REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET LE RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DE MEDEA

Faculté des sciences et de la technologie

Département de génie des procèdes et de l'environnement

Mémoire master en pollution chimique et gestion environnementale

Optimisation des paramètres physico-chimiques des eaux du barrage de Ghrib.

Présenté par **:**

M^{elle}. Belmokhtar Zohra

M^{elle}. MERZOUG Fazia

Sous la direction de **:**

Pr. HANINI S.

M^{elle} Khaouane L.

-2012/2013-

Merci Allah de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et le bonheur ,de lever mes mains vers le ciel et de dire «Al Hamdou Li Allah»

M^{elle} BELMOKHTAR Zohra :

Je dédie ce travail à :

Moi-même ;

Mes chers parents ;

Mon seul et cher frère et mes adorables sœurs ;

Ma tante Dalila qui a été toujours mon idole ;

Mes copines : Hizia , Djahida, , Fethia et Racha ;

Ma sœur MERZOUG Fazia ;

À toute ma famille, amis et camarades.

M^{elle} MERZOUG Fazia :

Je dédie ce modeste travail à celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, à ma mère …
A mon père, pour son soutien et son aide ;

À la mémoire de mon grand-père Yahiaoui et mon oncle Zineelabidine ;

À mon frère Abdallah ;

À mes sœurs Linda et Yasmine ;

À mon oncle Wahid et son épouse et enfants ;
A tous ceux qui me sont chères ;
À tous ceux qui m'aiment ;
Et ..... A tous ceux que j'aime.

Aucun but n'est atteint sans qu'une lumière vienne tracer le chemin et aucun travail n'est achevé sans qu'une main ne se tende pour apporter soutien.

Ce que nous a apporter ce travail est avant tout le plaisir de faire meilleure connaissance avec ses bienveillance, à monsieur le professeur S. **HANINI** et **M^{elle} L. KHAOUANE**, qui ont fait que notre chemin s'illumine avec les bons conseils, la grande patience, le temps qu'ils nous ont accordé et surtout pour l'effort considérable qu'ils ont déployés pour nous aider à réussir dans ce thème intéressant de ses proposition.

Nous tenons aussi à exprimer notre gratitude à :

- Mon cher directeur Mr. **BOUKARTA M.,** mon directeur pour son aide et compréhension. Ainsi que mes supérieurs Mr. BEN MEZIANE et Mr. ZITOUNI.
- Mr. YOUCEF TOUMI M. pour son aide.
- Mr. SAIBA, Mme KERRACHE, Mr. SIMOUSSA, Mr. ABDELLAH ELHADJ, Melle. GHRABA, Mr. KERCHICHE, Mr. BEN KORTEBI, Mr. BEN AISSA, ainsi que tous les professeurs de l'université de Médéa
- Mr. GHRIBI de la direction de l'environnement.
- Mr. BENHAMBEL du laboratoire de contrôle qualité à la station de traitement du barrage de Ghrib et Mr. HASSAINI.
- Mme DJEZZAR et Mme ..... pour leur aide considérable aux laboratoires de l'Algérienne des eaux

.

الملخص:نمذجة المعلمات الفيزيائية والكيميائية لمياه سد غريب.

تمت نمذجة للشبكة العصبونية الاصطناعية لمراقبة المعلمات الفيزيائية والكيميائية لمياه سد غريب في المصب. بعد تحليل قاعدة البيانات التي تتكون من خمسة (6) مدخلات وستة (6) مخرجات، من أجل تعريف هندسة الشبكات العصبية المثلى. طوبولوجيا ، EAM، ومعاملات التوجيه (R) للشبكات العصبية للستة المثلى RNSO للمخرجات الستة هي على التوالي: لدرجة الحرارة : [6 - (6) -1 : EAM = 0.06156° C ، R = 0.99987];و لدرجة الحموضة : [6 - (6) -1 : EAM = 0.01690 ، R = 0.99316] ; و للناقلية [6 - (5) -1 EAM=3.37160µS/cm ، 0.99989 ; و للتعكر [6 - (8) -1 ، EAM= 0.05556 NTU ، R = 0 .96897] ;و للأوكسجين المذاب [6- (3) -1 : R= EAM =0.14245= مغ O2/ لتر ، R = 0.99732] ;و للكلور المتبقي [6 - (6) -1 ل /ملغ 0.06834= EAM و0.99954 =R].

كلمات البحث: مياه الشرب، النمذجة ، للشبكة العصبونية الاصطناعية الأمثل ،المعلمات الفيزيائية والكيميائية.

Résumé: Optimisation des paramètres physico-chimiques des eaux de barrage de Ghrib.

Une modélisation par réseau de neurones artificiels a été optimisée pour contrôler les paramètres physico-chimiques des eaux du barrage de Ghrib en aval. Après l'élaboration de la base de données constituée de (6) six paramètres en input et (6) six en output pour aboutir à l'architecture des RNSO. La topologie, l'EAM, et le coefficient de régression (R) des six réseaux neurones élaborés sont respectivement: [6-(6)-1 : EAM = 0.06156°C et R = 0.99987] pour la température ; [6-(6)-1 : EAM = 0.01690 et R = 0.99316] pour le pH ; [6-(5)-1 : EAM = 3.37160 µS/cm et R = 0.99989] pour le conductivité; [6-(8)-1 : EAM = 0.05556 NTU et 0.96897] pour le turbidité ; [6-(3)-1 : EAM = 0.14245 mg O_2/l et 0.99732] pour le l'oxygène dissout; [6-(6)-1 : EAM = 0.06834 mg/l et R = 0.99954] pour le chlore résiduel.

Mots clés : Eaux potable, modélisation et optimisation par réseau de neurones artificiels, prédiction des paramètres physico-chimiques

Abstract: Optimization of physico-chemical parameters of Ghrib's dam waters.

A Modeling by artificial neural network has been done and optimized to control the physico-chemical parameters of Ghrib's dam waters. After the development of the database consisting of six (6) input parameters and six (6) output parameters in order to achieve the architecture of the OANN, we obtained the topology ,the MAE, and the regression coefficient (R) of the six neural networks which are respectively : [6 - (6) -1: MAE = 0.06156 ° C and R = 0.99987] for the temperature ;[6 - (6) -1: MAE = 0.01690 and R = 0.99316] for pH; [6 - (5) -1: MAE = 3.37160 µS/cm and R = 0.99989] for the conductivity ; [6 - (8) -1: MAE = 0.05556 and 0.96897 NTU] for turbidity; [6 - (3) -1: MAE = 0.14245 mg O^2/l and 0.99732] for dissolved oxygen [6 - (6) -1: MAE = 0.06834 mg / l and R = 0.99954] for residual chlorine.

Keywords: Safe drinking water, modeling and optimization of Artificial Neural Network, physico-chemical parameters.

Dédicaces
Remerciements
Résumé
Table des matières -I-
Tableau des symboles et abréviations -VI-
Liste des figures -VIII-
Liste des tableaux -X-
INTRODUCTION GENERALE 1
PARTIE THEORIQUE
REVUE CRITIQUE 3

CHAPITRE I : PRESENTATION DUB.G. ET DE LA STATION DE TRAITEMENT DES EAUX

I.A. PRESENTATION DU BARRAGE 7
Historique de barrage, coordonnée, capacité 7
Vue générale du barrage 7
La tour pompeuse 8
La station de contrôle des vannes 9
Les hausses fusibles et les clapets 9
La station de pompage pour irrigation 9
Parcours des crues et les obstacles et tourbillons 9
La station de production d'électricité 10
Les galeries 11
Le masque du barrage 12
Envasement du barrage 12
La prise d'eau vers Alger 13
La prise d'eau vers la station de traitement 13
I.B.LA STATION DE TRAITEMENT
Pompage et Prise flottante 14
Réservoir de régulation ou de décantation initiale 14

Salle de dosage et de préparation des matières chimiques 14
Bassins de préoxidation et de coagulation 15
Bassins de floculation 16
Décantation 16
Filtration sur sable 17
Désinfection 17
Distributions 18

Chapitre II : NOTIONS GENERALES SUR TRAITEMENT DES EAUX

II.1. TRAITEMENT CLASSIQUE 20
II.1.1. le prétraitement 20
II.1.1.1. le dégrillage 20
II.1.1.2. le tamisage 20
II.1.2. la préoxidation 21
II.1.2.1.le chlore 21
II.1.2.2. le dioxyde de chlore ClO_2 21
II.1.2.3. l'ozone 21
II.1.3. la clarification 22
II.1.3.1. la coagulation 22
II.1.3.2. la floculation 24
II.1.3.3. Décantation 24
II.I.3.4. La filtration sur sable 25
II.1.3.5. la désinfection 25
II.1.3.5.1.procédés de désinfection 26
II.1.3.5.2.les désinfectants 26
Le chlore 27
Le dioxyde de chlore 27
L'ozone 28
Le rayonnement U.V. 29
II.2. LES PROCEDES DE POINTE 30
II.2.1. Les filtrations sur membranes 30
II.2.2. La microfiltration 30

II.2.3. L'ultrafiltration 31

II.2.4. La nanofiltration 31

Conclusion 32

CHAPITRE III. : QUALITE DE TRAITEMENT DES EAUX

INTRODUCTION 33

III.1. RESSOURCES HYDRIQUES NATURELLES 33

III.1.1. Eaux souterraines 33

III.1.1.1. Nappes phréatiques 33

III.1.1.2. Nappes captives 33

III.1.2. Les eaux de surface 34

III.1.3. Eaux de mers et océans 34

III.2.QUALITE DE TRAITEMENT DES EAUX DE SURFACE 35

III.2.1. Paramètres organoleptiques 35

III.2.1.1. La couleur 36

III.2.1.2. Le gout et l'odeur 36

III.2.2. Paramètres physiques 37

III.2.2.1. La température 37

III.2.2.2. La Turbidité 37

III.2.2.3. La conductivité 39

III.2.3. Paramètres chimiques 40

III.2.3.1 La dureté 40

III.2.3.2. L'alcalinité 41

III.2.3.4. Les chlorure 42

III.2.3.5. L'aluminium 42

III.2.3.6. Le pH 43

III.2.3.7. L'oxygène dissous 44

III.2.4. Les paramètres indésirables 46

Les Nitrates/Nitrites et Ammonium 46

III.2.5. Les paramètres toxiques 47

III.2.6. Les paramètres biologiques 47

III.2.6.1. Les coliformes totaux 47

III.2.6.2. Les coliformes fécaux 47
III.2.6.3.Les streptocoques fécaux 48
CONCLUSION 48

CHAPITRE IV. : RESEAU DE NEURONES ARTIFICIEL

INTRODUCTION 49
IV.1. Historique 49
IV.2. Analogie de neurones biologiques et neurones artificielles 50
IV.2.1. Réseau neurones biologique 50
IV.2.1.1. Définition 50
IV.2.1.2. Fonctionnement des différents composants d'un neurone biologique 51
IV.2.2.Réseau de neurones artificiel 51
IV.2.2.1. Définition 51
IV.2.2.2. Fonctionnement des réseaux de neurones artificiel 51
IV.3. Apprentissage des réseaux de neurones 54
IV.4. Algorithmes d'application 54
IV.4.1. Somme pondérée des entrées 54
IV.4.2. Fonction de transfert 55
IV.5. Architecture d'un réseau de neurones 56
IV.5.1. Réseau neurones bouclés 56
IV.5.2. Réseau de neurones non bouclés 56
IV.6.Architecture multicouches 56
IV.6.1.Réseau multicouches 56
IV.6.2. Réseau à connexion locale 56
IV.6.3. Réseau à connexion récurrente 56
IV.6.4. Réseau à connexion complète 57
IV.7. Le perceptron multicouche 57
CONCLUSION 57

PARTIE PRATIQUE

CHAPITRE V. : MODELISATION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

INTRODUCTION	57
V.1. Méthodologie de calcul	57
V.1.1. Collecte des données	58
V.1.2. Sélection des entrées et des sorties du modèle neuronal	58
V.1.3. Mise en forme des données	59
V.2. Normalisation de la base de données partielle	60
V.3. Structure des RNSO obtenus	60
V.4. Validation des résultats obtenus par RNA avec les valeurs expérimentales	62
V.4.1. La température	62
V.4.2. Le pH	65
V.4.3. La conductivité	69
V.4.4. La turbidité	72
V.4.5. L'oxygène dissous	76
V.4.6. Chlore résiduel	80
CONCLUSION	83
CONCLUSION GENERALE	84
ANNEXE	86
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	88

A. Abréviations

Désignation	Abréviations
Agence Nationale des Barrages et Transfert	ANBT
Algérienne Des Eaux	ADE
Acide Désoxyribonucléique	ADN
Barrage de Ghrib	BG
Carbone Organique Total	COT
Calculé	Cal.
Coagulation /Floculation	C /F
Dioxyde de chlore	ClO_2
Dioxyde de carbone	CO_2
Erreur absolue moyenne	EAM
Ethylène-diamine-tétra-acétique	EDTA
Erreur Quadratique Moyenne	ERQM
Expérimental	Exp.
Mean Absolute Error	MAE
Matières en Suspension	M.E.S.
Matières Organiques	M.O.
Matières Organiques Naturelle	MON
Nephelometic Turbidity Unit	N.T.U.
Oxygène	O_2
Ion d'Ammonium	NH_4^+
Potentiel d'Hydrogène	*pH*
Perceptron multi-couches	PMC
Coefficient de régression	R
Réseau de neurones artificiel	RNA
Réseau de neurones optimal	RNO
Réseau de neurones statique optimal	RNSO
Sous produits dégradables	SPD
Streptocoque fecal	SF
Titre Alcalimétrique complet	TAC
Trihalométhanes	THM
Titre Alcalimétrique	TA
Ultraviolet	UV
Unité de couleur vraie	UCV

B. Symboles

Désignation	Symbole
Acide sulfurique	H_2S
Chloroplatine de potassium	(K_2PtCl_6)
Chlorure de Cobalt	$(CoCl_6)$.
Clore résiduel en milligrammes par litre	Cl. res. (mg/l)
Conductivité en micro siémens par centimètre	Cond. (µS/cm)
Est	E
Ion carbonate	CO_3^{2-}
Ion ammonium	NH_4^+
Ion calcium	Ca^{2+}
Ion hydrogénocarbonate	HCO_3^-
Ion magnésium	Mg^{2+}
Ion nitrate	NO_2^-
Ion nitrite	NO_3^-
Ion sodium	Na^+
Hectomètres cube	Hm^3
Ion Hydroxyde	OH^-
Kilo joule par mole	KJ/mol.
Kilomètres	Km
Kilomètres carrés	Km^2
Kilogramme par mètre cube	Kg/m^3
Kilovolt	KV
Milliéquivalent par litre	meq/l
Milli nitrate par litre	mg-N/l
Mètres cubes par jour	m^3/J
Mètres	m
Mètre cube	m^3
Millilitre	ml
Millimètre	mm
Millimètres par mètres cubes	mm/m^3
Mètres par seconde carré	m/s^2
Minute	Min
Milligrammes par litre	mg/l
Micro Siemens par Centimètre Carré	$\mu s/cm^2$
Nord	N
Oxygène dissous en mg par litre	Oxy.Diss. (mg O_2/l)
Pascal par seconde	Pa.s
Sulfates d'aluminium	$(Al_3(SO_4)_3)$
Tour par minute	trs /min
Temps en mois	t (mois)
Température en degrés Celsius	T (°C)
Turbidité en unité nephlométrique	Turb. (N.T.U.)
Pourcentage	%

