

Chapitre I Synthèse bibliographique sur la chloration des eaux à potabiliser

| | |
|--|-----------|
| I.1 Introduction..... | 5 |
| I.2. Propriétés physico-chimiques du chlore..... | 5 |
| I.2.1.Chimie du chlore..... | 5 |
| <i>a) chlore gazeux.....</i> | <i>5</i> |
| <i>b) Hypochlorite de sodium.....</i> | <i>6</i> |
| <i>c) Hypochlorite de calcium</i> | <i>7</i> |
| I.2.2.Méthodes de dosage du chlore..... | 7 |
| I.3.Principales applications de la chloration..... | 8 |
| I.3.1.Application de la chloration dans le traitement des eaux potables..... | 8 |
| I.3.2.Avantages et inconvénients du chlore..... | 8 |
| I.3.3. Pratique de la chloration en Algérie..... | 9 |
| I.4. Action bactéricide et virulicide du chlore..... | 10 |
| I.5. Action du chlore sur les composés minéraux de l'eau..... | 11 |
| I.5.1. Azote ammoniacal..... | 11 |
| I.5.2. Les ions bromures..... | 12 |
| I.5.3. Le fer et le manganèse..... | 13 |
| I.5.4. Oxydation d'autres micropolluants minéraux..... | 13 |
| I.6. Action du chlore sur les composés organiques de l'eau..... | 13 |
| I.6.1. Catégories de la matière organique..... | 13 |
| I.6.2. Réactivité du chlore vis-à-vis des substances humiques..... | 15 |
| I.6.3. Réactivité du chlore vis-à-vis des composés organiques simples non azotés..... | 16 |
| I.6.4.Réactivité du chlore vis -à-vis des composés organiques azotés non humiques..... | 17 |
| <i>a) Les acides aminés.....</i> | <i>17</i> |
| <i>b) Bases puriques et pyrimidiques</i> | <i>19</i> |
| I.7. Incidence de la composante minérale sur la chloration de la matière organique..... | 22 |
| I.8. Chloration des eaux de surface..... | 24 |
| I.9. Formation de sous produits toxiques de la chloration..... | 24 |
| I.10. Principales règles à respecter pour limiter les teneurs en sous –produits dans l'eau..... | 26 |
| I.11. Conclusion..... | 27 |

Chapitre II

Effet de la minéralisation sur la réactivité des composés aromatiques simples vis-à-vis du chlore

| | |
|---|----|
| II.1.Introduction..... | 29 |
| II.2. Procédure expérimentale..... | 29 |
| II.2.1.Préparation des solutions..... | 29 |
| II.2.2.Préparation des solutions de composés organiques modèles..... | 29 |
| II.2.3.Milieus de dilution des composés organiques..... | 30 |
| II.2.4.Solution en chlore actif..... | 31 |
| II.2.5 Méthodes de dosage..... | 31 |
| II.2.5.1. Méthodes de dosage des caractéristiques physico-chimiques des eaux..... | 31 |
| II.2.5.2. Méthode de dosage du chlore résiduel..... | 31 |
| II.2.6. Aromaticité..... | 32 |
| II.2.7. Mise en oeuvre de la chloration en solutions synthétiques de composés Organiques..... | 32 |
| II.3.Résultats expérimentaux et discussion..... | 33 |
| II.3.1 Potentiels de consommation en chlore en milieux minéralisés..... | 33 |
| II.3.1.1 Résultats expérimentaux..... | 33 |
| II.3.1.2.Discussion des résultats..... | 34 |
| II.3.2. Incidence de quelques éléments minéraux sur la réactivité du chlore vis-à-vis des composés aromatiques simples..... | 36 |
| II.3.2.1. Effet de l'azote ammoniacal sur la chloration du phénol et résorcinol..... | 36 |
| II.3.2.2.Effet des bromures sur la chloration du phénol et résorcinol | 38 |
| II.3.2.3.Effet des chlorures et des sulfates sur la chloration du phénol et résorcinol.... | 39 |
| II.3.3. Influence de la variation du pH sur la réactivité des composés aromatiques simples vis-à-vis du chlore en présence des milieux de minéralisation variable... | 40 |
| II. 3.3.1. Effet du pH sur les potentiels de consommation en chlore..... | 40 |
| II.3.3.1.1 Résultats expérimentaux..... | 40 |
| II.3.3.1.2. Discussion des résultats..... | 41 |
| II. 3.3.2.Influence du pH sur les cinétiques de la consommation en chlore..... | 42 |
| II. 3.3.2.1. Résultats expérimentaux..... | 43 |
| II.3.3.2.2.Discussion des résultats..... | 47 |
| II.4. Conclusion..... | |

