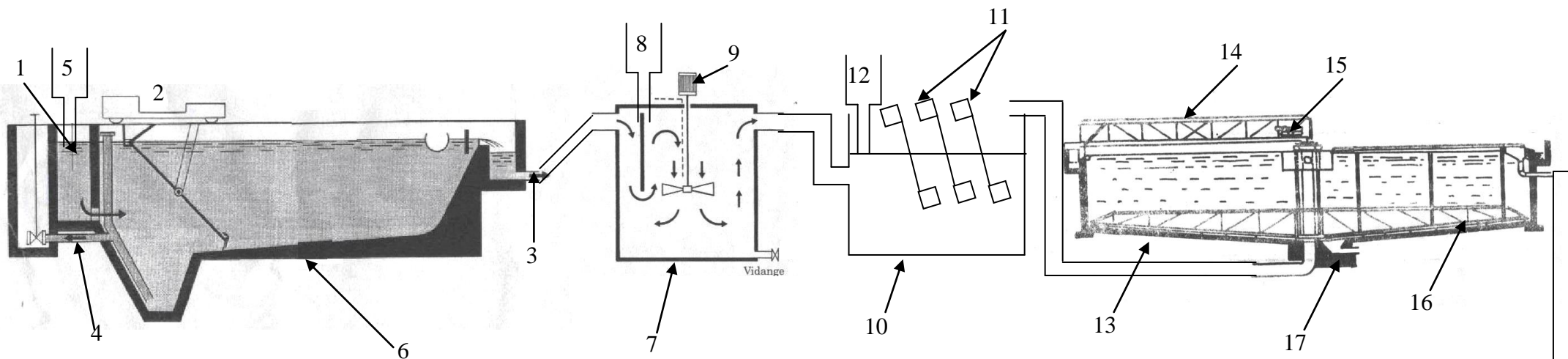
- Le pH diminue par suite de l'hydrolyse de l'aluminium.
- La décantation d'un certains nombres d'éléments permettent de réduire considérablement la conductivité (5030-4840 $\mu\text{s}/\text{cm}$), turbidité (5632-3574 NTU), MES (4125-2485 mg/l) et le RS (5200-4120 mg/l).
- La conductivité augmente après une étape de coagulation-floculation à cause des ions sulfates du sel utilisé lors de la coagulation.
- La diminution de la concentration des éléments confirme l'efficacité de la rétention du sable de ces derniers.

Conclusion:

Ces résultats montrent que le traitement par coagulation, floculation et filtration entraîne une diminution importante de la turbidité puisque qu'elle passe de 5632 à 0,113 NTU.

En plus de la réduction de la turbidité, ce traitement a permis de réduire un certains nombre de substances telle que : le calcium (546,7 à 36,07 mg/l), le magnésium (32,06 à 9,72 mg/l), le sodium (236 à 113 mg/l), le potassium (8,4 à 5,2 mg/l) et la dureté de 68 $^{\circ}\text{f}$ à 32 $^{\circ}\text{f}$, donc le traitement apparaît comme non seulement un traitement de clarification mais également comme un traitement d'affinage et d'élimination spécifique.

FIGURE V.49 : PROPOSITION D'UNE STATION D'ÉPURATION



- 1- Arrivé d'eau de rejet
- 2- Pont racleur
- 3- Sortie d'eau décantée
- 4- Evacuation des boues
- 5- Réservoir de HCl pour la correction du pH
- 6- Décanteur primaire
- 7- Bassin de coagulation
- 8- Réservoir de la solution de coagulant
- 9- Mélangeur rapide
- 10- Bassin de floculation
- 11- Agitateur mécanique
- 12- Réservoir de la solution de floculant
- 13- Décanteur secondaire
- 14- Pont racleur
- 15- Moteur
- 16- Lame racleuse
- 17- Compartiment à boues
- 18- Bassin de filtration

Conclusion

Conclusion et suggestion

Devenu très sensible les dernières années autant dans le monde industriel qu'auprès de l'opinion publique, le thème « pollution/dépollution des eaux » se pose en nouveau domaine de compétence. Nouveau métier à part entière également, il englobe pleinement aujourd'hui les préoccupations de tous les intervenants en matières économique, sociale et juridique.

Le panorama des techniques de dépollution n'est sans pas exhaustif et, d'ici quelque temps, peut être bien obsolète, en égard à la rapidité des développement technologiques intervenus dans l'entre-temps. Il donne néanmoins l'inventaire de l'existant des méthodes et techniques qui nous sont proposées aujourd'hui, avec leur possibilités d'utilisations et leur différents degrés d'expérimentation pour tenter de régler les situations engendrées par nos activités passées. Il s'agit bien en effet d'outil affecté à la réhabilitation et à la gestion du passé.

Du passif, faudrait-il préciser car il est clair que la stratégie pour l'avenir s'inscrit totalement dans la prévention plutôt que dans la « guérison ». L'objectif premier sera alors de protéger et de guérir notre environnement en toute connaissance de cause en évitant de recommencer les erreurs des années précédentes.

Ce travail est une contribution à l'élaboration d'une stratégie pour la préservation de l'environnement sur le plan régional par l'analyse des problèmes liés à la gestion des quantités importantes d'eaux rejetée dans l'oued Allala (TENES) sans traitement préalable.

La pollution des eaux constitue un problème très important pour l'unité « Céramit » TENES, cette pollution est due pour une large part au fait que l'usine ne dispose pas d'une installation de traitement de ces rejet qui atteignent 568,8 m³/jours.

L'objectif de notre travail était de caractériser cette pollution et d'étudier les possibilités de traitement de l'effluent de cette unité.

L'étude des différents prélèvements de l'eau de rejet durant les trois 2004, 2005 et 2006 nous a montré que l'eau a une charge polluante très élevés puisqu'elle atteint 3283,11 Kg/jour de MES et d'une quantité importante de zinc, cette concentration est très variable parfois atteint 9,79 Kg/jour, 193,6 Kg/jour de DCO et 35,26 Kg/jour de DBO₅, en conséquence une mise en point d'une chaîne de traitement s'avère nécessaire. Nous avons opté dans un premier temps par un traitement physique qui est la décantation et l'étude de dimensionnement d'un décanteur primaire, pour un débit de 56,88 m³/h ses dimensions sont :

- Longueur : 10 m
- Largeur : 2 m
- Hauteur : 3 m.

Les résultats obtenus montrent un abattement des matières en suspension de 62 %.

Au vu de ces résultats, il s'est avéré nécessaire de poursuivre le traitement par une méthode chimique la coagulation-floculation, le calcul du dimensionnement des différents bassins a permis de donner les résultats suivants :

Bassin de coagulation :

- Le volume du bassin $V = 1 \text{ m}^3$
- La hauteur du bac $h = 2 \text{ m}$
- La largeur $l = 0,5 \text{ m}$.
- La longueur $L = 1 \text{ m}$

Bassin de floculation :

- Volume du bassin $V = 23,7 \text{ m}^3$
- La profondeur du bassin $H_{\max} = 1,43 \text{ m}$
- La largeur du bassin $l = 2,87 \text{ m}$
- La longueur du bassin $L = 5,77 \text{ m}$

Le décanteur que nous proposons pour ce type d'eau a les caractéristiques suivantes :

- ✚ De forme circulaire
- ✚ Volume = $28,44 \text{ m}^3$
- ✚ Surface = $12,95 \text{ m}^2$
- ✚ Diamètre = $4,06 \text{ m}$

Les résultats montrent une diminution de la turbidité de 99,90 %.

Dans le but de l'utilisation de cette eau dans l'industrie et pour la finalité de traitement on a procédé à un traitement par filtration sur différentes hauteurs de sable. L'étude du lit de sable nous a montré qu'une couche de sable d'une hauteur de 100 cm pendant 1 heure, permet une diminution de la turbidité de 99,98 %.

Les dimensions du filtre que nous avons proposés sont les suivants :

La hauteur $h = 3 \text{ m}$

La surface $S = 284,4 \text{ m}^2$

Des analyses physico-chimiques et bactériologiques faites sur l'eau de rejet dans différents stades de traitement montrent que le procédé de traitement utilisé entraîne en plus de celle de la turbidité, l'élimination d'une certaine partie des substances chimiques.

Enfin, il nous semble qu'une poursuite dans le cadre de ce travail mérite d'être soutenue, pour ce fait, on recommande les études complémentaires suivantes :

-Une étude économique sur le coût d'investissement et d'exploitation de la filière proposée semble être à compléter ;

- Faire une étude sur l'automatisation afin d'intégrer à l'unité proposée, au fil du temps, une télégestion par l'automate. Il existe des programmes mathématique pour la détermination de la concentration optimale de coagulant et floculant sans recours au jar-test.
- Une étude approfondie sur le traitement des boues, d'autant plus que ces boues sont très riches en eau qui pourrait être recyclé en tête de station, ce qui permettrait un gain non négligeable en eau.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] JOUENNE C.A,
"Traité de céramique et matériaux minéraux". Septembre 1975.
- [2] LE DOUSSAL.H et VOUILLEMENT.M,
"Céramiques de bâtiment, carreaux et produits sanitaires" Techniques de l'ingénieur, traité construction C 940, 1986.
- [3] VOUILLEMENT.M,
"Les matières premières pour l'industrie du sanitaire" les techniques mines & carrière, novembre 1998.
- [4] Matières premières utilisées en céramique industrielle
http://ogabathuler.Free.Fr/Français/ceramiques/matières_prem.html.
- [5] Les matières premières
http://poterie.DumaraisFree.Fr/presentation/Mat_prem.html.
- [6] HAUSSONE.M,
"Technologie céramique générale, Faïence-Grés-Porcelaine" Volume I, 2^{ème} édition revue et augmentée, 1969.
- [7] FRESENUIS.W & SCHNEIDER.W,
"Technologie des eaux résiduaires", production, collecte, traitement et analyse des eaux résiduaires. Edition Springer-verlag, 1990.
- [8] AFIR.D & MEZAOU.A,
"Application et dimensionnement d'un procédé de coagulation-floculation pour le traitement des eaux résiduaires de la papeterie de Baba Ali", mémoire d'ingénieur, école nationale de polytechnique, 1984.
- [9] GAUJOUS.D,
"La pollution des milieux aquatiques", aide mémoire 2^{ème} édition revue et augmentée, Lavoisier TEC DOC Paris, 1996.
- [10] MEINCH.F, STOOF.H, HÜTTER.H,
"Les eaux résiduaires industrielles" 2^{ème} Edition Masson, 1977.
- [11] BOEGLIN.JC,
"Analyse des eaux résiduaires, mesure de pollution", Edition technique de l'ingénieur, traiter de l'environnement.Article P 4200, 1988.