Chapitre I. : Présentation du barrage de Ghrib et de la station de traitement des eaux du barrage

Figure I.1. Plan de situation du barrage de Ghrib 7
Figure I.2 Vue générale du barrage 7
Figure I.3 Nature des roches et du climat au voisinage du barrage 8
Figure I.4 Prise flottante qui alimentait la ville d'Alger 9
Figure I.5.A. et I.5.B. Tour pompeuse 9
Figure I.6. La station de refoulement des eaux d'irrigation 9
Figure I.7. Station de contrôle des vannes 10
Figures I.8.A. et I.8.B. Clapets ouverts et hausses fusibles 10
Figures I.9.A. et I.9.B. Obstacles et les puits 10
Figure I.10 Unité de production d'électricité 11
Figures I.11. Galeries et la tuyauterie d'irrigation 11
Figure I .12 Façade du barrage renforcée par le masque 11
Figure I.13. Boues accumulées et envasement 12
Figure I.14 Prise flottante de la station de traitement 12
Figure I.15. Bassin de régulation 14
Figure I.16.A. et I.16.B. Bacs de préparation du produit coagulants 15
Figure I.17. Bassin du point d'injection du coagulant 15
Figure I.18. Bacs de dosage de floculant 15
Figure I.19. Bassin de floculation 16
Figure I.20.A. et I.20.B. Bassin de décantation et ses lames 16
Figure I.21. Clarificateur en phase de remplissage 16
Figure I.22. Filtre à sable 17
Figure I.23. Pompe D'injection du désinfectant 17
Figure I.24. Chambre de désinfection 18
Figure I.25. Pompe de refoulement des eaux vers la distribution 18
Figure I.26. Chambre de distribution 18
Figure I.27. Schématisation globale de la station de traitement du barrage de Ghrib 19

Chapitre II. : Notions générales sur le traitement des eaux

Figure II.1 Chaine de traitement des eaux 20
Figure II.2.A. et II.2.B. Dégrillage et tamisage 21
Figure II.3 Clarification des eaux 22
Figure II.4 Coagulation 23
Figure II.5.A. et II.5.B Action du coagulant sur les particules en suspension 23
Figure II.6 Floculation 24
Figure II.7 Récapitulé des méthodes de pointe de filtration 32

Chapitre III. : Qualité de traitement des eaux de surface

Figure III.1. Turbidité de l'eau 38

Chapitre IV. : Réseau de neurones artificiels

Figure IV.1.A et **IV.2.B** Un neurone et ses dendrites 50
Figure VI.2. Fonctions de transfert (a) du neurone seuil ; (b) du neurone linéaire, et (c) du neurone sigmoïde 54
Figure IV.3. Fonctionnement d'un perceptron multicouche 55

Figure IV.4. Réseau multicouche 56
Figure VI.5. Réseau à connexions locales 56
Figure VI.5. Réseau à connexions récurrentes 56
Figure VI.6. Réseau à connexions complètes 57

Chapitre V. : Modélisation des paramètres physico-chimiques

Figure V.1. Méthodologie de calcul des paramètres physico-chimique par les réseaux de neurones artificiels 58
Figure V.2. Illustration de l'architecture de réseau de neurones optimisé 60
Figure V.3. Validation des valeurs prédites par RNA avec les valeurs expérimentales pour la température : **(a)** Apprentissage, **(b)** Validation, **(c)** Test, **(d)** Réseau des neurones optimal 62
Figure V.4. Validation des valeurs expérimentales et des valeurs prédites par RNA de la température 64
Figure V.5. Validation des valeurs prédites par RNA avec les valeurs expérimentales pour le pH: **(a)** Apprentissage, **(b)** Validation, **(c)** Test, **(d)** Réseau des neurones optimal 66
Figure V.6. Validation des valeurs expérimentales et des valeurs prédites par RNA du pH 68
Figure V.7. Validation des valeurs prédites par RNA avec les valeurs expérimentales pour la conductivité: **(a)** Apprentissage, **(b)** Validation, **(c)** Test, **(d)** Réseau des neurones optimal 69
Figure V.8. Validation des valeurs expérimentales et des valeurs prédites par RNA de la conductivité 71
Figure V.9. Validation des valeurs prédites par RNA avec les valeurs expérimentales pour la turbidité: **(a)** Apprentissage, **(b)** Validation, **(c)** Test, **(d)** Réseau des neurones optimal 73
Figure V.10. Validation des valeurs expérimentales et des valeurs prédites par RNA de la turbidité 75
Figure V.11. Validation des valeurs prédites par RNA avec les valeurs expérimentales pour l'oxygène dissous: **(a)** Apprentissage, **(b)**Validation, **(c)** Test, **(d)** Réseau des neurones optimal 77
Figure V.12. Validation des valeurs expérimentales et des valeurs prédites par RNA de l'oxygène dissous 79
Figure V.13. Validation des valeurs prédites par RNA avec les valeurs expérimentales pour le chlore résiduel: **(a)** Apprentissage, **(b)** Validation, **(c)** Test, **(d)** Réseau des neurones optimal 80
Figure V.14. Validation des valeurs expérimentales et des valeurs prédites par RNA du chlore résiduel 82

CHAPITRE I. : PRESENTATION DU BARRAGE DE GHRIB ET DE LA STATION DE TRAITEMENT DES EAUX DU BARRAGE

Tableau I.1. Résumé des transferts du barrage de Ghrib 8

Tableau I.2. Caractéristiques générales du barrage de Ghrib 13

Tableau I.3. Caractéristiques générales du barrage de Ghrib 14

CHAPITRE II. : NOTIONS GENERALES SUR LE TRAITEMENT DES EAUX

Tableau II.1. Temps de décantation des particules 25

Tableau II.2. Avantages et inconvénients du chlore 27

Tableau II.3. Avantages et inconvénients du dioxyde de chlore 28

Tableau II.4. Avantages et inconvénients de l'ozone 29

Tableau II.5. Avantages et inconvénients des rayonnements U.V 29

Tableau II.6. comparaison entre l'action des différents désinfectants 30

CHAPITRE III. : QUALITE DE TRAITEMENT DES EAUX DE SURFACE

Tableau III.1. Comparaison entre les eaux de surface et souterraines 35

Tableau III.2. Plage de valeur du titre hydrométrique 40

Tableau III.3. Oxygène dissous en (mg/L) en fonction de températures croissantes 45

Tableau III.4. Influence des activités humaines et impact sur la santé de différents niveaux de nitrates dans l'eau 46

CHAPITRE IV. : RESEAU DE NEURONES ARTIFICIELS

Tableau IV.1. Fonction de transfert a= f(n) 54

CHAPITRE V. : MODELISATION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

Tableau V.1. Topologie du RNSO pour la température 62

Tableau V.2. Les erreurs relatives absolues moyennes et les coefficients de régression de la phase d'apprentissage, validation et de test du RNSO. 65

Tableau V.3. Topologie du RNSO pour le pH 65

Tableau V.4. Les erreurs relatives absolues moyennes et les coefficients de régression de la phase d'apprentissage, validation et de test du RNSO 68

Tableau V.5. Topologie du RNSO pour la conductivité 69

Tableau V.6. Les erreurs relatives absolues moyennes et les coefficients de régression de la conductivité de la phase d'apprentissage, validation et de test du RNSO 72

Tableau V.7. Topologie du RNSO pour la turbidité 72

Tableau V.8. Les erreurs relatives absolues moyennes et les coefficients de régression de la turbidité de la phase d'apprentissage, validation et de test du RNSO. 75

Tableau V.9. Topologie du RNSO pour l'oxygène dissous 76

Tableau V.10. Les erreurs relatives absolues moyennes et les coefficients de régression de l'oxygène dissous de la phase d'apprentissage, validation et de test du RNSO 79

Tableau V.11. Topologie du RNSO pour le chlore résiduel 80

Tableau V.12. Les erreurs relatives absolues moyennes et les coefficients de régression du chlore résiduel de la phase d'apprentissage, validation et de test du RNSO 82

L'eau recouvrant 70% de la surface de la planète, reste en revanche une source très difficile à s'en approvisionner faute de son injuste répartition a travers les régions du globe. La présence de l'eau est une forme de vie mais cependant elle ne peut pas être directement utilisable ni pour la consommation ni pour l'industrie car par son passage dans le sol elle se charge en particules et poussières, matières organiques et inorganiques, métaux lourds et CO_2, germes pathogènes…qui font que son traitement avant toutes utilisations est un enjeu non négligeable.

Le barrage de Ghrib est une barrière au grand oued de Cheliff qui a adopté une station de traitement pour assurer une eau saine qui répond aux normes de potabilité définissant une eau potable suivant la législation en vigueur et selon qu'il s'agit d'une eau industrielle ou destinée à la consommation humaine, en appliquant des procèdes de traitement classiques, assez irremplaçables dans le traitement conventionnel.

Les principaux paramètres définissant la qualité de l'eau potable sont nombreux notons les organoleptiques (couleur, saveur et odeur,…), les physico-chimiques (pH, température, conductivité,…), les biologiques (bactéries et virus), les substances indésirables et toxiques qui traces la qualité d'eau d'un barrage de l'amont a l'aval.ces paramètres sont maitrisables et optimisables tout au cours du traitement pour assurer un gain de temps et d'effort et ainsi un gain économique.

La question qui se pose est de savoir si la modélisation a la capacité de décrire plus précisément la qualité des eaux qualitativement et quantitativement et de tracer l'historique de production.

La difficulté dans l'utilisation des approches classiques pour modéliser de tels paramètres rend l'application des réseaux de neurones artificiels comme approche alternative aux approches classiques particulièrement attractives en raison de leur remarquable robustesse, rapidité, approximation universelle non linéaire et grande habilité.

La modélisation par RNA est une opération qui demande une préparation de la base de données, mise en forme de celles-ci, optimisation de l'architecture du réseau de neurones qui consiste à trouver le meilleur algorithme d'apprentissage, la meilleure méthode de modélisation, la meilleur fonction de transfert, le nombre de neurones dans la couche cachée le plus adéquat en terme de performance et la généralisation du réseau de neurones qui donne des résultats appréciables.

Donc notre travail porte sur la modélisation des paramètres physico-chimiques des eaux du barrage de Ghrib pour arriver a une qualité d'eau consommable par adoption d'une modélisation par réseau de neurones artificiels et c'est dans ce contexte la problématique suivante s'impose :

- Quelles sont les paramètres physico-chimiques et biologiques d'un traitement d'eau du barrage de Ghrib qui sont pertinents ?
- Que peut nous apporter en plus une modélisation par rapport aux méthodes de contrôle classique ?

Dans ce contexte, les (5) cinq chapitres de ce travail traitent les questions suivantes :

- Quelles sont les différentes filiales du barrage de Ghrib qui contribuent à sa production en eau, potable et pour irrigation ?
- Quelles sont les méthodes classiques et de pointe qui sont sujettes d'application dans le traitement des eaux à titre de potabilisation ?
- Quels sont les paramètres physico-chimiques et biologiques qui tracent la qualité de l'eau et conformité ?
- Quelle application des réseaux de neurones artificiels dans le cadre du contrôle des eaux à potabiliser ?

L'étude s'organise en deux parties, une conclusion générale et des perspectives

La première partie : partie théorique qui regroupe une synthèse bibliographique relative à :

Chapitre I. Une présentation du barrage de Ghrib et de la station de traitement de ses eaux.

Chapitre II. Des classes des eaux et des différents procédés de traitement des eaux de surface les classiques et ceux de pointe.

Chapitre III. Les différents paramètres qui régissent la qualité des eaux à potabiliser.

Chapitre IV. Une présentation des réseaux de neurones artificiels.

La deuxième partie : Partie pratique portant sur :

Chapitre V. Une modélisation par réseau de neurones artificiels des paramètres physico-chimiques des eaux du barrage de Ghrib.

Et pour terminer, une conclusion générale regroupant les résultats obtenus et les perspectives envisagées.

PARTIE THEORIQUE

Cette revue critique regroupe certains travaux effectués dans le cadre de la modélisation des paramètres globaux de la qualité des eaux par réseau de neurones artificiels. Ces recherches publiées dans des journaux et des revues internationaux. En effet on cite quelqu'un :

- ✓ L'objectif des travaux de Mr. Hector Ricardo Hernández De León en 2006 portait sur le développement d'un outil de supervision et diagnostic d'une station de production d'eau potable dans son ensemble basé sur l'application d'une technique de classification et sur l'interprétation des informations obtenues sur tout l'ensemble du procédé de production avec comme finalité l'identification des défaillances et une aide à la maintenance prédictive et préventive des différentes unités de la station.

- ✓ Mr. MEGHZILI Bachir de l'université de Biskra à effectué en 2003, des essais d'optimisation de la clarification des eaux pour un suivi de la qualité des eaux de la station de traitement Hammadi-Krouma (Skikda).

- ✓ M^{elle}. Ogwueleka, et M^{elle}.F.N. de l'université d'Abuja ont travaillé sur une optimisation des procédés de traitement de l'eau potable par **R**éseau de **N**eurones **A**rtificiel pour développer le processus d'optimisation des coûts de traitement de l'eau potable. Les résultats obtenus à partir de **RNA** ont montré que c'est un outil approprié pour l'amélioration de la performance globale du processus et de la rentabilité dans le traitement de l'eau potable : réduction des coûts, amélioration de la sécurité des procédés, et une grande stabilité dans le procédé de traitement de l'eau. (travaux publiés dans le journal Nigérien de la technologie, vol. 28 no.1, 2009).

- ✓ Un travail publié L'année 2013 au journal de recherche des sciences nouvelles qui tend à développer un procédé de traitement efficace de l'eau, écologique, propre et économique afin d'éviter la pollution de l'eau par l'utilisation non judicieuse de coagulant. La technique de **R**éseau de **N**eurones **A**rtificiels (**RNA**) est appliquée à la prédiction de dosage de coagulant optimal dans l'usine de traitement de l'eau du lac Upper, de la ville de Bhopal en Inde. D'autre part, La boue générée peut être recyclée et réutilisée pour le traitement des eaux usées.

✓ Les essais de floculation à l'échelle du laboratoire du l'université de Toronto en 2011 ont été réalisés par Mr. Justin Wassink sur une eau de surface pour évaluer l'impact de la coagulation améliorée sur l'élimination des précurseurs de SPD organiques et la formation de trihalométhanes (THM) et les acides haloacétiques (AHA). Les résultats de ces essais indiquent que les pratiques relatives à la coagulation peuvent améliorer la qualité de l'eau traitée sans augmenter la dose de coagulant. Les données générées sont également été utilisés pour développer des **R**éseaux de **N**eurones **A**rtificiels (**RNA**) pour prédire la formation des THM et HAA.

✓ Une approche de modélisation de réseau de neurone sa été développée par Mr. J. Rodriguez et Jean-B. Sérodes pour estimer les ajustements de dose de désinfectant nécessaires au cours re-chloration de l'eau dans les réservoirs de stockage. L'approche est basée sur des données historiques représentatives de fonctionnement et qualité de l'eau qui caractérisent intrinsèquement le savoir-faire des opérateurs de dans leurs tâches de routine. Les résultats obtenus pour le modèle montrent que les **R**éseaux **N**euronaux sont capables d'identifier de manière satisfaisante les modèles de connaissances contenues dans les données en ce qui concerne le processus de re-chloration pour des conditions hivernales et estivales. L'utilisation pratique d'un tel modèle peut aider les opérateurs à ajuster les doses de re-chloration et peut favoriser l'économie de chlore et l'amélioration de la qualité de l'eau dans le système de distribution.