Chapitre III Chloration de composés organiques azotés dans des milieux de minéralisation variable

| | |
|--|-----------|
| III.1. Introduction..... | 49 |
| III.2. Procédure expérimentale..... | 49 |
| III.2.1. Préparation des solutions de composés azotés | 49 |
| III.2.2. Préparation des solutions de chlore..... | 51 |
| III.2.3. Méthodes de dosage..... | 51 |
| III.2.3.1. Dosage du chlore résiduel..... | 51 |
| a) Méthode iodométrique..... | 51 |
| b) Méthode à la DPD..... | 51 |
| III.2.3.2. Dosage de paramètres physico-chimiques..... | 52 |
| III.2.4. Description des essais de chloration..... | 52 |
| III.2.4.1. Détermination des potentiels de consommation en chlore..... | 52 |
| III.2.4.2. Procédure du break-point..... | 52 |
| III.2.4.3. Influence du pH et du temps de contact..... | 52 |
| III.3. Résultats des essais de chloration des acides aminés..... | 53 |
| III.3.1. Influence du taux de chloration sur la réactivité des acides aminés vis-à-vis du chlore..... | 53 |
| III.3.1.1. Influence du taux de chlore sur les potentiels de consommation des acides aminés..... | 53 |
| III.3.1.2. Influence du taux de chlore sur la formation des chloramines des acides aminés..... | 55 |
| III.3.2. Influence du pH sur la réactivité du chlore vis -à - vis des acides aminés..... | 59 |
| III.3.2.1. Effet du pH sur les potentiels de consommation en chlore des acides aminés..... | 56 |
| III.3.2.2. Effet du pH et du temps de contact sur les consommations en chlore des acides aminés..... | 60 |
| III.4. Résultats des essais de chloration des bases puriques et pyrimidiques..... | 63 |
| III.4.1. Potentiels de consommation en chlore des bases puriques et pyrimidiques..... | 63 |
| III.4.2. Influence de la variation des taux de chloration sur la consommation en chlore des bases puriques et pyrimidiques..... | 67 |
| III.4.3. Influence du pH sur la réactivité du chlore vis-à-vis des bases puriques et Pyrimidiques..... | 68 |
| III.4.3.1. Influence du pH sur les potentiels de consommation en chlore des bases puriques et pyrimidiques..... | 68 |

| | |
|---|-----------|
| III.4.3.2. Influence du pH et du temps de contact sur les consommations en chlore des bases puriques et pyrimidiques..... | 70 |
| III.4.4. Incidence de la présence des éléments minéraux spécifiques sur la réactivité du chlore vis-à-vis des bases puriques et pyrimidiques en eau distillée..... | 76 |
| III.4.4.1 Effet des chlorures et des sulfates sur la réactivité du chlore vis-à-vis des bases azotées..... | 77 |
| III.4.4.2 Effet des bromures sur la réactivité du chlore vis-à-vis des bases azotées..... | 79 |
| III.4.4.3 Effet de l'azote ammoniacal sur la réactivité du chlore vis-à-vis des bases azotées..... | 81 |
| III.5. Conclusion..... | 82 |

**Chapitre IV Réactivité du chlore vis-à-vis des substances humiques dans des milieux de minéralisation variable.
Application à des eaux de surface**

