

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET  
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE IBN KHALDOUN TIARET  
FACULTE DES SCIENCES AGRONOMIQUES ET DES SCIENCES VETERINAIRES  
DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES**

**Dynamique des métaux lourds  
dans les eaux industrielles de Tiaret**

**Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de :**

**Magister**

**En Ecologie – Environnement**

**Par**

**Boubakeur OUARAB**

**Date de soutenance : 04 / 12 / 2003**

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET  
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE IBN KHALDOUN TIARET  
FACULTE DES SCIENCES AGRONOMIQUES ET DES SCIENCES VETERINAIRES  
DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES**

**Dynamique des métaux lourds  
dans les eaux industrielles de Tiaret**

**Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de :**

**Magister**

**En Ecologie – Environnement**

**Par**

**Boubakeur OUARAB**

**Sous la direction du Dr. Abdelkader DELLAL maître de conférence**

**Université Ibn Khaldoun Tiaret**

**Devant le Jury composé de :**

**Président : Pr. Abdelkader DILEM**

**Examineur : Dr. Lahbib BELARBI maître de conférence Université Ibn Khaldoun Tiaret**

**Examineur : Dr. Ali AMARA chargé de cours Université Ibn Khaldoun Tiaret**

**Examineur : Dr. Belkheïr KHATMI chargé de cours Université Ibn Khaldoun Tiaret**

**Examineur : Dr. Lahcène BELARBI chargé de cours Université Sidi Belabbès**

# ***Dédicaces***

∞ ***A la mémoire de mes parents.***

∞ ***A la mémoire de mon frère  
Hakim et de ma nièce Nassima.***

∞ ***A toute ma famille.***

***Je dédie ce mémoire.***

## Résumé

La pollution des ressources en eaux superficielles et souterraines suite aux rejets industriels constitue un défi majeur pour la préservation de notre environnement.

La toxicité avérée et élevée des métaux lourds sur la santé humaine nous contraint à revoir à la baisse les normes de rejets ( 1 mg/l pour le plomb, 3 mg/l pour le cuivre, 5 mg/l pour le zinc et le nickel, 0.1 mg/l pour le chrome ).

Pour la région de Tiaret, les ressources actuelles en eau sont issues, soit des eaux superficielles ; soit des eaux souterraines ; ces dernières situées en aval de la zone industrielle de Tiaret sont susceptibles d'être polluées du fait de l'inefficacité ou de l'absence des stations d'épuration au niveau des usines implantées.

La présente étude porte sur l'évaluation de la pollution hydrique de Tiaret, conséquence des rejets industriels comportant des métaux lourds ( chrome, cuivre, plomb, zinc et nickel ).

Les usines répondant à cette caractéristique ont été inventoriées, les différents éléments toxiques ont été dosés et comparés aux normes Algériennes et à celles de l'union Européenne.

Cette comparaison fait ressortir une certaine différence par rapport aux normes établies en Europe.

Une rétrospective des différentes méthodes actuelles de traitement des effluents aqueux à consistance métallique et des perspectives futures a été également invoquée.

**Mots clés :** Eau – pollution – métaux lourds – toxicité – environnement – normes - traitement.

# ملخص

إن تلوث الموارد المائية السطحية و الجوفية نتيجة النفايات الصناعية يمثل تحدي رئيسي لحماية محيطنا.

التسمم الحقيقي و العالي للمعادن الثقيلة على صحة الإنسان، يجبرنا أن نراعي بالتناقص معايير النفايات الصناعية (1ملغ/ل للرصاص، 3ملغ/ل للنحاس، 5ملغ/ل للقصدير، و النيكل و 0.1 ملغ/ل للكروم).

بالنسبة لمنطقة تيارت، الموارد الحالية للمياه ناتجة إما من المياه السطحية أو من المياه الجوفية، المتواجدة في أسفل المنطقة الصناعية لتيارت، معرضة للتلوث نتيجة للفعالية أو لانعدام محطات التطهير على مستوى الوحدات الصناعية.

الدراسة المقدمة تتطرق لتقييم حالة التلوث المائي في مدينة تيارت، نتيجة النفايات الصناعية الحاوية للمعادن الثقيلة.

و قد تم جرد الوحدات الصناعية التي تتجاوب مع هذا الطرح كما تم معايرة مختلف العناصر المسممة و قرنت هذه الأخيرة مع المعايير الوطنية (الجزائر) و معايير الاتحاد الأوروبي، هذه المقارنة أظهرت بعض التفاوتات بالنسبة للمعايير المقتردى بها في أوروبا. تم كذلك تحديد مختلف الوسائل الحالية لمعالجة النفايات المائية ذات الحاويات المعدنية و النظرة المستقبلية لهذه الظاهرة.

الكلمات الأساسية: الماء، التلوث، معادن ثقيلة، تسمم، المحيط، معايير، معالجة.

## **Abstract**

The pollution of the surface and underground water resources following the industrial wastes constitutes a major challenge for the preservation of our environment.

The toxicity proven and raised heavy metals on human health us constrained to reduce the standards of rejections (1 mg/l for lead, 3 mg/l for copper, 5 mg/l for zinc and nickel, 0, 1 mg/l for chromium).

For the area of Tiaret, the current water resources result, that is to say surface waters; maybe of subsoil waters; ces derringers located downstream from the industrial park of Tiaret is likely to be polluted because of inefficacy or of the absence of the stations of purification on the level of the established factories.

The present study relates to the evaluation of the hydrous pollution of Tiaret, consequence of the industrial wastes comprising of heavy metals (chromium, copper, lead, zinc and nickel).

The factories meeting this characteristic were inventoried, the various toxic elements were proportioned and compared with the Algerian standards and those of the European union.

This comparison emphasizes a certain difference compared to the standards made in Europe.

A retrospective of the various current methods of the aqueous effluents with metal consistency and prospects future were also called upon.

**Key words :** Water - pollution - heavy metals - toxicity - environment - standards - treatment.

## **Avant propos**

La protection de l'environnement et la lutte contre la pollution des eaux constituent un problème important pour l'homme, dont sa prise en charge est impérative et urgente.

L'accroissement des populations, le développement des diverses industries, même dans les régions longtemps préservées, favorisent l'augmentation et la diffusion large de la pollution difficile à appréhender et à maîtriser.

La lutte contre la pollution des eaux est désormais liée à la protection de l'environnement.

L'augmentation de la demande en eau de qualité à divers usages ( domestique, agricole et industrielle ) pour une satisfaction indéfiniment des besoins de la population nécessite des procédés coûteux et compliqués.

La détermination de la part de pureté naturelle et originelle qu'il faudra restituer aux eaux de surface et aux eaux souterraines s'avère elle même une opération difficile.

Dans ce contexte et en concertation avec le Dr. Abdelkader DELLAL, directeur de thèse, ce travail a pu être réalisé, qu'il me soit permis de lui témoigner ici, ma profonde gratitude pour son dévouement et sa disponibilité ainsi que ma sincère reconnaissance pour les conseils et les orientations dont j'ai bénéficié durant la réalisation de ce travail.

Mes sincères remerciements vont à :

Messieurs Chaïb, Choukri, Hadj Saïd, Khaldi et Latigui enseignants au département des sciences agronomiques, université Ibn Khaldoun Tiaret pour leur abnégation tout au long de l'année de formation théorique.

Je tiens également à remercier très vivement :

Pr. A. Dilem, doyen de la faculté des sciences agronomiques et des sciences vétérinaires de l'université Ibn Khaldoun Tiaret pour l'honneur qu'il me fait en acceptant la présidence de ce jury.

Dr. L. Belarbi maître de conférence de la même université pour son consentement de faire partie du jury d'examination..

Je tiens à témoigner ma gratitude aux Dr. A. Amara et B. Khatmi, chargés de cours à l'université Ibn Khaldoun Tiaret qui ont bien voulu accepter de s'associer au jury.

Dr. L. Belarbi chargé de cours université Sidi Belabbès pour l'intérêt qu'il a bien voulu porter à ce travail et d'en avoir consenti à participer au jury d'examination.

Mes remerciements vont également à messieurs N. Hadj Zoubir et S. Hadj Ziane respectivement recteur et vice recteur chargé de la post graduation de l'université Ibn Khaldoun Tiaret pour leur compréhension.

Mes remerciements à tous mes collègues enseignants du département hydraulique et ceux du TC-SETI université Ibn Khaldoun Tiaret notamment A. Khaldi,

N. Ould Hamadouche et D. Senouci ainsi que M<sup>lle</sup> T. Boumethred du laboratoire Chimie et environnement

Une assistance soutenue, au cours de la mise en forme de ce mémoire, m'a été apportée par M.Mabkhout qu'il trouve ici mes sincères remerciements.

## **Liste des tableaux**

Tableau 1 : Températures maximales de Tiaret 1990 / 1999.

Tableau 2 : Températures minimales de Tiaret 1990 / 1999.

Tableau 3 : Températures moyennes mensuelles et amplitudes thermiques de Tiaret 1990 / 1999.

Tableau 4 : Moyenne mensuelle des précipitations de Tiaret 1986 / 1999.

Tableau 5 : Nombre de jours de gelée par an.

Tableau 6 : Directions et fréquences des vents.

Tableau 7 : Vitesse du vent pour l'année 1999 / 2000.

Tableau 8 : Nombre de jours de Sirocco par an.

Tableau 9 : Unités industrielles implantées à Tiaret.

Tableau 10 : Les rejets liquides E.N.F.

Tableau 11 : Rejets solides E.N.F.

Tableau 12 : Nature et quantité des articles SOTREFIT.

Tableau 13 : Rejets liquides SOTREFIT.

Tableau 14 : Rejets solides SOTREFIT.

Tableau 15 : Nature et quantité des produits GIPLAIT.

Tableau 16 : Rejets liquides GIPLAIT.

Tableau 17 : Rejets solides GIPLAIT.

Tableau 18 : Classification générale des eaux résiduaires.

Tableau 19 : Classes d'eaux résiduaires industrielles ( d'après DORE ).

Tableau 20 : Concentration de toxiques détruisant la faune piscicole d'un cours d'eau.

Tableau 21 : Rapport des toxicités de divers toxiques issus d'eaux résiduaires de galvanoplastie rapportées à  $KCN = 1$ .

Tableau 22 : Valeurs de certains paramètres des rejets industriels  
( Décret exécutif N° 93 – 160 du 10 Juillet 1993 Algérie ).

Tableau 23 : Réglementation concernant les effluents industriels  
( extraite de l'arrêté du 1<sup>er</sup> Mars 1993 U.E ).

Tableau 24 : Zones de pH de précipitation des différents métaux

( d'après L. Hartinger ).

Tableau 25 : Sélection de quelques résines Duolites utilisées dans le traitement des effluents contenant des espèces métalliques.

Tableau 26 : Pression osmotique en solution aqueuse à 25°C.

Tableau 27 : Méthodes de conservation des échantillons.

Tableau 28 : Tableau récapitulatif des méthodes de détermination des différents paramètres.

Tableau 29 : Analyse des rejets liquides GIPLAIT.

Tableau 30 : Analyse des rejets liquides E.N.F.

Tableau 31 : Analyse des rejets liquides SOTREFIT.

Tableau 32 : Tableau récapitulatif des rejets contenant les métaux lourds.

Tableau 33 : Comparaison entre les deux usines SOTREFIT – E.N.F pour leur rejet en Chrome.

Tableau 34 : Comparaison entre les deux usines SOTREFIT – E.N.F pour leur rejet en Cuivre.

Tableau 35 : Comparaison entre les deux usines SOTREFIT – E.N.F pour leur rejet en Zinc .

Tableau 36 : Comparaison entre les deux usines SOTREFIT – E.N.F pour leur rejet en Nickel .

Tableau 37 : Comparaison entre les deux usines SOTREFIT – GIPLAIT pour leur rejet en Plomb.

Tableau 38 : Tableau récapitulatif des moyennes des rejets toxiques 2000 / 2002.

## Liste des figures

- Figure 1 : Situation géographique et administrative de Tiaret.
- Figure 2 : Températures maximales de Tiaret.
- Figure 3 : Températures minimales de Tiaret.
- Figure 4 : Températures moyennes mensuelles et amplitudes thermiques de Tiaret.
- Figure 5 : Moyennes annuelles des précipitations de Tiaret 1986 / 1999.
- Figure 6 : Réseau hydrographique de la zone d'étude.
- Figure 7 : Processus de fabrication E.N.F.
- Figure 8 : Processus de fabrication SOTREFIT.
- Figure 9 : Traitement des eaux de cuivrage.
- Figure 10 : Traitement des eaux de décapage.
- Figure 11 : Traitement des concentrés.
- Figure 12 : Sulfaterie.
- Figure 13 : Station de refroidissement des eaux.
- Figure 14 : Installation de déminéralisation.
- Figure 15 : Installation de décapage.
- Figure 16 : Processus de fabrication GIPLAIT.
- Figure 17 : Zones des précipitation des principaux métaux lourds  
( d'après L. Hartinger ).
- Figure 18 : Schéma de fonctionnement d'une installation chimique de précipitation.
- Figure 19 : Installation de précipitation avec floculation mécanique et sédimentation séparée.
- Figure 20 : Schéma type du circuit d'eau dans une usine de galvanisation
- Figure 21 : Rejet E.N.F en métaux lourds.
- Figure 22 : Rejet SOTREFIT en métaux lourds.
- Figure 23 : Comparaison des moyennes des rejets en Chrome.
- Figure 24 : Comparaison des moyennes des rejets en Cuivre .
- Figure 25 : Comparaison des moyennes des rejets en Nickel .
- Figure 26 : Comparaison des moyennes des rejets en Plomb .
- Figure 27 : Comparaison des moyennes des rejets en Zinc .

## **Liste des abréviations**

**A.N.R.H** : Agence Nationale des Ressources Hydriques.

**D.H.W** : Direction de l'Hydraulique de la Wilaya.

**D.P.A.T** : Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire.

**E.T.M** : Eléments en Traces Métalliques.

**E.N.F** : Entreprise Nationale de Fonderie.

**GIPLAIT** : Groupement Laitier.

**O.D** : Oxygène Dissous.

**O.N.M** : Office National de la Météorologie.

**PPM** : Partie Par Million.

**SOTREFIT** : Société de Tréfilage de Tiaret.

**U.E** : Union Européenne.

# Table des matières

## Introduction générale

### Chapitre I

#### Caractéristiques et potentialités de la région d'étude

<b>1. Présentation de la zone d'étude ( Tiaret )</b>	<b>20</b>
<b>1.1 Situation géographique</b>	<b>20</b>
<b>1.2 Géomorphologie de la zone</b>	<b>20</b>
<b>1.3 Orohydrographie</b>	<b>22</b>
1.3.1 Aperçu climatologique	22
1.3.1.1 La température	22
1.3.1.2 La pluviométrie	26
1.3.1.3 La neige	27
1.3.1.4 La gelée	27
1.3.1.5 La grêle	27

1.3.1.6	L'orage.....	28
1.3.1.7	Les vents.....	28
<b>1.4</b>	<b>Réseau hydrographique.....</b>	<b>29</b>
<b>1.5</b>	<b>Etude géologique.....</b>	<b>32</b>
1.5.1	Les monts de Tiaret.....	32
1.5.2	Le plateau du Sersou.....	33
1.5.3	Massif du Djebel Nador.....	33
<b>1.6</b>	<b>Lithostratigraphie.....</b>	<b>33</b>
1.6.1	Le Jurassique.....	33
1.6.2	Le Crétacé.....	34
1.6.3	Le Miocène.....	35
1.6.4	Le Quaternaire.....	35
<b>1.7</b>	<b>Etude hydrogéologique.....</b>	<b>35</b>
1.7.1	Les aquifères.....	36

1.7.1.1	Nappe de l'ensemble du Barrémien ( Albiens – Calcaires du Turonien )...36	
1.7.1.2	Nappe des Dolomies du Kimméridgien.....37	
1.7.1.3	Nappe du Mio - Plio – Quaternaire.....37	
1.7.1.4	Nappe de l'ensemble Marno - Gréseux du Miocène.....37	

## **1.8 Potentialités industrielles**

	<b>existantes.....37</b>	
1.8.1	Complexe de fonderie de Tiaret :	
	E.N.F.....38	
1.8.1.1	Processus de fabrication.....38	
1.8.1.2	Activités du complexe.....38	
1.8.1.3	Besoins en eau.....38	
1.8.1.4	Rejets liquides et solides.....40	
1.8.2	Société de Tréfilage de Tiaret :	
	SOTREFIT.....40	
1.8.2.1	Processus de fabrication.....40	
1.8.2.2	Activités du complexe.....42	
1.8.2.3	Service des utilités.....42	
1.8.2.4	Rejets liquides rejets solides.....51	

1.8.3	Groupement laitier :	
	GIPLAIT.....	52
1.8.3.1	Processus de fabrication.....	52
1.8.3.2	Activités du complexe.....	52
1.8.4	Centre enfûteur ( G.P.L )	
	NAFTAL.....	56
1.8.5	Conclusion.....	
	.....	56

## Chapitre II

### Impact des « métaux lourds » sur l'environnement

<b>2.1</b>	<b>Origine et composition des eaux résiduaires.....</b>	<b>57</b>
<b>2.2</b>	<b>Effets toxiques des divers ions.....</b>	<b>58</b>
<b>2.3</b>	<b>Etude des différents éléments – Propriétés chimiques.....</b>	<b>63</b>
2.3.1	Le Chrome : Cr.....	63
2.3.1.1	Les alcalis NaOH – KOH.....	64
2.3.1.2	L'Ammoniaque NH <sub>4</sub> OH et les sels d'acides faibles [ Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> S ]..	64
2.3.1.3	L'Acétate de Sodium ( CH <sub>3</sub> COONa) à l'ébullition.....	64
2.3.1.4	L'Hydrogénophosphate de Sodium Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> .12H <sub>2</sub> O.....	65
2.3.1.5	L'oxydation du Cr <sup>+3</sup> en Cr <sup>+6</sup> .....	65
2.3.2	Le Cuivre : Cu.....	66
2.3.2.1	Les bases fortes NaOH , KOH.....	66
2.3.2.2	L'Ammoniaque NH <sub>4</sub> OH.....	66

2.3.2.3 Le Ferrocyanure de Potassium $K_4[Fe(CN)_6]$ .....	67
2.3.2.4 Le Thiosulfate de Sodium $Na_2S_2O_3$ .....	67
2.3.2.5 L'Aluminium, le Fer et le Zinc.....	67
2.3.3 Le Nickel : Ni.....	68
2.3.3.1 Les bases fortes NaOH , KOH.....	68
2.3.3.2 L'Ammoniaque $NH_4 OH$ .....	68
2.3.3.3 Les Carbonates des métaux alcalins.....	68
2.3.3.4 L'Hydrogénophosphate de Sodium $Na_2HPO_4.12H_2O$ .....	69
2.3.4 Le Plomb.....	69
2.3.4.1 Les bases : NaOH , KOH , $NH_4 OH$ .....	69
2.3.4.2 $H_2SO_4$ et les sulfates solubles ( ions $SO_4^{-2}$ ).....	69
2.3.4.3 $K_2Cr_2O_7$ .....	70
2.3.4.4 Iodure de Potassium : KI.....	70
2.3.4.5 L'Hydrogénophosphate de Sodium $Na_2HPO_4.12H_2O$ .....	70
2.3.5 Le Zinc : Zn.....	71
2.3.5.1 Les bases KOH – NaOH.....	71
2.3.5.2 L'Ammoniaque : $NH_4OH$ .....	72
2.3.5.3 Carbonates des métaux alcalins et d'ammonium.....	72
2.3.5.4 L'Hydrogénophosphate de Sodium $Na_2HPO_4.12H_2O$ .....	72
2.3.5.5 Sulfure d'hydrogène.....	72
2.3.5.6 Le Ferricyanure de Potassium $K_3 [Fe(CN)_6]$ .....	72
<b>2.4 Normes de qualité</b> .....	<b>73</b>
2.4.1 Valeurs limites des rejets industriels : Algérie.....	74
2.4.2 Normes européennes U.E.....	75
<b>2.5 Techniques de traitements</b> .....	<b>77</b>
2.5.1 Techniques actuelles.....	77
2.5.1.1 La précipitation.....	77
2.5.1.2 Echange d'ions.....	82
2.5.1.3 Méthodes électrolytiques.....	85

2.5.1.4 Méthodes membraneuses.....	85
2.5.2 Perspectives futures.....	89
2.5.3 Conclusion.....	90

## **Chapitre III**

### **Méthodes et matériels**

<b>3.1 Introduction.....</b>	<b>91</b>
<b>3.2 Conservation des échantillons.....</b>	<b>92</b>
<b>3.3 Méthodes d'analyses.....</b>	<b>94</b>
3.3.1 Paramètres physiques.....	95
3.3.2 Paramètres chimiques.....	96
<b>3.4 Matériels.....</b>	<b>98</b>

## **Chapitre IV**

### **Analyses Statistiques, Résultats et Discussions**

<b>4.1 Introduction.....</b>	<b>99</b>
<b>4.2 Résultats d'analyse.....</b>	<b>99</b>
4.2.1 Le groupement laitier GIPLAIT.....	99
4.2.2 Entreprise Nationale de Fonderie E.N.F.....	101
4.2.3 Société de Tréfilage SOTREFIT.....	102
<b>4.3 Analyse statistique des résultats.....</b>	<b>105</b>
4.3.1 Introduction.....	105

4.3.2 Méthode statistique utilisée.....	105
4.3.3 Conclusion.....	113
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>114</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>117</b>

## **Introduction**

La pollution multiple et diverse des eaux représente aujourd'hui la préoccupation majeure des principaux sujets environnementaux.