✓ Pour la prédiction de la formation de THM plusieurs approches de modélisation ont été utilisées dans le passé. Il s'agit notamment des modèles basés cinétiques et de régression. Dans le modèle basé sur Réseaux de Neurones Artificiels RNA de la présente étude est développé pour la prédiction des THM. *pH,* COT, la dose de chlore et de chlore résiduel ont été considérés comme responsables de la formation des THM et pris comme variables indépendantes dans la modélisation. Pour le journal des recherches de pollution en 2002, Le retour du réseau de propagation qui montre la relation entre les variables indépendantes a été considéré.

- ✓ Mr. Haddam Salim et Dechemi Noureddine ont publié en 2008 un travail dans le journal européen des recherches scientifiques Vol 20, comprenant la détermination de dose de coagulant dans une usine de traitement de l'eau potable utilisant des réseaux neuronaux artificiels. La modélisation de la dose de coagulant optimale par **R**éseau de **N**eurones **A**rtificiels, et application aux installations de traitement des eaux de Boudouaou (Algérie) .Les performances du modèle sont évaluées en fonction des critères de validation. Le coefficient de détermination R supérieure à 0,8 dans la phase d'étalonnage et atteint 0,75 en période de validation. Les résultats obtenus sont nettement plus intéressant.

- ✓ Dans cette étude exposée dans la 1ere conférence de l'amélioration des efficiences des systèmes hydriques en 2013, les données sont utilisées et recueillir pour de réelles exploitations des systèmes de traitement de l'eau potable de la station de traitement d'Istanbul, en Turquie. Le **R**éseau de **N**eurones **A**rtificiel multicouche est un contrat de prédiction des paramètres de qualité de l'eau traitée et la dose de coagulant optimale. Il peut être utilisé pour surmonter ces limitations et de contrôler la coagulation. Avec l'utilisation du **RNA,** les limites du jar test sont éliminées et également L'optimisation du coagulant se fait très rapidement, car le **RNA** efficace et levé l'incertitude avant que l'eau ne soit distribuée au public.

- ✓ La « Water Resources Research » à effectué en 2010, un examen de prédiction des paramètres de qualité des eaux potables par **R**éseau de **N**eurones **A**rtificiel pour prévoir la salinité de la rivière Murray à Murray Bridge (sud de l'Australie). Les pourcentages d'erreur absolue moyenne des prévisions indépendantes de 14 jours pendant quatre ans. Le pourcentage d'erreur absolue moyenne obtenue dans le cadre d'une simulation de prévision en temps réel pour 1991était de 6,5%.

- ✓ La mise en évidence de l'utilité des **R**éseaux de **N**eurones **A**rtificiels dans la modélisation de la qualité de l'eau a été le sujet d'étude effectuée par C W Baxter et al. en 2001. Ainsi, la modélisation de l'eau potable lors du processus de traitement et de contrôle est démontré travers la présentation de plusieurs études de cas dans deux usines de traitement d'eau à grande échelle dans Edmonton, Canada.

- ✓ Modélisation par Réseau de Neurones de deux paramètres de qualité des eaux à fait objet des travaux de M^{me}. Filion M. en 2007, notamment les nitrates et les matières en suspension en matière de gestion des pratiques agricoles.

Chapitre I

I.1. Présentation du barrage

Construit en 1927 par l'entreprise française CHAGNAUD, et mis en eau en 1939 le barrage de Ghrib est un ouvrage hydraulique de type enrochement de grande importance, ces coordonnées géographiques sont 36°10'0" N et 2°34'0" E en DMS (degrés, minutes, secondes), sis à 155 *Km* de la capitale, précisément à la wilaya d'Ain Defla, précisément à la commune de Oued Chorfa ; à 500 m d'altitude, à l'aval de l'oued de Cheliff qui prend sa source dans l'atlas saharien de djebel Ammour **[Cherbi, (1984)]**.



Figure I.1. Plan de situation du barrage de Ghrib, (http://alger-roi.fr/Alger/barrages/pages/9_d_miliana_barrage_grhibs.htm).

Sa hauteur est de 65*m* et sa longueur est de 270*m*. Sa cote de retenue normale est de 428,34 clapets ouverts. Sa capacité initiale était estimée à 280Hm^3 et sa capacité après élévation est de 185,32Hm^3.de ce, le taux d'envasement est estimé a 58,80%.



Figure I.2. Vue générale du barrage.

Le climat est méditerranéen et le régime des précipitations est fortement saisonnier. L'aspect géologique de la région est caractérisé par des marnes (des roche constituée de calcaire et d'argile) et des grés (des roche constituées de grains de sable agglomérés grâce à du ciment) transportée fréquemment par les crues et retrouvées dans l'aval du barrage **[Larbi, (2004)].**



Figure I.3. Nature des roches et du climat au voisinage du barrage.

D'une capacité de stockage actuelle est de 185,32Hm^3 seulement alors que sa capacité réelle est de 280Hm^3, alimente, outre les centres urbains de Ain Defla, certaines agglomérations de la wilaya de Médéa, avec ses 133.818 habitants, est approvisionnée en eau potable principalement à partir du barrage depuis 1983.

Les quantités d'eau transférées vers la ville de Médéa ainsi que les localités de Harbil, Draa S'mar et Ouezra sont estimées par l'établissement de gestion et de distribution des eaux (ADE) à 20.000 m^3/j. Globalement, la wilaya de Médéa reçoit 32.000 m^3/j à partir du barrage de Ghrib, soit environ 64% de la consommation quotidienne qui est de 50.000 m^3/j.

Le barrage de Ghrib alimente également la ville de Berrouaghia, qui compte environ 66.671 habitants, avec une dotation journalière de 12 000 m^3/j. Cependant, notons une légère différence de structure et de gout entre les eaux du système d'AEP de la ville de Médéa et Berrouaghia qui est plutôt du au mélange des eaux du barrage de Ghrib et Elhamdania au niveau de la ville de Médéa alors que les eaux du barrage de Ghrib sont distribuées telles qu'elle au niveau de la ville de Berrouaghia.

Résumé des transferts dans le tableau suivant :

Tableau I.1Résumé des transferts du barrage de Ghrib, (Présentation du barrage de Ghrib, Documentation du laboratoire de contrôle).

AEP	Ville de Médéa, Berrouaghia et commune d'Oued Chorfa
Transfert	Vers le barrage de Bouroumi
Irrigation	Périmètre du Haut Chellif

Le barrage approvisionnait l'agglomération urbaine d'Alger en eau potable avec un apport à hauteur de 150.000 m^3/j à travers un transfert réalisé par des barges flottantes.

Mais l'opération est pour l'instant en arrêt après la mise en marche de la station de dessalement d'eau de mer au niveau de la ville d'Alger qui couvre le besoin de la ville.



Figure I.4. La prise flottante qui alimentait la ville d'Alger.

Les barrages dispos de plusieurs points de contrôle citent :

- ✓ Une tour pompeuse reliée à un nombre de vannes qui capte l'eau en cas de sur-remplissage du barrage et refoule l'eau en sortie de l'autre côté de la rive.





(a) **(b)**

Figure I.5. (a)et (b). La tour pompeuse.

- ✓ Une station de refoulement des eaux d'irrigation vers les terres agricoles avoisinantes par un système de pompage.



Figure I.6. La station de refoulement des eaux d'irrigation.

- ✓ Station de contrôle des vannes qui domine le barrage.



Figure I.7. La station de contrôle des vannes.

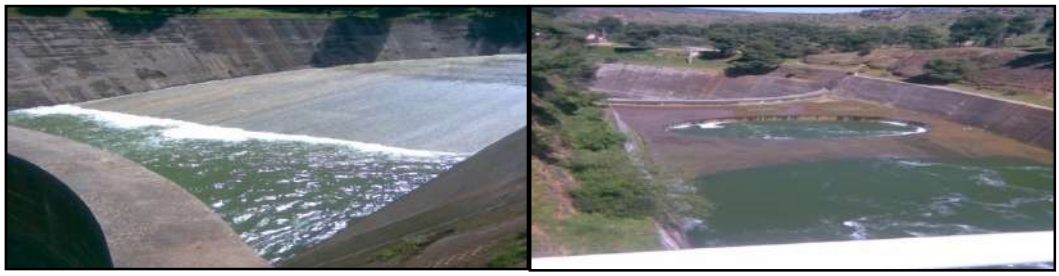
- ✓ Le projet d'installation des hausses fusibles et des clapets a eu un grand impact sur la capacité du barrage. En effet, les clapets fermes augmentent la capacité du barrage de 75 Hm^3ainsi que les hausses fusibles qui déversent le surplus d'eau en cas de crues pour protéger le barrage par un système d'inclinaison.



(a) **(b)**

Figures I.8. (a)et (b). Clapets ouverts et hausses fusibles.

- ✓ Le surplus d'eau dans les périodes de crues est acheminée dans un parcours avec des obstacles et des puits afin de ralentir la vitesse des eaux et d'éviter le gaspillage et enfin de protéger les terres avoisinantes.



(a) **(b)**

Figures I.9. (a) et (b). Les obstacles et les puits.

- ✓ Une unité de production d'électricité qui fonctionnait autre fois par la force hydrique en tournant de grandes turbines. Mais actuellement, il s'est avéré que cette méthode n'est pas aussi retable alors la force hydrique est remplacé par l'électricité pour faire tourner les turbines et la station est gérée actuellement par la Sonelgaz de façon indépendante de la direction du barrage.



Figure I.10. L'unité de production d'électricité.

- ✓ Des galeries qui s'étendent sous le barrage à environ une soixantaine de mètres et qui servent à contrôler les vannes et le parcours d'acheminement des eaux vers l'autre rive du barrage. Des petites ouvertures permettent à l'eau de s'échapper pour diminuer la pression exercée par le poids de l'eau sur les galeries sous-terraines.



Figures I.11. Les galeries et la tuyauterie d'irrigation.

- ✓ La mise en place d'un masque qui recouvre la face du barrage pour la protection de celui-ci et pour augmenter son étanchéité.



Figure I .12. La façade du barrage renforcée par le masque.

- ✓ Malheureusement, le barrage de Ghrib ne fait pas exception des autres barrages dans le monde quand il s'agit de l'envasement (accumulation naturelle de la boue acheminée par le flot des eaux de l'oued), de ce fait il est plus économique d'augmenter la capacité par des clapets que de vider le barrage des boues mais n'empêche que des travaux ont été entamés à plusieurs reprises pour soulager le barrage des boues accumulées par les pluies et crues.



Figure I.13. Les boues accumulées et envasement.

- ✓ Une prise d'eau flottante qui pompe l'eau vers la station de traitement des eaux.



Figure I.14. La prise flottante de la station de traitement.

Les caractéristiques du barrage sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Tableau I.2. Caractéristiques générales du barrage de Ghrib, (Présentation du barrage de Ghrib, Documentation du laboratoire de contrôle).

Oued	Chlef
Type du barrage	Enrochement
Déversoir (après surélévation)	Hausses fusibles
Début et fin des travaux	du 1927 au 1939
Année mise en eau	1939
Capacité initiale	280 Hm^3
Année de la surélévation	2005
Capacité après surélévation	185.317 Hm^3
Capacité dernière levée bathymétriques de 2004	115.317 Hm^3
Surface du plan d'eau à la RN (427.50)	1066.20 *ha*
Surface du bassin versant	23300 km^2
Apport moyen annuel	89.00 Hm^3
Précipitation moyen annuelle	300*mm*
Envasement annuel	3.18 Hm^3
Volume régularisé	120.00 Hm^3
Côte Retenue Normale (ancien)	427.50 *m*
Côte Retenue Normale (après surélévation)	432.00 *m*

I.2. Présentation de la station de traitement des eaux

La prise d'eau en bas de la station de 200*m* utilise quatre (4) électropompesqui refoule l'eau vers la station en haut de la colline qui surplombe le barrage et suit le parcourt suivant :

Étape 01 : Le bassin de régulation et de décantation initiale

L'eau brute arrivée Sur un bassin de régulation d'où elle est directement admise par gravité et distribué eaux différentes filières de traitement .Il peut collecter jusqu'à 1100m^3 d'eau à chaque remplissage.

Sur les neufs à dix mois de l'année, on peut considérer que la qualité de l'eau brute est bonne et constante, toutefois sur les deux à trois mois qui correspondent au Pluit d'hiver on note que la teneur en matière en suspension et en particules argileuses s'accroit sensiblement. L'eau brute présente aussi toujours une salinité élevée, c'est-à-dire une forte teneur en chlorures, sulfates, et sodium ainsi qu'une dureté élevée.

Les caractéristiques du bassin de régulation sont résumées comme suit :

Tableau I.3. Caractéristiques générales du barrage de Ghrib, (Présentation du barrage de Ghrib, Documentation du laboratoire de contrôle).

Type	Capacité	Diamètre	Hauteur	Mis en fonction
circulaire ouvert à l'air libre	1095 m^3	31 *m*	02 *m*	1983



Figure I.15. Le bassin de régulation.

Étape 02 et 03: La salle de dosage et préparation des substances chimiques et les bassins de coagulation-floculation

Dans cette étape, l'eau pré-clarifiée arrive gravitairement du bassin de régulation vers les bassins de mélange. Une peroxydation est effectuée. Ensuite, le coagulant et floculant sont dosés dans de grands bacs de $2m^3$chaqu'un. Bien entendue cette étape arrive après un pré-dosage par Jar-test au niveau du laboratoire d'analyse.

La turbidité et la couleur de l'eau sont dues à la présence de particules de très faibles diamètres qu'on appelle colloïdes et leur élimination est basée sur deux processus : la coagulation et la floculation**. [Cardot, (1999)].**

- ✓ Coagulation : Permettant l'agglomération des matières en suspension (M.E.S) et des colloïdes dans l'eau par utilisation de sulfates d'aluminium $[Al_3(SO_4)_3.18H_2O]$ **[Dégrément, (1989)].**

La station dispose de deux bassins et d'un comme secours ; la surface de chaqu'un d'eux est de $4m^2$ et de volume unitaire de $12m^3$. Le coagulant préparé à la salle de préparation des substances chimiques est injecté pour un temps de contact de deux minutes pour une agitation rapide de $180trs/min$.



(a) **(b)**

Figure I.16. (a)et(b). Les bacs de préparation du produit coagulant.



Figure I.17. Le bassin du point d'injection du coagulant.

✓ Floculation :une etape primordiale permettant l'accroissement du volume des flocs formés par coagulation a l'etape précédente et nettement amilorée par l'ajout d'un floculant qui va former des ponts entre les flocs. **[Dégrément, (1989)].**

- Nombre de bassins : 6 + 3.
- Volume unitaire : 6 □ $12m^3$
- Agitation moyenne : 90$trs/min.$
- Agitation lente : 40 $trs/min.$
- Temps de séjours : t_s = 18 $min.$
- Type de floculant : Polyelectrolyte**.[Documentation ADE, 2010]**



Figure I.18. Les bacs de dosage de floculant.



Figure I.19. Le bassin de floculation.