| | |
|--|------------|
| IV.1.Introduction..... | 85 |
| IV.2.Procédure expérimentale..... | 85 |
| IV.2.1. Préparation des solutions de substances humiques..... | 85 |
| IV.2.2. Milieux de dilution des substances humiques..... | 86 |
| IV.2.3.Mise en œuvre de la chloration..... | 86 |
| IV.2.3.1. Méthodes de dosage..... | 86 |
| IV.2.3.2.Mesure de l’aromaticité | 86 |
| IV.2.4.Chloration d’eaux de surface..... | 87 |
| IV.3.Influence des paramètres réactionnels sur la chloration des substances humiques dans des milieux de minéralisation variable..... | 87 |
| IV.3.1. Potentiels de consommation en chlore des substances humiques en milieux minéralisés..... | 87 |
| IV.3.2. Influence de la variation du taux de chloration..... | 89 |
| IV.3.3. Evolution de l’aromaticité au cours de la chloration des substances humiques... | 90 |
| IV.3.4. Effet de la variation du pH et du temps de contact sur les consommations en chlore des substances humiques..... | 92 |
| IV.3.4.1. Effet de la variation du pH sur les potentiels de consommation en chlore des substances humiques | 92 |
| IV.3.4.2. Cinétiques de consommation en chlore par les substances humiques pour différents pH | 93 |
| IV.4. Influence de la présence des chlorures et des sulfates sur la réactivité du chlore vis-à- vis des substances humiques..... | 96 |
| IV.4.1. Influence de teneurs croissantes en chlorures dans une eau distillée..... | 96 |
| IV.4.2. Influence de teneurs croissantes en sulfates dans une eau distillée..... | 98 |
| IV.5. Incidence de la chloration sur la réactivité de substances humiques en présence de sels métalliques..... | 100 |
| IV.5.1. Chloration de solution de substances humiques dopées en métaux (eau distillée)..... | 100 |
| IV.5.1.1. Influence du taux de chloration des substances humiques..... | 100 |
| IV.5.1.2. Influence de la concentration initiale du métal..... | 102 |
| IV.5.1.3. Influence du pH et du temps de contact..... | 104 |

| | |
|---|------------|
| IV.5. 2.Chloration des substances humiques en eau de forage traitée par osmose inverse..... | 105 |
| IV.5.2.1. Effet du taux de chloration des substances humiques en eau de forage osmosée..... | 106 |
| IV.5.2.2. Effet du pH et du temps de contact..... | 106 |
| IV.6. Application à la chloration de quelques types d'eaux de surface algériennes..... | 108 |
| IV.6.1. Principales caractéristiques physicochimiques des eaux testées..... | 108 |
| IV.6.2. Potentiels de réactivité des eaux vis-à-vis du chlore..... | 109 |
| IV.6.3. Influence de la variation du taux de chloration sur les eaux brutes..... | 110 |
| IV.6.4. Influence du temps de réaction sur la consommation en chlore par les eaux testées..... | 112 |
| IV.7. Conclusion | 114 |

Chapitre V **Oxydation de la matière organique par le permanganate de potassium**

| | |
|--|------------|
| V.1. Introduction..... | 116 |
| V.2 Synthèse bibliographique..... | 116 |
| V.2.1. Propriétés physico-chimiques | 116 |
| V.2.2. Analyse du permanganate de potassium..... | 118 |
| a) Méthode volumétrique..... | 118 |
| b) Analyse spectrophotométrique | 118 |
| c) Méthode ampérométrique..... | 119 |
| V.2.3. Principes d'application du permanganate de potassium..... | 119 |
| V.2.3.1 Application du permanganate de potassium dans le traitement des eaux..... | 119 |
| V.2.3.2. Pratique de l'oxydation par le permanganate de potassium..... | 120 |
| V.2.4. Action bactéricide et virulicide du permanganate de potassium..... | 120 |
| V.2.4.1. Mécanismes d'inactivation..... | 120 |
| V.2.4.2. L'inactivation des germes pathogènes..... | 121 |
| a) Inactivation des bactéries..... | 121 |
| b) Inactivation des virus..... | 121 |
| c) Inactivation des protozoaires..... | 121 |
| V.2.5. Action du permanganate de potassium sur les composés minéraux..... | 122 |
| V.2.5.1. Action du permanganate de potassium sur le fer et le manganèse..... | 122 |
| V.2.5.2 Action du permanganate de potassium sur l'azote ammoniacal et les nitrites... | 123 |
| V.2.5.3. Action du permanganate de potassium sur les halogénures..... | 123 |
| V.2.5.4. Action du permanganate de potassium sur les sulfures..... | 123 |
| V.2.5.5. Action du permanganate de potassium sur les cyanures..... | 123 |
| V.2.5.6. Action du permanganate de potassium sur les bromures..... | 124 |
| V.2.6. Action du permanganate de potassium sur la matière organique des eaux de surface..... | 124 |
| V.2.6.1. Réactivité du permanganate de potassium sur les composés organiques simples..... | 125 |
| a) Composé aliphatiques..... | 125 |
| b) Composés aromatiques..... | 125 |
| V.2.6.2. Réactivité du permanganate de potassium sur les substances humiques..... | 126 |
| V.2.7. Combinaison permanganate de potassium et chlore | 127 |
| V.2.7.1. Réactivité du chlore sur les composés préoxydés au KMnO₄ | 127 |
| V.2.7.2. Formation de trihalométhanes..... | 128 |
| V.3. Résultats des essais d'oxydation de la matière organique par le permanganate de potassium..... | 129 |