Matière vitale, l'eau est néanmoins le principal véhicule des différents rejets industriels souvent toxiques, la préservation de sa qualité et donc de celle de l'environnement entier en dépende, un intérêt particulier et une attention constante lui doit être consentie.

Il est attribué à l'activité de l'homme la responsabilité de la pollution des eaux ainsi que les inconvénients résultants de la pollution par cette activité, nous ne pouvons également conclure qu'une eau n'ayant pas subi l'activité de l'homme soit pour autant pure et propre à toutes les utilisations car les eaux polluées et les eaux non polluées présentent les caractères fixés généralement en fonction des usages, des conditions de leur rejet et des exigences de l'hygiène.

Il y a lieu de s'en remettre aux normes et mesures acquises dans ce domaine pour qualifier une eau polluée de celle qui ne l'est pas.

Après usage d'une eau , il en découle des eaux usées dont la composition peut être extrêmement complexe. Les composés solubles des métaux dits « lourds », constituent les principaux polluants des eaux résiduaires industrielles , présentant un danger certain pour l'homme .

En effet , il est bien établi actuellement que la plupart des métaux « lourds » constituent des poisons fatals lorsque leurs composés sont ingérés par l'homme au delà de certaines doses , leur élimination est souvent impossible , leur bioaccumulation dans les différents organes humains et autre organismes vivants est le mécanisme principal de leur action dévastatrice irréversible.

Les effluents caractérisés par ce genre de pollution doivent subir impérativement des traitement de décontamination, ces derniers sont recommandés pour trois raisons principales : [ 4 ]

## 18

- **Economique** : la plupart des bains métalliques représentent un fort investissement en matières premières d'où nécessité de prévoir des traitements pour leur récupération et leur réutilisation.
- **Environnementale** : la plupart des métaux usuels utilisés dans les procédés de traitements de surfaces ou d'autres opérations (Chrome , Nickel ,Zinc ,Cadmium...) sont très toxiques pour l'environnement aquatique et la préservation de celui-ci demande , par conséquent des mesures particulières.
- **Législative** : les rejets dans les cours d'eau doivent contenir impérativement moins de 10mg/l en espèce métallique, alors que les solutions utilisées dans les différents procédés se trouvent être relativement concentrées (quelque centaine de grammes par litre ) d'où un facteur de réduction requis de l'ordre de  $10^4$  à  $10^5$  .

Le plan du travail retenu pour l'élaboration de ce présent mémoire comportera

Les étapes suivantes :

- Une synthèse bibliographique où la région d'étude ( Tiaret ) sera présentée comme suit :
  - Sa situation géographique.
  - Sa climatologie.

- Son cadre géologique.
- Son cadre hydrogéologique.
- Potentialités existantes.
- Le second chapitre retracera les différentes actions néfastes des << métaux lourds >> et leur impact sur l'environnement.
- Les méthodes et matériels pour l'analyse des rejets liquides industriels feront l'objet du troisième chapitre.
- Le quatrième chapitre portera sur l'étude des résultats, analyse statistique et les recommandations relatives aux mesures et précautions à prendre afin d'endiguer ou d'en atténuer les problèmes liés à la dynamique des métaux lourds dans les eaux industrielles de Tiaret, objet de ce travail.

## **Chapitre I**

# **Caractéristiques et potentialités de la région d'étude**

## **1- Présentation de la zone d'étude : (TIARET )**

### **1.1 Situation géographique :**

Située au cœur des hauts plateaux du pays , la Wilaya de TIARET s'étend sur une superficie de 20086,62 Km<sup>2</sup> . Elle est limitée administrativement par les wilayates de ( voir figure 1 ) :

- Au nord : Tissemsiltet Relizaine .
- Au Sud : Laghouat et El Bayadh .
- A l'ouest : Mascara et Saïda .
- A l'est : Djelfa .

### **1.2 - Géomorphologie de la zone :**

La géomorphologie de TIARET est hétérogène ;

- Une zone montagneuse au nord.
- Les hautes plaines au centre .
- Des espèces semi arides au sud .

Cette diversité naturelle est caractérisée par l'Atlas Tellien et les hautes plaines .

Du nord au sud , nous avons :

- La chaîne de piémonts fortement érodée , constituant le versant sud de l'Ouarsenis

( Djebel :Bechtout,Si Mâarouf,Mahmoun et Guedèle ), à orientation Est-Ouest . Au pied de l'Ouarsenis , s'étend le plateau du Sersou qui est un vaste synclinal où prédomine des formes planes emboîtées entre 800et 1200m d'altitude .

- Les monts de Frenda constitués d'un ensemble montagneux de 1200m d'altitude en moyenne , cet ensemble prolonge localement les monts de Saïda au relief modéré et localement boisé.
- Le haut plateau , qui constitue lui même une vaste plaine regroupant la cuvette du CHOTT Chergui à l'ouest et le chaînon du Nador ( Djebels : Nador, N'Sour ,Es-safah et Ras Sidi-Abdellah ).



### **1.3.1 Aperçu climatologique :**

Sur le plan de la climatologie , la région de TIARET est caractérisée par deux principales périodes exprimant le contraste qui sévit durant l'année :

- Un hiver rigoureux avec de fréquentes chutes de neiges .
- Un été chaud et très sec .

De part leur effet régulateur , protecteur ou de dégradation des différents écosystème , une étude des facteurs climatiques s'avère nécessaire .

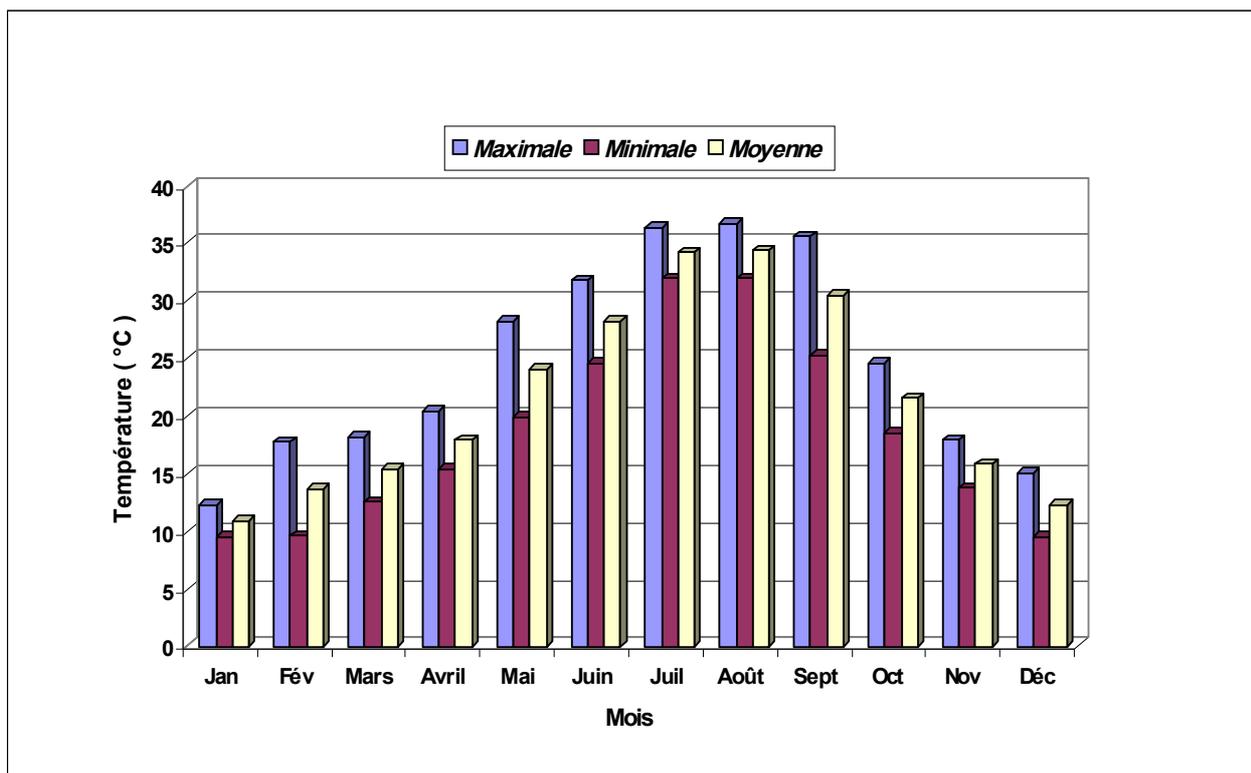
Les données relatives à la climatologie de la région d'étude (TIARET) sont fournies par l'office National de la Météorologie (O.N.M) : Station de TIARET [ 34 ] .

#### **1.3.1.1 –La température :**

Intervenant directement dans les processus biologiques et chimiques de la biosphère ainsi que dans l'activité humaine , elle représente l'un des facteurs essentiels du climat .

En effet une élévation importante de la température engendre une évaporation des oueds , des rivières , des mers , limitant ainsi la biodégradation , c'est un facteur caractérisant le type de climat et déterminant du régime d'humidité ( voir figures 2 et 3 ).

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc.
Maximale	12,3	17,8	18,2	20,4	28,2	31,8	36,4	36,7	35,6	24,6	17,9	15,1
Minimale	9,5	9,6	12,6	15,4	19,9	24,6	32	32	25,3	18,5	13,8	9,5
Moyenne	10,9	13,7	15,4	17,9	24,05	28,2	34,2	34,35	30,45	21,55	15,85	12,3



**Figure 2 : Températures maximales de Tiaret**

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Maximale	4,5	2,4	4,7	6,7	12,1	15,5	18,8	20,1	17,1	13	6,8	5,1
Minimale	-1,8	-3,4	0,7	2,5	5,6	9,1	14,8	15,3	11,5	6,2	2,8	-0,8
Moyenne	1,35	-0,5	2,7	4,6	8,85	12,3	16,8	17,7	14,3	9,6	4,8	2,15

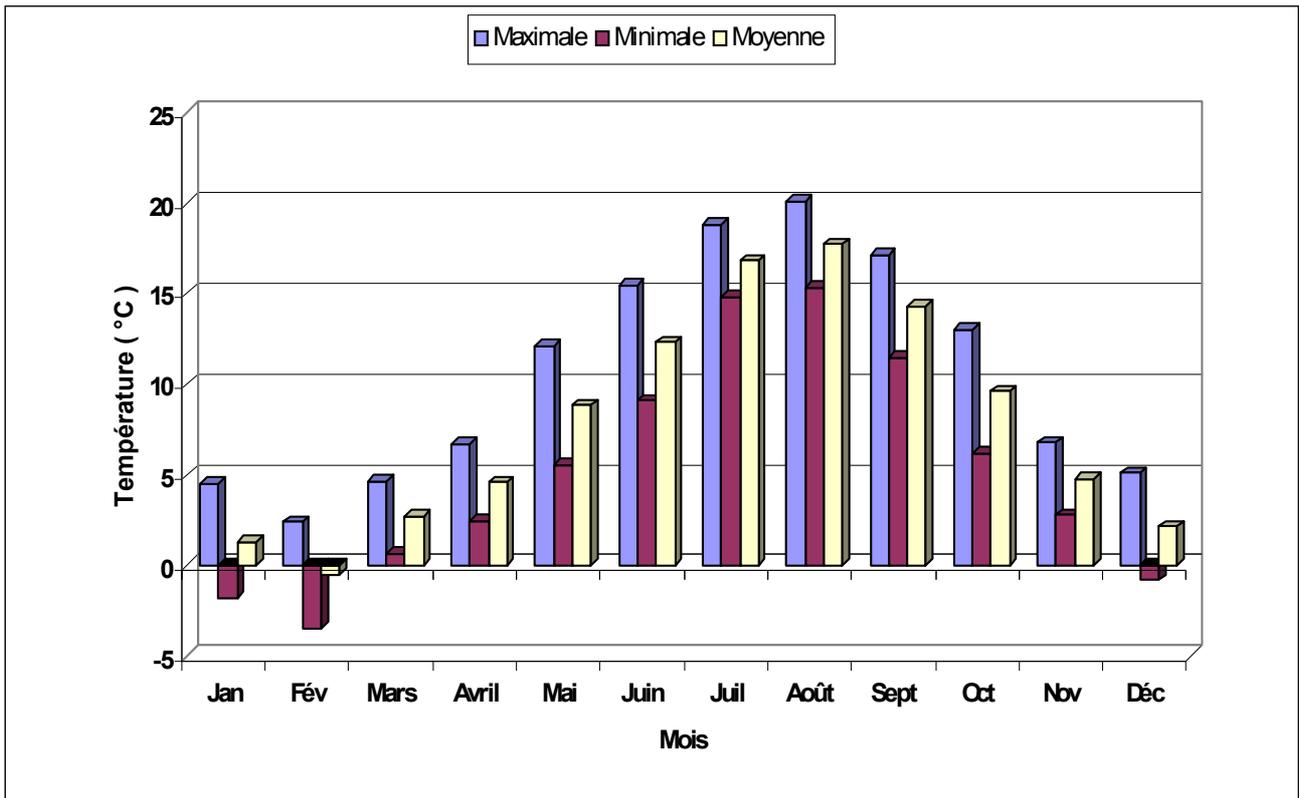


Figure 3 : Températures minimales de Tiaret

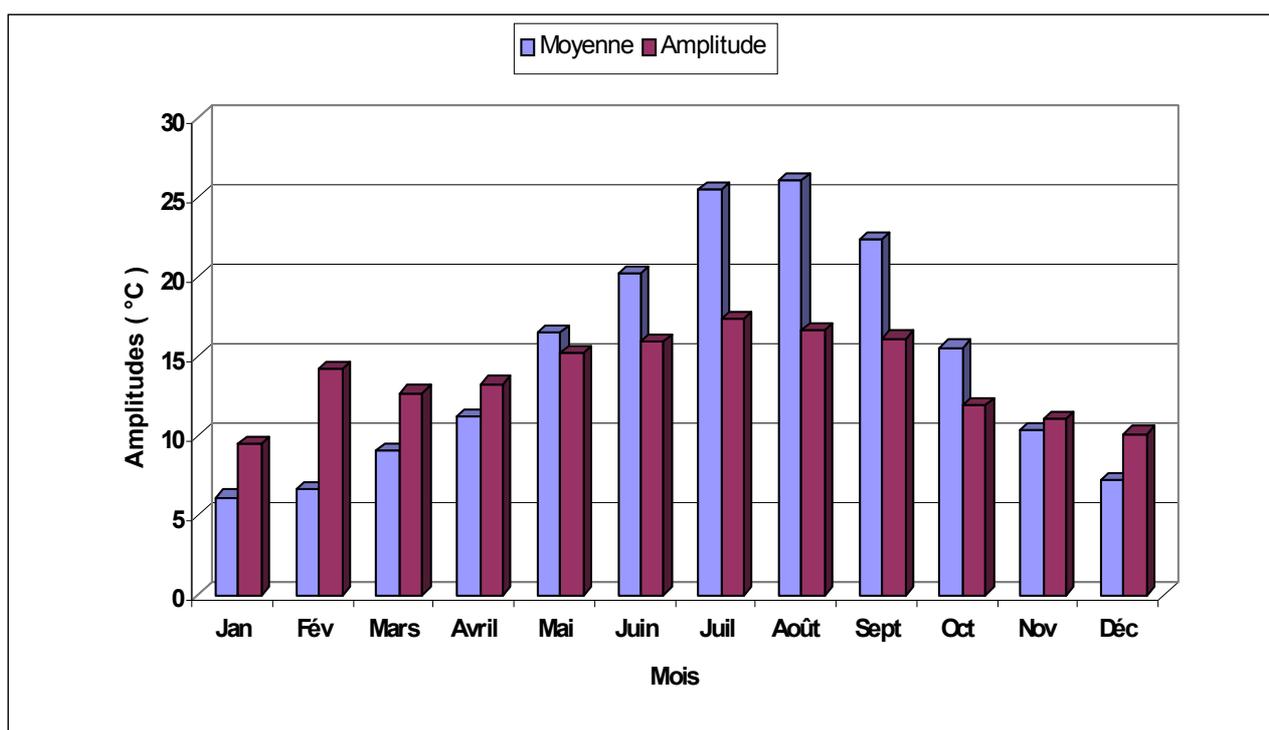
**Tableau N°3 :Températures moyennes mensuelles et amplitudes thermiques (°C)**

**Tiaret 1990 – 1999**

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Moy	6,12	6,6	9,05	11,25	16,45	20,25	25,5	26,025	22,375	15,575	10,325	7,225
Ampl	9,55	14,2	12,7	13,3	15,2	15,9	17,4	16,65	16,15	11,95	11,05	10,15

Un accroissement simultané des températures et des amplitudes thermiques est observé durant la période allant de JANVIER à JUILLET pour décroître du mois d'AOÛT à DECEMBRE .

L'amplitude minimale est observée le mois de JANVIER avec 9,55 °C tandis qu'elle est importante durant les mois d'été avec un pic de 17,3 °C le mois de JUILLET ( voir figure 4).