Malheureusement, les bassins de floculation ne fonctionnent plus. Cependant, l'étape de floculation est délaissée surtout dans les saisons froides où le floculant n'agit pas à basses températures.

Étape 04 : Décantation

Dans cette étape, les MES et les colloïdes assemblés en flocs tombent sous leurs poids par action de la gravité car leur densité est supérieure à celle de l'eau. **[Cardot, (1999)].**L'eau clarifiée entre en contact avec des lames qui aident à éliminer l'Oxygène O_2 dissout et les matières organiques.



(a) **(b)**

Figure I.20. (a) et (b). Le bassin de décantation et ses lames.

- Nombre de décanteurs : 2
- Type : circulaire.
- Diamètre : 2 * 6m
- Volume d'eau : 2 * 890m^3
- Débit d'extraction de boues : 23.5 m^3/h**[Documentation ADE, 2010]**



Figure I.21. Clarificateur en phase de remplissage.

Étape 05 : Filtration sur sable

La station dispose de deux filtres à sable dont les caractéristiques sont :

- ✓ Lit monocouche gravitaire, à ciel ouvert, de sable siliceux.
- ✓ Diamètre des grains de sable de 0,95 à 1,35*mm*.
- ✓ Hauteur de l'eau au-dessus du sable est de H_e= 1,20*m*.
- ✓ Hauteur du sable H_s=1,00*m*. **[Documentation ADE, 2010]**

La turbidité de l'eau ne doit pas dépasser les huit (8) NTU sinon on procède à un lavage du filtre en injectant de l'air en premier lieu ensuite on injecte de l'eau traitée pour laver le filtre jusqu'à ce qu'elle atteigne la rigole au-dessus du filtre pour récupérer les eaux salles et les impuretés qui sont évacuées dans le système d'assainissement.



Figure I.22. Le filtre à sable.

Étape 06 : Désinfection

La dernière étape consiste en un traitement des eaux filtrées afin d'assurer la potabilité de l'eau par une élimination quasi-totale des germes et bactéries et de maintenir un pouvoir désinfectant assez élevée pour empêcher une éventuelle reviviscence de celles-ci.

La désinfection dépend de la concentration du désinfectant ainsi que le temps de contact.La nature du désinfectant joue un rôle important aussi cependant le seul désinfectant utilisé à la station est bien l'hypochlorite de sodium. Ainsi la concentration du désinfectant est calculée dans la chambre des réactifs dépendant essentiellement du débit des eaux. La dose optimale est de préchloration et la désinfection est de 24ml/m^3 et de 16ml/m^3 (millilitre de désinfectant par mètre cube d'eau).



Figure I.23. La pompe D'injection du désinfectant.



Figure I.24. La chambre de désinfection.

Les caractéristiques de la chambre de désinfection sont :

- Nombre : 1
- Capacité : 760m^3
- Surface : 165 m^2
- Temps de contact moyen : 30 min **[Documentation ADE, 2010]**

Le désinfectant est injecté directement dans la chambre de désinfection. Cependant, la désinfection devrait être faite en deux étapes : une injection directe dans la tuyauterie qui achemine l'eau du filtre à sable a la chambre de désinfection mais une tare d'installation du dispositif faisait en sorte que le désinfectant injecté est refoulé par pression des eaux.

Étape 07 : La distribution

Après traitement, l'eau est pompée du bassin de désinfection vers la chambre de distribution pour être acheminée vers la ville de Médéa et Berrouaghia, chaqu'une d'entre elles dispose de son propre dispositif et de chambre de distribution.



Figure I.25. Pompe de refoulement des eaux vers la distribution.



Figure I.26. Chambre de distribution.

D'une manière plus générale, la station de traitement est schématisée comme suit :

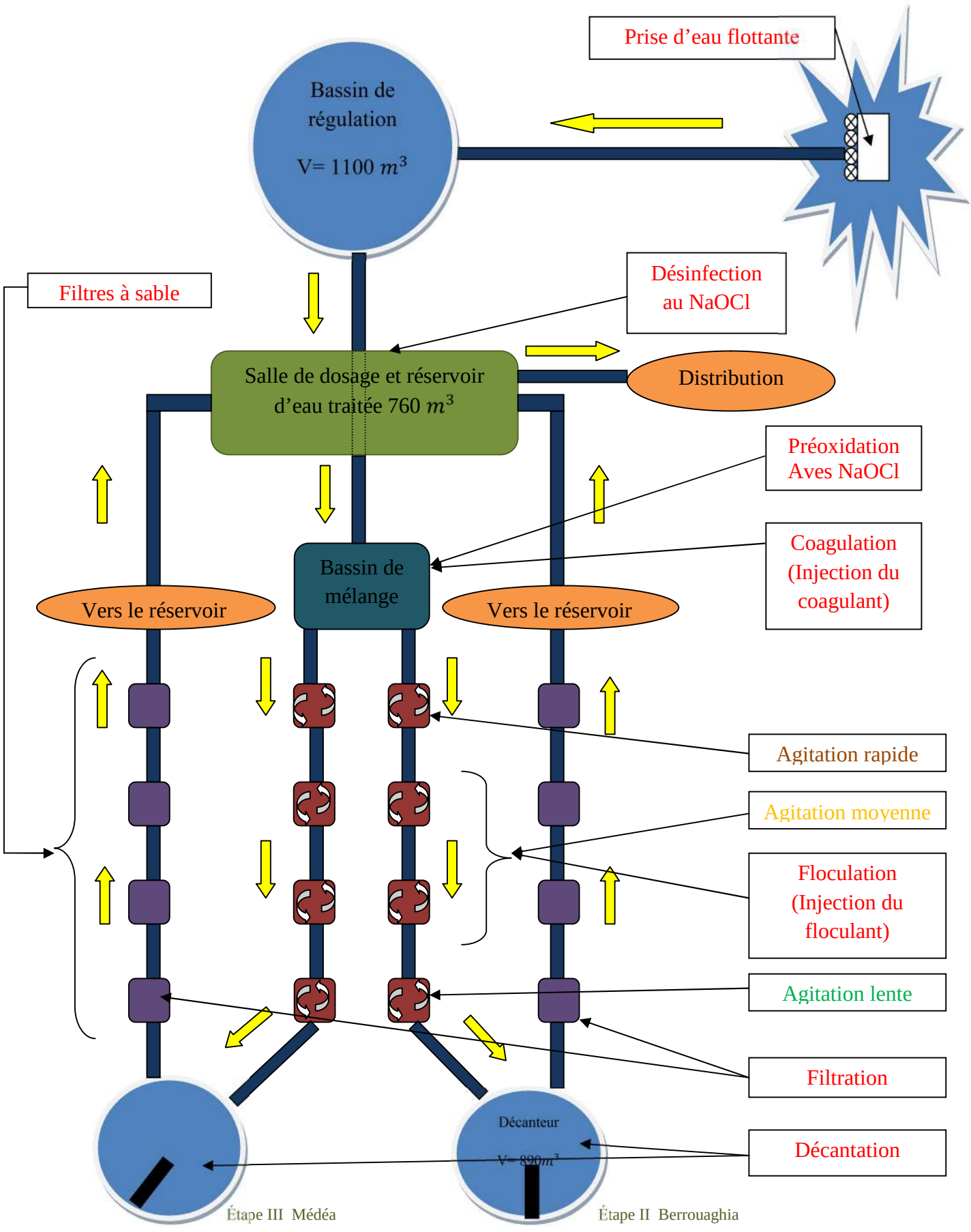


Figure I.27. Schématisation globale de la station de traitement du barrage de Ghrib.

Chapitre II

Introduction

L'origine de l'eau, sa qualité, sa composition ainsi que ses propriétés sont des paramètres des plus déterminants des procédés de traitement à adopter. C'est une première estimation des moyens à engager et des méthodes à utiliser .l'analyse de cette eau doit être permanente pour ajuster le traitement à sa composition et de moduler ses composants en fonction du temps.

II.1. Traitement classique

Le traitement classique de l'eau potable consiste en certaines opérations assurant la potabilité de l'eau à consommer, et une qualité répondant aux normes en vigueur.

Le traitement classique des eaux se résume dans les étapes suivantes résumées dans le schéma suivant :

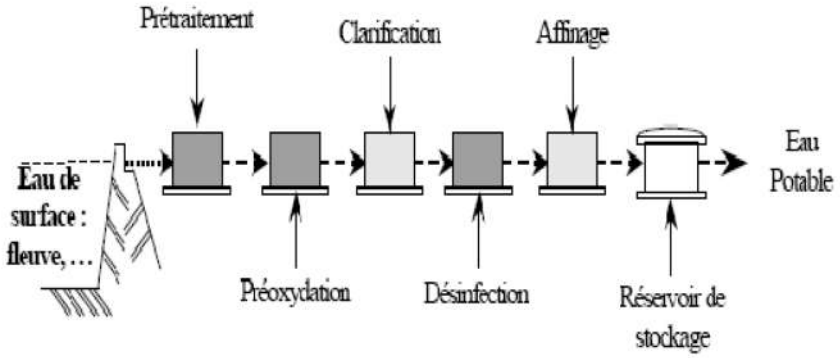


Figure II.1. Chaine de traitement des eaux, **[Lounass, (2009)].**

II.1.1. Le prétraitement

Comme son nom l'indique, le prétraitement est une préparation de l'eau au traitement par une élimination des éléments assez volumineux qui constituent une gêne aux étapes suivantes. On procède à un dégrillage suivi d'un tamisage.

II.1.1.1. Le dégrillage

Les gros objets tels que des branches ou des cadavres charriés par l'eau en amont viennent s'accrocher à la grille.

II .1.1.2. Le tamisage

Une opération qui vient éliminer des objets moins volumineux que les premiers tels que des feuilles et des morceaux de plastique qui sont récupérés par le tamis.



(a) **(b)**

Figure II.2. (a) et (b). Dégrillage et tamisage,(http://www.google.dz/images).

II.1.2. La préoxidation

Une étape assez nécessaire pour éliminer aisément les matières organiques, l'ammoniaque ou encore le fer et le manganèse au cours de la clarification, l'étape qui suit. On utilise au préalable dans la préoxidation :

- le chlore pour une pré-chloration.
- le dioxyde de chlore,
- l'ozone pour une pré-ozonation.

II.1.2.1. Le chlore

Le composé le plus utilisé pour son avantage économique mais en revanche il libère dans l'eau un gout et une odeur assez désagréables issus de la réaction avec les micropolluants pour former des composés organochlorés de type chloroforme ou des composés complexes avec les phénols de type chlorophénol.

II.1.2.2. Le dioxyde de chlore ClO_2

D'utilisation plus spécifique que le chlore, le dioxyde de carbone est plus onéreux mais avec moins d'inconvénient n'empêche qu'il reste sans effet sur l'ammonium et sa décomposition a la lumière qui fait que des quantités plus importantes sont utilisées dans les jours d'ensoleillement maximum.

II.1.2.3.L'ozone

Utilisé plus fréquemment en traitement final, l'ozone s'avère utile en peroxydation.

Il a des avantages très intéressants en ce qui concerne l'oxydation des matières organiques en jouant sur les chaines moléculaires et l'élimination de la couleur de l'eau. Aussi la diminution significative du taux de traitement, la coagulation par exemple.

La pré-ozonation remplace positivement la pré-chloration en substituant les sous-produits de la chloration. Sans négliger quelques désavantages de l'utilisation de l'ozone qui consistent en certaines algues résistantes à l'ozone ainsi que son prix assez élevé.

II.1.3.La clarification

Une étape comportant la décantation, la coagulation, la floculation et la filtration ; ces étapes permettent d'éliminer les matières en suspension(MES) ainsi que la majeur partie des matières organiques du point de vue taille de ces particules.



Figure II.3. Clarification des eaux, (http://green-lodge-riviera.e-monsite.com/pages/concept-de l'ecolodge-green-lodge-riviera.html).

II.1.3.1. La coagulation

Les particules colloïdales sont des particules très petites qui ne peuvent pas s'agglomérer naturellement. Elles sont chargées négativement, et se repoussent sans pouvoir s'agglomérer. Ainsi l'élimination des particules colloïdales s'effectue par l'annulation des forces de répulsion. On ajoute à cet effet un produit chimique coagulant (du chlorure ferrique $FeCl_3$, $6H_2O$ par exemple) pour déstabiliser les particules et faciliter par la suite leur agglomération en flocons décantables ou filtrables.

La charge électrique et la couche d'eau qui entourent les particules hydrophiles tendent à éloigner les particules les unes des autres et de les stabiliser dans la solution **[Desjardins, (1990)]** donc le rôle principal de la coagulation dans ce cas est de déstabiliser ces particules pour favoriser leur agglomération **[Cardot, (1991)].**

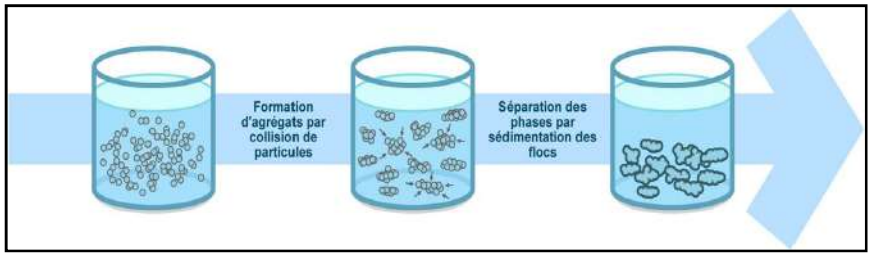
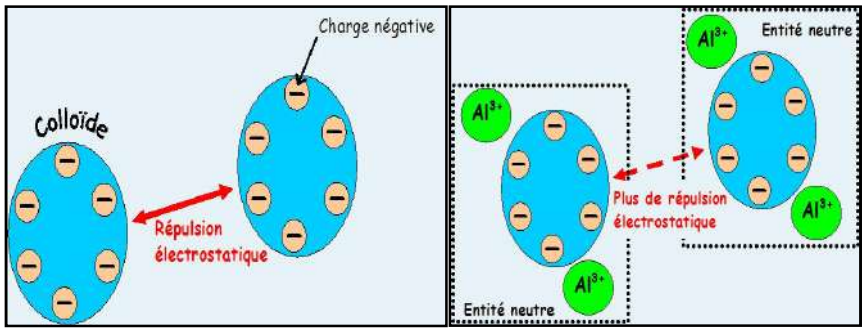


Figure II.4. Coagulation, (http://www.feralco.com/FR/FR/page9-coagulation-floculation.php).

Pour optimiser la coagulation, l'ajout d'un produit alcalin ou acide est requis et de préférence doit toujours être injecté soit en amont, soit au même endroit que le coagulant afin d'obtenir de meilleurs résultats.Les particules plus petites à densité égale ont une durée de chute plus longue conduisant à l'impossibilité pratique d'utiliser la décantation seule. C'est surtout valable pour les colloïdes, dont la taille est comprise entre $10^{-6}m$ et $10^{-9}m$. Les colloïdes sont des suspensions stables d'origine organiqueou minérale en partie, responsables de la turbidité et de la couleur de l'eau, qui existent sous forme d'ions négatifs dans l'eau, impossibles à décanter naturellement.



(a) **(b)**

Figure II.5. (a) et (b). Action du coagulant sur les particules en suspension (http://concours-stendhal.pagesperso-orange.fr/Traitement_et_irrigation.html).