[12] DEGREMENT,

"Mémento technique de l'eau". Tome I, 1989

[13] MARCEL DORE,

"Chimie des oxydants & Traitement des eaux", Edition Lavoisier, 1989

[14] METCHAT. M & SEMARA. M,

"Analyse des eaux résiduaires industrielles. Mesure de pollution de l'unité céramique de Ténès selon la réglementation en vigueur", mémoire d'ingénieur en biologie, U.H.B.C, 2006.

[15] Définition des principaux paramètres de caractérisation de la pollution des eaux et leur incidence sur l'environnement.

<http://www.drire.gouv.fr/basse.normandie/environnement/eau/definition%5C%20definition.html>.

[16] PERRAUD.B,

"Chimie de l'environnement Air, eau, sol. 1ère édition : DEBOECK p 477, 2004.

[17] WESLEY ECKENFELDER.W,

"L'eau dans l'industrie, pollution traitement recherche de la qualité" Entreprise moderne d'édition technique et documentation, 1972.

[18] BEAUDRY. J.P,

"Traitement des eaux". Edition de Griffon d'argile, 1984

[19] COIN. L,

"La pratique de l'eau, usages domestiques collectifs et industriels. Edition du Moniteur, 1981.

[20] DESJARINS.C

"Simulation et étude en laboratoire de la floculation lestée (Actiflo) à l'aide d'une procédure modifiée de jar test" mémoire présentée en vue de l'obtention du diplôme de maîtrise ès science appliquées en génie civil, 1999.

[21] DESJARDINS.R,

"Le traitement des eaux, 2^{ème} édition revue de l'école polytechnique de Montréal, 1990

[22] MOHAND-SAID OUALI,

"Traitement des eaux", office des publication universitaires, 2001.

[23] DUPANT.A,

"Hydraulique urbaine", Edition Eyrolles, 1983

[24] KETTAB.A

"Traitement des eaux, les eaux potables". Edition O.P.U, 1993.

[25] "Le sable de filtration"

<http://gls.fr/memotec> 30.htm

[26] Filtration

http://www.eduenet.education.fr/rn_chimie/gen_chim/triboulet/rtf/filtration.pdf

[27] Filtration lente sur sable : présentation générale

http://www.oiseau.fr/REFEA/Fiches/traitement_potable/1_filtration_lente_pG1.htm

[28] Types de filtres existant

http://paravarini.free.fr/Filtration_2.htm

[29] AMIRTHARAJAH.A., O'MELLA.C.R.

Coagulation Processes destabilization, Mixing, and Flocculation. Chapitre 4 dans Water quality and Treatment : a Handbook of Community Water Supplies. A WWA. 4^{ème} édition, 1990.

[30] CARDOT.C,

"Génie de l'environnement, les traitements de l'eau, procédés physico-chimiques et biologiques Cours et problèmes résolus" Edition ellipse, 1999.

[31] AOUABED.A,

"Réduction de la turbidité d'une eau de surface : Application à l'eau du barrage de Keddara", mémoire de Magister, U.S.T.H.B, Alger 1991.

[32] AOUABED.A,

"Extraction, caractérisation et application à la coagulation floculation de la matière organique naturelle des eaux de barrage de Keddara", Thèse de Doctorat, Université Saad Dahlab. Blida, 2003.

[33] QUINTERNET.D,

"Contribution à la caractérisation des floes (application à la floculation de suspension argileuse) ", Thèse de Doctorat, l'Institut National Polytechnique de Toulouse, 1985.

[34] STUMM.W et MORGAN.J.J,

"Aquatic chemistry, Wiley Interscience", New-York, second edition, 1981.

[35] FEISSINGER.F,

"Techniques des sciences municipales de l'eau". Avril, 147-161, 1976.

[36] MASSCHLEIN.W.J,

"Processus unitaire du traitement de l'eau potable". Edition Cebedoc, 181, 222-647, 1996.

[37] MATIJEVIC.E,

"Colloid stability and complex chemistry", J.C, and Interf. Sci, 43, 217-245, 1973.

[38] MOHTADI.M.F et RAO.P.N,

"Effect of temperature on flocculation of aqueous dispersions", W.Res, 7, 747-767, 1973.

- [39] TRICHET.F,
"Cinétique de floculation, mesure et application au traitement des eaux", Thèse de Doctorat des sciences pharmaceutiques, Faculté de Montpellier ; France,1985.
- [40] HAMMER.M.J,
Water and wastewater Thechnology, Second Edition, John Wiley and Sons, 1986.
- [41] FRANCESCHI.M,
"Contribution à l'étude des mécanismes de coagulation floculation, modélisation de la phase de floculation. Etude de la morphologie des agrégats formés"
Thèse de doctorat physique et chimie de l'environnement Université Paul Sabatier-Toulouse, 1991.
- [42] PENG F.F, PINGKUAN DI,
"Effect of multivalent sals-calcium on the floculation of kaolin suspension with anionic polyacrylamide". Journal of colloid and interface science 164 pp 229-237, 1994.
- [43] M. SEKIOU.F,
"Effet de la nature des particules solides disperses et des conditions de formation du floc sur l'efficacité de la floculation" Mémoire de Magister en hydraulique. Ecole Nationale Supérieure de l'hydraulique, 2001.
- [44] LETTERMAN R.DD
"Influence of rapid mix parameters on flocculation" Journal of AWWA, pp 716-722, 1973.
- [45] KELLIL.A,
"Caractéristiques morphologiques des particules floculées : Influence des conditions hydrodynamiques de formation". Thèse de Doctorat d'état, INP Toulouse, Mars 1989.
- [46] FRANCOIS R.J,
"Ageing of aluminium hydroxide flocs" Water Research Vol 21 N°5. Pp 523-531, 1987.
- [47] BAZER-BACHI, PUECH-COSTE, BEN AIM R et AL,
"Modélisation mathématique du taux de coagulant dans une station de traitement d'eau"
Revue des sciences de l'eau. Pp 377-397, 1990.
- [48] LURIE.M, REBHUN.M,
"Effect of properties of polyelectrolyte on their interaction with particulates and soluble organics" pp 84-91.4th international conference: the role of particle characteristics in separation process Monday 28 October-Wednesday 30 October, The Hebrew University of Jerusalem Edited by Professor K J IVES and Professor A Adin.
- [49] DENTEL S.K,
"Application of precipitation-charge neutralisation model of coagulation"

Environnement science technology Vol.2 N°7, pp 825-832, 1988.

[50] DENTEL.S.K et GOSSET.J.M,

J.AWWA, 80 :4 :187, April 1988.

[51] BECHAR.JP, BOUTIN.P,MERCIER.B et NUER.P,

"Traitement des eaux usées". Edition: Eyrolles, 1984.

[52] EDZWALD.J.K et VAN BENSCHOTEN.J.E,

"Aluminium coagulation of natural organic water", chemical water and wastewater treatment, Hahn, H.H and Kluge, R. (Eds), Springer-Verlagberlin, Heidelberg, 341-359, 1990.

[53] BAES.C.F and MESMER.R.E,

The hydrolysis of cations. John Weily and Sons, New York, 1976.

[54] IDDICK.T,

"Livingstone, Bull Co. Wynne wood Pennsylvania", p. 372, 1968.

[55] BOTTERO.J.K and BERSILLON.J.L,

Aluminium and iron (III) chemistry: Some implications for organic substance removal. Aquatic Humic Substances: Influence on fate and treatment of pollution. Suffet. I. N and Mac Carthy. P (Eds). Am. Chem. Soc, Washington, 425-441, 1989.

[56] JOHANSSON.G,

On the crystal structure of some basic aluminium. Satts. Acta. Chimica Scand, 14, N°3, 771-773, 1960.

[57] BOTTERO.J.K, CASES.J.M, FIESSINGER.F and POIRIER.J.E,

Studies of hydrolysed aluminium chloride solution.I. Nature of aluminium species and coposition of aqueous solution. J. phys. Chem., 84, 2933-2937, 1980.

[58] HANH.H.H et STUMM.W,

Kinetics of coagulation with hydrlysed Al (III): The rate determining step. J. Colloid Interface Sci., 28 N°1, 134-144, 1968.

[59] AMIRTHARADJAH.A & MILLS.K.M,

Rapid-mix design for mechanisms of alum coagulation. J. Am. Wat. Wks. Ass., 74, N°5. April 1982.

[60] DEMPSEY.B.A, GANHO.R.M and O'MELLIA.C.R,

The coagulation of humic substances by means of aluminium solts. J. Am. Wat. Wks; Ass., 76 N°4, 141-150, 1984.

[61] VEN BENSCHTEN J.E and EDZWALD J. K,

Chemical aspects of coagulation using aluminium slots-I. Hydrolytic reactions of alum and polyaluminium chloride, wat. Res, 24, 1519-1526, 1990.

[62] KIM.H.S,

"Contribution à l'étude des interactions entre une suspension argileuse et des polyélectrolytes cationiques". Thèse de Doctorat troisième cycle, Université PAUL SABATIER de Toulouse, 1983.

[63] HUND.T.R et O'MELIA.C.R,

Aluminium-fulvic acid interactions: mechanisms and applications. J. Am. Wat. Wks. Ass., 80, N°4, 176-186, 1988.

[64] JAMES.G.V,

A survey of current methods of purifying domestic supplies and treating industrial effluents and domestic sewage, fourth edition, 1971.

[65] SNOEYINK.V.L et JENKINS.D.L,

Water chemistry, John Wiley and sons, New-York, 1980.

[66] JOHNSON.P.N et AMIRTHARAJAH.A,

"Ferric chloride and alun as single and dual coagulant". Journal of the American Water Works Association, 219-237, 1983.

[67] FIESSINGER.F,

"Coagulation", paper presented in congress of AIDE, Kyoto 1978.

Liaison Cortambert, vol.53, p. 32-37, Avril 1979.

[68] KAOULA.B et MARSALLI.S,

"Détermination des conditions optimales de traitement d'une eau de surface". Projet de fin d'étude. Université des sciences et de la technologie Houari Boumediène (U.S.T.H.B), 1989.

[69] IVES.K.J,

"Solid-liquid separation", Ed.L.SVAROVSKY, second edition, Butter worths, 1981.

[70] CAMP.T.R et STEIN.P.C,

"Velocity gradients an internal works in fluid motion". Journal of the Boston Society of civil engeneers. 30/219, 1943.

[71] GREGORY.J,

"Flocculation in laminair tube flow". Chemical Engineering Science, 36 :11, 1789-1794, 1981.

[72] PICHE.R,

L'eau et l'industrie 34:49, Avril 1977.

[73] COLIN.F,

"Etude fondamentale de la coagulation et de la flocculation". Cours International IRCHA, Paris, 1-56, 1976.

[74] JEAN RODIER,

"L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer", 7^{ème} édition. Edition : Dunod, 1984

[75] MOKADEM.M,

"Technologies de traitement des eaux de surface", mémoire d'ingénieur, C.U.CHLEF, 1993.

[76] EDELINE.F,

"L'épuration physico-chimique des eaux, théorie et technologie", Edition CEBE DOC, 1985.