**Figure 4 : Températures moyennes mensuelles et amplitudes thermiques de Tiaret**

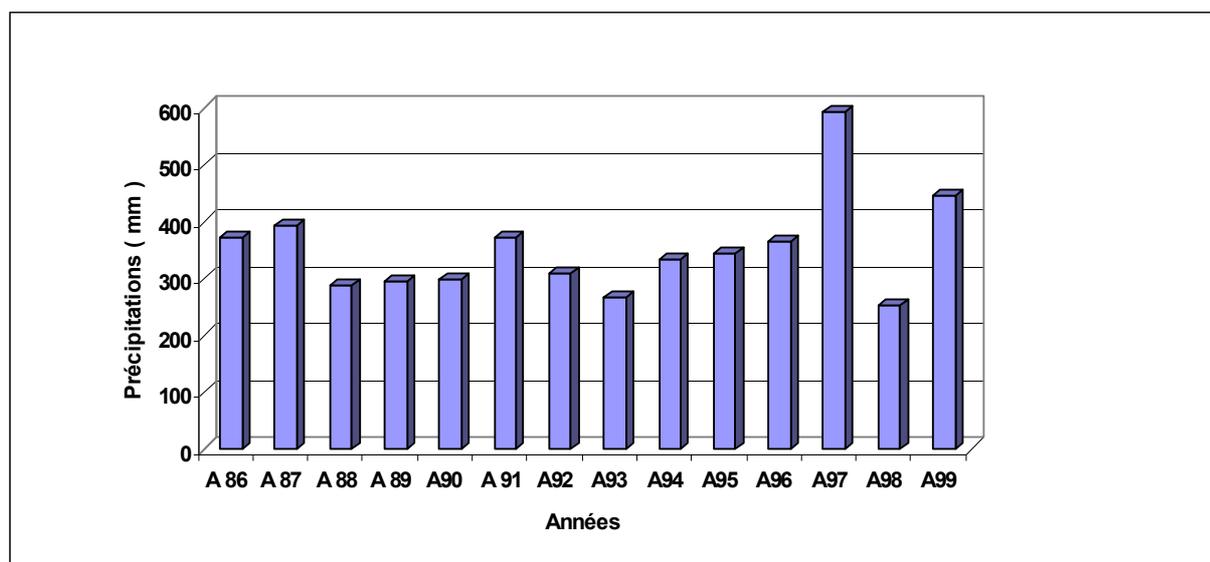
### 1.3.1.2 – La pluviométrie :

Recevant 300 à 400 mm de pluie par an, la Wilaya de TIARET fait partie intégrante de la zone steppique qui en reçoit entre 100 à 400 mm.

Le tableau 4 ci-dessous indique la moyenne mensuelle des précipitations en mm (données fournies par la station de météorologie de TIARET, Latitude 35°21', Longitude 01°28 E, altitude 977m).

**Tableau N° 4 Moyenne mensuelle des précipitations en mm**

Mois Ans	Jan	Fév	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc.	Total
1986	92,8	76,7	90,7	18,8	6,9	5,6	0	12,5	15,7	1,7	30,9	20,2	372,5
1987	115,6	77,5	20	7,4	15,1	15,1	7,2	16,8	2,2	6,4	59,2	49,9	392,4
1988	34,9	21,9	25	30,8	33,4	31,6	0	1,4	5,1	30	49,7	24,9	288,7
1989	15,4	28,4	32	47,1	33,7	17,8	5,8	54,9	13,1	2,2	24,7	20,6	295,7
1990	50,9	0,1	23,1	34,6	42,1	4,5	8,7	0,2	23,1	11,2	40	60,1	298,6
1991	29,7	40,8	118,5	12,8	24,3	7,1	8	13	19,5	70,8	12,4	13,9	370,8
1992	22,7	18,9	48,6	50,9	58,5	11,2	18,3	4,5	13	12,1	19,5	30,8	309
1993	1,5	30,3	22,6	35,7	59	0	0	13,7	30,6	12	27,8	33,8	267
1994	29,5	32,5	2,9	23	8,2	0	2,2	6,2	117,9	88,1	13,5	10,3	334,3
1995	50	13	64	21	23	0	5	27	20	23	43	56	345
1996	60	28	42	71	26	23	30	10	11	15	6	43	365
1997	56	7	0	130	30	0	2	53	88	83	106	38	593
1998	26	29	17	50	66	2	0	4	12	8	9	30	253
1999	57	22	67	0	12	18	14	32	56	25	79	65	447



**Figure 5 : Moyennes annuelles des précipitations de Tiaret 1986 - 1999**

### 1.3.1.3 –La neige :

En raison de son infiltration lente et profonde dans le sol lors de sa fusion,

la neige est un régulateur des écoulements superficiels et une source d'alimentation des nappes souterraines . Cet avantage se trouve accru lors d'un enneigement étalé dans le temps .

L'épaisseur de la couche de neige est en moyenne de 10 cm pouvant atteindre 60 cm sur le Djebel Nador pour une période de 20 jours / an en moyenne . Pour la zone d'étude la période moyenne d'enneigement est de 10 jours / an .

#### **1.3.1.4 –La gelée :**

Aux basses températures , les gelées font leurs apparitions . Le phénomène de gelée nuit considérablement aux cultures ( cultures maraîchères et arboricultures) durant le printemps et l'automne.

Ce phénomène de gelée se trouve aggravée par la situation géographique du bassin versant , ce dernier se trouvant dans une cuvette où s'accumule l'air froid venu de l'amont , constituant ainsi les lacs d'airs froid à l'aval du bassin .

La gelée est étalée du mois d'Octobre au mois d'Avril, cependant le risque d'apparition de ce phénomène est important aux mois de Décembre , Janvier et Février ( voir tableau 5 ).

**Tableau N° 5 :Nombre de jours de gelée par an.**

<b>Mois</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>D</b>	<b>J</b>	<b>F</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>O</b>	<b>Total</b>
<b>Nombres de jours</b>	0	4	3	10	9	6	2	1	0	0	0	0	35 / an

#### **1.3.1.5 - La grêle :**

Irrégulière dans son intensité et sa localisation , la chute de grêle est presque nulle en été .

Les mois de Février, Mars constituent la période où l'on dénote une fréquence maximale de chute . La grêle est dévastatrice pour les céréales lors de sa chute au mois de Mai , période de la floraison et du grossissement du grain .

Pour la région la fréquence moyenne de la chute de grêle est de 3,9 jours/ an .

#### **1.3.1.6 –L'orage :**

L'orage est une perturbation atmosphérique violente, suivie d'averses , de tonnerres et d'éclairs .

Ces perturbations sont le produit de l'opposition entre l'air tropical et l'air polaire qui provoque un orage générant de fortes précipitations .

D'importantes quantités d'eau tombe en un temps très court , accélérant aussi le phénomène d'érosion d'où leur inconvénients sur le plan géomorphologique .

Les orages durent 18,2 jours par an pour la région de TIARET avec une fréquence élevée durant la période chaude (Mai à Septembre ) pour décroître sensiblement d'Octobre à Avril

### **1.3.1.7 - Les vents :**

Posant des difficultés d'observation, le vent est un élément caractéristique du climat .

Le déplacement du vent est fonction de l'altitude , de la pression atmosphérique et des saisons .

**Tableau N° 6 : Directions et fréquences des vents ("%)**

Direction	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar.	Avr.	Mai	Juin	jui	aout	Moy.
N	23	19	11	11	14	11	20	16	20	25	25	22	18
NE	11	14	10	8	11	12	9	10	9	10	11	12	11
E	2	3	5	2	4	5	4	3	4	4	2	3	3
SE	3	3	3	4	3	4	2	3	2	2	2	2	3
S	12	14	16	16	12	12	10	12	10	8	7	9	12
SO	11	15	19	22	19	19	9	12	9	7	8	8	14
O	19	20	24	26	23	27	27	28	27	28	27	22	25
NO	18	14	13	12	13	14	18	15	18	16	18	23	16

Source :A.N.R.H 2000

**Tableau N° 7 : Vitesse du vent pour l'année 1999-2000**

Mois	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai
Vitesse m/s	3,7	3,0	3,1	2,7	2,9	2,8	2,2	2,1	2,3	3,7	4,3	3,5

Source : A.N.R.H 2000

- Le tableau N° 6 indique la fréquence et la direction des vents soufflants sur le bassin versant (données de la station de l'Oued El Abtal située à l'aval du barrage Ben Khadda) .

Durant la plus grande partie de l'année , les vents de l'ouest sont les plus dominants , viennent ensuite les vents du Nord présentant une fréquence importante au mois de Juin à Juillet.

- Les vents sont violents au printemps et en été , leur vitesse moyenne est comprise entre 3 à 4 m/ s ( voir tableau 7 ).

- Le Sirocco vent très chaud , très poussiéreux et très desséchant, à bourrasques abrasives , provoque des évaporations importantes.. Le bassin, versant subit les affres de ce Sirocco à raison de 5 fois par an en moyenne ( voir tableau 8 ).

**Tableau N°8 : Nombre de jours de sirocco par an**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
Nombre de jours	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	5

Source : A.N.R.H 2000

#### **1.4 – Réseau hydrographique :**

Dans la région de Tiaret il y a deux grands bassins versants : le Cheliff et les hauts plateaux , ils sont subdivisés en quatre sous bassins versants , drainés par 889 Km d'Oueds pérennes et 1049 Km de cours d'eaux intermittents représentés par : Oued Mina ,Oued Touil ,Oued Mehti ,Oued Tiguiguest , Oued Rhiou , Oued Souslem ,Oued Abed , Oued Taht et Tounkira .

Ces Oueds ont permis la réalisation de trois barrages : Ben Khadda, Dahmouni et Bougara.

Le barrage de Ben Khadda étant, celui où se déversent les eaux de la région , objet de notre travail .

La région de Tiaret est constituée par deux ensembles : Un ensemble montagneux et une dépression. Le Djebel Ouzzoul est un chaînon orienté Nord-Nord-Est, Sud-Sud-Ouest de forme allongée sur 13 Km de long et environ 3,5 Km de large . Il se distingue par un abaissement d'altitude au niveau d'Oum Teffoune , l'altitude passe de 1200m à 1094 m.

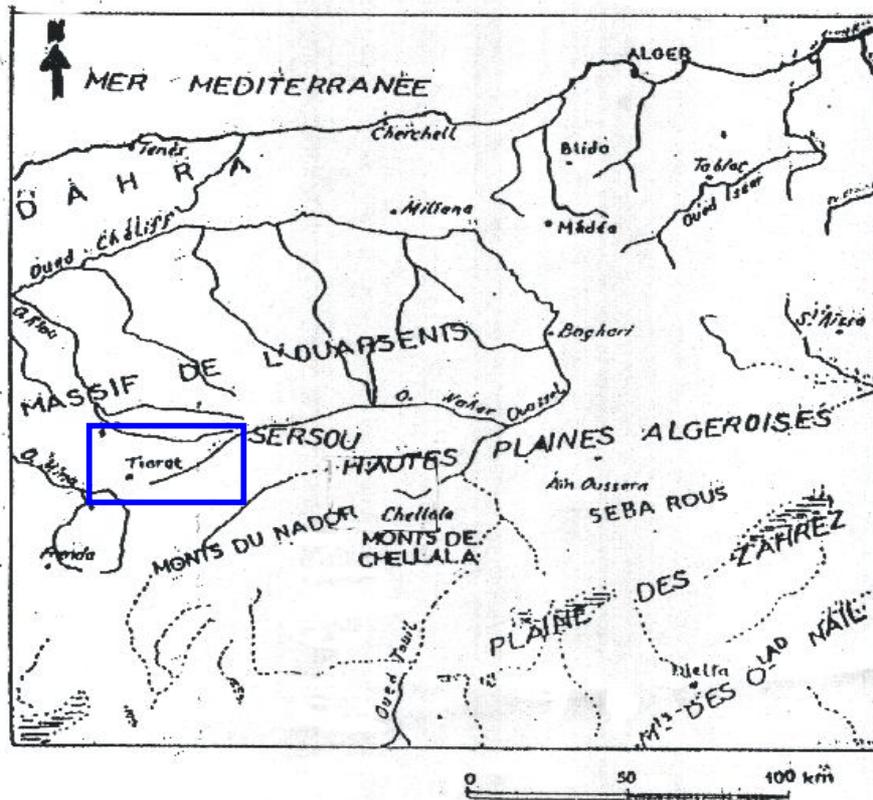
Le col de Tandji étant le point culminant à 1224 m d'altitude .

Un réseau hydrographique et des châteaux permettent l'évacuation montagneux vers le piémont .

Les eaux se déversent par la suite dans le barrage de Ben Khadda , qui est alimenté par les eaux de l'Oued Tolba ( comportant les eaux usées industrielles , urbaines et les eaux de ruissellement ) . Ceux de Oued Mina ainsi que les eaux de précipitation .

Oued Mina prend sa source sur le plateau Calcaireux du miocène , situé entre l'extrémité Ouest du Djebel Nador et Frenda et à l'est des monts de Frenda ( voir figure 6 ) et cela à la cote 1150 m . Il coule du sud au nord avec une pente faible et régulière , érodant le plateau calcaire et marno- calcaire, traversant aussi des assises calcaires et argileuses redressées et un banc dolomitique formant une chute de 40 m environ de hauteur .

Après le banc dolomitique , l'Oued bute sur les dépôts du miocène du Djbel Guezzoul et s'infléchit vers l'Ouest pour garder cette direction EST-OUEST jusqu'au barrage Ben Khadda.



**Légende :**

-  : Oued pérenne
-  : Zone d'étude
-  : Chotts
-  : Oued intermittent

**Figure 6 : Réseau hydrographique de la zone d'étude**

## **1.5 - Etude Géologique :**

La région de Tiaret est caractérisée par un relief diversifié.

Au sud la structure géologique est relativement simple , constituée de vastes étendues sédimentaires avec des massifs de calcaire isolés et un édifice plus complexe au nord par des séries hétérogènes qui touche la bordure sud tellienne . Nous verrons du Nord au Sud :

### **1.5.1- Les monts de TIARET :**

Ces monts correspondent à une série de Djebel ( Bechtout , Si Mâarouf et Mahmoun ) d'orientation générale Est-Ouest , constituant une chaîne de piémonts de la bordure sud de l'Ouarsenis .

Au nord de Tiaret , il y a un socle primaire constitué de roches volcaniques qui affleurent au niveau de Djbel Bechtout . L'extrusion de ce socle a favorisé l'affleurement du jurassique supérieur ( calcaire- dolomie ) à Bou-Geddou , par lesquelles reposent des séries tertiaires du miocène marin constitué de grès avec intercalation de marne et marne calcaire qui couvre toute la partie . Le socle rigide apparaît a la faveur des failles de direction générale Est-Ouest . Le massif de Guezzoul au Nord , est constitué par le miocène avec alternance de grès .

Les grès stratifiés ou massifs sont plus ou moins désagrégés aux sommets et compacts sur les versants .

Les argiles sont finement stratifiées et très altérées en surface .

Les alluvions qui recouvrent les roches en place sont composés de limons fins sablonneux parfois argileux d'une épaisseur variables de 3 à 5 m et cela au bas des versants , sur les sommets l'épaisseur est de 1 à 1,5 m , ces dépôts sont de formation récente , ils sont dus à la désagrégation de la roche mère .

Les dépôts alluviaux sont composés de sables , galets et cailloutis de taille grossière. L'épaisseur de ces dépôts d'apport varie en fonction de la topologie du terrain .

Le plateau de Tiaret au sud-est est caractérisé par une série de petites collines intercalées de vallées peu profondes .

Ce plateau est constitué par des calcaires et des marnes du pliocène . Les affleurements des calcaires gréseux sont très étendue et donnent au relief des formes assez anguleuses et diaclasées . Les marnes peu résistantes n'affleurent que par endroit . Elles sont accumulées dans les dépressions et au fond des anciennes vallées, ce qui donne au paysage un aspect mou et vallonné . Les dépôts alluviaux constitués de cailloux , sable grossier et galets sont très importants au bas du versant , ils sont en abondance dans la zone Sud de contact avec le massif de Guezzoul et dans la partie orientale de Tiaret .

### **1.5.2 – Le plateau du Sersou :**

C'est une vaste étendue tabulaire s'étendant du pied de l'Ouarsenis et située vers 850 à 900 m d'altitude .

Le relief est pénéplaine recouvert du sédiment continental pliocène ( grès , calcaire argileux , marne et calcaire lacustre) qui constitue la terminaison orientale de la meseta Oranaise .

### **1.5.3 – Massif du Djebel Nador :**

Massif d'altitude moyenne de 1200 m , cet ensemble montagneux a un relief modéré .

Au sud de Tiaret , le Djebel Nador laisse apparaître un anticlinal du Trias ( argile bariolée-gypse et calcaire ) et tout le jurassique ( calcaire –dolomie- marne ) .

## **1.6 Lithostratigraphie :**

La région est caractérisé par une succession de terrains allant du Jurassique au quaternaire .

### **1.6.1 – Le Jurassique :**

Il est représenté au Djebel Nador , il est constitué par :

- Le jurassique inférieur ( Lias ) :
- Lias inférieur : représenté par des dolomies cristallines et calcaires à grain fins plus ou moins dolomitisés .

- Lias moyen et supérieur : composés de :

◆ Domérien : représenté par des calcaires marneux .

◆ Toarcien : représenté par des marnes schisteuses.

◆ Aalenien : représenté par des calcaires sublitographiques à grains fins.

• Le jurassique moyen : représenté par le Bajocien et probablement par le Bathonien . Il est constitué par une série de grès quartzeux roux ou blanc , très peu fossilifère et dont l'épaisseur atteint une centaine de mètre . Le passage de cette série détritique à Aalenien (calcaire) se fait par l'intermédiaire d'un conglomérat de base à galets de calcaire.

• Le jurassique supérieur, il est représenté à la base par des marnes schisteuses noires et grises avec intercalation de quelques horizons marno- calcaires.

La partie moyenne est composée de marnes et marno-calcaires.

Au sommet nous avons des dolomies cristallines, souvent appartenant au Kimmeridgien . A ces dépôts succèdent des calcaires bien lités à grains fins marneux ou dolomitisés du tithonique .

### **1.6.2 – Le crétacé :**

• Le crétacé inférieur : nous avons le Barriasien –Valanginien qui est constitué par des formations calcaire-dolomitiques assez marneux , des marno-calcaires gréseux et enfin des formations calcaire-gréseuses qui comprennent une alternance de calcaires ou de dolomies et des marnes ou argiles avec des passées gréseuses plus ou moins fréquentes .

• Le crétacé supérieur .

◆ Cénomaniens : il est formé de marne argilitique , de calcaires tendres , de grès et d'un conglomérat à la base. Suite à la coupe géologique du sondage mécanique , nous avons de la base au sommet .

- Des marnes compactes plus ou moins schisteuses de 15,25 m
- Des marno-calcaires de 2,5 m .
- Des marnes plus ou moins schisteuses de 4 m .

- Des calcaires avec quelques passées marneuses de 2,5 m .
- Des marno- calcaires à intercalation marneuse de 2,5 m .

◆ Le Turonien : il est représenté par des dolomies gréseuses et des calcaires. Il repose en concordance sur des terrains d'âge cénomanien et affleure essentiellement dans la partie sud-est.

◆ Le Cénomien : il est largement représenté au sud du bassin. Son faciès est très varié et comprend des calcaires, des argiles gypseuses, des grès, des conglomérats de marnes et des calcaires.