La chute d'une particule dans l'eau est régie par la loi de Stokes : c'est une loi donnant la force de frottements d'un fluide sur une sphère en déplacement dans un fluide. Avec :

$\vec{F}$= -6πηr$\vec{v}$, où η est la viscosité du fluide en ($Pa.s$)

Une loi simple utilisée pour calculer la vitesse de sédimentation, et ainsi mesurer les viscosités des liquides, et analyser les particules en suspension.

$$v = \frac{2r^2 g\Delta p}{9\eta} \quad (1)$$

Avec :

- v : vitesse limite de chute en(m/s).
- r : rayon de la sphère en (m).
- g : accélération en (m/s^2).
- $\Delta(p)=\rho_p-\rho_f$: différence de la masse volumique entre la particule et le fluide en (Kg/m^3).
- η : viscosité dynamique du fluide ($Pa.s$).

II.1.3.2. La floculation

La floculation succède à la coagulation et favorise la croissance des flocs déjà formés précédemment par une agitation lente et prolongée avec l'ajout d'un floculant qui assure le temps qu'il faut pour une opération réussie (de 6 mn à une demie heure) sans dépasser pour éviter la destruction des flocs, de permettre d'ajuster l'intensité du mélange en activant les agitateurs et surtout pour éviter le dépôt des flocs dans le bassin.



Figure II.6. Floculation, (http://traitementdeseaux.fr/techniques-traitement/floculation).

II.1.3.3. La décantation

C'est une séparation solide–solide par voie dynamique, précédée absolument d'une coagulation –floculation et suivie d'une filtration. L'eau a cette étapes est sensiblement chargée en particules qui forcement induira un colmatage du filtre si on la passe.de ce fait la décantation est une étape majeur qui fera de la filtration une étape facile a franchir.

Le tableau suivant résume les types de particules à décanter et le temps de décantation relatif a chaque particule :

Tableau II.1. Temps de décantation des particules, (Cherif LAIDANI thèse Magister 2006/2007).

Type de particule	Diamètre en mm	Temps de chute		
		Densité de 2,6	Densité de 2,0	Densité de 1,1
Gravier	10,0	0.013 s	0,02 s	0,20 s
Sable grossier	1,0	1,27 s	2,09 s	20,90 s
Sable fin	0,1	2,11 min	3,48 min	34,83 min
Glaise	0,01	3,52 h	5,80 h	2,42 j
Bactéries	0,001	14,65 j	24,19 j	241,9 j
Colloïdales	0,0001	4,12 a	6,66 a	66,59 a
Colloïdales	0.00001	412,2 a	665,9 a	6659 a
Colloïdales	0,000001	41222 a	66590 a	665990a

s : seconde ; min : minute ; h : heures ; a : années

II.1.3.4. La filtration sur sable

La filtration par le sable est l'une des méthodes de traitement de l'eau les plus anciennes.

Un filtre à sable est constitué d'une couche de sable de qualité adéquate, à travers laquelle l'eau circule à vitesse relativement faible. Le filtre à sable purifie l'eau de trois manières différentes :

- La filtration permet d'intercepter les dernières particules visibles à l'œil nu de l'eau à traiter.
- Floculation pendant laquelle les substances se collent à la surface du sable et viennent grossir la taille de ce dernier.
- Assimilation par des micro-organismes qui se nourrissent des polluants de l'eau.

Par contre, les virus et bactéries peuvent toutefois passer au travers des filtres c'est pourquoi l'étape finale de désinfection est obligatoire.

II.1.3.5. La désinfection

Les micro-organismes sont les responsables des maladies à transmission hydriques qui sont à la base de vrais problèmes de santé publique. Donc une bonne désinfection des eaux traitées

oblige car elle estompe la gravité des maladies au long terme et surtout évite toute ambigüité quant au délai de traitement qui est relativement long.

II.1.3.5.1. Les procédés de désinfection

La présence de germes pathogènes demande une bonne désinfection qui veut dire une durée bien déterminée de contact entre le désinfectant et les eaux à traiter avec des concentrations adéquates. Donc la désinfection se joue sur les paramètres suivants :

- Le désinfectant
- La concentration du désinfectant
- Le temps de contact

II.1.3.5.2. Les désinfectants

Dans le traitement de l'eau potable, les désinfectants les plus communs sont :

Le chlore, l'ozone et les ultra-violets.

- **Le chlore** le plus utilisé parmi tous pour sa facilité d'octroi et pour son prix raisonnable. Se trouve en galets, pastilles, poudre ou en liquide.

En ce qui concerne la création de sous-produits de désinfection, des composés halogénés sont formés lorsque de réactions entre les composés naturels organiques et le chlore libre.

Son efficacité décroit avec l'augmentation du *pH* :

- *pH*= 6 efficacité du chlore à 85% ;
- *pH*=7 efficacité du chlore à 75% ;
- *pH*=8 efficacité du chlore à 20%.

Le tableau suivant résume les avantages et les inconvénients de la désinfection au chlore :

Tableau II.2. Avantages et inconvénients du chlore,[http://concours-stendhal.pagesperso-orange.fr]

Avantages	Inconvénients
• Oxydation du fer et du manganèse. • Améliore le traitement de la couleur de l'eau. • Peu améliorer la coagulation, et par conséquent la filtration. • Biocide efficace. • Le chlore est la solution la plus facile à mettre en œuvre et la moins coûteuse. • Il s'agit de la méthode la plus utilisée, et par conséquent, la plus connue. • Le chlore est disponible sous formes d'hypochlorite de calcium et de sodium. • Le chlore a un effet rémanent.	• Formation de sous-produits halogénés. • Après traitement, l'eau peut avoir un goût et une odeur désagréables, selon les doses utilisées. • Le chlore est un gaz corrosif. • L'hypochlorite de sodium se dégrade au cours du temps et à l'exposition à la lumière. • L'hypochlorite de sodium est un produit chimique corrosif. Et doit être conservé dans un endroit sec et frais, afin d'éviter les réactions dues à l'humidité et à la chaleur. • Des solutions hautement concentrées en hypochlorites sont instables et génèrent la production de chlorate. • Moins efficace à pH élevé. • Des sous-produits oxygénés biodégradables peuvent être produits, et ainsi favoriser la croissance bactériologique si le taux de chlore résiduel n'est pas maintenu.

En réagissant avec l'eau, deux composés se forment : l'acide hypochloreux (HClO) avec un caractère bactéricide intéressant et les ions hypochlorites, avec une réaction qui dépend essentiellement et inversement avec le pH de l'eau.

- **Le dioxyde de chlore**

Adopte pratiquement le même principe que le chlore car Lors du traitement de l'eau avec le dioxyde de chlore, les principaux sous-produits de désinfection sont les chlorates, chlorites, ainsi que des sous-produits organiques. La dose maximale préconisée est 16 à 24 ml par litre d'eau pour la concentration totale en dioxyde de chlore résiduel, chlorites et chlorates.

Le tableau suivant résume les avantages et les inconvénients de la désinfection au dioxyde de chlore.

Tableau II.3.avantages et inconvénients du dioxyde de chlore.

Avantages	Inconvénients
• Le dioxyde de chlore est plus efficace que le chlore pour l'inactivation des virus. • Le dioxyde de chlore oxyde le fer, le manganèse. • Le goût et la couleur dus à la croissance d'algues sont bien traités avec le dioxyde de chlore. • Si le dosage est correct, aucun sous-produit halogéné n'est formé. • Le dioxyde de chlore est produit facilement sur site. • Le pH n'influence pas les capacités de biocide du dioxyde de chlore. • Le dioxyde de chlore a un effet rémanent.	• L'utilisation du dioxyde de chlore implique la formation de chlorite et de chlorate. • Le réglage des installations est difficile, et un dosage en excès peut induire la formation de sous-produits halogénés. • Le dioxyde de chlore se décompose à la lumière. • Le dioxyde de chlore doit être produit sur site

- **L'ozone** son instabilité et son caractère oxydant sont grands et n'ayant pas de pouvoir rémanent donc ici s'impose une chloration en parallèle pour assurer une action bactériostatique.

Fabriqué à partir d'oxygène d'air sec ou d'oxygène de commerce, par passage de courant électrique crée par une différence de potentiel entre deux électrodes de dix (10) à vingt (20) *KV*.

Oxyde fortement et aisément les matières organiques, le fer et le manganèse tout en passant inaperçu coté gout contrairement au chlore.

La création d'ouvrage adaptés est recommandé d'autant plus que le temps de contact requit est pratiquement long.

L'ozone ne forme pas de sous-produits halogénés lorsqu'il est impliqué dans des réactions d'oxydation avec les composés organiques naturels (sauf en présence d'ion bromure). Cela dit, celui-ci abouti à la formation de nombreux sous-produits organiques et inorganiques :

- Aldéhydes : Formaldéhyde, acétaldéhyde, ...
- Acides : acide oxalique, acide formique, acide acétique
- Acide pyruvique
- Bromoforme, ion bromate (en présence d'ion bromure)
- Peroxyde d'hydrogène

Le tableau suivant résume les avantages et les inconvénients de la désinfection à l'ozone :

Tableau II.4. Avantages et inconvénients de l'ozone.

Avantages	Inconvénients
• L'ozone est plus efficace que le chlore, le dioxyde de chlore pour inactiver les virus et les *Giardia*. • L'ozone oxyde le fer et le manganèse • L'ozone peut parfois améliorer la clarification de l'eau et la diminution de la turbidité • L'utilisation de l'ozone agit sur la couleur, le goût et les odeurs • En l'absence de bromure, aucun sous-produit halogéné n'est formé. • L'ozone est très efficace, et ne demande qu'un temps de contact très court. • Au cours de la décomposition de l'ozone pur, le seul sous-produit est l'oxygène dissout. • La pouvoir de biocide n'est pas altéré par la valeur du pH de l'eau à traiter.	• La présence de bromure aboutie à la formation de sous-produits pouvant être halogénés. • Le coût d'investissement est élevé, en comparaison avec les autres procédés. • L'ozone est hautement corrosif et toxique. • Des filtres biologiques sont nécessaires pour récupérer le carbone organique et les sous-produits de désinfection biodégradables • L'efficacité de l'ozone décroît rapidement à des valeurs de *pH* et de température élevées. • L'effet de l'ozone n'est pas rémanent.

- **Le rayonnement U.V.**

La désinfection au rayonnement UV agit directement sur les ADN(s) des micro-organismes en interrompant le processus de vie et de reproduction car une dose suffisante permet la destruction des germes, levures, champignons, algues ….

L'utilisation de rayonnement UV s'avère sans effet rémanent mais et elle possède ses propres inconvénients assez médiocres qu'on résumera dans le tableau suivant :

Tableau II.5. Avantages et inconvénients des rayonnements UV.

Avantages	Inconvénients
• Très efficace contre les bactéries et virus à faible dosage. • Production minimale de sous-produits de désinfection	• Les eaux fortement chargées en fer, et de calcium avec une turbidité élevée ne se traitent pas aux U.V. • Effet non rémanent.

Enfin le classement de Chacun de ces produits suivant son un pouvoir désinfectant peut se faire dans l'ordre suivant:

UV > Ozone > Chlore

Tableau II.6 Comparaison entre l'action des différents désinfectants, (http://www.acheter-piscine.com/entretien-piscine/comparatif-des-produits-desinfectants/)

Mode de désinfection	Fonctions			R	T°	UV	Paramètres
	D	O	A				
Chlores non stabilisés ou organiques	+	+	+	+	+	++	pH : entre 5,5 et 7, Température de l'eau <28°C
Chlores stabilisés ou inorganiques	+	+	+	+	+	-	pH : entre 5,5 et 7,5 Concentration : 2 à 4mg/l Température de l'eau <28°C
Oxygène actif	+	-	+	--	+	++	pH : entre 7 et 7,6 Concentration < 10mg/l Température de l'eau <28°C
Ultra-violets	+	-	+	---	-	-	-
Ozone	+	-	+	-	+	-	Concentration = 0mg/l dans l'eau

Désinfectant (D), oxydant (O), anti-algue (A), rémanent (R), Oui (+), Non (-), aucune (---), faible (--).

II.2. Les procédés de pointe

II.2.1. Les filtrations sur membranes

Constituent une mini-révolution dans le domaine du traitement de l'eau. Elle consiste à éliminer chimiquement les micropolluants et à les extraire physiquement. Leur très gros avantage est de n'utiliser aucun réactif chimique pour traiter des eaux. Elles permettent de traiter des eaux très polluées et de produire une eau très pure, sans goût désagréable ni mauvaise odeur, et de qualité constante quelles que soient les variations de qualité de l'eau à traiter. Elles commencent depuis peu à être utilisées à grande échelle au niveau industriel. Le seul inconvénient de ces nouveaux traitements est leur coût élevé, mais le principe d'action de ces membranes est simple puisqu'il consiste ni plus ni moins en un filtrage mécanique.

II.2.2. La microfiltration

Pour la microfiltration, on utilise des membranes avec des pores de taille comprise entre 0.1 et 10 µm. Les membranes de microfiltration retiennent toutes les bactéries. Par contre, elles n'éliminent pas les virus puisqu'ils sont plus petits que les pores de ces membranes. La microfiltration peut être mise en œuvre dans beaucoup de procédés de traitements différents.

II.2.3. L'ultrafiltration

L'ultrafiltration est un procédé qui permet de séparer le soluté du solvant. Le principe de séparation est une différence de pression de part et d'autre de la membrane réalisée grâce à une pompe d'alimentation haute pression. Par ailleurs, la filtration est généralement de type tangentiel, l'eau circule parallèlement à la membrane grâce à une pompe de circulation. Les parois de chacune des fibres de la membrane sont percées d'une multitude de pores microscopiques qui retiennent les molécules de la taille de 0,002 à 0,1 µm selon la membrane choisie car seules les substances inférieures à la taille des pores peuvent traverser la paroi. L'ultrafiltration permet d'éliminer les particules en suspension, les bactéries et les virus, ainsi que les plus grosses molécules organiques. Mais certains pesticides et certaines molécules responsables de goûts et d'odeurs, de plus faible encombrement, ne sont pas retenus. Pour pallier cet inconvénient, du charbon actif en poudre est mélangé à l'eau à traiter. Ces substances s'adsorbent sur les grains de charbon lesquels, trop gros pour passer à travers les pores, sont retenus par les membranes. Il permet de réduire l'usage des désinfectants chimiques. Côté entretien, un lavage régulier doit être effectué avec de l'eau propre circulant en sens inverse pour que les pores ne se colmatent pas.

II.2.4. La nanofiltration

La nanofiltration permet de produire une eau de très grande qualité grâce à son procédé de séparation utilisant la filtration au travers de membranes semi-perméables sous l'action d'une pression. Son principe est très semblable à celui de l'ultrafiltration, la différence essentielle étant que la membrane de nanofiltration offre une porosité dix fois plus faible, de l'ordre de 0.001 µm. La nanofiltration permet de retenir tous les polluants dissout, qu'ils soient biologiques, organiques ou minéraux et quelle que soit leur concentration, sans avoir besoin d'utiliser l'absorption sur charbon actif. Elle constitue une technique sûre qui permet d'éliminer toutes les substances toxiques ou indésirables résultant des activités humaines, industrielles, agricoles ou provenant du milieu naturel.