[77] MOKADEM.M,

"Contribution à l'étude de filières de traitement des eaux de barrages en Algérie, optimisation et dimensionnement par traitement numérique" mémoire de Magister, U.H.B.C, Chlef 1998.

[78] HUISSAM.L & COL,

"Alimentation en eau des petites collectivités", Edition Centre collaborant de l'OMS, 1983

[79] M.MOHAMEDI.B,

"Dimensionnement d'une usine d'eau potable, application aux eaux du barrage de GHRIB" Mémoire d'ingénieur en hydraulique, école nationale supérieure de l'hydraulique, 2003.

[80] ROUSTAN.M, PHARAMOND.J,

"Agitation-mélange" Technique de l'ingénieur. JII2, A5900.

[81] SCHULMAN.J,

"Cours du traitement des eaux"

[82] Anonyme : Source et ressources N°2, Ed.S.A.G .E.P,1995.

[83] SCHWARGENBACH.G & HERMAN FLASCHKA.H

" Die komplexometrische titration, 1965 "

ANNEXES

La céramique et les procédures technologiques du traitement des eaux

I Présentation de l'unité :

L'unité céramique sanitaire est située à environ 5Km au sud de la ville de TENES, et à 48 Km du Chlef lieu de wilaya. Elle a été installée par un constructeur Italien durant la période de 1975 à 1978, la production a débuté en 1979.

L' « ECO » est née à la suite de la restructuration de la société mère « SNMC » dont le siège se trouve à Tlemcen, ce qui englobe 03 unités de production sanitaire qui sont : l'unité ECO TENES, REMCHI et celle de GHAZAOUAT.

Elle occupe une superficie de 15 hectares dont 9 hectares sont couverts. Vu la grande superficie qu'elle occupe, elle dispose de huit ateliers et un bâtiment administratif avec un effectif d'environ 600 personnes.

L'unité céramique de TENES a pour but de fabriquer des articles sanitaires pour l'aménagement de salle de bain tel que : Lavabo, receveur douche...etc.

Sa capacité de production selon son constructeur est de l'ordre 8400 t/an de produits sanitaire, ce qui donne environ 400000 et 500000 pièces par an. L'unité céramique sanitaire de TENES est l'une des grandes et modernes unités céramique sanitaire implantée jusque là en Algérie.

II Matières premières utilisées :

Les matières premières importées sont telles que :

- Le feldspath turc.
- Les kaolins LPC et RM.
- L'argile hycast.
- L'oxyde de zinc.
- Zircon.

Les matières locales sont :

- Le calcaire.
- Le sable de Sidi Bouali.

Les pourcentages des matières premières sont illustrés dans les tableaux 1, 2 et 3.

| MP | % |
|---------------------------|-----|
| Sable SB | 23 |
| Argile Hycast LR | 23 |
| Kaolin LPC | 16 |
| Kaolin RM | 08 |
| Feldspath Na (normale) | 19 |
| Casse sanitaire broyée GH | 05 |
| Total | 100 |

Tableau 1 : Formulation pâte vitreous.

Ajouts :

- Silicate de soude : 0,2%.
- Carbonate de soude : 0,01%.
- Carbonate de baryum : 0,01%.

| MP | % |
|---------------------------|------|
| Argile Hycast LR | 22 |
| Kaolin LPC | 12 |
| Kaolin RM | 08 |
| Quartz SB | 12 |
| Chamotte AGS 300 μ | 42,5 |
| Casse sanitaire broyée GH | 3,5 |
| Total | 100 |

Tableau 2 : Formulation pâte grés fin.

Ajouts :

- Silicate de soude : 0,12%.
- Carbonate de soude : 0,06%.
- Carbonate de baryum : 0,06%.

| Matières premières | % |
|-----------------------------|--------|
| Sable 200 | 28,34 |
| Feldspath sodique (normale) | 29,50 |
| Kaolin RM | 10,50 |
| Carbonate de baryum | 3,34 |
| Calcaire F15 | 13,34 |
| Oxyde de zinc | 1,66 |
| Zircon | 11,66 |
| Talc | 1,66 |
| Totaux | 100,00 |

Tableau 3 : Formulation émail blanc opaque.

Ajouts :

- Silicate de soude : 0,05%.
- Carbonate de soude : 0,02%.
- Chlorure de cobalt : 0,015%.
- Eau

II.1-Caractéristiques de quelques matières premières :

1-Le groupe de la kaolinite:

Ce groupe comprend

- la Kaolinite : $2\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, 2\text{H}_2\text{O}$ ou : $(\text{Si}_2) (\text{Al}_2) (\text{O}_5) (\text{OH})_4$.

Ce sont des minéraux alumineux. Ils sont réfractaires point de fusion 1730 - 1735°C.

2-Composition de l'argile:

2.1-Le fer:

Les sels contenus dans les argiles sont soit sous la forme ferrique, soit sous la forme ferreuse.

Ils donneront en grande partie la coloration des argiles après cuisson.

Ces sels se rencontrent sous forme de :

- Silicates de fer.
- D'hydrates de fer (limonite $\text{FeO} \cdot \text{OH} \cdot n\text{H}_2\text{O}$).
- d'oxydes de fer (hématites Fe_2O_3).

2.2-Les sels de chaux et de magnésie:

Sous forme de nodules, ils rendent les argiles inutilisables, car ils provoquent des éclatements après cuisson.

Dilués dans la masse, ils se combinent à la silice et à l'alumine pour donner des composés très fusibles.



- La chaux se rencontre plus à l'état de calcaire (CaCO_3) qu'à l'état de gypse ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$).
- La magnésie se trouve sous forme de carbonate (MgCO_3) ou de serpentine ($2\text{SiO}_2 \text{MgO} 2\text{H}_2\text{O}$).

III-Les eaux utilisées dans l'unité :

L'eau utilisée dans la fabrication est une eau de forage qui passe par une installation de traitement au niveau de l'unité.

L'industrie de la céramique exige une eau ayant des caractéristiques bien déterminées ; pour le bon déroulement du processus technologique.

Dans l'unité ECO, il existe 03 types d'eau ; qui sont :

-  Eau brute.
-  Eau traitée ou déminéralisée.

III.1-Eau brute :

C'est une eau thermale avec une température de 35°C ; une salinité d'environ 2600 mg/l et un taux de bicarbonates, ce qui nécessite de les éliminer.

III.2-Eau traitée :

Les cations Ca^{2+} et Mg^{2+} influent directement sur les propriétés rhéologiques de la barbotine parce qu'ils sont des éléments flocculants. Pour éviter ces inconvénients on applique les traitements suivants :

a-Filtre à sable :

L'eau sera filtrée dans un lit de sable pour éliminer les matières en suspension.

b-Filtre à charbon actif :

L'eau passe à travers un lit de charbon actif pour éliminer les matières en suspension.

c-Osmose inverse :

L'eau envoyée dans les modules par une pompe centrifuge pour atteindre une pression de 28 bars.

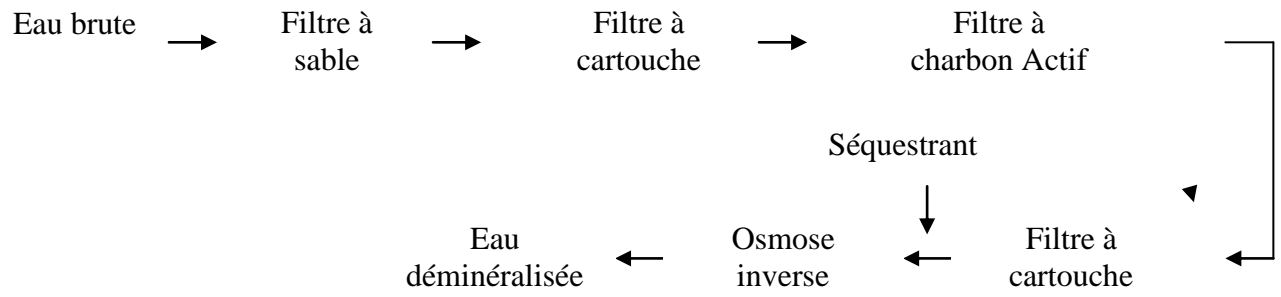
L'eau traversant les membranes sort avec une salinité 10 %.

Il y a deux étages : -3 modules pour le premier étage.

-2 modules pour le deuxième étage.

Le concentra du premier étage passe dans le deuxième étage, et le perméat du premier et deuxième étage sont mélangés.

Schéma de la station :



1-La couleur :

- 1-Assembler le dispositif de filtration (papier filtre, support de filtre, fiole à vide et trompe à eau).
- 2-Filtrer une portion de 50 ml d'eau à analyser.
- 3-Remplir un flacon colorimétrique (le blanc) avec 25 ml d'eau distillé.
- 4-Entrer le numéro de programme mémorisé pour la couleur varier (120).
- 5-Tourner le bouton de réglage de longueur d'onde jusqu'à ce que l'affichage indique 45 nm.
- 6-Remplir un second flacon colorimétrique (l'échantillon) avec 25 ml d'eau à analysée filtrée.
- 7- placer le blanc dans le puits de mesure et on fixe le zéro.
- 8- Placer l'échantillon préparé dans le puits de mesure et lire le résultat en unité Platine Cobalt.

2-Mesure de pH**Principe**

La différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence (Calomel-KCl saturé). Plongeant dans une même solution, est une fonction linéaire du pH de celle-ci. Le potentiel de l'électrode est lié à l'acidité des ions H^+ .

Appareil : pH mètre

Electrode : Electrode de pH

Réactifs : Tampon pH=9 Tampon pH=7 Tampon pH=4

Mode opératoire**Etalonnage de l'appareil**

- Allumer le pH mètre (bouton rouge)
- Brancher l'électrode de pH.
- Rincer l'électrode avec de l'eau distillée.
- Vérifier l'électrode (niveau de la solution de KCl).
- Afficher la température ambiante.
- Prendre dans un petit bûcher, la solution tampon pH=7.
- Régler l'agitation à faible vitesse.
- Tremper l'électrode de pH dans la solution tampon pH =7.
- Laisser stabiliser un moment.
- Enlever l'électrode et la rincer abondamment avec l'eau distillée.
- Ré étalonner de la même manière avec les solutions tampon pH =9 et pH =4.

-Puis rincer abondamment l'électrode avec l'eau distillée.

Dosage de l'échantillon

-Prendre environ ≈ 100 ml d'eau à analyser.

-Mettre un agitateur avec faible agitation.

-Tremper l'électrode dans le becher.

-Laisser stabiliser un moment avec une faible vitesse d'agitation.

-Puis noter le pH.