### **1.6.3. Le Miocène :**

Il est transgressif sur le crétacé supérieur et forme la structure actuelle du bassin versant. Il est composé de grès, des conglomérats de marnes et des calcaires.

### **1.6.4. Le Quaternaire :**

● Quaternaire ancien : c'est une formation fluvio-lacustre, très hétérogène, constituée de marnes crayeuses plus ou moins sableuses et argileuses parfois couvertes de lits de sables et de galets, elle renferme des encroûtements calcaires, parfois cette formation est simplement constituée de calcaire tendre et fissuré.

● Quaternaire récent : il recouvre de grandes étendues, il a un faciès hétérogène de limons , de galets et de sables.

### **1.7. Etude hydrogéologique :**

du point de vue hydrogéologique, la région de Tiaret a été couverte par une série de forages permettant de cerner les potentialités hydriques en ce qui concerne les eaux souterraines de la région et de découper cette dernière en plusieurs zones relativement homogènes du point de vue des caractéristiques hydrogéologiques.

● Zone Nord : elle est constituée par le cœur du massif de l'Ouersenis, les monts de Tiaret et la vallée de Mina constituent son piémont Sud. La limite sud est matérialisée par Nahr Ouassel, à l'Est de Tiaret, la Mina de Tagdempt et une ligne Est-Ouest à l'Ouest de Ben Khadda.

Cette région comporte des terrains fortement plissés ou charriés, formant des reliefs très accentués et profondément découpés par l'érosion.

•Zone Ouest : elle comporte les bassins des oueds Taht et Abd et le versant nord de Chott Chergui. Les terrains aquifères sont constitués de dolomies et des calcaires du Jurassique moyen et inférieur ; les terrains de Chott Chergui sont du Jurassique moyen.

•Zone Est : comprend le plateau du Sersou et la plaine de Ksar- Chellalla , elle est limitée au nord par la vallée du Nahr-ouassel, à l'est par les Oueds Touil et Ouerk , à l'ouest par la remontée des marnes miocènes dans la région de Si Houes.

Dans cette zone , il existe une nappe phréatique dont le remplissage est le mioplio-quadernaire..

•Vallée du Touil : l'aquifère principal est le continental intercalaire , qui s'enfonce sous les terrains moins anciens , en plus dans la série stratigraphique , les calcaires du Turonien constituent un autre aquifère .

•Monts de Chellala : entre la plaine de Ksar –Chellala au Nord et la vallée de Oued Touil au Sud , les monts de Chellala correspondent à un horst formé de terrains Jurassique constitués essentiellement des calcaires et dolomies du Kimméridgien et du portlandien - Tithonique .

•Vallée de la haute Mina . Cette vallée joue le rôle de drain naturel des terrains marno-calcaires du jurassique supérieur et créacé qui forment son bassin versant .

### **1.7.1 –Les aquifères :**

#### **1.7.1.1 Nappe de l'ensemble du barrémien ( Albien-Calcaires du Turonien )**

Sa formation la plus dominante est l'ensemble gréseux qui se divise en trois parties :

- Partie gréseuse inférieure ( Valanginien-Barrémien )
- Partie grésocarbonatée moyenne ( Albien )
- Partie gréseuse supérieure ( Albien ) constituée par des grès inférieurs ( 60m ) et des argiles gréseuses ( 10 m )

### **1.7.1.2 – Nappe des dolomies du Kimmeridgien :**

La formation dolomitique est en générale assez perméable ( 200 à 300 m d'épaisseur ) Ce sont des calcaires lusithaniens qui sont très étendus dans cette zone , le Djebel Nador est composé dans sa grande partie de dolomies du Kimmeridgien et se prolonge jusqu'à Rechaïga à l'est où elles se mêlent au calcaire du Jurassique supérieur .

### **1.7.1.3 – Nappe du Mio-plio-quadernaire :**

Les dépôts continentaux mal datés ( éventuellement de l'Oligocène ) comblent les dépressions sur une très grande superficie .

Ils sont essentiellement constitués d'argiles ou de sables et éventuellement de niveaux de calcaires lacustres .

### **1.7.1.4 – Nappe de l'ensemble marno-gréseux du Miocène :**

La majeure partie du miocène est constituée de marnes , sables et le grès formant notamment les reliefs proches de Tiaret . L'important emmagasinement d'eau s'explique par les passages de grès du Miocène .

## **1.8 – Potentialités industrielles existantes**

L'industrie joue un rôle moteur de développement pour un pays ; tant la multiplicité et la diversité des industries est judicieusement choisies .

Tiaret , à l'instar des autres wilayates du pays a bénéficiée des différentes industries implantées à travers le territoire de la Wilaya .

Le développement important du tissu industriel à Tiaret s'est fait en un temps très court et ce malgré la vocation plutôt agricole de la région , l'année 1976 constitue l'entame des premières installations industrielles avec le démarrage du complexe lainier de Tiaret.

Ainsi une zone industrielle de la ville de Tiaret , a pu être dégagée avec une superficie de 125 Ha, dotée de toutes les utilités et située sur la route de Zâarroura (sud ouest de la ville ) .

Dans cette partie , on dressera un inventaire des différentes industries opérationnelles et leurs caractéristiques techniques voir tableau 9 .

Les caractéristiques techniques des différentes installations industrielles seront détaillées pour les unités génératrices de pollution suite à leurs rejets liquides comportant des « métaux lourds ». [ 32 ]

**Tableau N° 9 : unités industrielles implantées à Tiaret**

<b>Unités</b>	<b>Production</b>
E.N.F	Fabrication des pièces moulées : Fonte , acier pour l'industrie de transformation
SOTREFIT	Tréfilerie – Treilles soudés
GIPLAIT	Lait et sous produits
NAFTAL	Butane – Propane
SONELGAZ	Energie
SNVI	Carrosserie industrielle

### **1.8.1 - Complexe de Fonderie de Tiaret : E.N.F**

#### **1.8.1.1 –Processus de fabrication ( voir figure 7 ) :**

Schématiquement : fusion du métal —————> Moulage —————> Coulée

#### **1.8.1.2 – Activités du complexe :**

Fabrication de pièces moulées en fonte et en acier : 30 tonnes de fonte et 1000 tonnes d'aciers .

#### **1.8.1.3 – Besoins en eau :**

Les besoins en eau s'élève à 250 m<sup>3</sup>/ j dont 10 m<sup>3</sup>/ j pour les utilités et 240 m<sup>3</sup>/ j pour les besoins des fabrications .

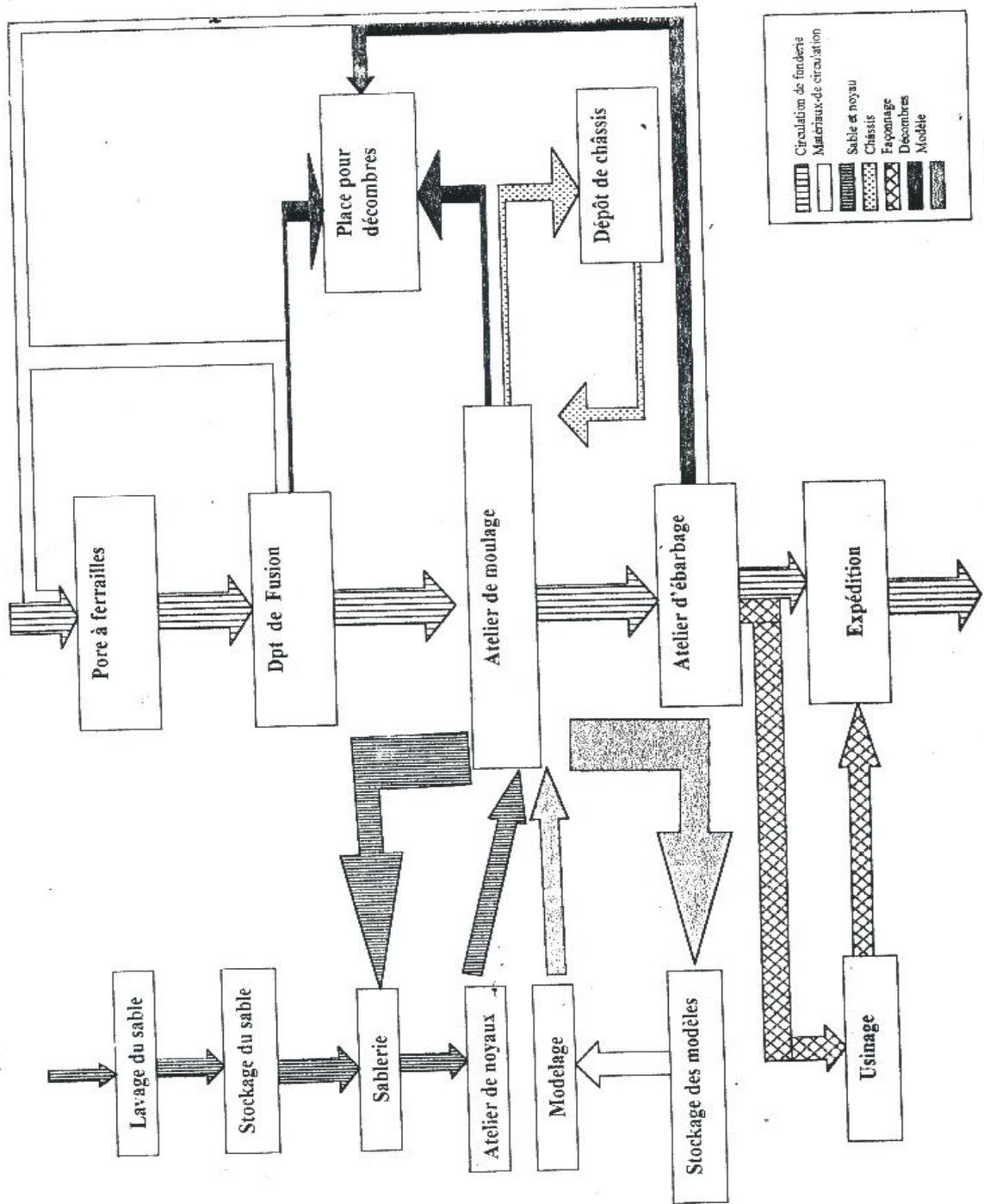


Figure 7 : Processus de fabrication E.N.F

**1.8.1.4 – Rejets liquides et solides :**

**Tableau N° 10 : Rejets liquides E.N.F**

<b>Volume des eaux usées ( m<sup>3</sup>/ j )</b>	<b>Milieu récepteur</b>	<b>Polluants</b>	<b>Types de pollution</b>
100	Oued Tolba	M.E.S E.T.M M.Organiques M.Oxydables	Physico-chimique

**Tableau N° 11 : Rejets solides ( Déchets solides ) E.N.F**

<b>Quantité ( T / an )</b>	<b>Milieu récepteur</b>	<b>Types de déchets</b>	<b>Types de pollution</b>
3000	Stockés sur site	Sable de moulage Scories de fusion	Pollution du sol

Le complexe ne dispose pas de station d'épuration d'où l'impact de ces rejets sur l'environnement .

### **1.8.2 – Société de Tréfilage de Tiaret : SO.TRE.FIT**

#### **1.8.2.1 – Processus de fabrication ( voir figure 8) :**

Schématiquement décapage – tréfilage- recuit –galvanisation – cuivrage – conditionnement .

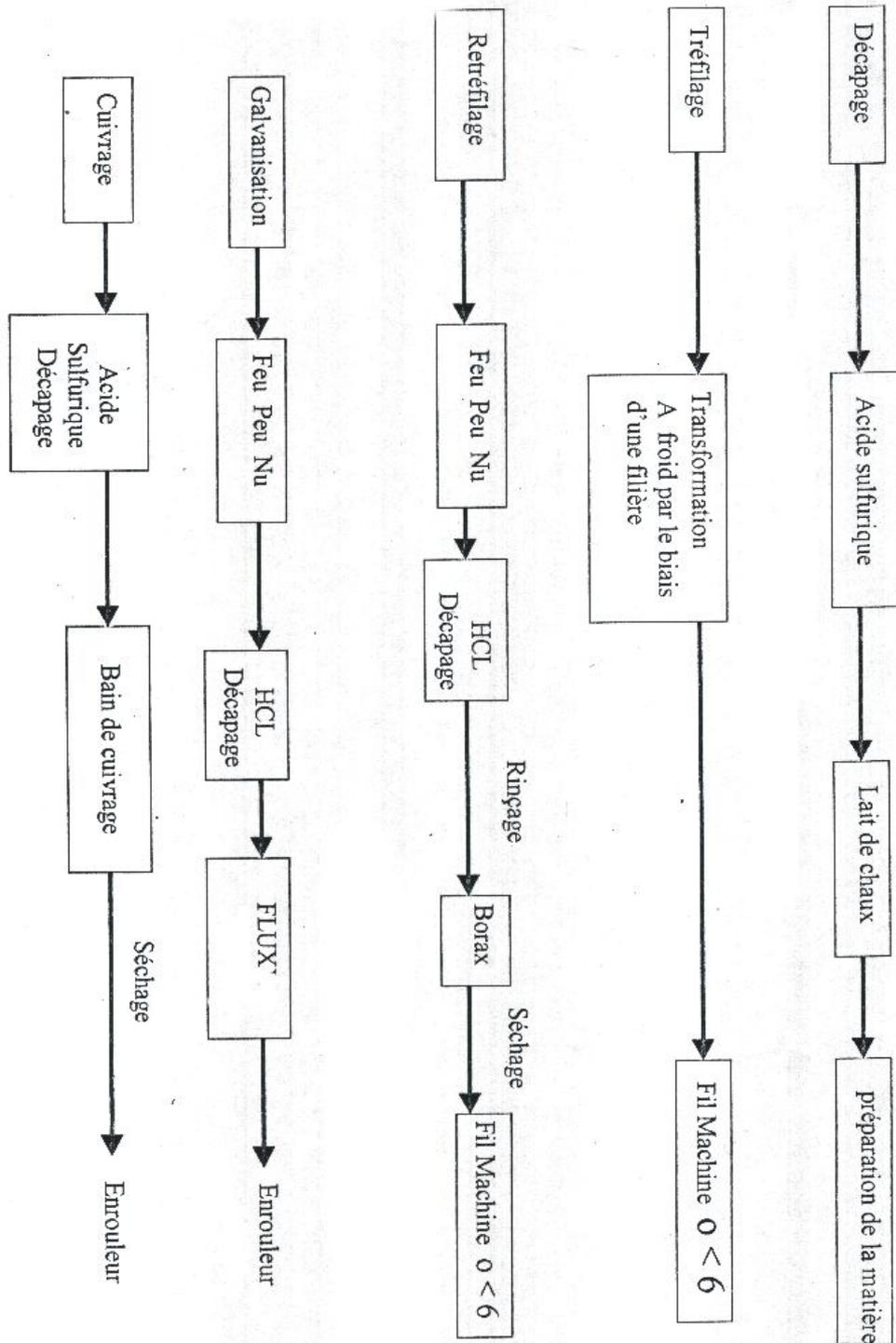


Figure 8 : Processus de fabrication SOTREFIT

La principale activité réside dans la production des fils tréfilés à froid dont les principaux produits sont : fil d'attache , fil pick-up , fil galvanisé , fil cuivré pour soudure , treillis soudés , éléments tridimensionnels . Tous ces articles sont produits à partir du fil machine laminé à chaud d'El-Hadjar.

**Tableau N°12 : nature et quantité des articles SOTREFIT**

<b>Articles produits</b>	<b>Quantité : T /an</b>
Fil d'attache	1000
Fil pick-up	3000
Fil galvanisé	2500
Fil cuivré	150
Treillis soudés	4000
Eléments tridimensionnels	360

Les divers procédés de tréfilage nécessitent certains services ( eau , air comprimé , vapeur , acides ) qui sont indispensables pour la mise en marche des installations .

### **1.8.2.3 – Service des utilités :**

Ce service « utilités » comprend les parties suivantes :

- Stockage des acides :

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> à 98 % : Décapage sulfaterie et cuivrage .

HCL à 33 % : Traitement avant tréfilage .

- Station de neutralisation :

Le principe de fonctionnement se base sur la neutralisation de l'eau ou d'une solution acide par une solution basique ( lait de chaux ) , avec cette opération tous les métaux , présents sont transformés en hydroxydes qui à un pH déterminé , se précipitent sous forme de flocons lourds – gélatineux .

L'installation de neutralisation est constituée par une série de cuves de collecte de divers bains chimiques épuisés et des eaux de lavage à traiter .

L'installation comprend trois lignes de traitement :

a)- ligne de traitement des eaux de lavage-ligne cuivrage ( voir figure 9 ) .

b)- ligne de traitement des eaux de lavage-ligne décapage

( voir figure 10 )

c)- ligne de traitement des eaux des bains concentrés ( voir figure 11 ).

•Sulfaterie ( voir figure 12 ) :

Lors des générations de décapage , le bain s'enrichit en fer et s'appauvrit en  $H_2SO_4$  .

• Station de refroidissement des eaux ( voir figure 13 ) :

L'installation est conçue pour refroidir  $445m^3 / h$  d'eau en la ramenant de  $38^{\circ}C$  à  $28^{\circ}C$  . l'installation sert :

- Le tréfilage .
- Le cuivrage .
- La galvanisation.
- La sulfaterie .
- Les tableaux électriques des machines à tréfiler .
- La neutralisation .

•Installation de déminéralisation ( voir figure 14 ) :

Une capacité de  $264 m^3 / j$  d'eau déminéralisée dont  $113 m^3 / j$  sont ajoutés au circuit de refroidissement .

•Installation de décapage ( voir figure 15 ) :

Le fil machine se présente avec une couche d'oxyde superficielle ( calamine ) , cet oxyde de fer aura une action abrasive sur les filières , pour cette raison tout le fil machine avant d'être tréfilé devra subir un décapage .