| | |
|---|------------|
| V.3.1. Procédure expérimentale..... | 129 |
| V.3.1.1.Préparation des solutions..... | 129 |
| a) <i>Préparation des solutions synthétiques de composés organiques.....</i> | <i>129</i> |
| b) <i>Solution de permanganate de potassium (KMnO₄).....</i> | <i>130</i> |
| V.3. 1.2. Dosages d'oxydants résiduels..... | 130 |
| V.3.1.3. Mise en œuvre de l'oxydation par le permanganate de potassium..... | 130 |
| a) <i>Détermination des potentiels d'oxydation par le KMnO₄ seul.....</i> | <i>130</i> |
| b) <i>Influence des paramètres réactionnels.....</i> | <i>131</i> |
| V.3.1.4. Combinaison des deux oxydants..... | 131 |
| a) <i>Influence du taux de permanganate de potassium.....</i> | <i>131</i> |
| b) <i>Influence du taux de post chloration.....</i> | <i>131</i> |
| V.3.1.5. Application aux eaux de surface..... | 131 |
| V.3.2. Potentiels de réactivité des composés organiques vis-à-vis du permanganate de potassium..... | 132 |
| V.3.2.1. Résultats..... | 132 |
| V.3.2.2. Discussion..... | 134 |
| a) <i>Composés organiques simples phénoliques.....</i> | <i>134</i> |
| b) <i>Composés azotés.....</i> | <i>135</i> |
| c) <i>Substances humiques.....</i> | <i>136</i> |
| V.3.2.3. Effet du pH sur la réactivité du permanganate de potassium vis-à-vis de la matière organique..... | 137 |
| V. 3.3. Effet de la combinaison des deux oxydants vis-à-vis de la matière organique dans des milieux de minéralisation variable..... | 140 |
| V. 3.3.1. Influence du taux de préoxydation du permanganate de potassium sur les potentiels de consommation en chlore..... | 140 |
| V. 3.3.2. Influence du taux de post chloration après une préoxydation par le de potassium..... | 145 |
| V.4. Application du procédé combiné KMnO₄/chlore sur des eaux de surface brutes..... | 148 |
| V.4.1 Potentiels de consommation en KMnO₄..... | 148 |
| V.4.2. Combinaison KMnO₄/chlore..... | 150 |
| V.4.2.1 Influence du taux de préoxydation au KMnO₄..... | 150 |
| V.4.2.2.Influence du taux de post chloration..... | 151 |
| V.5. Conclusion..... | 153 |

Remerciements

Les recherches qui font l'objet de cette thèse ont été réalisés au Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface (LARHYSS), à l'université de Biskra, et dont je suis membre.

Ce travail a été réalisé sous la direction de Madame ACHOUR Samia, Maître de conférence à l'université de Biskra et responsable de l'équipe Qualité et Traitement des eaux, au laboratoire LARHYSS. Qu'elle veuille bien accepter l'expression de mes sincères remerciements pour le sérieux de son travail de direction de ma thèse, pour son soutien moral, ses critiques constructives, ses orientations, pour sa patience et le talent de correcteur qui ont permis l'élaboration de ce modeste travail, ainsi que pour l'amitié qu'elle n'a cessé de me témoigner.

Je tiens à remercier vivement Monsieur BOUTARFAIA Ahmed, Professeur à l'université de Biskra, Directeur du laboratoire de Chimie Appliquée, d'avoir bien voulu présider le jury de cette thèse.

Je suis très reconnaissante à Monsieur DJABRI Larbi, Professeur à l'université de Annaba, pour l'intérêt qu'il a porté à ce travail et pour l'honneur qu'il me fait d'en être examinateur.

Il m'est agréable de remercier Monsieur BOUDOUKHA Abderrahmane, Maître de Conférence à l'université de Batna, pour l'intérêt qu'il a manifesté à ce travail et pour sa présence en tant qu'examineur.

Mes vifs remerciements s'adressent également à Monsieur ACHOUR Bachir, Professeur à l'université de Biskra et Directeur de Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface (LARHYSS), pour ses connaissances, son amitié et pour ses encouragements.

Je ne saurais oublier tous les chercheurs du laboratoire LARHYSS qui m'ont toujours témoigné leur aide et leur amitié.