3-Mesure de la conductivité

Il existe une relation entre la teneur en sels dissous d'une eau et la conductivité électrique. L'unité utilisée pour exprimer la conductivité est le micro siemens par centimètres ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

La relation entre la résistivité et la conductivité est la suivante :

$$\text{Résistivité } (\Omega \cdot \text{cm}) = \frac{1000000}{\text{conductivité } (\mu\text{S} / \text{cm})}$$

1 Après avoir étalonné rigoureusement l'électrode de la conductivité, placer cette électrode dans l'eau à analyser.

2 La mesure peut s'effectuer en sélectionnant dans le menu "affichage numérique" en attendant que la valeur affichée se stabilise ; le résultat est donné en ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

4-Mesure de la salinité

Après avoir étalonné rigoureusement l'électrode de la salinité, placer cette électrode dans l'eau à analyser.

La mesure peut s'effectuer en sélectionnant dans le menu "affichage numérique" en attendant que la valeur affichée se stabilise; le résultat est donné en (%).

5-Le taux des sels dissous (TDS)

Après avoir étalonné rigoureusement l'électrode de taux des sels dissous, placer cette électrode dans l'eau de rejet à analyser.

La mesure peut s'effectuer en sélectionnant dans le menu "affichage numérique" en attendant que la valeur affichée se stabilise; le résultat est donné en (mg/l).

6-Mesure de l'oxygène dissous (OD)

Après avoir étalonné rigoureusement l'électrode de l'oxygène dissous, placer cette

électrode dans l'eau de rejet à analysée.

La mesure peut s'effectuer en sélectionnant dans le menu "affichage numérique" en attendant que la valeur affichée se stabilise; le résultat est donné en (mg/l).

7-Mesure de la turbidité :

Réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matière non dissoute.

Principe

Pour tout échantillon d'eau, la mesure de la lumière diffusée et de la lumière transmise permet la détection de matières non dissoutes, absorbant mais diffusant mal, qui passeraient inaperçues par la seule mesure de la lumière diffusée.

Appareillage : HACH 2100N

-Cuvette d'évaluation de la transparence constituée d'une cuvette de verre incolore de 50 mm, de diamètre.

Mode opératoire

Remplir une cuvette de mesure propre et bien essuyer avec du papier hygiénique avec l'échantillon à analyser bien homogénéiser et effectuer rapidement la mesure. Il est nécessaire de vérifier l'absence de bulle d'air avant la mesure.

Expression des résultats

La mesure est obtenue directement en NTU.

N.B : Si le résultat de la turbidité, les MES, nous donne hors gamme de mesure, on peut faire une dilution en prenant un volume V_1 de l'échantillon en le diluant avec un volume V_2 d'eau distillée. On repère l'opération pour l'échantillon dilué et on lit le résultat (x). La valeur vraie de l'échantillon est la lecture (X) multipliée par le facteur de dilution (f_d) dont : $f_d = \frac{V_1 + V_2}{V_1}$

8-Les matières en suspension MES :

1-Homogénéiser 500 ml d'échantillon dans un homogénéiseur à grande vitesse pendant deux minutes.

2-Verser l'échantillon homogénéisé dans un bécher de 60 ml.

3-Pipeter immédiatement 25 ml de l'échantillon homogénéisé au centre du bécher dans un flacon colorimétrique.

4-Remplir un second flacon colorimétrique (le blanc) avec 25 ml d'eau distillé.

5-Entre le numéro de programme mémorisé pour les matières en suspension (630).

6-Tourner le bouton de réglage de longueur d'onde jusqu'à ce que l'affichage indique 810 nm.

7-Placer le blanc dans le puit de mesure et on fixe le zéro.

8-placer l'échantillon préparé dans le puit de mesure et lire le résultat en mg/l.

9-Résidus secs (RS) :

La détermination des résidus secs permet d'estimer la teneur en matières dissoutes et en suspension d'une eau.

Soit un creuset de masse M_0 , bien séché à l'étuve et refroidis à l'abri de l'humidité dans un dessiccateur. On mesure exactement 25ml d'échantillon à l'aide d'une pipette et on les verse dans le creuset.

On introduit le creuset pendant quatre heures à 105°C dans l'étuve; puis on le met directement dans un dessiccateur.

Le creuset est ensuite pesé, on note la mesure M_1 .

Le calcul des Résidus secs est donnée par la formule:

$$RS(mg/l) = \frac{M_1 - M_0}{V}$$

10-Résidu calciné et perte au feu : [74]

Cette mesure ne permet de déterminer qu'approximativement les matières organiques du résidu sec, en raison des décompositions et volatilisation des sels minéraux.

Principe :

Incinération du résidu sec à 525°C ± 25°C.

Matériel:

Four réglable.

Mode opératoire :

Après détermination du résidu sec, placer la capsule dans un four réglé à 525°C pendant une heure et demie. Mettre la capsule à refroidir dans un dessiccateur. Peser. Répéter l'opération jusqu'à poids constant.

Expression des résultats :

Le poids du résidu à 525°C donne le poids du résidu calciné. La différence entre le résidu sec et le résidu calciné donne la perte au feu.

La perte au feu correspond approximativement à la teneur en substances organiques et le résidu calciné à la teneur en substances minérales.

11-Matières décantables : [74]**Principe :**

Un certain volume d'eau est abandonné au repos pendant 2 heures. La quantité de matière décantée est déterminée par volumétrie.

Matériel spécial :

- Cône d'Imhoff en verre de 1 litre et gradué en millilitres.
- Cône de Coin : éprouvette constituée d'une partie conique de 19 cm de hauteur, dont l'angle au sommet de la génératrice et de l'axe est de 9°. La partie conique est surmontée d'une partie cylindrique (longueur : 30 cm ; diamètre intérieur : 6,5 cm).

Mode opératoire :

Un litre d'eau est homogénéisée puis verser dans le cône d'Imhoff maintenu vertical à l'abri de la lumière et des poussières. Au bout de 45 minutes, imprimer au cône deux ou trois mouvements brusques alternatifs autour de son axe, les matières adhérant aux parois se détachent. Effectuer une première lecture après 1 heure de sédimentation. Puis une deuxième après 1 heure 30 minutes. Au bout de 1 heure 45 minutes de décantation, imprimer de nouveau au cône les mêmes mouvements de rotation que précédemment. Effectuer une nouvelle lecture après 2 heures. Si le niveau arrive entre deux graduations, la teneur en matière sédimentable est le volume correspondant à la graduation inférieure.

Expression des résultats :

Les résultats s'expriment en millilitres de matières décantées pour litre d'eau.

12-Détermination de l'alcalinité

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence des hydrogencarbonates, carbonates et hydroxydes.

Le titre alcalimétrique (TA) mesure la teneur de l'eau en alcalis libre et en carbonates caustiques.

Le titre alcalimétrique complet (**TAC**) mesure la teneur de l'eau en alcalis libres, carbonates et hydrogénocarbonates.

Principe

Ces déterminations sont basées sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué, en présence d'un indicateur coloré.

Réactifs

- Acide chlorhydrique ou sulfurique 0,1 N.
- Solution alcoolique de phénophtaléine à 0,5%.
 - Phénophtaléine.....5g
 - Alcool éthylique.....500ml
 - Eau distillée.....500ml
- Solution de méthylorange à 0,50%
 - Méthylorange.....0,5g
 - Eau distillée.....100ml

Mode opératoire

A) Détermination des carbonates (TA)

Pour un prélèvement de 100 ml d'eau à analyser dans un bécher, ajouter 2 gouttes de solution alcoolique de phénophtaléine, une couleur rose doit alors se développer dans le cas contraire le **TA** est nul, ce qui se produit en général pour les eaux naturelles dont le pH est inférieur à 8,3. Verser ensuite l'acide dans l'erlenmeyer à l'aide d'une burette en agitant constamment et ceci jusqu'à décoloration complète de la solution (pH=8,3). Soit V le nombre de millilitres d'acide utilisés pour obtenir le virage.

B) Détermination du titre alcalimétrique complet (TAC)

Utiliser l'échantillon traité précédemment ou le prélèvement primitif s'il n'y a pas eu de coloration. Ajouter 2 gouttes de solution de méthylorange et titrer de nouveau avec le même acide jusqu'au virage du jaune au jaune orangé (pH = 4,3). S'assurer qu'une goutte d'acide en excès provoque le passage de la coloration du jaune orangé au rose orangé (pH = 4). Soit V' le nombre de millilitres d'acide (0,1 N) versés depuis le début du dosage. Retrancher de ce volume 0,1 ml, quantité d'acide nécessaire pour le virage de l'indicateur.

Expression des résultats**-TA**

-V exprime le titre alcalimétrique en milliéquivalents par litre.

-5V exprime le titre alcalimétrique en degrés français (en effet, 1°F correspond à 10mg de carbonate de calcium (CaCO₃) ou 0,2 meq/l).

-TAC

-V' - 0,1 exprime le titre alcalimétrique complet en milliéquivalent par litre.

-(V' - 0,1).5 exprime le titre alcalimétrique complet en degrés français.

13-Titre hydrotimétrique ou TH : [74]**Définition :**

La dureté totale d'une eau ou titre hydrotimétrique TH est la somme des concentrations calcique et magnésienne.

Méthode au « complexon III » :

Principe :

Les alcalino-terreux présent dans l'eau sont amenés à former un complexe de type « chélate » par le sel disodique de l'acide éthylène diamine tétra acétique, désigné sous le nom de « complexon III ».

La disposition des dernières traces d'éléments libres à doser est décelée par le virage d'un indicateur spécifique de la dureté totale. Le NET ; le noir d'ériochrome T. La méthode permet de doser des ions calcium et magnésium.

Réactifs :

-Solution tampon pH = 10.

-Solution volumétrique de complexon III 0,01 M.

-noir ériochrome

Mode opératoire :

On opère sur 10 ml d'eau à analyser en ajoutant 2 ml de solution tampon de pH = 10 et une pincée d'indicateur NET, on titre avec l'EDTA (0,01 M) jusqu'au virage du rouge au bleu et on lit le volume V utilisé ; on répète 3 fois l'analyse et on calcule la moyenne

$$\text{Soit } \text{TH} = \frac{V(ml) \cdot 0,01 \cdot 2 \cdot 1000}{10} \text{ (meq/l)}$$

14-Dosage du calcium (Ca^{2+})

Méthode tetrimétrique à l'EDTA

Principe

Titration des ions calcium avec une solution aqueuse d'EDTA à pH compris entre 12 et 13. Le HSN qui forme un complexe rouge avec le calcium est utilisé comme indicateur. Le magnésium est précipité sous forme d'hydroxyde et n'interfère pas lors du dosage.

Lors du titrage, l'EDTA réagit tout d'abord avec les ions calcium libre, puis avec les ions combinés avec l'indicateur qui vire alors de la couleur rouge à la couleur bleu clair.

Réactifs

-Hydroxyde de sodium ; solution de 2 mol/l ; dissoudre 8g de NaOH dans 100ml d'eau fraîchement distillée.