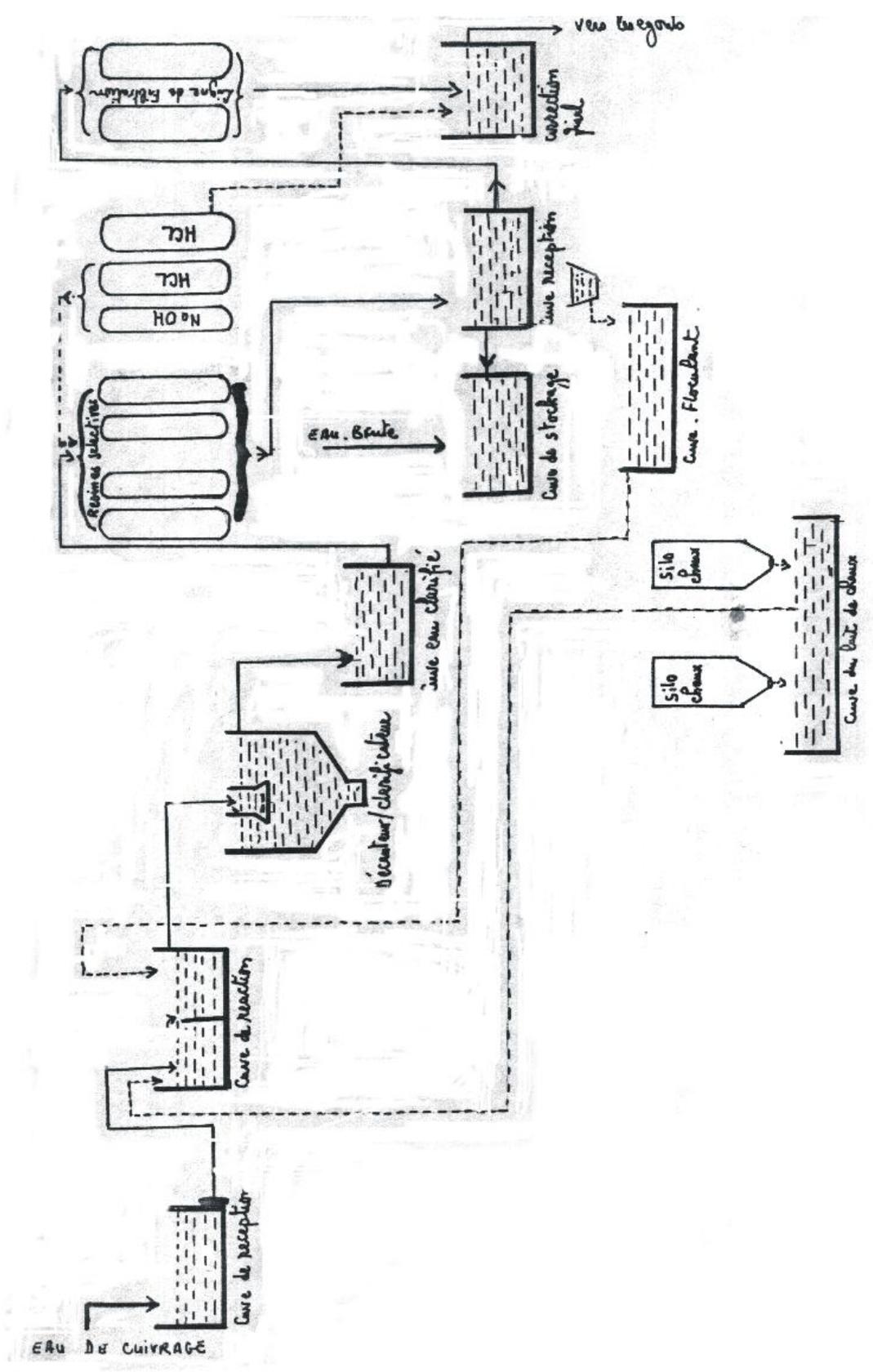


Figure 9 : Traitement des eaux de cuivrage

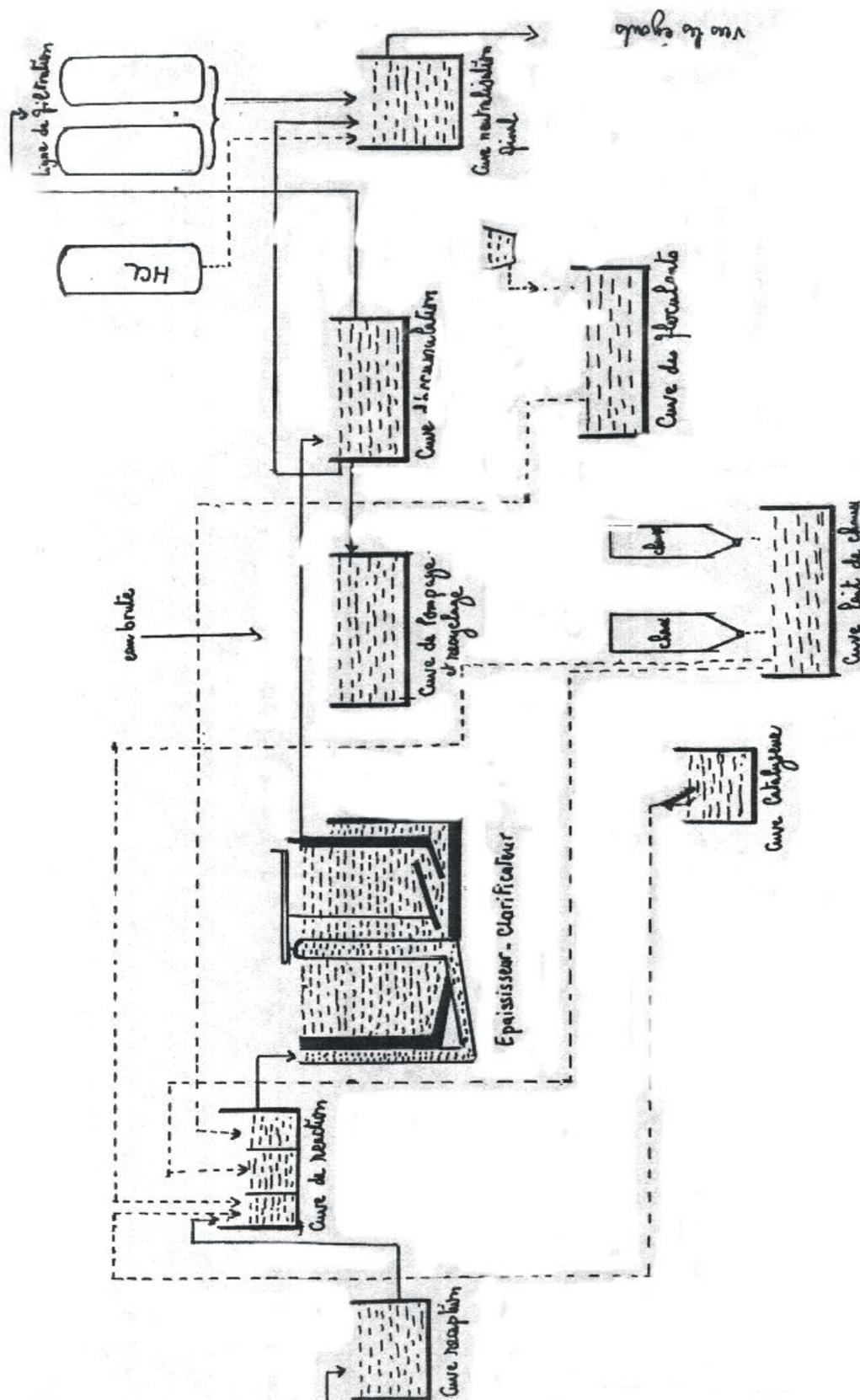


Figure 10 : Traitement des eaux de décapage

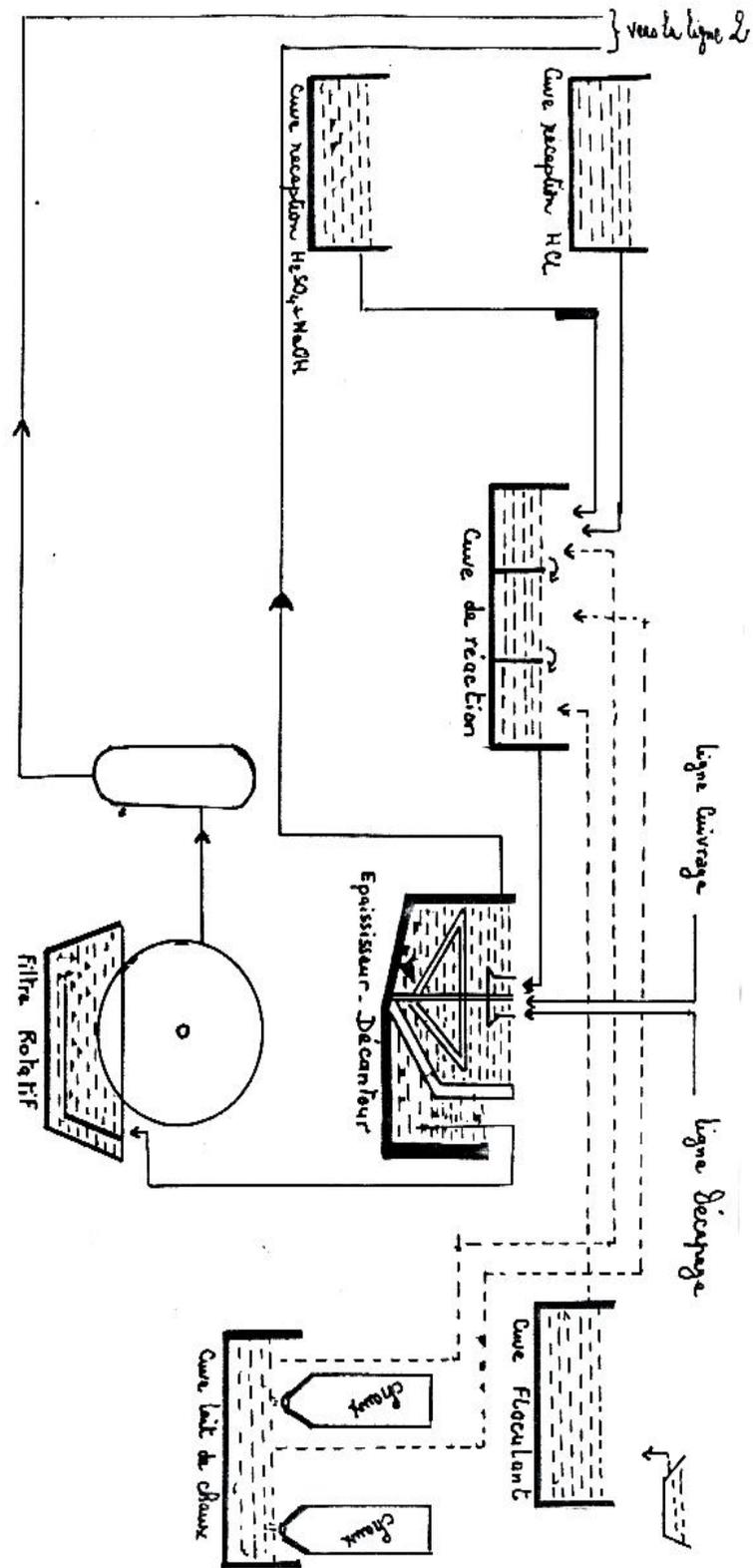


Figure 11 : Traitement des concentrés

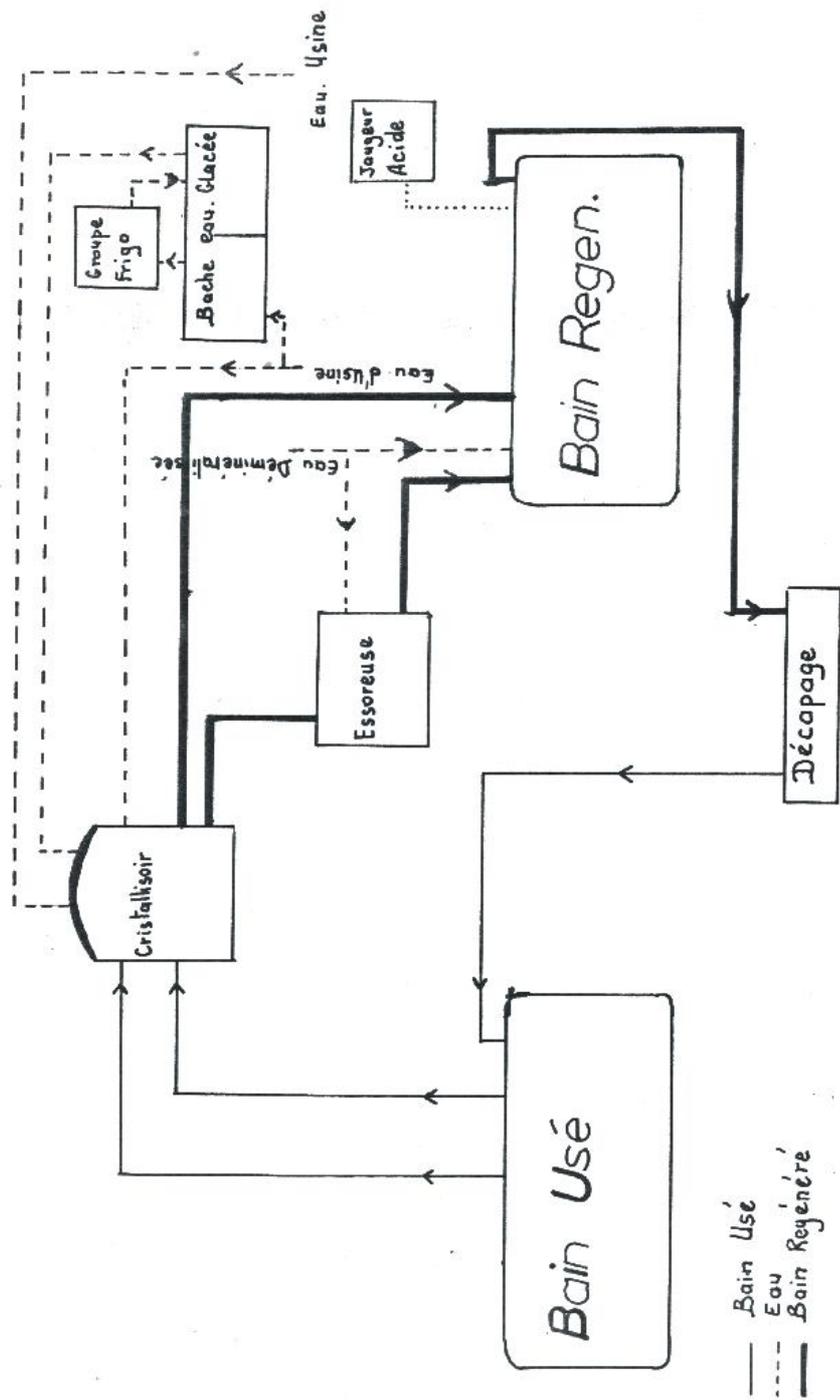


Figure 12 : Sulfaterie

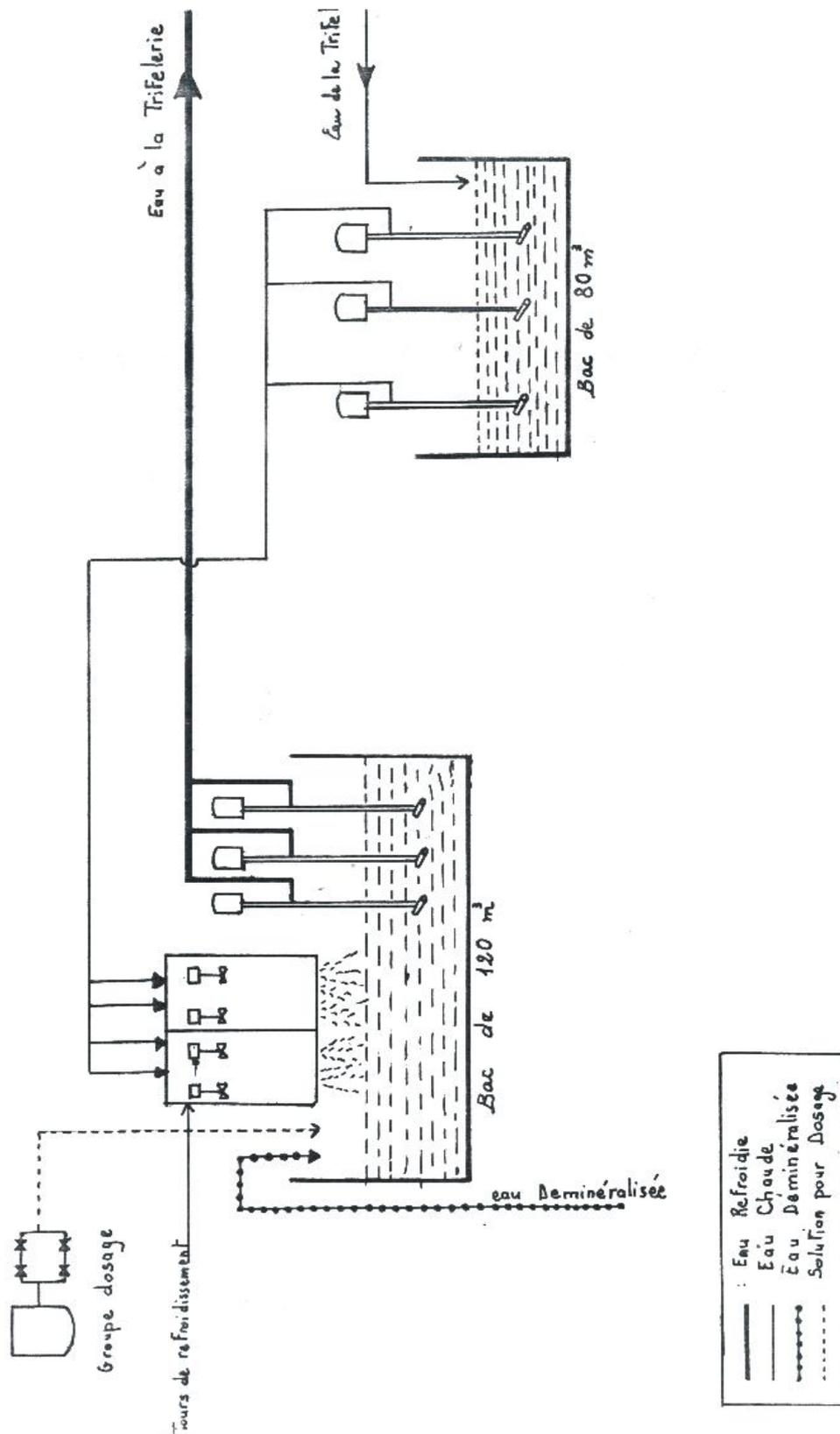


Figure 13 : Station de refroidissement des eaux

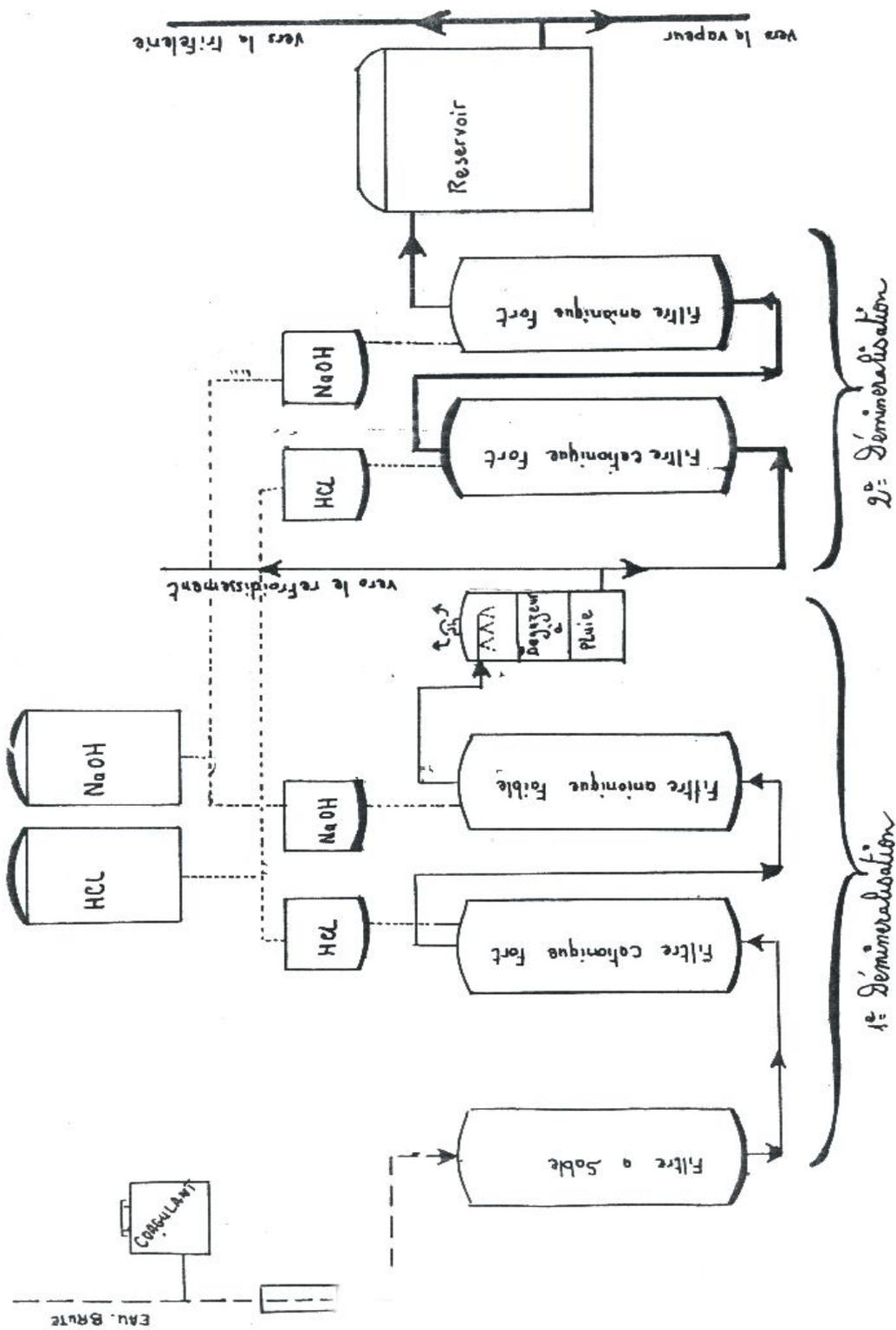


Figure 14 : Installation de déminéralisation

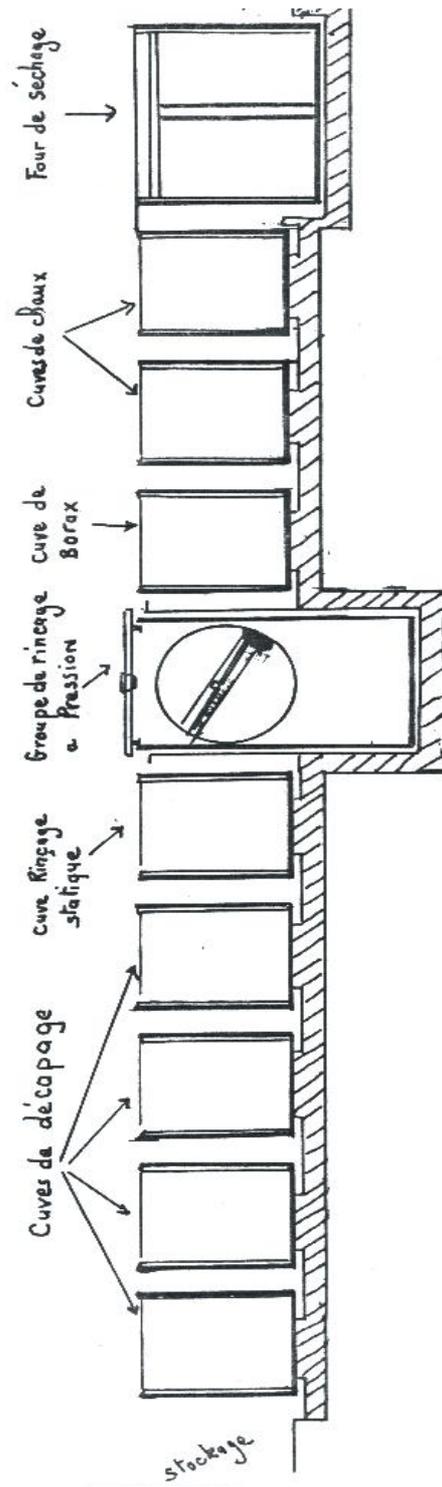


Figure 15 : Installation de décapage

**1.8.2.4 – rejets liquides rejets solides :**

**Tableau N° 13 : rejets liquides SOTREFIT**

Volume des eaux usées m <sup>3</sup> /j	Milieu récepteur	Polluant	Type de pollution
210	Oued Tolba	- Rejets acides et basiques Métaux lourds ( Fe , Cu , Zn ) - Dérivées d'hydrocarbures . - Huiles et graisses - Matières oxydes	Physico- chimique

**Tableau N° 14 : rejets solides ( déchets solides ) SOTREFIT**

Quantité t / an	Milieu récepteur	Type de déchets	Type de pollution
600	Stockés sur site	Boues , contenants des métaux lourds . Sulfate de fer provenant de la station de traitement .	Pollution du site .

Les différentes étapes du processus technologique dont les opérations de décapage et de revêtements électrolytiques génèrent les eaux résiduelles industrielles de la SOTREFIT .

## 51

- Etape 1 : attaque par l'acide du matériau afin d'éliminer toutes les matières oxydables.

- Etape 2 : a pour but l'habillage des pièces de matériaux ( Cu , Zn ) .

Les rejets liquides de SOTREFIT sont chargés en M.E.S et en produits d'attaques (Cu , Zn) .

### **1.8.3 Groupement laitier :GIPLAIT**

Date de démarrage JUIN 1987 dont l'activité est la production du lait avant que cette production ne soit élargi aux yaourts , beurre et crème dessert à partir de 1992 .

#### **1.8.3.1 Processus de fabrication ( voir figure 16 ) :**

#### **1.8.3.2 Activités du complexe :**

**Tableau N° 15 : nature et quantité des produits GIPLAIT [ 32 ]**

<b>Produits</b>	<b>Qualités</b>
Lait de consommation	2323,316 m <sup>3</sup> / an
yaourt	118,10 m <sup>3</sup> / an
Pâte fraîche	797,42 m <sup>3</sup> / an
Crème dessert	102,96 m <sup>3</sup> / an
Leben	1826,004 m <sup>3</sup> / an
Beurre	135,262 m <sup>3</sup> / an

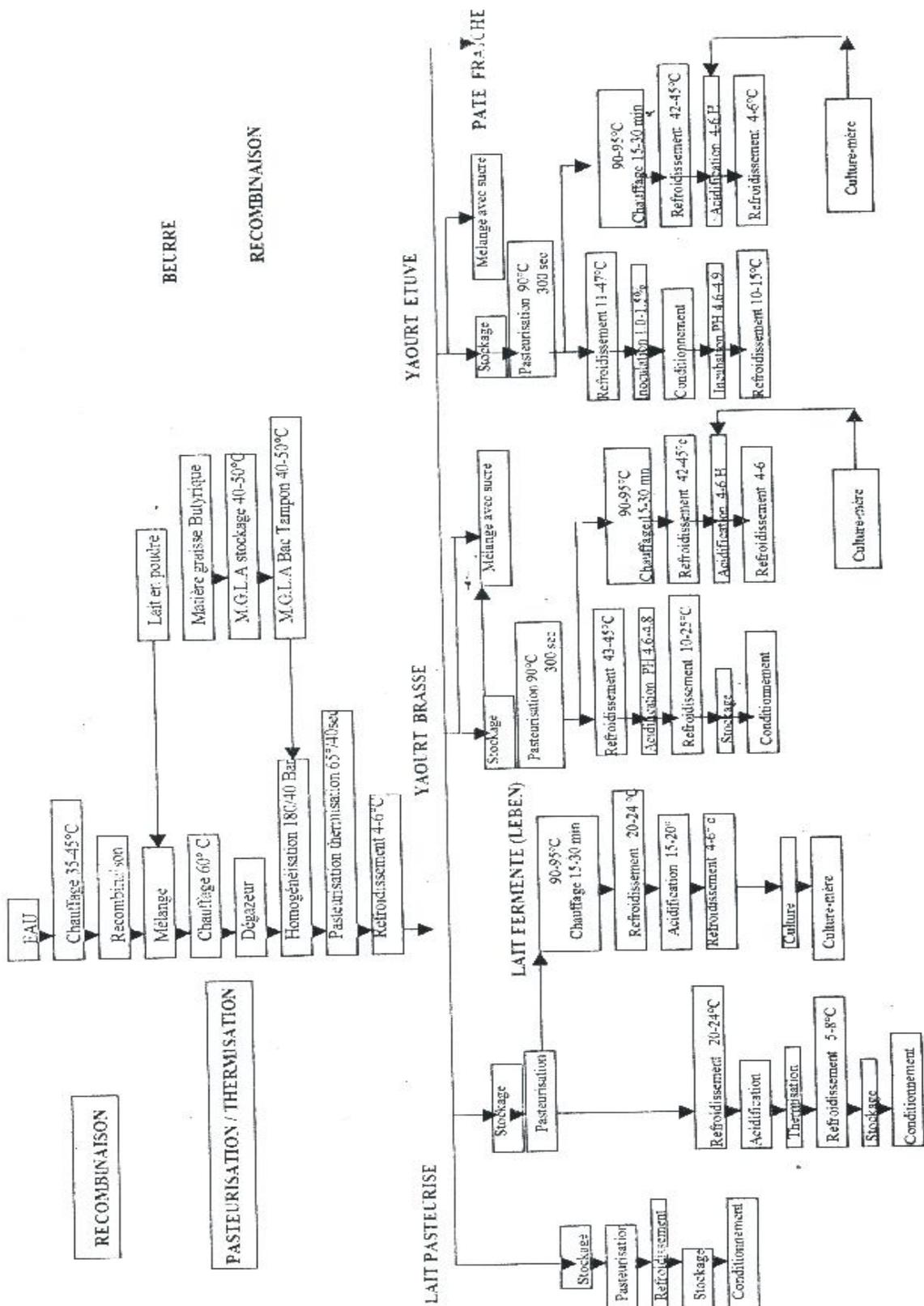
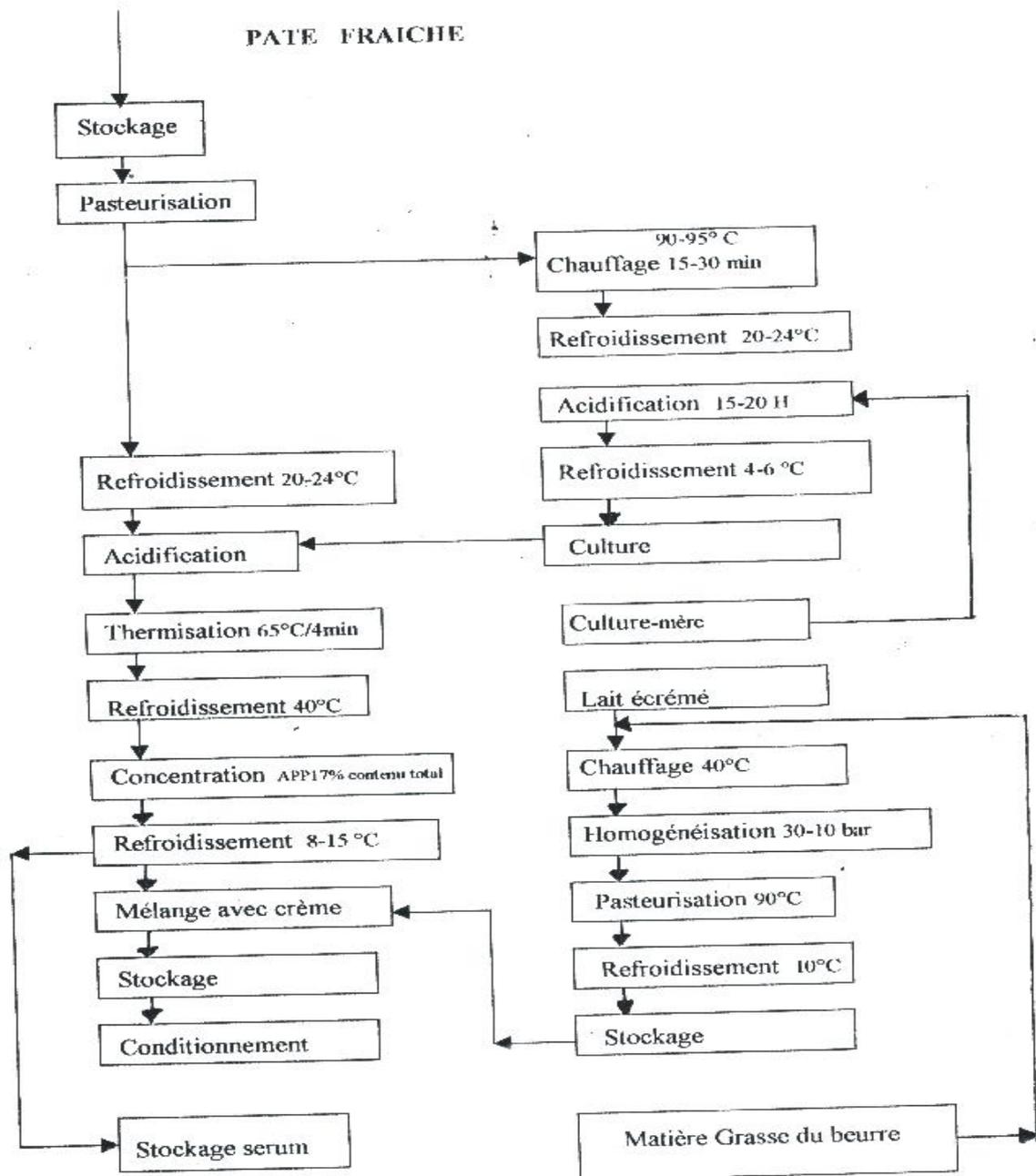


Figure 16 : Processus de fabrication GIPLAIT

Figure 16 : Processus de fabrication GIPLAIT ( suite )



**Tableau N° 16 : Rejets liquides GIPLAIT**

<b>Volume des eaux usées m<sup>3</sup> /j</b>	<b>Milieu récepteur</b>	<b>Types de rejets</b>	<b>Types de pollution</b>
360	Alentour de l'usine	Matières organiques Matières oxydables Détergeant t M.E.S Matières grasses	Physico-chimique .

**Tableau N° 17 : rejets solides GIPLAIT [32 ]**

<b>Quantité de déchets t / an</b>	<b>Milieu récepteur</b>	<b>Types de déchets</b>	<b>Pollution Engendrée</b>
0,4	Décharge publique pour incinération	Emballages souillées ou contaminés	Emanation fumée toxiques
	Lits de séchage	Boues contenant des matières organiques	

Les eaux usées générées par l'entreprise de production du lait et ses dérivés sont le résultat des opérations de dilution du lait entier et écrémé , de sérum et également des opérations de lavage et d'entretien des cuves .

Essentiellement composées de matières organiques dissoutes riches en protéine , lactose et de la graisse .

Ces rejets d'une capacité de 400 m<sup>3</sup> sont préférentiellement traités par voie biologique .

#### **1.8.4 – Centre enfûteur (G.P .L ) NAFTAL :**

L'activité principale est la mise en bouteille du gaz butane et propane pour le centre enfûteur dont la capacité maximale s'élève de 16 à 17000 bouteilles par jour .

En plus de ce centre enfûteur , un deuxième centre sert d'air de stockage et de distribution des produits dérivés du pétrole ( carburants liquéfiés , pneus , lubrifiants , bitumes ) dont la capacité de stockage s'élève à 35000 m<sup>3</sup> de carburant .