De plus, elle permet également de diminuer de manière significative l'usage du chlore. Son seul inconvénient réside dans le fait que l'eau produite est tellement pure qu'il est nécessaire de la reminéraliser. En effet, elle arrête certains ions comme $Ca^{2+.}$

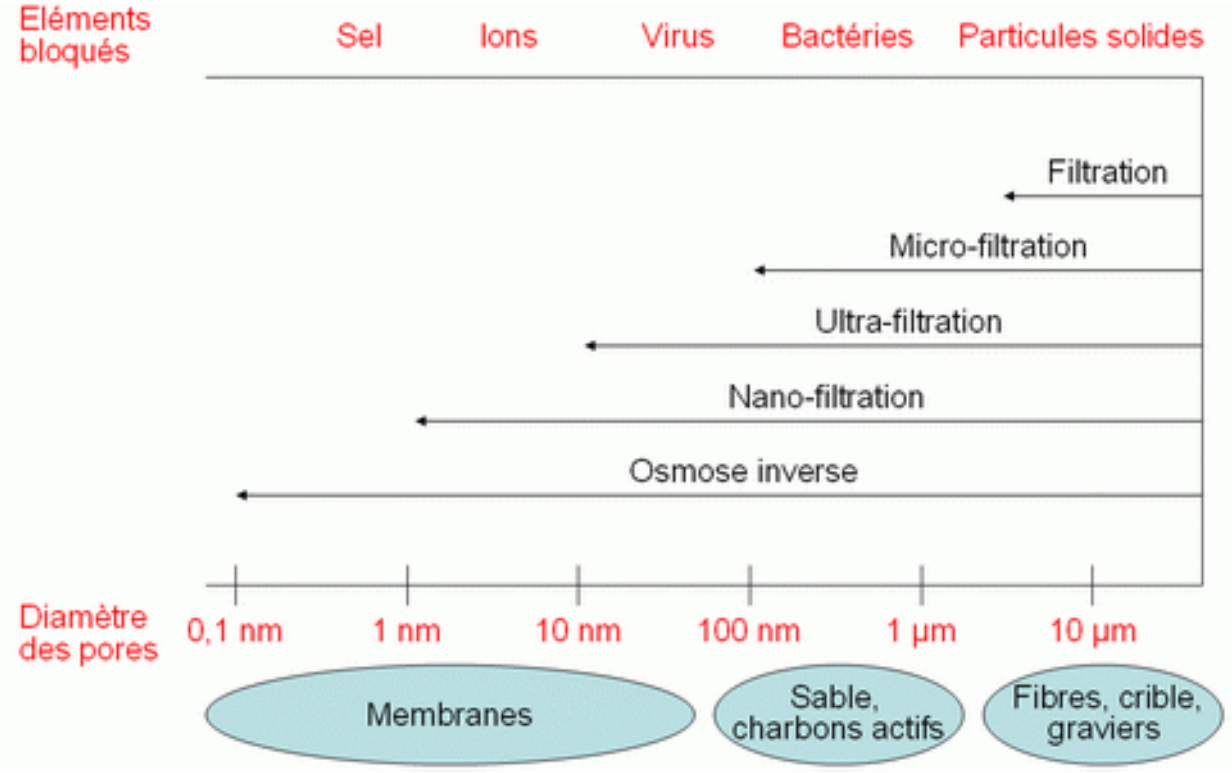


Figure II.7. Récapitulé des méthodes de pointe de filtration et domaine d'action, (http://aventure.blogs.liberation.fr/eautour_du_monde/2007/10/quand-leau-pota.html).

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons énuméré les étapes du procédé de traitement, les classiques d'entre elles et celles de pointe, tout en illustrant les avantages, les inconvénients et les contraintes de chaque étape.

Dans le chapitre qui suit nous allons énumérer les paramètres de contrôle de l'eau potable ; la norme de chaque paramètre et l'effet de chacun sur la santé humaine.

Chapitre III

Introduction

Les propriétés des eaux sont des paramètres tranchants quant à leurs utilisations et liées essentiellement à leur origine et leur parcours. Une étude de ces paramètres est essentielle pour pouvoir choisir entre les différents procèdes de traitement ainsi que le devenir de ces eaux.

De ce fait, de maitriser ces propriétés veut dire une maitrise de la qualité d'eau et de mieux connaitre la matière utilisée au départ mène à prédéfinir les produis en fin de procédés.

Et pour cela, ce chapitre résumera ressources naturelles en premier lieu, ensuite il illustrera les principales propriétés de qualité des eaux de surface, et en fin les normes à respecter lors du traitement des eaux destinées à la consommation humaine.

III.1. Ressources hydriques naturelles

III.1.1. Eaux souterraines

D'un point de vue hydrogéologique les couches aquifères se divisent en trois catégories :

III.1.1.1.Nappes phréatiques

Peu profondes, alimentées par les eaux pluviales et les écoulements d'eau au-dessus.

III.1.1.2.Nappes captives

Plus profondes que les précédentes, séparées de la surface par une couche imperméable ce qui fait que l'alimentation est assurée par l'infiltration par les bordures. **[Cardot, (1999)].**

Lors d'une infiltration des eaux aux nappes précédentes, c'est la nature du sol qu'elles traversent ; sur lequel elle stagne ou circule ; qui détermine la nature de ces eaux et ainsi la structure chimique et biologique.

Ces eaux dites eaux propres car elles répondent généralement aux normes de potabilité, cependant elles sont très sensibles à une éventuelle pollution et risque de perdre définitivement leur pureté d'origine.

Quand une eau souterraine est concentrée en certain minéraux, on l'appelle eau minérale et elle est prescrite pour des fins thérapeutiques bien définies.

III.1.2. Les eaux de surface

Les eaux qui circulent sur la surface du globe et celles qui sont stockées dans les lacs, les étangs, les mers et les océans sont dites de surface. La composition chimique de ces eaux dépend essentiellement du parcourt qu'elles traversent suivant leur bassin versant car elles se chargent en chemin des différents minéraux mais aussi des microorganismes par contact avec les déchets ce qui fait que leur potabilité sans un éventuel traitement est rare.

III.1.3. Eaux de mers et océans

Ces énormes réservoirs d'eaux constituent une solution de tous les problèmes d'approvisionnement en eau en tout pays. Effectivement, ces « eaux saumâtres » représentent un pourcentage de 97% des eaux de surface. Sauf que les techniques de dessalement d'eau de mers sont des techniques onéreuses d'un rendement assez faible ce qui fait que cette technologie est loin d'être acquise et utilisée pour résoudre les problèmes de pénurie d'eau dans les zones arides.

Le tableau ci-joint résume la composition des eaux de surface par rapport aux eaux souterraine :

Tableau III.1. Comparaison entre les eaux de surface et souterraines, (http://www.lenntech.fr/francais/eaux-souterraines/proprietes.htm).

Caractéristique	Eau de surface	Eaux de mers et océans	Eau souterraine
Température	Variable suivant les saisons	Variable suivant les profondeurs	Relativement constant
Turbidité, Solide en Suspension	Niveaux variables, parfois élevé	Variable suivant les endroits	Faible ou nul
Couleur	Due à la turbidité (argiles, algues)	Nul	Due surtout aux solides dissouts
Teneur en minéraux	Varie avec les sols, et précipitations,	Grande teneur en sels minéraux	Constante
Fer divalent et Mn en solution	Souvent nul	Présent	Souvent présent
CO_2 Agressif	Souvent nul	Souvent nul	Souvent présent
O_2 Dissout	Souvent près du niveau de saturation, absent dans l'eau très polluée	Présent	Souvent nul
H_2S	Souvent nul	Souvent présent	Souvent présent
NH_4	seulement dans les eaux polluées	Souvent absent	Souvent détecté
Nitrates	niveau généralement faible	Souvent présent	niveau parfois élevé
Silice	proportions modérés	Souvent présent	niveau souvent élevé
Micropolluants minéraux et organiques	Peut être présent	Présent	Habituellement aucun
Organismes vivants	Bactéries, virus, plancton	Bactéries, virus, plancton	Bactéries de fer fréquemment trouvées
Solvant Chlorés	Rarement	Présent	Souvent présent
Nature eutrophique	Souvent. Augmente avec la température	Nul	Nul

Les eaux de surface ne sont pratiquement jamais potables sans aucuntraitement du fait de diverses substances d'origine naturelle ou apportées par la pollution.Au cours de ce chapitre, nous décrivons donc successivement les principales caractéristiques physico-chimiques et biologiques des eaux de surface.

III.2.Qualité de traitement des eaux de surface

III.2.1. Paramètres organoleptiques

Couleur, gout et odeur, ces paramètres en relation avec les organes sensoriels ont une grande signification car ils sont représentants de l'aspect sanitaire et fonctionnaire de la station et la distribution.

III.2.1.1. La couleur

La couleur des eaux de surface varie selon plusieurs paramètres du jaune paille au brun rougeâtre. Elle dépend essentiellement de la concentration des matières colorantes, du *pH* et de la turbidité**.[Ronalad, (2003)].** Elle peut provenir des substances minérales (Fe (teinte rougeâtre) ou Mg (teinte noirâtre…) ou organiques (algues, lignine …) et elle est très préjudiciable pour l'esthétique.

C'est par comparaison avec une échelle artificielle de couleurs qu'on arrive à mesurer la couleur d'une eau naturelle. La substance de référence est le chloroplatine de potassium [K_2PtCl_6] dans une solution de Chlorure de Cobalt [$CoCl_6$].l'unité donc est appelé unité platino-cobalt ou unité de couleur vraie (UCV) et pour une eau potable, le degré de couleur maximal est de 15 UCV**[Rodier, (1996) ; Kettab, (1992)].**

La couleur mesurée dans de l'eau contenant des matières en suspension est dite «couleur apparente»; la «couleur vraie» correspond à la mesure effectuée sur des échantillons d'eau débarrassés des particules en suspension.

La limite maximale acceptable de la couleur est de 15 unités de couleur vraie (UCV). Cette recommandation a été fixée en fonction de considérations d'ordre surtout esthétique ou, plus précisément, organoleptique.

On ne considère pas ce paramètre nocif pour la santé humaine, mise à part le côté esthétique bien sûr. Mais, La limite de 15 UCVest le seuil normal de perception, une variation visible dans la couleur indique généralement une modification de la qualité de l'eau.

III.2.1.2. Le gout et l'odeur

Les métabolites de certains microorganismes, les sels minéraux, la fermentation et la décomposition des matières organiques issues des rejets domestiques, industriels et agricoles, et certaines substances volatiles ou dégradation des composés azotés ou soufrés sont à la base du gout et de l'odeur anormale dans l'eau. Mais la molécule qui pose le plus de problème est généralement l'hydrogène sulfuré (H_2S), qui possède une odeur caractéristique d'œuf pourri.

L'apparition d'un gout ou d'une odeur anormale dans l'eau potable est signe d'activité microbienne ou de contamination du réseau de distribution ou bien d'une concentration élevée du chlore résiduel.

Ces deux paramètres font appel à différents traitements tels que l'adsorption, l'oxydation, la filtration,…etc**. [Franck ; Rodier, (1996) ; Ronalad, (2003)].**

Le gout et l'odeur de l'eau ne représentent aucun effet sur la santé humaine mise à part une présentation désagréable pour le client lors de la distribution.

III.2.2. Paramètres physiques

III.2.2.1. La température

L'origine de l'eau, le *pH*, la conductivité électrique par connaissance de la dissolution des sels minéraux et leur solubilité, tous sont des paramètres liés à la température.

Pour une eau potable, la température ne représente un paramètre aussi important que d'autres, mais la température ne devrait pas dépasser les quinze (15) °C. Au-delà il y'a risque de prolifération de bactéries et d'algues responsables de gout et d'odeur désagréables ainsi qu'un changement de *pH*, de couleur et de turbidité.

La température des eaux de surface varie selon les saisons et les conditions dans lesquelles elle se trouve confrontées. **[Rodier, (1996) ; Beaudry, (1984) ; Philippo, Pommery ; Thomas, (1981)].**

III.2.2.2. La Turbidité

La turbidité est une mesure de la limpidité ou de l'opacité relative de l'eau.

Elle n'est pas une mesure directe des matières en suspension dans l'eau, mais plutôt une mesure générale de leur effet de diffusion et d'absorption de la lumière. Les matières en suspension (MES) et colloïdales sont d'origine naturelle, organique ou inorganique, telle que l'érosion des roches ou entrainement des composantes des sols, domestique ou industrielle par déversement des eaux usées riches en matières en suspension assez grossières **[Franck].**

La turbidité est l'un des paramètres les plus importants dans le processus de contrôle des eaux potables. Les particules en suspension ne présentent aucun risque chimique, mais la diminution de la turbidité permet l'élimination de certains germes pathogènes (les MES hôtes des microorganismes qui se protègent du désinfectant) même si cela reste relatif au procédés de traitement .En réalité, l'importance de la turbidité réside dans le fait qu'elle indique une baisse de la qualité des eaux traitées lors d'un traitement inadéquat ou lors d'une perturbation du réseau de distribution.



<10 N.T.U. 200 N.T.U. 1500 N.T.U.

Figure III.1. Turbidité de l'eau, (http://www.discip.ac-caen.fr/svt/pages/college/eau_douce/qualite_eau.php).

De façon générale, le traitement des approvisionnements provenant d'eau de surface devrait comprendre au minimum une filtration adéquate (ou un procédé équivalent) et une désinfection. La filtration constitue une barrière importante pour l'enlèvement des particules causant la turbidité. Les microorganismes se fixent aux particules de sol ou de débris divers et se fixent aux particules inorganiques ou autres durant le traitement. Pour que l'enlèvement des pathogènes microbiens soit le plus efficace, il faut que l'eau produite soit de faible turbidité; on obtient également une meilleure inactivation des pathogènes lorsque la désinfection est effectuée dans une eau faiblement turbide. Ainsi, la matière organique naturelle non-éliminée par la méthode classique est traitée à l'ozone qui entrainera une décoloration et une désodorisation de l'eau. Les micropolluants organiques quant à eux, une oxydation et une adsorption permettent leur abattement.

Le principe consiste en une comparaison de la lumière diffusée et la lumière transmise par l'échantillon d'eau et par une gamme étalon constituée de solutions de formazine. La mesure de la lumière diffusée est significative pour les eaux de faible turbidité non visible à l'œil nu (par exemple les eaux de boisson).

La mesure de la lumière transmise est significative pour les eaux de turbidité visible à l'œil nu (par exemple les eaux polluées) et pour les eaux de faible turbidité contenant des substances qui ne diffusent pas.Pour tout échantillon d'eau, la mesure de la lumière diffusée et de la lumière transmise permet la détection de matières non dissoutes, absorbant mais diffusant mal, qui passeraient inaperçues par la seule mesure de la lumière diffusée.

Par un turbidimètre HACH 2100N et une cuvette d'évaluation de la transparence constituée d'une cuvette de verre incolore de 50 mm de diamètre, une mesure directe et rapide est effectuée et La mesure est obtenue directement en NTU.

La manière dont les particules interfèrent avec la transmittance de la lumière est fonction de divers facteurs dont la taille, la forme, le nombre, la composition, la couleur et l'indice de réfraction

des particules, la longueur d'onde (couleur) de la lumière qui les frappe et l'indice de réfraction de l'eau. L'intensité de la diffusion de la lumière augmente quand la turbidité augmente **[Apha et Coll, (2005)]**.