-EDTA, solution titrée, $C_{(\text{Na}_2 \text{EDTA})} = 10 \text{ mmol/l}$; sécher une portion d'EDTA à 80°C pendant 2h, dissoudre 3,725g du sel sec dans de l'eau et diluer à 1000ml dans une fiole jaugée.

-Indicateur HSN : mélanger soigneusement 0,2g d'acide calcione carboxylique (acide hydroxy-2-(hydroxy-2-sulfite-4-naphthylazo-1)-1-naphtalène carboxylique $\text{C}_{12}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O}_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) et 100g de chlorure de sodium (NaCl).

Mode opératoire

A l'aide d'une pipette, introduire 50ml de l'échantillon préparé dans une fiole conique de 250ml. Ajouter 2ml de la solution de NaOH et environ 0,2g de l'indicateur HSN.

Mélanger et doser immédiatement. Ajouter la solution d'EDTA tout en continuant d'agiter.

Verser lentement. Le virage est atteint lorsque la couleur ne doit plus changer avec l'ajout d'une goutte supplémentaire de la solution d'EDTA. Soit V le volume d'EDTA verser.

Expression des résultats

La teneur en calcium, exprimé en mg/l est donnée par l'équation :

$$C(\text{Ca}) = (V \times 20,04) \text{ mg/l}$$

La différence entre la dureté totale et la dureté calcique donne directement la dureté magnésium.

$$C(\text{Mg}) = [(V(\text{TH}) - V(\text{Ca})) \times 15,12] \text{ mg/l}$$

15-Dosage du sodium : [74]**Méthode par absorption atomique :****Principe :**

Cette méthode physique d'analyse utilise la propriété qu'ont les atomes neutres d'absorber à une certaine longueur d'onde un quantum d'énergie.

Matériel spécial :

-Spectromètre d'absorption atomique équipé d'une lampe à cathode creuse de sodium et d'un ensemble nébuliseur-bruleur air acétylène.

Réactifs :

-Acide nitrique.

-Solution mère étalon de sodium à 0,1 g/l.

Chlorure de sodium (séché à 140°C).....0,2542 g.

Eau distillée.....q.s.p 1 litre.

-Solution fille étalon de sodium à 1 mg/l.

Diluer au 1/100 la solution mère.

Préparer une gamme d'échantillon [0-1] mg/l, tracer la courbe d'étalonnage.

Mode opératoire :

Nébuliser l'eau à analyser dans une flamme air-acétylène oxydante en intercalant de l'eau distillée entre chaque échantillon. Effectuer les lectures à la longueur d'onde de 589,6 nm.

Expression des résultats :

Les résultats sont exprimés en milligramme de sodium par litre d'eau.

16-Dosage du potassium : [74]**Méthode par absorption atomique :****Matériel spécial :**

-Spectromètre d'absorption atomique équipé d'une lampe à cathode creuse de potassium et d'un ensemble nébuliseur-bruleur air acétylène.

Réactif :

-Acide nitrique.

-Solution mère étalon de potassium à 100 mg/l.

Chlorure de potassium.....190,7 mg.

Eau distilléeq.s.p 1 litre.

Dessécher le chlorure de potassium à 110°C avant son emploi.

-Solution fille étalon de potassium à 2 mg/l.

Diluer au 1/50 la solution précédente.

Préparer une gamme d'échantillon [0-2] mg/l, tracer la courbe d'étalonnage.

Mode opératoire :

Nébuliser l'eau à analyser dans une flamme air-acétylène légèrement oxydante en intercalant de l'eau distillée entre chaque échantillon. Effectuer les lectures à la longueur d'onde de 766,5 nm.

Expression des résultats :

Les résultats sont exprimés en milligramme de potassium par litre d'eau.

17-Dosage des chlorures : [74]

Méthode de Mohr :

Principe:

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du chromate d'argent.

Réactifs :

-Acide nitrique.

-Carbonate de calcium pur.

-Solution de chromate de potassium à 10 %.

-Solution de nitrate d'argent N/10.

Mode opératoire :

Introduire 100 ml d'eau à analyser, préalablement filtrée, dans un erlenmeyer de 250ml. Ajouter 2 à 3 gouttes d'acide nitrique pur puis une pincé de carbonate de chaux et 3 gouttes de solution de chromate de potassium à 10 %.

Verser alors au moyen d'une burette la solution de nitrate d'argent jusqu'à apparition d'une teinte rougeâtre, qui doit persister 1 à 3 minutes.

Soit V le nombre de millilitres de nitrate d'argent N/10 utilisés.

Expression des résultats :

Pour une prise d'essai de 100 ml :

$V \times 10 \times 3,35$ donne la teneur en chlorures, exprimée en milligrammes de Cl^- par litre d'eau.

$V \times 10 \times 5,85$ donne la teneur en chlorures exprimée en milligrammes de NaCl par litre d'eau.

18-Demande biologique en oxygène (DBO₅) : [74]

La DBO₅ est la quantité de dioxygène nécessaire aux micro-organismes aérobies de l'eau pour oxyder les matières organiques, dissoutes ou en suspension dans l'eau. Il s'agit donc d'une consommation potentielle de dioxygène par voie biologique. Ce paramètre constitue un bon indicateur de la teneur en matières organiques biodégradables d'une eau (toute matière organique biodégradable polluante va entraîner une consommation d'O₂) au cours des procédés d'autoépuration.

Principe

La DBO₅ est mesurée au bout de 5 jours (DBO₅), à 20°C (température favorable à l'activité des micro-organismes consommateurs d'O₂) et à l'obscurité (afin d'éviter toute photosynthèse parasite).

Deux échantillons sont nécessaires : le premier sert à la mesure de la concentration initiale en O₂, le second à la mesure de la concentration résiduaire en O₂ au bout de 5 jours. La DBO₅ est la différence entre ces 2 concentrations. Les mesures seront effectuées sur un même volume et le second échantillon sera conservé 5 jours à l'obscurité et à 20°C.

$$DBO_5 = F (T_0 - T_5)$$

T₀ (en mg/l) la concentration initiale en O₂ dissous.

T₅ (en mg/l) la concentration résiduaire en O₂ au bout de 5 jours.

F facteur de dilution.

19-La demande chimique en oxygène DCO : [74]

La demande chimique en oxygène (DCO) est la quantité d'oxygène consommée par les matières existant dans l'eau et oxydable dans les conditions opératoires définies.

Principe :

Un excès de dichromate de potassium, en milieu acide et en présence de sulfate d'argent et Dans des conditions définies, certaines matières contenues dans l'eau sont oxydées par sulfate de mercure. L'excès de dichromate de potassium est dosé par le sulfate de fer et d'ammonium.

Réactifs :

-Eau distillée fraîchement préparée.

-Sulfate de mercure cristallisé.

-Solution de sulfate d'argent :

| | |
|--|---------------|
| sulfate d'argent cristallisé | 6,6 g |
| Acide sulfurique (d = 1,84)..... | q.s.p 1000 ml |
| -Solution de sulfate de fer et d'ammonium 0,25 N : | |
| sulfate de fer et d'ammonium..... | 98 g |
| acide sulfurique (d = 1,84)..... | 20 ml |
| eau distillée..... | q.s.p 1000 ml |
| Le titre de cette solution doit être vérifié tous les jours. | |
| -Solution de dichromate de potassium 0,25 N : | |
| dichromate de potassium (séché 2 heures à 110°C)..... | 12,2588 g |
| eau distillée..... | q.s.p 1000 ml |
| -Solution de ferroïne : | |
| 1.10-phénanthroline..... | 1,485 g |
| Sulfate de fer..... | 0,695 g |
| Eau distillée..... | 100 ml |

Mode opératoire :

Introduire 50 ml d'eau à analyser dans un ballon de 500 ml ou, éventuellement, une même quantité de dilution. Ajouter 1 g de sulfate de mercure cristallisé et 5 ml de solution sulfurique de sulfate d'argent. Chauffer, si nécessaire, jusqu'à parfaite dilution. Ajouter 25 ml de solution de dichromate de potassium 0,25 N puis 70 ml de solution sulfurique de sulfate d'argent. Porter à ébullition pendant 2 heures sous réfrigérant à reflux adapté au ballon. Laisser refroidir. Diluer à 350 ml avec de l'eau distillée. Ajouter quelques gouttes de solution de ferroïne. Déterminer la quantité nécessaire de solution de sulfate de fer et d'ammonium pour obtenir le virage au rouge violacé. Procéder aux mêmes opérations sur 50 ml d'eau distillée.

Expression des résultats :

La demande chimique en oxygène (DCO) exprimée en milligrammes d'oxygène par litre est

$$\text{égale à } \frac{8000(V_0 - V_1)T}{V}$$

V_0 = Volume de sulfate de fer et d'ammonium nécessaire au dosage (ml).

V_1 = Volume de sulfate de fer et d'ammonium nécessaire à blanc (ml).

T = Titre de la solution de sulfate de fer et d'ammonium.

V = Volume de prise d'essai.

20-Dosage de l'ammonium (NH_4^+) [74]

Méthode volumétrique

Réactifs

-Acide sulfurique N/10.

-Indicateur coloré :

Solution alcoolique de rouge de méthyle à 0,2%.....50ml

Solution alcoolique de bleu de méthylène à 0,2%.....25ml

Mode opératoire

Ajouter quelques gouttes d'indicateur coloré au distillat et effectuer le dosage à l'aide d'une solution d'acide sulfurique N/10 soit V_1 ml. Opérer de la même manière sur un témoin préparé à partir d'un volume d'eau distillée contenant 5 ml de solution d'acide borique soit V_0 ml.

Expression des résultats

La teneur en ammonium exprimée en milligrammes par litre est donnée par la relation :

$$\frac{(V_1 - V_0)0,1 \times 1000 \times 18}{V_2}$$

V_2 : volume de la prise d'échantillon.

21-Dosage des sulfates (SO_4^{2-}) : [74]

Principe

Les ions SO_4^{2-} sont précipités à l'état de sulfates de baryum et évalués gravimétriquement.

Réactifs

-Solution mère de sulfates à 120mg/l.

-Acide chlorhydrique à 10%.

-Chlorure de baryum stabilisé : 10g de chlorure de baryum + 20ml de Tween → compléter à 100ml avec l'eau distillé.

Mode opératoire

-Dans les fioles, introduire 39ml de l'échantillon à analyser

-Ajouter 1ml d'acide chlorhydrique à 10%

-Ajouter 5ml de la solution de chlorure de baryum stabilisé

-Agiter et laisser reposer pendant 15mn

-Agiter à nouveau et passer au spectrophotomètre à la longueur d'onde : $\lambda = 680\text{nm}$

Faire une gamme d'étalon de la solution mère de sulfates [0-11] ml.

Expression des résultats

Pour une prise d'essai de 100ml :

$P \times 10 \times 0,41155$ donne la teneur en sulfates exprimée en milligrammes de SO_4^{2-} par litre d'eau.

P est le poids de sulfate de baryum trouvé.