Les eaux résiduaires industrielles contiennent essentiellement des constituants organiques caractérisés par la présence d'hydrocarbures aromatiques plus ou moins émulsifiées et de M.E.S .

#### **1.8.5 – Conclusion :**

Cette partie traitée avait pour objet de dégager les unités industrielles dont les rejets liquides contiennent des « métaux lourds » , il apparaît que l'attention sera portée sur les usines : SOTREFIT, E.N .F et GIPLAIT dont leurs rejets seront analysés dans le chapitres quatre .

A travers cette partie nous développerons d'avantage ce qui suit :

- Analyse des rejets liquides des unités industrielles dont la composition renferme des métaux lourds.
- Le degré de pollution et l'impact de ces métaux sur l'environnement.
- Une étude statistique comparative.

## **Chapitre II**

### **Impact des « métaux lourds » sur l'environnement**

## **2.1-Origine et composition des eaux résiduaires :**

En fonction de leur origine et de leur mode de collecte influençant beaucoup leur composition et leur caractéristique on distingue généralement plusieurs types d'eaux résiduaires [41]

**Tableau N° 18 : Classification générale des eaux résiduaires**

Type d'eau résiduaire	Localisation origine	Caractéristiques
Domestiques	Habitations	Assez connues ,type peu fréquent présence de micro-organismes
Industrie - entreprise	Industrielles	Très variables avec la nature des productions et des activités
Urbaines (réseau unitaire)	Agglomérations ( prise en compte du réseau pluvial)	Très variables avec la charge industrielle et la dilution.
Urbaines (réseau séparatif )	Agglomérations	Variables

Même dans les eaux résiduaires industrielles , on en trouve différents types .

**Tableau N° 19 : Classes d'eaux résiduaires industrielles ( d'après Dore )**

Type	caractéristiques	Exemples	Traitements
Organique	DCO élevée DBO <sub>5</sub> élevée	industries agro-alimentaires	Biologiques
Inorganique	MES élevée DBO <sub>5</sub> faible	Industrie sidérurgique Traitement de surface	Physico-chimique
Mixte	MES élevée DBO <sub>5</sub> moyenne à élevée	Papeteries Industries chimiques et pétrochimiques	Biologique adaptés

**Effets toxiques des divers ions :**

L'un des problèmes les plus difficiles est celui de la concentration maximale des diverses impuretés , pouvant être admise dans les eaux résiduaires . On peut prévoir qu'il est absolument impossible de donner à cette question une réponse nette et valable d'une manière générale [ 45 ].

Finalement , il est indifférent de connaître la concentration ou la quantité absolue de certaines toxiques dans les eaux résiduaires mais l'important est la concentration à laquelle ces substances toxiques arrivent dans les eaux de l'émissaire .

Afin d'assurer la protection de l'environnement , il est absolument nécessaire de ne déverser dans l'émissaire que des quantités aussi faibles que possible de substances toxiques ainsi l'espoir d'une amélioration progressive ou du moins l'absence de toute nouvelle aggravation de notre environnement soit assurée .

Dans tous les cas , il y a lieu de déterminer les concentrations ou les quantités de toxiques à ne dépasser en aucun cas .

Les quantités de toxiques admises dans les eaux résiduaires sont surtout celles qui peuvent être tolérées dans l'émissaire tout en déterminant à chaque fois le rapport entre le débit de l'émissaire et le volume des eaux résiduaires déversée , il en découle directement les concentrations en toxiques admissibles dans les eaux résiduaires elle-même .

Par ailleurs , il y a lieu de mentionner que des eaux résiduaires issues d'autres usines et arrivent dans un même cours d'eau, peuvent y amener les mêmes toxiques dont les quantités s'ajoutent et provoquer une inversion de la situation .

L'objectif de la détoxification des eaux résiduaires réside dans le déversement de ces dernières dans un état de pureté tel la flore et la faune , dans les cours d'eau n'en soient affectées et que ces cours d'eau puissent ,

même après réception des eaux résiduaires , servir comme auparavant pour l'usage humain et industriel .

Il n'est pas toujours possible d'atteindre ce but mais il y a lieu de s'en approcher aussi près que possible .