La turbidité est réglementée à cinq (5) NTU, dans le cas d'une eau coagulée, filtrée et désinfectée. En revanche, la réglementation est d'autant plus sévère dans le cas de filtrations plus avancées telle que la filtration membranaire pour attendre 0,1 NTU. **[Documentation Laboratoires ADE Médéa]**

Le plus important effet lié à la santé qui caractérise la turbidité est probablement sa capacité de réduire l'efficacité de la désinfection.

III.2.2.3. La conductivité

Caractéristique physico-chimique de l'eau liée essentiellement à la concentration des substances dissoutes et leur nature. Omises les matières organiques et colloïdes qui sont peu conductrices.

La conductivité varie avec la température et sa mesure permet d'avoir une claire vision sur la concentration des sels dissout tel qu'une conductivité élevée traduit une salinité élevée et des *pH* anormaux.

Elle est traduite par la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de $1cm^2$ de surface et séparées d'une distance de 1cm. Elle se mesure en siemens/cm. **[Franck ; Rodier, (1996)].**

Comme exemple des métaux dissout dans les eaux à traiter, le fer et le manganèse qui leur présence en excès (>50 mg/l pour le fer et 0,4 mg/l pour le manganèse)

Par utilisation directe d'un conductimètre, et une cellule à conductivité bien rincée à l'eau distillée, en prenant soin que les électrodes de platine soient complètement immergées, Le résultat est donné directement en µS/cm. **[Documentation Laboratoires ADE Médéa]**

Idéalement la conductivité est inférieure à 1500 $\mu S/cm$. Néanmoins on ne considère pas ce paramètre nocif pour la santé humaine.

III.2.3. Paramètres chimiques

III.2.3.1 La dureté

La dureté ou le titre hydrométrique est la présence d'ions da calcium et de magnésium. Relative au terrain traversé par l'eau notamment les roches calcaires au contact de sols ou de roches contenant des quantités appréciables de minéraux comme la calcite et le gypse. Il convient de noter que L'eau souterraine est généralement plus dure que l'eau de surface.

On distingue différents types de dureté dans une eau naturelle ;

- ✓ La dureté totale : La somme totale des concentrations de calcium et de magnésium.
- ✓ La dureté calcique : Concentration totale du calcium.
- ✓ La dureté magnésienne : Concentration totale de magnésium.

Et par la nature des ions calcium et magnésium positifs ils se lient a d'autres ions négatifs, et de ce fait ; on distingue deux types de dureté :

- ✓ Dureté permanente ou non carbonatée : Elle persiste même après ébullition de l'eau car elle est relative à la concentration du calcium et magnésium soluble à chaud ou sous formes de chlorures ou de sulfates. Quant aux hydrogénocarbonates qui précipites sous forme de carbonates et de calcium.
- ✓ Dureté carbonaté ou temporaire : correspondante aux sels de calcium sous forme d'hydrogénocarbonates et c'est la différence entre ce type de dureté et le premier. **[Franck ; Philippo ; Pommery ; Thomas, (1981)].**

Les duretés calcique et magnésienne s'expriment en mg/l de magnésium. Et pour calculer la dureté totale la concentration de chaque ion participant est exprimé dans une unité commune.

La dureté s'exprime généralement en degré français ou en meq/l.

1°F = 5meq/l

1°F = 4 meq/l de Ca^{2+} ou 2.43 meq/l de Mg^{2+} ou 10 meq/l de$CaCO_3$.

Tableau III.2 Plage de valeur du titre hydrométrique, (http://www.cannaweed.com/guides/_/interagir-avec-ses-plantes/arrosage- manuel- auto/la-dureté-de-L'eau-r338).

TH (°F)	De 0 à 7	De 7 à 15	De 15 à 25	De 25 à 42	Supérieur à 42
Eau	Très douce	Douce	Moyennement dure	Dure	Très dure

La mesure de dureté se fait par une réaction de complexassions entre les ions Ca^{2+}et Mg^{2+} et une substance d'acide éthylène tétracétique (EDTA) en présence d'un indicateur coloré de noir Erichrome. **[Rodier, (1996) ; Valiron(1989)].**

Plus la dureté est élevé plus il y a de risques d'entartrage. On considère une eau dure à partir de 120 mg/L de $CaCO_3$.Et comme Autres considérations, l'eau dure occasionne l'entartrage des canalisations, des dépôts sur les robinets et une consommation excessive de savon. Par contre, l'eau adoucie sans égard à l'équilibre calco-carbonique risque d'être agressive et provoquer la corrosion des conduites de distribution.

Il est préférable pour la santé de consommer une eau dure plutôt qu'une eau ayant transité par un adoucisseur d'eau et exempte de dureté car des recherches récentes ont de montré qu'il existe une corrélation statistique inverse entre la dureté de l'eau potable et certains types de maladies cardio-vasculaires.

Pour réduire la concentration en calcium et limiter les risques de dépôts de calcaire, plusieurs méthodes sont possibles :

- ✓ Adoucissement sur résine échangeuses d'ions (remplacement des ions Ca^{2+} par des ions Na^{+}).
- ✓ Une décarbonation à la chaux.
- ✓ Par ajout de bicarbonates de soude ou de fortes concentrations de sodium.

III.2.3.2. L'alcalinité

Le principe de l'alcalinité consiste en la capacité de l'eau à réagir avec les ions hydrogène en présence des ions hydrogénocarbonates (HCO_3^-), carbonates (CO_3^{2-}) et hydroxydes (OH^-).On considère de ce fait deux types d'alcalinité à deux bornes de *pH* :

- ✓ **Alcalinité au virage du rouge de méthyle** correspondant à l'alcalinité totale au *pH* de 4.5, ce qui revient à déterminer aux ions HCO_3^-, CO_3^{2-} et OH^-.C'est le titre alcalimétrique complet T.A.C. Avec T.A.C.= 0,06[HCO_3^-].
- ✓ **Alcalinité au point de virage de la phénophtaléine** Correspondante à l'alcalinité entrainée par les ions OH^- et à la moitié des ions CO_3^{2-}.De ce fait elle est nulle dans une eau dont le *pH* est inférieur à 8.3. Cette alcalinité se nomme titre alcalimétrique T.A. **[Rodier, (1996) ; Ronalad, (2003) ; Beaudry, (1984)].**

La détermination des volumes successifs d'acide fort en solution diluée nécessaire pour neutraliser, aux niveaux de *pH* = 8.3 et 4.3, le volume d'eau à analyser. La première détermination

sert à calculer le titre alcalimétrique (TA), la seconde à calculer le titre alcalimétrique complet (TAC).

L'alcalinité de l'eau est toutefois considérée acceptable entre 30 et 500 *mg/L* de CaCO3 et bonne entre 100 et 200 *mg/L* de CaCO3. Cependant, l'alcalinité est le principal facteur de contrôle de l'agressivité de l'eau et de son pouvoir incrustant. Une eau agressive a tendance à réagir avec le métal des canalisations et à le corroder alors qu'une eau incrustante a tendance à précipiter des sels dans le tuyau et à réduire son diamètre utile.

III.2.3.4.Les chlorure

L'origine des eaux tranche tant qu'à la concentration des chlorures dans celle-ci car celles des régions sédimentaires elles contiennent une concentration considérable de chlorures par rapport a celles de provenance des régions granitiques.**[Rodier, (1996)].**

Au laboratoire, la réaction des ions chlorure avec des ions argent pour former du chlorure d'argent insoluble qui est précipité quantitativement .L'addition d'un petit excès d'ions argent et formation du chromate d'argent brun-rouge avec des ions chromates qui ont été ajoutés comme indicateur. Cette réaction est utilisée pour l'indication du virage. Durant le titrage, le pH est maintenu entre 5 et 9.5 afin de permettre la précipitation.

Les chlorures sont largement répandus dans la nature, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl); ils représentent environ 0,05 % de la lithosphère. Ce sont les océans qui contiennent de loin la plus grande quantité de chlorures dans l'environnement.

Mais concernant les eaux traitées, la quantité de chlorures qu'elles contiennent sont originaires des produits de désinfection tel que le chlore gazeux, le dioxyde de chlore ou encore l'hypochlorite de sodium. Lors du dosage du chlore, dans un premier temps se combine avec les matières organiques de l'eau et avec l'ammoniac libre ou combiné sous forme d'amines, pour donner des composés chlorés (chloramines) qui dans un deuxième temps sont détruits par une dose accrue de chlore jusqu'au point critique ou la dose du chlore correspondant un minimum pour laquelle il ne subsiste plus dans l'eau que du chlore libre.

Pas de valeur bien précise pour la limite en chlorure dans les eaux potables mais on peut noter un goût à partir de 250 *mg/l*.

III.2.3.5.L'aluminium

L'aluminium est le métal le plus abondant sur terre; soit 8 % de la croûte terrestre. On trouve naturellement des quantités variables d'aluminium dans les eaux souterraines et dans les eaux de

surface y compris dans celles qui sont utilisées comme sources d'eau potable. Cependant Le danger apparait seulement lorsque l'eau est trop chargée en aluminium.

L'aluminium se dissout d'ailleurs très bien dans l'eau. Le principe de floculation entraine une sédimentation des métaux qui se dissolvent ensuite facilement dans les solutions liquides. L'aluminium est donc présent dans l'eau traitée. La quantité d'aluminium dans l'eau de surface varie entre 0,012 et 2,25 *mg/L*.

Le *pH* est l'un des facteurs qui déterminent la forme d'aluminium et de ce fait la courbe d'évolution de l'aluminium dissout en fonction du pH ressemble à une parabole avec un minimum de solubilité très prononcé se situant approximativement au *pH* 6,5 et La solubilité de l'aluminium augmente à des *pH* moins élevés en raison de la formation d'aluminium libre alors qu'à des *pH* supérieurs à 9, l'espèce prédominante est le $Al(OH)_4^-$, qui est très soluble dans l'eau.

Lors des processus de purification ou de traitement de l'eau, des sels d'aluminium sont fréquemment utilisés comme coagulants afin d'éliminer la couleur et la turbidité. Ainsi, Des procédés de traitement supplémentaires, comme l'adoucissement à la chaux, vont affecter les niveaux d'aluminium dans l'eau potable traitée qui ne devra pas dépasser les 0,2 *mg/l*.

III.2.3.6. Le *pH*

Le *pH* correspond à la concentration des ions d'hydrogène dans une solution. Dans une eau naturelle il mesure son acidité et sa basicité et dépend de la nature du terrain traversé.

Le rôle du *pH* dans le traitement des eaux est primordial car il contrôle d'abord les propriétés physico-chimiques des eaux par leur acidité et agressivité, en second lieu ; les processus biologiques dont certains exigent des limites très étroites de *pH*, aussi ; l'efficacité de certains traitements tels la coagulation, l'adoucissement,…etc. et enfin le mécanisme de coagulation. Donc la mesure du *pH* doit se faire le plus fréquemment possible.

Le *pH* est sans unité et est mesuré en utilisant un *pH*-mètre.**[Beaudry, (1984) ; Rodier ,1996)].**

Dans l'eau pure, lorsque la température augmente de 25 °C, le *pH* diminue d'environ 0,45.Dans les eaux ayant un pouvoir tampon dû aux ions bicarbonate, carbonate et hydroxyde, l'effet de la température est modifié. Il est à souligner que la chloration tend à abaisser le *pH* tandis que l'adoucissement de l'eau à l'aide du procédé chaux/soude l'élève lors de la correction de ph par ajout de soude. Dans le cas où le pH est assez élevé, le traitement à l'acide sulfurique est le plus adéquat.

Notons que la corrosion du métal devient importante à des *pH* inférieurs à 6,5 environ; les problèmes d'incrustation et d'entartrage se font surtout sentir à des pH supérieurs à 8,5 environ.

De façon générale, Comme l'équilibre chimique d'une solution aqueuse fait invariablement intervenir des ions hydrogène (et hydroxyle), le *pH* sera lié, d'une ou de plusieurs façons différentes, à presque tous les autres paramètres de la qualité de l'eau ainsi que l'efficacité des procédés de coagulation et floculation.

Aucun effet précis du *pH* sur la santé ne nous permet de fixer les limites de celui-ci pour l'eau potable. Le contrôle du *pH* sert avant tout à réduire la corrosion et l'entartrage.

Étant donné que le *pH* est lié à divers autres paramètres, il n'est pas possible de déterminer s'il existe un rapport direct entre le *pH* et la santé de l'homme on peut dire plutôt qu'il a des effets indirects sur la santé par l'augmentation de la génération de trihalométhanes à des *pH* élevés qui peut être néfaste car L'échelle acceptable du pH dans l'eau est donc de l'ordre de 6,5 à 8,5. Pour y remédier, le pH est maintenu en dessous de 8,5, le pouvoir de désinfection du chlore est accru et la production de trihalométhanes est réduite.

III.2.3.7. L'oxygène dissout

Le contact continuel entre l'eau et l'air pratiquement chargé en oxygène fait en sorte à ce que ce dernier se cumule dans l'eau et s'y dissout en plus de la photosynthèse des algues et des plantes aquatiques qui libèrent de l'oxygène.

Quatre principaux facteurs qui peuvent faire varier l'oxygène dissout

- la température de l'eau est très importante, une eau fraîche contient généralement plus d'oxygène dissout qu'une eau chaude ;
- la turbulence du cours d'eau : un brassage important de l'eau augmente le contact de celle-ci avec l'air et par conséquent augmente le taux d'oxygène dissout.
- la consommation par les animaux, les plantes et de façon plus importante, par les bactéries qui dégradent la matière organique (les particules de plantes et d'animaux morts), diminue le taux d'oxygène dissout.

- la photosynthèse des plantes et des algues peut faire varier le taux d'oxygène dissout sur une période de 24 heures, car le jour, les plantes produisent de l'oxygène alors que la nuit, elles en consomment.

L'oxygène dissout (OD) est mesuré en nombre de milligrammes d'oxygène (O_2) par litre d'eau (*mg/L*) ou en pourcentage de saturation. Le pourcentage de saturation exprime la quantité d'oxygène présente dans l'eau par rapport à la quantité totale d'oxygène que l'eau peut contenir à une température donnée. Il faut prendre en considération pendant une éventuelle mesure de l'oxygène dissout la température de l'eau ; l'heure du prélèvement (en lien avec la photosynthèse) et les conditions météorologiques des dernières heures (pluie abondante…).le tableau ici dessous résume les quantités par (*mg/L*) de l'oxygène dissout en fonction de quelques températures croissantes.

Tableau III.3 Oxygène dissout en (*mg/l*) en fonction de températures croissantes (NYA_RMI_donnees_oxygenedissout).

Température (°C)	**Oxygène dissout(mg/l)**
00	14,60
05	12,75
10	11,27
15	10,07
20	9,07
25	8,24
30	7,54
35	6,93
37	6,71

Après la lecture du tableau on peut conclure que la température et la quantité d'oxygène dissout varient de manière opposée comme mentionné précédemment. Plus la température est basse plus la quantité d'oxygène dissoute est importante.