22-Dosage du zinc : [74]

Méthode par absorption atomique :

Principe :

Cette méthode physique d'analyse utilise la propriété qu'ont les atomes neutres d'absorber à une certaine longueur d'onde un quantum d'énergie.

Matériel spécial :

-Spectromètre d'absorption atomique équipé d'une lampe à cathode creuse de zinc et d'un ensemble nébuliseur-bruleur air acétylène.

Réactifs :

-Acide nitrique.

-Solution mère étalon de zinc à 1 g/l :

| | |
|---------------------|--------------------|
| Zinc..... | 1 g |
| Acide nitrique..... | 60 ml |
| Eau distillée..... | q.s.p 1000 ml |

-Solution fille étalon de zinc à 10 mg/l.

Diluer au 1/100 la solution mère après avoir ajouté 1 ml d'acide nitrique.

Faire des dilutions pour avoir une gamme d'étalons [0-10] mg/l, construire la courbe d'étalonnage.

Mode opératoire :

Nébuliser l'eau à analyser dans une flamme air-acétylène en intercalant de l'eau distillée entre chaque échantillon. Effectuer les lectures à la longueur d'onde de 213,8 nm.

Expression des résultats :

Les résultats sont exprimés en milligramme de zinc par litre d'eau.

23-Dosage du fer : [74]

Méthode par absorption atomique

Principe

Le fer complexé par l'ammonium pyrrolidium dithiocarbamate est extrait à pH 3,5 par la méthylisobutylcétone puis dosé par spectrométrie d'absorption atomique directement sur la solution obtenue.

Matériel spécial

- Spectromètre d'absorption atomique équipé d'une lampe à cathode creuse de fer et d'un ensemble nébuliseur-bruleur air acétylène.
- Ampoule à décantation de 500ml.
- Agitateur automatique à va-et-vient (fréquence d'agitation 60).
- Centrifugeuse.
- pH mètre.

Réactifs

Utiliser de l'eau distillée et des réactifs d'une grande pureté.

- Acide nitrique (d= 1,4).
- Solution de chlorure d'ammonium à pH 9

Chlorure d'ammonium.....25g

Eau distillé.....100ml

Ajuster le pH à 9 avec une solution d'hydroxyde de sodium à 25%.

- Solution d'ammonium pyrrolidium dithiocarbamate (APDC) à 20g/l.

Ajuster le pH à 3,5 et procéder à une extraction par la méthylisobutylcétone. A préparer chaque jour.

- Méthylisobutylcétone.
- Solution mère étalon de fer à 1g/l

Fer.....1g

Acide nitrique.....60ml

Eau distillé.....1000ml

Pour la préparation, se reporter à la méthode colorimétrique.

- Solution fille étalon de fer à 10 mg/l.

Diluer au 1/100 la solution mère.

- Solution fille étalon de fer à 0,4 mg/l.

Diluer au 1/25 la solution précédente après avoir ajouté 1ml d'acide nitrique.

Construction de la courbe d'étalonnage.

Mode opératoire

Introduire dans un bécher 400ml d'eau à analyser acidifiée au moment du prélèvement et ajuster le pH du prélèvement à $3,5 \pm 0,1$ à l'aide de la solution tampon pH9. Verser le contenu dans une ampoule à décantation, rincer le bécher avec 25 ml d'eau, joindre les eaux de lavage. Ajouter 50 ml de solution APDC. Agiter 5 mn sur un agitateur à va-et-vient. Ajouter 50 ml de méthylisobutylcétone. Agiter 10 mn à nouveau. Laisser décanter plusieurs heures à l'abri de la lumière et de préférence à base température. Recueillir la phase organique, la centrifuger pour éliminer les traces d'eau. Nébuliser la solution de méthylisobutylcétone en intercalant de la méthylisobutylcétone pure entre chaque échantillon. Utiliser une flamme air-acétylène. Effectuer les lectures à la longueur d'onde de 248,3 nm.

Expression des résultats

Les résultats sont exprimés en microgrammes de fer par litre d'eau.

24-Dosage du cuivre (Cu) : [74]

Méthode par absorption atomique électrothermique

Principe

La solution est injectée à l'intérieur d'un four, où elle est séchée puis calcinée et où enfin, dans une dernière phase, les sels de cuivre sont dissociés à l'état de cuivre atomique.

Matériel spécial

- Four d'atomisation sans flamme.
- Spectromètre d'absorption atomique équipé d'une lampe à cathode creuse de cuivre et d'une lampe au deutérium pour la correction du bruit de fond et d'un enregistreur.

Réactifs

- Solution mère étalon de cuivre à 1 g/l.
 - Cuivre métallique.....1g
 - Acide nitrique.....60ml
 - Eau distillé.....1000ml

Dilution de la solution mère pour avoir une gamme d'étalons [0-10mg/l], puis établissement de la courbe d'étalonnage.

Mode opératoire :

Injecter dans le four 10 μ l d'échantillon acidifié par de l'acide nitrique. Sécher à 100°C pendant 30 secondes, calciner à 800°C pendant 40 secondes puis atomiser à 2600°C

pendant 5 secondes. Effectuer les lectures à la longueur d'onde de 324,7 nm ; se rapporter à la courbe d'étalonnage.

Expression des résultats :

Les résultats sont exprimés en microgrammes de cuivre par litre.

25-Dosage de l'aluminium : [74]**Méthode par absorption atomique électrothermique****Principe**

La solution est injectée à l'intérieur d'un four, où elle est séchée puis calcinée et où enfin, dans une dernière phase, les sels d'aluminium sont dissociés à l'état d'aluminium atomique.

Matériel spécial

- Four d'atomisation sans flamme.
- Spectromètre d'absorption atomique équipé d'une lampe à cathode creuse de cuivre et d'une lampe au deutérium pour la correction du bruit de fond et d'un enregistreur.

Réactifs

- Solution mère d'aluminium à 1 g/l.

Aluminium.....1g

Acide chlorhydrique.....15 ml

Eau distillé.....1000ml

- Solution au 1/1000 la solution mère étalon précédente.

Dilution de la solution mère pour avoir une gamme d'étalons [0-10mg/l], puis établissement de la courbe d'étalonnage.

Mode opératoire :

Injecter dans le four 10 μ l d'échantillon acidifié par de l'acide nitrique. Sécher à 100°C pendant 30 secondes, calciner à 900°C pendant 15 secondes puis atomiser à 2500°C pendant 5 secondes. Effectuer les lectures à la longueur d'onde de 309,3 nm ; se rapporter à la courbe d'étalonnage.

Expression des résultats :

Les résultats sont exprimés en microgrammes d'aluminium par litre.

26-Dosage du manganèse : [74]**Méthode par absorption atomique électrothermique****Principe**

La solution est injectée à l'intérieur d'un four, où elle est séchée puis calcinée et où enfin, dans une dernière phase, les sels de manganèse sont dissociés à l'état de manganèse atomique.

Matériel spécial

-Four d'atomisation sans flamme.

-Spectromètre d'absorption atomique équipé d'une lampe à cathode creuse de manganèse et d'une lampe au deutérium pour la correction du bruit de fond et d'un enregistreur.

Réactifs

-Solution mère étalon de manganèse à 1 g/l.

Manganèse..... 1g

Acide nitrique.....60ml

Eau distillé.....1000ml

-Solution fille étalon de manganèse à 1mg/l.

Dilution de la solution mère pour avoir une gamme d'étalons [0-10mg/l], puis établissement de la courbe d'étalonnage.

Mode opératoire :

Injecter dans le four 10 μ l d'échantillon acidifié par de l'acide nitrique. Sécher à 100°C pendant 15 secondes, calciner à 1200°C pendant 45 secondes puis atomiser à 2600°C pendant 4 secondes. Effectuer les lectures à la longueur d'onde de 279,5 nm ; se rapporter à la courbe d'étalonnage.

Expression des résultats :

Les résultats sont exprimés en microgrammes de manganèse par litre.

27-Dosage du titane : [74]**Méthode par absorption atomique électrothermique****Principe**

La solution est injectée à l'intérieur d'un four, où elle est séchée puis calcinée et où enfin, dans une dernière phase, les sels de titane sont dissociés à l'état de titane atomique.

Matériel spécial

-Four d'atomisation sans flamme.

-Spectromètre d'absorption atomique équipé d'une lampe à cathode creuse de titane et d'une lampe au deutérium pour la correction du bruit de fond et d'un enregistreur.

Réactifs

-Solution étalon à 1 g/l.

Sulfate de titane (TiSO₄)₃.....1g
Acide chlorhydrique dilué.....q.s.p dissoudre
Eau distillé.....1000ml

-Solution fille étalon de titane à 10 mg/l

Dilution de la solution mère pour avoir une gamme d'étalons [0-10mg/l], puis établissement de la courbe d'étalonnage.

Mode opératoire :

Injecter dans le four 20 μ l d'échantillon acidifié par de l'acide nitrique. Sécher à 125°C pendant 30 secondes, calciner à 1400°C pendant 30 secondes puis atomiser à 2800°C pendant 15 secondes. Effectuer les lectures à la longueur d'onde de 365,4 nm ; se rapporter à la courbe d'étalonnage.

Expression des résultats :

Les résultats sont exprimés en microgrammes de titane par litre.

28-Dosage du nickel (Ni) : [74]

Méthode par absorption atomique électrothermique

Principe

La solution est injectée à l'intérieur d'un four, où elle est séchée puis calcinée et où enfin, dans une dernière phase, les sels de nickel sont dissociés à l'état de nickel atomique.

Matériel spécial

-Four d'atomisation sans flamme.

-Spectromètre d'absorption atomique équipé d'une lampe à cathode creuse de nickel et d'une lampe au deutérium pour la correction du bruit de fond et d'un enregistreur.

Réactifs

-Solution mère de nickel à 1 g/l

Nickel métallique.....1g
Acide nitrique.....60ml
Eau distillée.....1l

-Solution étalon à 1 mg/l

Diluer au 1/1000 la solution mère étalon précédente.

Préparation d'une gamme de solution d'étalon [0-10] mg/l, puis établissement de la courbe d'étalonnage.

Mode opératoire

Injecter dans le four 10 μ l d'échantillon contenant 1 % d'acide nitrique. Sécher à 150 °C pendant 30 secondes, calciner à 1200°C pendant 45 secondes puis atomiser à 2800°C pendant 5 secondes. Effectuer les lectures à la longueur d'onde de 232 nm ; se reporter à la courbe d'étalonnage.

Expression des résultats

Les résultats sont exprimés en microgrammes de nickel par litre.

29-Dosage du plomb (Pb) : [74]

Méthode par absorption atomique électrothermique

Principe

La solution est injectée à l'intérieur d'un four, où elle est séchée puis calciner et où enfin, dans une dernière phase, les sels de plomb sont dissociés à l'état de plomb atomique.

Matériel spécial.

-Four d'atomisation sans flamme.