Par des essais ou expériences pratiques , on peut déterminer les concentrations des toxiques exerçant une action néfaste sur certains organismes végétaux ou animaux dans l'émissaire , ces derniers présentent toutefois une sensibilité extrêmement variables vis à vis des toxiques contenus dans ces eaux. Le tableau 20 indique les concentrations de toxiques qui détruisent la faune piscicole d'un cours d'eau.

**Tableau N°20 : Concentration de toxiques détruisant la faune piscicole d'un cours d'eau [ 45 ]**

<b>Toxiques</b>	<b>Concentration en mg/l</b>
Mercure	0,29
Cuivre	3,3
Zinc	8,4
Fer (II)	14,0
Cadmium	17,0
Nickel	128,0
Potassium	100,0
Cobalt	125,0
Manganèse	300,0
Magnésium	1500,0
Calcium	2400 ;0
Sodium	24170,0
Cyonogène	0,1
Acide chromique	1,0
Hypochlorite	0,15
Chlore libre	0,10
Clore de choux	0 ,4
Ammoniac	1,0

Ces chiffres ne présentent qu'une valeur limitée, de par les différences de sensibilités des diverses espèces de poissons vis à vis des toxiques. La variation des conditions environnementales peut produire chez les organismes une vulnérabilité ou une résistance plus ou moins grande ,exemple :les truites périssent en présence d'une teneur en Cuivre dans l'eau de 0,1 mg/l et les animaux dont se nourrissent les poissons meurent à partir de concentrations beaucoup plus faibles [ 45 ].

L'extrême variété des effets nocifs de substances qu'on rencontre dans les eaux résiduaires vis à vis des différents organismes est présentée sur le tableau 21 montrant l'action toxique des diverses substances pour les poissons, les daphnies et la bactérie Escherichia Coli par rapport à l'action toxique du cyanure de potassium KCN arbitrairement fixée à 1.

**Tableau N° 21 : Rapport des toxicité des divers toxiques issus d'eaux résiduaires de galvanoplastie rapportées à KCN=1**

Toxique	Exprimé en	Poissons	Daphnies	Escherichia Coli
KCN	CN <sup>-</sup>	1,0	1,0	1,0
KCNO	CN <sup>-</sup>	0,0013	0,14	1,6
K <sub>3</sub> Cu(CN) <sub>4</sub>	CN <sup>-</sup>	0,1	6,25	0,2
K <sub>2</sub> Ni(CN) <sub>4</sub>	CN <sup>-</sup>	0,3	0,37	0,8
K <sub>2</sub> Zn(CN) <sub>4</sub>	CN <sup>-</sup>	0,003	0,70	< 0,1
K <sub>2</sub> Cd(CN) <sub>4</sub>	CN <sup>-</sup>	0,15	10,0	2,0
CuSO <sub>4</sub>	Cu <sup>++</sup>	0,70	125,0	2,0
NiSO <sub>4</sub>	Ni <sup>++</sup>	0,002	0,91	2,5
ZnSO <sub>4</sub>	Zn <sup>++</sup>	0,007	0,42	2,5
CdSO <sub>4</sub>	Cd <sup>++</sup>	0,004	10,0	1,0
KCr (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	Cr <sup>++</sup>	0,001	0,125	5,0
K <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	Cr <sup>6+</sup>	0,0003	2,0	2,0

Pour une espèce organique on remarque que la toxicité de certains ions peut être 1000 fois plus élevée que pour une autre espèce et même dans la même espèce (les poissons par exemple) des différences de sensibilités vis à vis des toxiques est très importante .

Une concentration même inoffensive d'un nombre de toxique fini va provoquer des dégâts en cas d'exposition prolongée, en effet un enrichissement graduel des métaux Cuivre, Zinc et Nickel atteignent des concentrations dangereuses

sont décelées dans les boues activées de l'épuration biologique.

La toxicité des nombreuses substances en solution dans l'eau ne dépend pas uniquement de la concentration de ces dernières mais bien souvent d'un grand nombre de conditions entre autre le pH.

Pour de nombreux complexes particulièrement les cyanures le pH de la solution a une très forte influence sur l'action toxique.

**Exemple** : toxicité des cyanures complexes en fonction du pH :

L'action toxique des cyanures complexes est due en partie à la dissolution des complexes , ainsi qu'à la formation de l'acide cyanhydrique très toxique qui en découle.

Le complexe Nickel –cyanogène est assez stable à des  $\text{pH} > 8$  , action toxique faible , cette toxicité augmente très fortement en présence d'une acidité croissante .

A pH de 6,5 ,on obtient sur certaines espèces de poissons , pour une teneur de 10mg/l de CN combiné au Nickel , le même effet toxique qu'avec 1000mg/l à pH 8 [ 45 ].

Dans une eau très douce , les métaux lourds tels que le plomb , le chrome , le cuivre , le nickel et le Zinc ont une action beaucoup plus toxique que dans une eau dure .

Les effets toxiques des ions en présence simultanée s'additionnent mais peuvent également se multiplier.

Les actions toxiques du Zinc et du Cadmium en présence simultanée s'ajoutent .

On a une multiplication des effets toxiques lors de la présence du Zinc ou du Cadmium avec le Cuivre ou le Nickel.

**Exemple** :

Une solution de Nickel de toxicité donnée , mélangée à une solution de Zinc de même toxicité , la toxicité totale n'est pas double ( addition des 2 toxicités ) mais beaucoup plus importante .

Le mélange des cyanures et d'ammoniac présente un accroissement de l'action toxique dépassant largement la somme des effets partiels . Dans des cas de ce genre on parle de synergie.

## **2.3. Etude des différents éléments – Propriétés chimiques**

un métal est une matière, issue le plus souvent d'un minerai ou d'un autre métal, doté d'un éclat particulier, bon conducteur de chaleur et de l'électricité, ayant des caractéristiques de dureté et de malléabilité, se combinant ainsi aisément avec d'autres éléments pour former des alliages utilisés dans l'industrie, l'orfèvrerie, etc. Généralement les métaux lourds sont des éléments métalliques naturels, métaux ou dans certains cas métalloïdes caractérisés par une masse volumique supérieure à 5 g/cm<sup>3</sup>.

Les métaux lourds sont présents dans tous les compartiments de l'environnement, mais généralement en très faibles quantités. On dit que les métaux sont présents en « traces », « trace » du passé géologique et de l'activité humaine.

La classification en métaux lourds est discutable à l'image de certains métaux toxiques qui ne sont pas particulièrement lourds « le Zinc », tandis que certains éléments toxiques ne sont pas tous des métaux (l'Arsenic par exemple). Pour toutes ses raisons, la plupart des scientifiques préfèrent à l'appellation métaux lourds, celle de « éléments en traces métalliques E.T.M » ou « éléments traces ».

Dans cette partie, il sera question de l'étude des différents métaux lourds retrouvés dans les rejets liquides des différentes industries implantées à Tiaret tel que : le Chrome, le Cuivre, le Nickel, le Plomb et le Zinc.

### **2.3.1. le Chrome : Cr**

le chrome pure est assez peu employé dans l'industrie mise à part quand il s'agit de la fabrication des aciers spéciaux, par contre ses dérivées sont très utilisées : les industries chimiques utilisent les bichromates, les sels de chrome sont utilisés mordants pour la teinturerie et comme colorant ( vert de chrome ' rouge de chrome, etc.)

Dans la nature, le chrome est présent en petite quantité et se concentre préférentiellement dans les roches basiques à la différence des roches siliceuses. La solubilité du chrome est faible face au phénomène de lessivage du sol.

Le chrome est amphotère et peut exister dans l'eau sous plusieurs formes, c'est un élément étranger à l'eau. A l'état de cation, il est retrouvé dans les eaux naturelles à pH acide, sa présence est liée aux rejets de galvanoplastie.

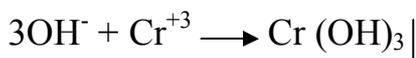
L'oxydation des composés chromeux étant instantanée, il est à l'état trivalent (chromites) ou hexavalent (chromates, bichromates)

Le chrome forme de séries de sels stables : les sels dérivés de l'oxyde de chrome et les sels de l'acide chromique ( et dichromique). Les solutions des sels de l'oxyde chromique contiennent du chrome à l'état du cation trivalent  $\text{Cr}^{+3}$  . Par action des différents oxydants, le chrome trivalent se transforme facilement en chrome hexavalent, en donnant des anions chromiques (ions chromates) :  $\text{CrO}_4^{-2}$  ou dichromiques (ions bichromates)  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}$  . Les solutions des sels de chrome trivalent sont vertes ou violettes, celles des chromates jaunes ; celles des bichromates oranges [1].

- **Propriétés du cation  $\text{Cr}^{+3}$**

### **2.3.1.1. Les alcalis NaOH- KOH**

Les alcalis forment avec l'ion  $\text{Cr}^{+3}$  un précipité gris violet  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  possédant des propriétés amphotères



Réactions analogues avec celles qui se produisent avec l'ion  $\text{Al}^{+3}$

### **2.3.1.2. L'ammoniaque $\text{NH}_4\text{OH}$ et les sels d'acides faibles $[\text{Na}_2\text{CO}_3, (\text{NH}_4)_2\text{S}]$**

Egalement précipitation des ions  $\text{Cr}^{+3}$  sous forme de  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  ; le précipité formé est légèrement soluble dans l'ammoniaque en excès. La précipitation complète est atteinte à  $\text{PH} \approx 6$ , cette réaction peut également avoir lieu sous l'action d'une solution tampon ammoniacal ( $\text{NH}_4\text{OH} + \text{NH}_4\text{Cl}$ ) qui amène la solution à un pH compris entre 8 et 10.

### **2.3.1.3. L'Acetate de Sodium ( $\text{CH}_3\text{COONa}$ ) à l'ébullition**

Pas de précipitation du  $\text{Cr}^{+3}$  suite à la formation d'un complexe acétique soluble dans l'eau. Par contre une présence importante d'ion  $\text{Fe}^{+3}$  et  $\text{Al}^{+3}$  provoque une coprecipitation de l'ion  $\text{Cr}^{+3}$  sous forme d'acétate basique.

### 2.3.1.4. L'hydrogénophosphate de sodium Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>·12H<sub>2</sub>O

formation d'un précipité verdâtre de CrPo<sub>4</sub>. Ce précipité est soluble dans les acides et les bases minérales.

### 2.3.1.5. L'oxydation du Cr<sup>+3</sup> en Cr<sup>+6</sup>

Différents oxydants sont utilisés dans ce but, on cite H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, Br<sub>2</sub>, KMnO<sub>4</sub>, Cl<sub>2</sub>, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>. Ces réactions d'oxydation dépendent du milieu où elles se déroulent :

■ Oxydation en milieu alcalin, ils se forment des ions CrO<sub>4</sub><sup>-2</sup>.

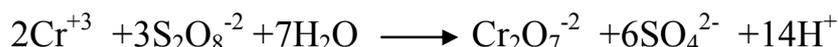
■ Oxydation en milieu acide, ils se forment des ions Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub><sup>-2</sup>.

Ceci est dû à la variation de concentration des ions H<sup>+</sup> en se transformant l'un dans l'autre suivant la réaction :

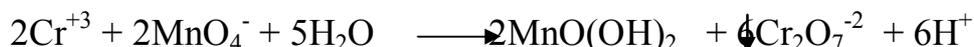


Cette équation indique que les deux équilibres se déplacent dans le sens de la formation des ions Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub><sup>-2</sup> en acidulant la solution, par contre l'alcalinisation (fixation des ions H<sup>+</sup>), les déplacements se font dans le sens de la formation des ions CrO<sub>4</sub><sup>-2</sup>.

■ en milieu acide, l'oxydation peut être effectuée par action de KmnO<sub>4</sub>, le persulfate d'ammonium (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> et par certains oxydants très forts.



le permanganate de potassium agit sur Cr<sup>+3</sup> de la même manière



La formation du précipité brun d'acide manganoux MnO(OH)<sub>2</sub> et non pas un sel de manganèse divalent comme attendu généralement dans les réactions d'oxydation par le permanganate en milieu acide s'explique par l'insuffisance d'acidité de la solution, mais il ne convient pas d'ajouter beaucoup d'acide.

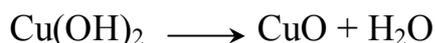
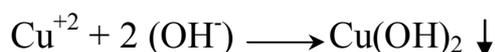
### **2.3.2. Le Cuivre : Cu**

Dans le sol, le cuivre est bien reparti le long du profil et se fixe préférentiellement sur la matière organique (25% à 50%), les oxydes de fer, de manganèse et les argiles. La répartition de ces différentes fractions est fonction du PH, de la quantité et de la composition de la matière organique d'une part, et des colloïdes minéraux d'autre part. le cuivre migre peu sauf dans des conditions de mauvais drainage ou en milieu acide. Les solutions des sels de cuivre sont colorées en bleu clair ou vert.

- **Propriétés du cation  $\text{Cu}^{+2}$  [1]**

#### **2.3.2.1. Les bases fortes NaOH, KOH**

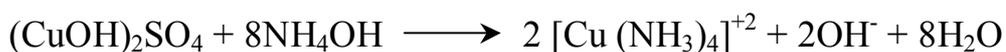
Elles forment avec le cation  $\text{Cu}^{+2}$  un précipité bleu clair  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  qui noircit à chaud par suite de sa transformation en  $\text{CuO}$



L'hydroxyde cuivrique possède des propriétés amphotères faiblement marquées, donc partiellement soluble dans un excès de NaOH ou KOH ( surtout à chaud) avec formation des cuprates.

#### **2.3.2.2. L'ammoniaque $\text{NH}_4\text{OH}$**

Ajoutée en petite quantité, précipite un sel basique verdâtre, qui se dissout aussitôt avec un excès de réactifs. Il se forme un complexe aminé de cuivre d'un bleu azur, c'est une réaction caractéristique de  $\text{Cu}^{+2}$  :

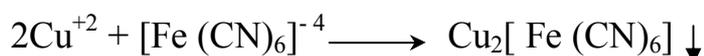


Le composé aminé du cuivre est détruit par acidification du fait de la fixation des molécules  $\text{NH}_3$  par les ions  $\text{H}^+$  avec la formation d'un composé plus stable  $\text{NH}_4^+$  , la couleur bleu foncée de la solution vire alors au bleu pale (couleur de l'ion  $\text{Cu}^{+2}$ ).

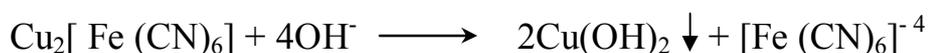
Sous l'action de H<sub>2</sub>S le complexe [Cu (NH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>]<sup>+2</sup> est détruit si la concentration de Cu<sup>+2</sup> dans la solution est suffisante pour que soit dépassé le produit de la solubilité de CuS qui précipite alors.

### **2.3.2.3. Le ferrocyanure de Potassium K<sub>4</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>]**

K<sub>4</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>] forme avec l'ion Cu<sup>+2</sup> un précipité brun rouge de ferrocyanure cuivrique :



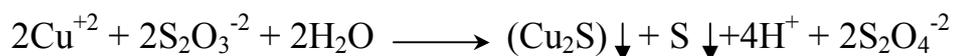
Précipité insoluble dans les acides dilués, mais soluble dans l'ammoniaque, il se décompose par action de bases :



Cette réaction est plus sensible que la réaction avec NH<sub>4</sub>OH.

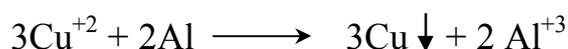
### **2.3.2.4. Le thiosulphate de sodium Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**

une solution acidifiée du sel de cuivre est décolorée par ajout du thiosulphate de sodium avec formation d'un sel complexe. Le chauffage de la solution obtenue conduit à la formation d'un précipité brun foncé représentant Cu<sub>2</sub>S et le soufre suivant la réaction [1] :



### **2.3.2.5. L'aluminium, le fer et le zinc**

ces trois éléments métalliques réduisent l'ion Cu<sup>+2</sup> à l'état métallique suivant la réaction :



### **2.3.3. Le Nickel : Ni**

En raison de sa forte propension à se lier à la matière organique, le nickel est en grande partie lié à cette fraction dans les horizons de surface dans les sols limoneux. On le trouve également lié aux carbonates en sols calcaires. Dans les sols sableux, une grande part demeure à l'état échangeable. Du fait de la facile extraction du nickel des boues par de réactifs doux, il est à priori susceptible de migrer dans le profil pédologique. L'ion  $\text{Ni}^{+2}$  en solution aqueuse est vert.

- **Propriétés du cation  $\text{Ni}^{+2}$**

#### **2.3.3.1. Les bases fortes NaOH, KOH**

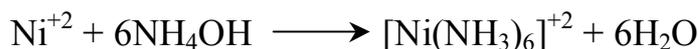
Ces bases fortes réagissent avec le cation  $\text{Ni}^{+2}$  en donnant un précipité vert d'hydroxyde de Nickel suivant la réaction



ce précipité est soluble dans les acides.

#### **2.3.3.2. L'ammoniaque $\text{NH}_4\text{OH}$**

L'ammoniaque donne avec les cation  $\text{Ni}^{+2}$ , un précipité vert de sel basique  $(\text{NiOH})_2\text{SO}_4$ , qui se dissout dans un excès de  $\text{NH}_4\text{OH}$  pour donner un sel complexe de couleur bleue suivant la réaction :



$\text{NH}_4\text{OH}$  en présence des sels ammoniacaux ne précipitent pas l'ion  $\text{Ni}^{+2}$  par suite de la formation du cation complexe  $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{+2}$ .

#### **2.3.3.3. les carbonates des métaux alcalins**

Les carbonates des métaux alcalins forment un précipité vert avec les cations  $\text{Ni}^{+2}$ , c'est le  $\text{NiCO}_3$ . le carbonate de Nickel est soluble dans les acides et dans les solutions d'ammoniaque et de carbonate d'ammonium.

#### **2.3.3.4. L'hydrogénophosphate de sodium Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>·12H<sub>2</sub>O**

Formation d'un précipité vert de Ni<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>. Ce précipité est soluble dans les acides (y compris l'acide acétique), dans l'ammoniaque mais demeure insoluble dans les bases fortes.

#### **2.3.4. Le plomb**

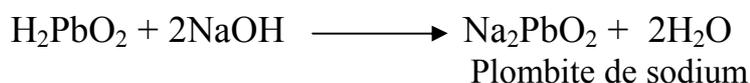
L'argile et surtout la matière organique représentent les phases d'adsorption dominantes du plomb. A pH acide ou neutre, les ions Pb<sup>+2</sup> et Pb(OH)<sup>+</sup> prédominent dans la solution du sol ; quand le pH augmente ces formes sont remplacées par Pb(OH)<sub>2</sub>, Pb(OH)<sub>3</sub><sup>-</sup>, Pb(OH)<sub>4</sub><sup>-2</sup>. La concentration du plomb dans la solution du sol est extrêmement faible, comprise entre 10<sup>-8</sup> et 10<sup>-9</sup> M. Le plomb est l'un des E.T.M les moins mobiles du sol. Ainsi entre pH 5 et 9 et à concentration molaire identique, le plomb est 100 fois moins mobile que le cadmium.

Il peut être présent sous forme de carbonates (cérusites), de phosphate (pyrophosphites) mais surtout sous forme de sulfure (galène), ce dernier sel très peu soluble peut cependant se transformer en hydroxyde ou carbonate. L'ion Pb<sup>+2</sup> est incolore en solution aqueuse.