-Spectromètre d'absorption atomique équipé d'une lampe à cathode creuse et d'une lampe au deutérium pour la correction du bruit de fond et d'un enregistreur.

Réactifs

-Acide nitrique

-Solution d'acide phosphorique à 0,2%

-Solution mère de plomb à 1 g

Plomb.....1g

Acide nitrique.....60ml

Eau distillée.....1l

-Solution étalon de plomb à 1 mg/l.

Diluer au 1/1000 la solution mère étalon précédente.

Préparer une gamme d'échantillon [0-10] mg/l, tracer la courbe d'étalonnage.

Mode opératoire

Ajouter à 100ml d'échantillon 1 ml d'acide nitrique et 20 μ l de solution d'acide phosphorique. Injecter dans le four 10 μ l. Sécher à 125°C pendant 40 secondes, calciner à 450°C pendant 45secondes puis atomiser à la température de 2000 °C pendant 5 secondes. Effectuer les lectures à la longueur d'onde de 283,3nm ; se reporter à la courbe d'étalonnage

Expression des résultats

Les résultats sont exprimés en microgrammes de plomb par litre.

30-Dosage du cadmium : [74]**Méthode par absorption atomique électrothermique****Principe**

La solution est injectée à l'intérieur d'un four, où elle est séchée puis calcinée et où enfin, dans une dernière phase, les sels de cadmium sont dissociés à l'état de cadmium atomique.

Matériel spécial

- Four d'atomisation sans flamme.
- Spectromètre d'absorption atomique équipé d'une lampe à cathode creuse de cadmium et d'une lampe au deutérium pour la correction du bruit de fond et d'un enregistreur.

Réactifs

Utiliser de l'eau distillée et des réactifs d'une grande pureté.

- Acide nitrique (d = 1,4)
- Solution de chlorure d'ammonium à PH 9

| | |
|--------------------------|--------|
| Chlorure d'ammonium..... | 25 g |
| Eau distillée.....q.s.p | 100 ml |

Ajuster le PH à 9 avec une solution d'hydroxyde de sodium à 25%.

- Solution d'ammonium pyrrolidium dithiocarbamate (APDC) à 20 g/l.
- Méthylisobutylcétone.
- Solution mère étalon de cadmium à 1 g/l

| | |
|--------------------------|--------------|
| Cadmium pur..... | 0,1g |
| Acide nitrique.....q.s.p | dissoudre |
| Eau distillée..... | q.s.p 100 ml |

- Solution fille étalon de cadmium à 10 mg/l

Diluer au 1/100 la solution précédente en ajoutant 1,5 ml d'acide nitrique.

- Solution fille étalon de cadmium à 0,1 mg/l.

Diluer au 1/100 la solution précédente en ajoutant 1,5 ml d'acide nitrique.

Préparation d'une gamme de solution d'étalon [0-10] mg/l, puis établissement de la courbe d'étalonnage.

Mode opératoire

Acidifier 100 ml d'échantillon par 1 ml d'acide nitrique. Injecter dans le four 10 μ l
Sécher à 100 °C pendant 25 secondes, calciner à 450°C pendant 50 secondes puis atomiser à
1950°C pendant 4 secondes. Effectuer les lectures à la longueur d'onde de 228,8 nm ; se
reporter à la courbe d'étalonnage.

Expression des résultats

Le's résultats sont exprimés en microgrammes de cadmium par litre.

31-Dosage de chrome : [74]**Méthode par absorption atomique électrothermique****Principe**

La solution est injectée à l'intérieur d'un four, où elle est séchée puis calciner et où
enfin, dans une dernière phase, les sels de chrome sont dissociés à l'état de chrome atomique.

Matériel spécial.

-Four d'atomisation sans flamme.

-Spectromètre d'absorption atomique équipé d'une lampe à cathode creuse et d'une lampe au
deutérium pour la correction du bruit de fond et d'un enregistreur.

Réactifs

-Acide nitrique

-Solution de chlorure d'ammonium à 100 g/l.

-Solution mère étalon de chrome à 1 g

Dichromate d'ammonium.....2,424 g

Acide nitrique.....60ml

Eau distillée.....1l

-Solution fille étalon de chrome à 1 mg/l.

Diluer au 1/1000 la solution mère après avoir ajouté 1 ml d'acide nitrique.

Préparer une gamme d'échantillon [0-10] mg/l, tracer la courbe d'étalonnage.

Mode opératoire

Acidifier 100 ml d'échantillon par 1 ml d'acide nitrique. Injecter dans le four 20 μ l
Sécher à 100 °C pendant 15 secondes, calciner à 500°C pendant 15 secondes puis atomiser à
2200°C pendant 1 secondes. Effectuer les lectures à la longueur d'onde de 357,9 nm ; se
reporter à la courbe d'étalonnage.

Expression des résultats

Les résultats sont exprimés en microgrammes de chrome par litre.

32-Dosage du cobalt : [74]

Méthode par absorption atomique électrothermique

Principe

La solution est injectée à l'intérieur d'un four, où elle est séchée puis calcinée et où enfin, dans une dernière phase, les sels de cobalt sont dissociés à l'état de cobalt atomique.

Matériel spécial

-Four d'atomisation sans flamme.

-Spectromètre d'absorption atomique équipé d'une lampe à cathode creuse de nickel et d'une lampe au deutérium pour la correction du bruit de fond et d'un enregistreur.

Réactifs

-Solution d'acide chlorhydrique 0,01 N

-Solution de nickel à 1 g/l

Chlorure de cobalt ($\text{CoCl}_2, 6 \text{H}_2\text{O}$).....4,037 g

Eau distillée.....q.s.p 1000 ml

-Solution étalon de cobalt à 1 mg/l.

Diluer au 1/1000 la solution mère étalon précédente.

Préparation d'une gamme de solution d'étalon [0-10] mg/l, puis établissement de la courbe d'étalonnage.

Mode opératoire

Injecter dans le four 50 μl d'échantillon. Sécher à 90-180°C pendant 60 secondes, calciner à 900°C pendant 30 secondes puis atomiser à 2600°C pendant 12 secondes. Effectuer les lectures à la longueur d'onde de 240,7 nm ; se reporter à la courbe d'étalonnage.

Expression des résultats

Les résultats sont exprimés en microgrammes de cobalt par litre.

33-Dosage de l'argent : [74]

Méthode par absorption atomique électrothermique

Principe

La solution est injectée à l'intérieur d'un four, où elle est séchée puis calcinée et où enfin, dans une dernière phase, les sels d'argent sont dissociés à l'état d'argent atomique.

Matériel spécial

-Four d'atomisation sans flamme.

-Spectromètre d'absorption atomique équipé d'une lampe à cathode creuse de nickel et d'une lampe au deutérium pour la correction du bruit de fond et d'un enregistreur.

Réactifs

-Acide nitrique supra pur

-Solution mère étalon d'argent à 1 g/l

Nitrate d'argent anhydre.....1,574g

Acide nitrique..... 1,5 ml

Eau distillée..... 1000 ml

-Solution fille étalon à 1 mg/l

Diluer au 1/1000 la solution mère étalon précédente.

Préparation d'une gamme de solution d'étalon [0-10] mg/l, puis établissement de la courbe d'étalonnage.

Mode opératoire

Injecter dans le four 20 μ l d'échantillon contenant 1 % d'acide nitrique. Sécher à 140 °C pendant 30 secondes, calciner à 450°C pendant 30 secondes puis atomiser à 2200°C pendant 1,5 secondes. Effectuer les lectures à la longueur d'onde de 328,1 nm ; se reporter à la courbe d'étalonnage.

Expression des résultats

Les résultats sont exprimés en microgrammes d'argent par litre.

34-Analyse de dépôt : [74]

Recherche des éléments :

Principe :

Après minéralisation par fusion le résidu est repris par l'acide chlorhydrique : Ca, Mg, K, Na, Si, Al, Fe, Mn, Cu, Zn, Ti, Co, Ni, Mo, Cd, Cr, etc. Sont déterminés dans la solution.

Matériel spécial :

-Creuset en graphite.

-Four électrique à 1100°C.

Réactifs :

-Métaborate de lithium.

-Acide borique.

-Carbonate de lithium.

-Acide chlorhydrique 6 N.

-Solution de chlorure de lanthane:

| | |
|----------------------------------|-------|
| Chlorure de lanthane..... | 88 g |
| Acide chlorhydrique (1,5 N)..... | q.s.p |

Mode opératoire:

Calciner 1 heure à 1000°C environ 1 g d'échantillon séché et pulvériser, puis introduire 0,1 g d'échantillon calciné dans un creuset en graphite. Ajouter 0,5 g de métaborate de lithium ou à défaut 0,25 g d'acide borique, homogénéiser. Effectuer la fusion en plaçant le creuset 20 minutes dans un four à 1050°C.

Reprise du produit de fusion:

Sortir très rapidement le creuset du four, verser la perle dans un bêcher contenant un barreau aimanté et 5 ml d'acide chlorhydrique 6N, 20 ml d'eau distillée, 20 ml de solution de chlorure de lanthane.

Mettre le bêcher sur un agitateur magnétique jusqu'à dissolution complète de la perle. Verser le contenu du bêcher dans une fiole jaugée de 50 ml. Compléter le volume avec de l'eau distillée.

Détermination des éléments:

Déterminer les éléments précités par spectrométrie d'absorption atomique en flamme air-acétylène, exception faite pour Si, Al, Ti, Mo pour lesquels une flamme protoxyde d'azote-air est nécessaire.

35)-Mesure de la densité de la particule :**Principe de l'essai :**

On utilise le principe de la poussée d'Archimède.

En effet, on mesure le volume d'eau déplacé lors de l'introduction d'un certain poids de sol sec. La connaissance du poids des grains solides et de leur volume permet de calculer le poids volumique des grains solides.

Appareillage :

On a essentiellement besoin :

- d'un pycnomètre
- d'un réchaud électrique ou plaque chauffante
- d'une balance de précision (au milligramme)
- d'un bac contenant 3 à 5 kg de sable
- des coupelles tarées pour la pesée de l'échantillon à tester.

Exécution de l'essai :

Pour réaliser l'essai, on a besoin de 20 à 25 g de matériaux solide

1/On cherche le poids des grains solides de l'échantillon à tester

-Pour cela, on met de l'eau distillée dans le pycnomètre qui en pèse soit Q_1 le poids obtenu

-Ensuite on met le matériau dans le pycnomètre avec la même quantité d'eau distillée que précédemment,

2/On fait chauffer le pycnomètre avec l'eau et l'échantillon à l'aide d'un bac contenant du sable sec. La température de chauffage doit permettre de séparer les particules ; pour cela on ajoute à l'eau distillée 3 ou 4 gouttes d'ammoniaque et on porte la température à 100°C ou 200°C

-Ensuite on laisse refroidir le pycnomètre, soit Q_2 le poids obtenu, après on ajoute de l'eau jusqu'à un repère fixe, on pèse l'ensemble, soit Q_3 le poids obtenu.

-Enfin on verse tout l'ensemble (eau + échantillon) et remplit de nouveau le pycnomètre jusqu'au repère qu'on avait choisi pour mesure Q_3 et on pèse l'ensemble eau et pycnomètre, soit Q_4 le poids obtenu.

Résultats :

$$\rho_s = \frac{(Q_2 - Q_1)\rho_{eau}}{Q_4 + Q_2 - Q_1 - Q_3}$$

36)-Mesure de la viscosité de l'eau de rejet :

Procédé de mesure :

Le viscosimètre à chute de bille HAAKE sert à la mesure de la viscosité des liquides. On utilise comme grandeur de mesure, le temps de déplacement d'une bille pour une distance de chute déterminée. Ce temps correspond à la durée du mouvement de roulement et de glissement de la bille à travers la substance échantillon logée dans un tube cylindrique incliné. Le résultat de la viscosité dynamique est exprimé en millipascal/second (centipoise) par l'équation suivante :

$$\mu = K (\rho_1 - \rho_2) t$$

K : Constante (voir le tableau ci-dessous) en mpa.s.cm³/g.s

ρ_1 : Densité de la bille métallique ou de verre en g/ cm³

ρ_2 : Densité en g/ cm³ du liquide testé.

t : Temps de déplacement de la bille en secondes.

Conversion de la viscosité dynamique en viscosité cinématique, dépendante de la densité s'obtient par l'équation suivante :

$$v = \frac{\mu}{\rho}$$

μ : viscosité dynamique (mpa.s)

ρ : densité du liquide (g/cm^3)

ν : viscosité cinématique ($10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$) $1 \text{ cst} = 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$

| Bille n° | Matériau | Densité ρ (g/cm) | Diamètre de la bille | ConstanteK ($\text{mpa.s.cm}^3/\text{g.s}$) |
|----------|-----------------------|-------------------------------------|-------------------------|--|
| 1 | Verre borosilicaté | 2,2 | 15,81 | 0,007 |
| 2 | Verre borosilicaté | 2,2 | 15,66 | 0,05 |
| 3 | Vacodil 42 | 8,1 | 15,62 | 0,07 |
| 4 | Vacodil 42 | 8,1 | 15,25 | 0,5 |
| 5 | W.N° 4034 | 7,7 | 14,29 | 4,5 |
| 6 | W.N° 4034 | 7,7 | 11,11 | 33 |

Le viscosimètre à chute de bille HAAKE est conforme à la norme DIN 53015.

**Décret exécutif n° 06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 avril 2006
définissent les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels.**

Le chef du Gouvernement,

Sur le rapport du ministre de l'aménagement du territoire et de l'environnement,

Vu la constitution, notamment ses articles 85-4° et 125 (alinéa 2) ;

Vu la loi n° 90-08 du 7 avril 1990, complétée, relative à la commune ;

Vu la loi n° 90-09 du 7 avril 1990, complétée, relative à la wilaya ;

Vu la loi n° 03-10 du 19 Joumada El Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable ;

Vu la loi n° 04-04 du 5 Joumada El Oula 1425 correspondant au 23 juin 2004 relative à la normalisation ;

Vu la loi n° 05-07 du 19 Rabie El Aouel 1426 correspondant au 28 avril 2005 relative aux hydrocarbure ;

Vu le décret présidentiel n° 04-136 du 29 Safar 1425 correspondant au 19 avril 2004 portant nomination du chef du Gouvernement ;

Vu le décret présidentiel n° 05-161 du 22 Rabie El Aouel 1426 correspondant au 1^{er} mai 2005 portant nomination des membres du Gouvernement ;

Vu le décret exécutif n° 93-160 du 10 juillet 1993 réglementant les rejets d'effluents liquides industriels ;

Décrète :

Article 1 :

En application des dispositions de l'article 10 de la loi n° 03-10 du 19 juillet 2003, susvisée, le présent décret a pour objet de définir les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels.

Section 1

DES DISPOSITIONS PRELIMINAIRES

Article 2 :

Au sens du présent décret on entend par rejet d'effluents liquides industriels tout déversement, écoulement, jet et dépôt d'un liquide direct ou indirect qui provient d'une activité industrielle.

Article 3 :

Les valeurs limites de rejets d'effluents liquides industriels sont celle fixées en annexe du présent décret.

Toutefois, en attendant la mise à niveau des installations industrielles anciennes dans un délai de cinq (5) ans, les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels prennent en charge l'ancienneté des installations industrielles en déterminant une tolérance pour les rejets d'effluents liquides industriels émanant de ces installations. Ces valeurs sont fixées et annexées au présent décret.

Pour les installations pétrolières, le délai est de (7) ans conformément aux dispositions législatives en vigueur, et notamment celles de la loi n° 05-07 du 19 Rabie El Aouel 1426 correspondant au 28 avril 2005, susvisée,

En outre et en raison des particularités propres aux technologies utilisées, des tolérances particulières aux valeurs limites sont également accordées selon les catégories industrielles concernées.

Section 2

DES PRESCRIPTIONS TECHNIQUES RELATIVES AUX REJETS D'EFFLUENTS LIQUIDES INDUSTRIELS

Article 4 :

Toutes les installations générant des rejets d'effluents liquides industriels doivent être conçues, construites et exploitées de manière à ce que leur rejets d'effluents liquides industriels ne dépassent pas à la sortie de l'installation les valeurs limites des rejets définies en annexe du présent décret et doivent être dotées d'un dispositif de traitement approprié de manière à limiter la charge de pollution rejetée.

Article 5 :

Les installations de traitement doivent être conçues, exploitées et entretenues de manière à réduire à leur minimum les durées d'indisponibilité pendant lesquelles elles ne peuvent assurer pleinement leur fonction.

Si une indisponibilité est susceptible de conduire à un dépassement des valeurs limites imposées, l'exploitant doit prendre les dispositions nécessaires pour réduire la pollution émise en réduisant ou en arrêtant, si besoin, les activités concernées.

Section 3

DU CONTROLE DES REJETS D'EFFLUENTS LIQUIDES INDUSTRIELS

Article 6 :

Au titre de l'autocontrôle et de l'autosurveillance les exploitants d'installations générant d'effluents liquides industriels doivent tenir un registre où sont consignés la date et les résultats des analyses qu'ils effectuent selon les modalités fixées par arrêté du ministre chargé de l'environnement et, le cas échéant, du ministre chargé du secteur concerné.

Les mesures sont effectuées sous la responsabilité de l'exploitant et à ses frais dans les conditions fixées par la réglementation en vigueur.

Article 7 :

Les résultats des analyses doivent être mises à la disposition des services de contrôle habilités.

Article 8 :

Les services habilités en la matière effectuent des contrôles périodiques et ou inopinés des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques des rejets d'effluents liquides industriels visant à s'assurer de leur conformité aux valeurs limites fixés en annexe du présent décret.

Article 9 :

Le contrôle des rejets comporte un examen des lieux, des mesures et analyses opérées sur place et des prélèvements d'échantillons aux fins d'analyses.

Article 10 :

L'exploitant de l'installation concernée est tenu d'expliquer, commenter ou fonder tout dépassement éventuellement constaté et fournir les actions correctives mise en œuvre ou envisagées.

Article 11 :

Les opérations de contrôle, telles que définies ci-dessus, donnent lieu à la rédaction d'un procès-verbal établi à cet effet.

Le procès-verbal comporte :

- les noms, prénoms et qualité des personnes ayant effectué le contrôle,
- la désignation du ou des générateurs du rejet d'effluents liquides industriels et de la nature de leur activité,
- la date, l'heure, l'emplacement et les circonstances de l'examen des lieux et des mesures faites sur place,
- les constatations relatives à l'aspect, la couleur, l'odeur du rejet, l'état apparent de la faune et de la flore à proximité du lieu de rejet et les résultats des mesures et des analyses opérées sur place,
- l'identification de chaque échantillon prélevé, accompagné de l'indication de l'emplacement, de l'heure et des circonstances de prélèvement,
- le nom du ou des laboratoires destinataires de l'échantillon prélevé.

Article 12 :

Les méthodes d'échantillonnage, de conservation et de manipulation des échantillons ainsi que les modalités d'analyses sont effectuées selon les normes algériennes en vigueur.

Article 13 :

Toutes dispositions contraires au présent décret et notamment les dispositions du décret exécutif n° 93-160 du 10 juillet 1993, susvisé, sont abrogées.

Article 14 :

Le présent décret sera publié au *Journal officiel* de la République algérienne démocratique et populaire.

Tableau 1: Valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides industriels.

| N° | Paramètres | Unités | Valeurs limites | Tolérances aux valeurs limites anciennes installations |
|----|-------------------------------------|--------|-----------------|--|
| 1 | Température | °C | 30 | 30 |
| 2 | PH | - | 6,5-8,5 | 6,5-8,5 |
| 3 | MES | mg/l | 35 | 40 |
| 4 | Azote Kjeldahl | " | 30 | 40 |
| 5 | Phosphore total | " | 10 | 15 |
| 6 | DCO | " | 120 | 130 |
| 7 | DBO ₅ | " | 35 | 40 |
| 8 | Aluminium | " | 3 | 5 |
| 9 | Substances toxiques bioaccumulables | " | 0,005 | 0,01 |
| 10 | Cyanures | " | 0,1 | 0,15 |
| 11 | Fluor et composés | " | 15 | 20 |
| 12 | Indice de phénols | " | 0,3 | 0,5 |
| 13 | Hydrocarbures totaux | " | 10 | 15 |
| 14 | Huiles et graisses | " | 20 | 30 |
| 15 | Cadmium | " | 0,2 | 0,25 |
| 16 | Cuivre total | " | 0,5 | 1 |
| 17 | Mercure total | " | 0,01 | 0,05 |
| 18 | Plomb total | " | 0,5 | 0,75 |
| 19 | Chrome total | " | 0,5 | 0,75 |
| 20 | Etain total | " | 2 | 2,5 |
| 21 | Manganèse | " | 1 | 1,5 |
| 22 | Nickel total | " | 0,5 | 0,75 |
| 23 | Zinc total | " | 3 | 5 |
| 24 | Fer | " | 3 | 5 |
| 25 | Composés organiques chlorés | " | 5 | 7 |

Tableau 2 : Tolérance à certaines valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides industriels selon les catégories d'installations.

Industrie céramique

| Paramètres | Unité | Valeurs limites | Tolérances aux valeurs limites anciennes installations |
|--------------------|-------|-----------------|--|
| Température | °C | 30 | 30 |
| PH | - | 5,5-8,5 | 5,5-8,5 |
| DCO | mg/l | 80 | 120 |
| Matière décantable | " | 0,5 | 1 |
| Plomb | " | 0,5 | 1 |
| Cadmium | " | 0,07 | 0,2 |

Fait à Alger, le 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 avril 2006.

Ahmed OUYAHIA.