- **Propriétés chimiques**

##### **2.3.4.1. Les bases : NaOH, KOH, NH<sub>4</sub>OH**

Elles forment un précipité blanc avec l'ion Pb<sup>+2</sup>, Pb(OH)<sub>2</sub>, soluble dans les acides et dans les bases fortes suivant les réactions :



Pb(OH)<sub>2</sub> est insoluble dans l'ammoniaque.

##### **2.3.4.2. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> et les sulfates solubles (ions SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>)**

Ils précipitent l'ion Pb<sup>+2</sup> sous forme d'un précipité blanc :

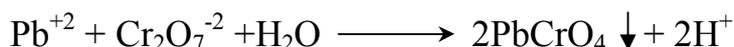


A chaud, le  $\text{PbSO}_4$  est dissout dans les solutions basiques fortes en donnant les plombites :



#### **2.3.4.3. $\text{K}_2\text{CrO}_4$ et $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ [1]**

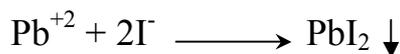
le chromate et le dichromate de potassium donnent avec  $\text{Pb}^{+2}$  un précipité jaune de chromate de plomb très peu soluble ( $P_s = 1.77 \cdot 10^{-14}$ ) :



Le  $\text{PbCrO}_4$  se dissout facilement dans les solutions de bases fortes mais difficilement dans l'acide nitrique dilué. Pratiquement insoluble dans l'ammoniaque et dans l'acide acétique. Cette réaction est une des plus importantes de l'ion  $\text{Pb}^{+2}$ .

#### **2.3.4.4. Iodure de potassium : KI**

Il forme avec l'ion  $\text{Pb}^{+2}$  un précipité jaune de  $\text{PbI}_2$  :



Après l'obtention du précipité, l'ajout d'un peu d'eau et d'un peu d'une solution 2N de  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , plus un chauffage fait dissoudre le précipité ci-dessus. Après refroidissement,  $\text{PbI}_2$  reprécipite sous forme de paillettes brillantes, réaction caractéristique de  $\text{Pb}^{+2}$ .

#### **2.3.4.5. L'hydrogénophosphate de sodium $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$**

Il donne un précipité blanc de  $\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2$  :



Le précipité formé est peu soluble dans  $\text{HNO}_3$  dilué et dans  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , soluble dans les bases ainsi que dans les solutions 2N de  $\text{HNO}_3$ .

### 2.3.5. Le Zinc : Zn

La forme la plus courante est la plus mobile de Zinc dans les sols est  $Zn^{+2}$ , facilement adsorbé sur les composants minéraux (argiles, hydroxydes de fer et d'aluminium) et organiques, ce qui conduit à une accumulations dans les horizons superficiels. Le Zinc est considéré comme facilement soluble par rapport aux autres E.T.M. dans les sols, il est très mobile et disponible dans les sols légers et acides. Les émissions industrielles et domestiques contribuent beaucoup à la quantité de Zn présente dans l'environnement tant aquatique qu'atmosphérique.

Le zinc est un élément abondant qui contribue à peu près à 0.004% de la croûte terrestre. La forme minérale la plus commune du Zinc est la sphalérite ( $ZnS$ ), qui est souvent associé aux sulfures de certains autres métalliques tels que le plomb, le cuivre et le cadmium.

Il est employé dans de nombreux alliages, pour la galvanisation des pièces métalliques, dans la fabrication des pigments de teinture, les vernis, comme raticide et la fabrication des produits phytosanitaires.

Dans l'eau, la solubilité des chlorures et sulfates de Zn est importante, leur hydrolyse conduit à une diminution de PH. Le zinc retrouvé dans les eaux de distributions à des teneurs pouvant dépasser 1 mg/l, provient des canalisations de laiton et de fer galvanisé, attaquées par les eaux agressives ou riches en chlorures et sulfates. Son ion est incolore.

- **Propriétés du cation  $Zn^{+2}$**

#### 2.3.5.1. Les bases KOH- NaOH

Formation d'un précipité blanc de  $Zn(OH)_2$ , soluble tant dans les acides que dans les bases amphotères :



Contrairement aux aluminates, les zincates ne donnent pas un précipité par l'action de  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , car le  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  est soluble dans les sels ammoniacaux.

### **2.3.5.2. L'ammoniaque : $\text{NH}_4\text{OH}$**

L'action de  $\text{NH}_4\text{OH}$  sur  $\text{Zn}^{+2}$  donne un précipité soluble dans un excès de  $\text{NH}_4\text{OH}$  ( et dans les sels ammoniacaux), suite à la formation des ions complexe de zincammine :  $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_6]^{+2}$



$\text{Zn}^{+2}$  n'est pas précipité par  $\text{NH}_4\text{OH}$  en présence des sels ammoniacaux.

### **2.3.5.3. carbonates des métaux alcalins et d'ammonium**

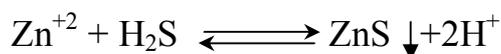
ils forment avec  $\text{Zn}^{+2}$  un précipité blanc de composition variable, soluble dans les acides.

### **2.3.5.4. L'hydrogénophosphate de sodium $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$**

Il donne avec  $\text{Zn}^{+2}$  un précipité blanc de phosphate de zinc :  $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$  soluble dans les acides et l'ammoniaque. le sel double  $\text{ZnNH}_4\text{PO}_4$ , moins soluble précipite en présence des sels ammoniacaux.

### **2.3.5.5. Sulfure d'hydrogène**

$\text{H}_2\text{S}$  forme un précipité blanc de  $\text{ZnS}$ .



### **2.3.5.6. Le ferricyanure de potassium $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$**

Le ferricyanure de potassium forme avec le cation  $\text{Zn}^{+2}$  un précipité marron jaune de ferricyanure de zinc  $\text{Zn}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$  soluble dans  $\text{HCl}$  et  $\text{NH}_4\text{OH}$ .

## **2.4-Normes de qualité :**

La toxicité des métaux lourds a conduit les pouvoirs publics à réglementer les émissions en fixant des teneurs limites . Cette réglementation n'est d'aucun secours pour déterminer sans ambiguïté une liste des métaux à surveiller car la liste varie selon les milieux considérés :émissions atmosphériques, rejets dans l'eau , règles sur l'épandage de boues ou la mise en décharge.

Les métaux lourds sujets à des contraintes environnementales sont : l'Aluminium, l'Arsenic , le Cadmium , le chrome , le nickel , l'Etain , Le Fer , le Mercure , le Plomb . L 'académie des sciences en France ne prends en considération que neuf éléments, classés en « éléments en traces » :L'arsenic , le Cadmium , le Chrome, le Cuivre , le Mercure , le Nickel , le Plomb, le Sélénium et le Zinc .

Avant, la potabilité d'une eau est déterminée à partir des seuls sens . Ainsi l'eau devait être agréable au goût, dépourvue d'odeur désagréable et limpide .

Cette évaluation sommaire a conduit dans plusieurs cas à des catastrophes, c'est pourquoi aujourd'hui la mesure se porte sur les caractéristiques les plus appropriées et on les compare aux normes . Ces normes ne sont pas définitives , vu que le déversement des eaux usées industrielles augmente la quantité et la diversité des produits toxiques présents dans l'eau .

Le volume des effluents industriels s'accroît sans cesse avec le développement de l'industrie , leur rejet en grande quantité dans les rivières et vers le littoral , génère de graves accidents de pollution des eaux .

L'évacuation directe des rejets industriels vers le milieu naturel constitue une menace constante pour l'homme et son environnement. Devant le danger à long terme que constituent les effluents industriels , de nombreux pays dans le monde ont établi une réglementation stricte , concernant l'assainissement et l'évacuation des eaux usées industrielles [ 35 ]

Les rejets industriels en Algérie sont régis par le décret exécutif N°93-160 du 10 juillet 1993 réglementant les procédures de rejets d'effluents liquides dans le milieu naturel et ce à l'instar de plusieurs pays de monde , imposant aux entreprises polluantes , un traitement préalable de tout rejet industriel avant élimination vers le milieu naturel .

#### **2.4.1 Valeurs limites des rejets industriels : Algérie**

Selon la réglementation en vigueur , tout rejets d'effluents de type industriel est soumis à une autorisation préalable , délivrée par le ministère chargé de l'environnement déterminant les conditions chimiques auxquelles sont subordonnées les rejets .

De très nombreuses entreprises Algériennes n'appliquent pas cette réglementation :

**Tableau N° 22 : Valeurs de certains paramètres des rejets industriels (Décret exécutif n° 93-160 du 10 juillet 1993 Algérie )**

<b>Paramètres</b>	<b>Valeurs maximales (mg/l)</b>
DBO <sub>5</sub>	40
DCO	120
Phosphate	2
Cyanure	0,1
Aluminium	5
Cadmium	0,2
Chrome 6	0,1
Manganèse	1
Mercure	0,01
Nickel	5
Plomb	1
Cuivre	3
Zinc	5
Huile et graisses	20
Hydrocarbure	20
Phénols	0,5
Solvants organiques	20
Chlore actif	1,0
PCB(biphenylchlorés)	0,001

**2.4.2- Normes européennes U.E :**

Pour les normes européennes relatives notamment aux rejets d'eaux résiduares des installations classées , un arrêté ministériel français du 1 Mars 1993 qui est pris en application , précise les valeurs limites à ne pas dépasser pour un grand nombre de paramètres [ 41 ] ces valeurs sont susceptibles de varier en fonction du type d'activité et ne s'appliquent pas à certains secteurs industriels qui font l'objet de réglementations particulières ( papeterie , traitements des déchets et traitement de surface )

**Tableau N° 23 : Réglementation concernant les effluents industriels****(extraite de l'arrêté du 1 mars 1993 ) [ 41 ]**

Paramètres	Valeurs limites	Observation	Flux limite
Débit	100m <sup>3</sup> /j	Ou < 1/10 <sup>ème</sup> du débit du milieu récepteur	
Température	30°C	Et < 21,5÷28°C dans le milieu récepteur	
PH	5 ,5 à 8 ,5	6 à 9 dans le milieu récepteur	
Couleur	100mgPt/l	Mesuré dans le milieu récepteur	
MEST	100mg/l 35mg/l	Si le flux <15kg/j	100Kg/j
DBO <sub>5</sub>	100mg/l 30mg/l	Si le flux <30kg/j	100Kg/j
DCO	300mg/l 125mg/l	Si le flux <100kg/j	300Kg/j
Azote global	30mg/l	Si le flux >50Kg/j	50Kg/j
Phosphate total	10mg/l	Si le flux >15Kg/j	15Kg/j
Indice phénol	0,3mg/l	Si le flux >3g/j	500Kg/j
Phénols	0,1mg/l	Si le flux >1g/j	
Chrome VI ,cyanures,arsenic et composés	0,1mg/l	Si le flux >1g/j	200Kg/j
Plomb,Cuivre,Nickel et composés	0,5mg/l	Si le flux >5g/j	1Kg/j
Zinc , Etain et composés	2mg/l	Si le flux >20g/j	4Kg/j
Manganèse et composés	1mg/l	Si le flux >10g/j	2Kg/j
Fer,Aluminium et composés	5mg/l	Si le flux >20g/j	5Kg/j
Composés organique de chlore	5mg/l	Si le flux >30g/j	2Kg/j
Hydrocarbure totaux	10mg/l	Si le flux >100g/j	10Kg/j
Fluor et composés	15mg/l	Si le flux >150g/j	10Kg/j
Substances toxiques ,bioaccumulables ou nocives	Très variables <2mg/l dans tout les cas		Variables de 1 à 30Kg/an

## **2.5 Techniques de traitements :**

### **2.5.1 Techniques actuelles :**

Actuellement différentes techniques de dépollution des eaux contenant des espèces métalliques sont utilisées les plus conventionnelles sont , la précipitation, l'échange d'ions et quelques procédés membranaires.

#### **2.5.1.1 La précipitation :**

La plupart des ions métalliques ( cations bivalents et trivalents ) ont tendance à former des précipités peu solubles avec les ions hydroxydes .

Cette propriété est utilisée pour la précipitations des métaux et de la leur élimination des effluents ;

La précipitation peut être quantitative à des pH bien définis et judicieusement ajustés à l'aide du lait de chaux :  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ,les solutions d'hydroxydes de sodium  $\text{NaOH}$  ou de carbonate de Sodium  $\text{Na}_2\text{CO}_3$



**Tableau N° 24 : zones de pH de précipitation des différents métaux**

(d'après L.Hartinger) [ 45 ]

Ion Métallique	Valeur de pH			Réactif de précipitation  (1)	Valeur prise comme base pour la précipitation quantitative (2)
	Début de précipitation	Précipitation quantitative	Redissolution		
Fe <sup>+++</sup>	2.8	3.5	—	NKS	2 mg/l
Sn <sup>++</sup>	3.9	colloïde	10.6	N	—
Al <sup>+++</sup>	4.3	4.8	8.5	NKS	2 mg/l
Cr <sup>+++</sup>	5.5	6.3-6.5	9.2	N S	2 mg/l
	5.5	6.3-6.5	—	K	
Cu <sup>++</sup>	5.8	7.5	—	N K	2 mg/l
	5.8	8.5	—	S	
Zn <sup>++</sup>	7.6	8.3	>11	N	3 mg/l
	7.6	8.3	—	K	
	7.4	7.9	>11	S	
Fe <sup>++</sup>	Non mesuré	Environ 9	—	N	—
Ni <sup>++</sup>	7.8	9.3	—	N K S	3 mg/l
Pb <sup>++</sup>	7.0	9.5	—	N K	1 mg/l
	5.5	6.5	9.0 colloïdal	S	
Cd <sup>++</sup>	9.1	9.5- 9.8	—	N K	3 mg/l
	7.0	7.2	—	S	

(1) : N : Soude caustique    K : chaux    S : Carbonate de Soude.

(2) : encore en solution.

Le tableau donne un aperçu des zones de pH de précipitation des principaux métaux .

Dans la zone exacte de neutralité, seuls le fer trivalent, l'aluminium et le chrome précipitent pratiquement d'une façon complète.

Le cuivre et le zinc précipitent dans une zone encore admissible jusqu'à pH=8.5. Le nickel, le cadmium et le plomb ne précipitent qu'à des pH supérieurs à 9, une zone qui n'est généralement plus autorisée pour le rejet des eaux résiduaires.

Ce tableau indique également que les zones de précipitation dépendent des réactifs précipitants employés. En effet, si la précipitation est réalisée le carbonate de soude, il se forme des carbonates ou des carbonates basiques de métaux lourds, dont la solubilité peut être très différente de celle des hydroxydes obtenus en utilisant la soude ou le lait de chaux. La précipitation du cadmium par le carbonate de soude est complète à pH=7.2, alors qu'il faut un pH de 9.5 à 9.7 en utilisant le lait de chaux ou la soude. Ces décalages sont trouvés également pour d'autres métaux. L'aluminium, le zinc et le chrome donnent des hydroxydes amphotères solubles dans un alcali en excès, et qui par suite peut se redissoudre dans des zones de précipitations nécessaires pour d'autres métaux lourds. Cette redissolution peut être évitée en faisant la précipitation avec un lait de chaux au lieu de soude.

La précipitation d'un métal jusqu'à dessous de la limite de 3 mg/l n'est pas pour autant une preuve pour le problème de la détoxification. Ainsi la présence simultanée de plomb, de l'étain et de l'argent sans les autres métaux lourds conduit lors de la précipitation à des solutions colloïdales ni décantables ni filtrables. La présence d'autres métaux lourds produisant des hydroxydes flocculants bien, notamment le fer trivalent, les hydroxydes qui, sans cela, flocculent mal, sont précipités en même temps que ces derniers ; dans le cas contraire l'adjonction des sels de fer ou de l'aluminium est nécessaire.

La figure 17 représente les zones de précipitation des métaux les plus importants selon L.Hartinger.

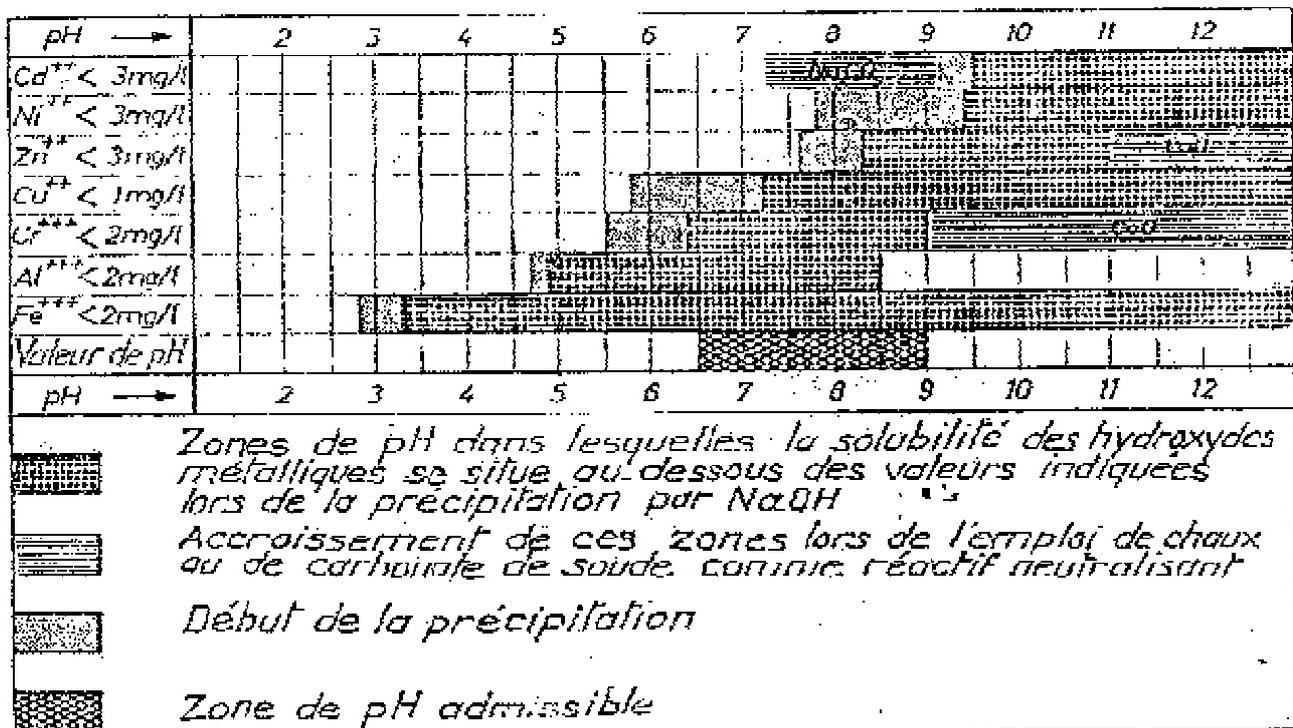


Figure 17: Zones des précipitations des principaux métaux lourds d'après L. Hartinger

La précipitation est une technique économique mais dont l'inconvénient principal est la génération des quantités importantes de boues. S'agissant d'eau résiduaire chargée de solutés métalliques, la précipitation se fait en général sans ajout de polyélectrolyte.

L'opération est généralement effectuée dans un bassin, suivie d'une décantation du précipité formé dans un ensemble de sédimentation et de décantation comme le montre la schéma (figure 18 ) et pour lequel une des constructions plus fiables est détaillée dans la figure ( 19 ).