L'oxygène est indispensable à la quasi-totalité des organismes vivants et à la majeure partie des processus chimiques qui se produisent dans l'eau. Les cours d'eau dont le taux d'oxygène dissout est continuellement élevé sont habituellement considérés comme des écosystèmes sains et en mesure d'assurer la survie de nombreux organismes aquatiques. Et concernant les humains, il n'y à pas de norme ou de spécification concernant la quantité maximale acceptable pour l'oxygène dissout dans l'eau potable néanmoins

III.2.4. Les paramètres indésirables

- **Les Nitrates/Nitrites et Ammonium**

Les nitrates (NO_3^-) et les nitrites (NO_2^-) sont des ions présents de façon naturelle dans l'environnement. Ils sont le résultat d'une nitrification de l'ion ammonium (NH_4^+), présent dans l'eau et le sol, qui est oxydé en nitrites par les bactéries du genre Nitrosomonas, puis en nitrates par les bactéries du genre Nitrobacter **[Santé Canada, (1992)].**La pollution en ions NH_4^+existe principalement pour les eaux desurface. Les concentrations de nitrates et de nitrites dans l'eau peuvent être exprimées sous forme de nitrates (ou nitrites) ou sous forme d'azote. Un milligramme de nitrates par litre (mg/l de NO_3^-) équivaut à 0,226 mg de nitrates, sous forme d'azote, par litre (mg-N/l). Dans le cas des nitrites, un mg/l équivaut à 0,304 mg-N/l.**[Santé Canada, (1992)].**

La concentration de nitrates dans l'eau potable peutêtre classée selon quatre catégories : inférieure à 0,2 mg-N/l (aucune influence humaine), entre 0,21et 3,0 mg-N/l, (influence possible des activités humaines), entre 3,1 et 10 mg-N/l, (influence très nette des activités humaines mais sans impact apparent sur la santé), supérieure à 10 mg-N/l (impact majeur des activités humaines et effets possibles sur la santé) **[Madison et Brunett, (1985)].**

Le tableau suivant résume l'influence et impact de la présence des nitrates dans l'eau sur la santé.

Tableau III.4. Influence des activités humaines et impact sur la santé de différents niveaux de nitrates dans l'eau (http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/198-CartableEau/Nitrates.pdf).

Concentration de nitrates dans l'eau potable (mg-N/l)	**< 0.2**	**0,21 – 3,0**	**3,1 – 10**	**> 10**
Influence des activités	Non	Possible, impact mineur	Certaine, impact modéré	Certaine, impact majeur
Impact sur la santé	Non	Non	Non démontré	Possible

Les nitrates sont la principale source d'inquiétude car ces ions se transforment en milieuacide faible en ions nitrites. Ceux-ci sont toxiques pour l'organisme humain. **[Lounass, (2009)]**.

La norme de 50 mg/L de nitrates et 3 mg/l de nitrites a été fixée en fonction des risques courus par les populations les plus vulnérables : nourrissons et femmes enceintes. Une eau dont la teneur en nitrates dépasse 50 mg par litre n'est pas potable ; et a cours terme. Quant à l'exposition à long terme elle ne devra pas dépasser 0,2 mg/l.

III.2.5. Les paramètres toxiques

Une pollution industrielle du captage ou une dégradation des réseaux dedistribution peut entraîner la présence d'éléments toxiques dans l'eau, dangereuxpour la santé en cas de consommation régulière.Les matières toxiques sont constituées de micropolluants minéraux (métaux lourds avec normes correspondantes : chrome <0,05 mg/l, cadmium <0,003 mg/l, nickel <0,07 mg/l...) ainsi que de substances telles que les cyanures, ou des molécules organiques présentant une action d'inhibition des mécanismes biologiques. **[M. Lounass, (2009)]**.

III.2.6. Les paramètres biologiques

III.2.6.1. Les coliformes totaux

Les coliformes totaux constituent un groupe de bactéries que l'on retrouve fréquemment dans l'environnement, ils n'entraînent en général aucune maladie, mais leur présence indique qu'une source d'approvisionnement en eau peut être contaminée par des micro-organismes plus nuisibles.Ils sont utilisés depuis très longtemps comme indicateurs de la qualité microbienne de l'eau parce qu'ils peuvent être indirectement associés à une pollution d'origine fécale. **[http://www.gov.ns.ca].**

La méthode de détection des coliformes en générale est la colimétrie ; qui, en l'absence d'un désinfectant dans l'eau traitée à contrôler devient unique et indispensable.

III.2.6.2. Les coliformes fécaux

Les coliformes fécaux sont un sous-groupe des coliformes totaux, et l'espèce la plus connue de ce genre de bactéries est l'Escherichia-coli qui, peut faire soupçonner une contamination d'origine fécale **[Santé Canada, (1991)]** ; et une présence de micro-organismes pathogènes**. [http://www.inspq.qc.ca].**

L'inconvénient pour les eaux potables réside dans le fait qu'en période estivale, en particulier lorsque la température de l'eau dépasse 15 C, des proliférations de bactéries sont parfois observées de manière récurrente dans certains réseaux de distribution. Ilest alors possible que l'énumération révèle des coliformes fécaux qui n'ont pas une origine fécale; leur présence fausse ainsi l'interprétation du test.

C'est pourquoi, il peut devenir nécessaire de procéder à l'étape de confirmation pour détecter la présence d'E. Coli, qui est en fait l'indicateur véritablement recherché; dans ce contexte

l'emploi de milieux de culture spécifiques à l'E. Coli permet d'éviter ce problème **[Santé Canada, (1991)].**

Le règlement sur la qualité des eaux potables précisent qu'aucun coliforme fécal ne doit être présent dans un échantillon d'eau potable.La détection d'un seul coliforme fécal/100 ml entraîne un avis immédiat de faire bouillir l'eau

III.2.6.3.Les streptocoques fécaux

La présence de streptocoques fécaux confirme le cas d'une pollution d'origine fécale même en l'absence de coliformes fécaux. Le S.F. survit longtemps dans les eaux. La provenance de la pollution est donc lointaine.

Idem pour les streptocoques fécaux ; une absence total et stricte est précisé par la règlementation sur la qualité des eaux potables.**[http://www.inspq.qc.ca].**

Conclusion

Au cours de ce chapitre nous avons énuméré un maximum de paramètres physico-chimiques et biologique ; de paramètres de pollution et indésirables qui font à la base l'identité et la conformité de l'eau potable ou à potabiliser. Les paramètres pris en considération par les laboratoires de L'ADE ou au niveau du barrage sont : *pH*, température, turbidité, conductivité, oxygène dissout, chlore résiduel et azote ammoniacal.

Chapitre IV

Introduction

Ce chapitre sert à passer de modèles de réseaux des neurones biologiques à des modèles mathématiques (réseaux neuronaux artificiels), notamment des modèles de neurones, de synapses et quelques topologies (architectures) d'organisation en réseaux.

IV.1. Historique

- **W. James (1890)** , célèbre psychologue américain introduit le concept de mémoire Associative, et propose ce qui deviendra une loi de fonctionnement pour l'apprentissage sur les réseaux de neurones connue plus tard sous le nom de loi de **Hebb**.
- **Warren Mc. Culloch et Walter Pitts (1950),** publièrent les premiers travaux sur les réseaux de neurones, Ils constituèrent ensuite un modèle simplifié de neurone biologique communément appelé neurone formel capable théoriquement de réaliser des fonctions logiques, arithmétiques et symboliques complexes.
- **Rumelhart et al. (1986),** (l'algorithme de rétropropagation) ; La structure et le fonctionnement des réseaux de neurones artificiels sont donc inspirés de ceux des neurones réels. Cependant, le développement d'algorithmes d'apprentissage performants.
- **Coulibaly et al. (1999)**Une des grandes forces des RN est le fonctionnement en parallèle, qui leur permet d'exploiter simultanément plusieurs informations inter-reliées afin de résoudre un problème complexe. En hydrologie, les principales utilisations répertoriées sont la classification des données hydrologiques, la prévision des débits en rivière et des apports aux réservoirs, l'évaluation et la prévision de la qualité de l'eau, la prévision de la qualité de l'eau et l'estimation des précipitations.
- **Govindaraju et Ramachandra (2000) :**L'utilisation de réseaux de neurones en hydrologie remonte déjà à une dizaine d'années.
- **Dreyfus et al. (2002)** : Les RN ont migré du domaine de l'intelligence artificielle à celui de la modélisation statistique et sont alors graduellement devenus de puissants outils de calcul spécialement adaptés aux situations impliquant de la non-linéarité.
- **Turcotte et al. (2005), Srivastava et al. (2006)** : Les modèles conceptuels demeurent plus répandus et un des arguments de leurs promoteurs est qu'ils permettent d'approfondir nos connaissances du cycle hydrologique. Pourtant, les réseaux de neurones ont fait leur preuve, et dans certains cas, ils peuvent simplifier grandement le processus de modélisation.

IV.2. Analogie du neurone biologique et neurone artificiel

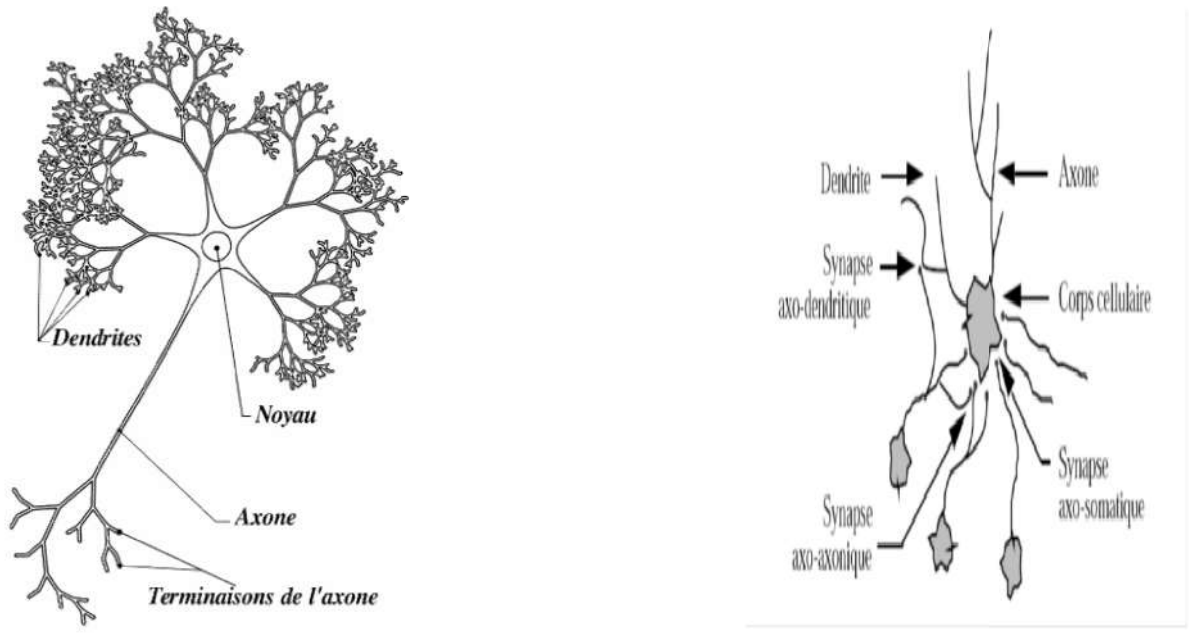
Il ne faut pas croire que les RNA puissent reproduire le comportement du cerveau humain ou qu'ils recèlent une quelconque forme d'intelligence. Cependant, l'analogie avec les neurones biologiques aide à comprendre la structure de base des réseaux de neurones artificiels.

V.2.1. Les réseaux des neurones biologiques

V.2.1.1. Définition

Notre cerveau est composé d'environ 100 milliards de cellules nerveuses interconnectées que l'on appelle des **neurones**. La figure IV.3. 1. (a) et (b) Un neurone et ses dendrites suivante nous indique les parties remarquables d'un neurone :

- Le **noyau**, comme toutes les cellules ;
- Un **axone**, qui est un long prolongement du corps cellulaire, aussi appelé « fibre nerveuse » ;
- Des **dendrites**, qui sont des extensions très ramifiées



(a) **(b)**

Figure IV.1. (a) et (b). Un neurone et ses dendrites, **[Éric Hervet (2009)].**

IV.2.1.2 Fonctionnement des différents composants d'un neurone biologique

- Le corps cellulaire se ramifie pour former des **dendrites**. C'est grâce aux dendrites que l'information est acheminée de l'extérieur vers le corps du neurone. L'information traitée parle neurone chemine le long de l'**axone** (unique) pour être transmise aux autres neurones.
- La transmission entre les neurones n'est pas directe. Il existe un espace intercellulaire de quelques dizaines d'Angström (10^{-9} *m*) entre l'axone du neurone afférent et les dendrites du neurone déférent.
- La jonction entre deux neurones est appelée **synapse**. Cet espace vide ne permet pas au signal électrique de se propager. Il existe donc des neuromédiateurs (substances chimiques) qui se fixent sur des récepteurs de l'autre côté de l'espace inter-synaptique, lorsque suffisamment de molécules sont fixées, un signal électrique est émis. C'est ainsi que le signal se transmet.
- Selon le type de **synapse**, excitatrice ou inhibitrice, l'activité d'un neurone peut renforcer ou diminuer l'activité de ses voisins.
- On résumera donc tout ceci par le fait que notre cerveau est en réalité un énorme réseau de cellules nerveuses dont les connexions sont inhibées ou renforcées lorsque l'on apprend quelque-chose.

L'approche des réseaux de neurones formels que nous allons voir a pour principe de reproduire ce fonctionnement.

IV.2.2. Réseaux de neurones artificiels

IV.2.2.1.Définition

«**Les réseaux de neurones artificiels** sont des réseaux fortement connectés de processeurs (neurones) élémentaires fonctionnant en parallèle. Chaque processeur élémentaire calcule une sortie unique sur la base des informations qu'il reçoit. Toute structure hiérarchique de réseaux est évidemment un réseau». **[Éric Hervet (2009)].**

V.2.2.2 Fonctionnement des réseaux de neurones artificiels

À l'origine, les réseaux de neurones (R.N.) ont été développés dans le but de conférer une intelligence aux ordinateurs en simulant grossièrement le comportement du cerveau des mammifères **[Mc.Culloch et Pitt, (1943)].** La structure et le fonctionnement des réseaux de neurones artificiels sont donc inspirés de ceux des neurones réels.

Cependant, le développement d'algorithmes d'apprentissage performants, notamment l'algorithme de rétropropagation de **[Rumelhart et al., (1986)],** a engendré de nouvelles potentialités. Les RN ont alors migré du domaine de l'intelligence artificielle à celui de la modélisation statistique et sont alors graduellement devenus de puissants outils de calcul spécialement adaptés aux situations impliquant de la non-linéarité **[Dreyfus et al. (2002)]**.
Une des grandes forces des RN est le fonctionnement en parallèle, qui leur permet d'exploiter simultanément plusieurs informations inter-reliées afin de résoudre un problème complexe. En hydrologie, une des principales utilisations répertoriées des R.N.A. est l'évaluation et la prévision de la qualité de l'eau **[Coulibaly et al. (1999)].**

Dans le cas des réseaux de neurones, il s'agit simplement d'optimiser plusieurs réseaux de neurones à partir des mêmes données d'entrées. Le processus d'optimisation du réseau de neurones fait en sorte que chacun des réseaux fournira des réponses légèrement différentes, même si les données ayant servi à leur entraînement sont identiques.

- Les réseaux de neurones, en tant que système capable d'apprendre, mettent en œuvre le principe de l'induction, c'est-à-dire l'apprentissage par l'expérience. Par confrontation avec des situations ponctuelles, ils infèrent un système de décision intégré dont le caractère générique est fonctionné du nombre de cas d'apprentissages rencontrés et de leur complexité par rapport à la complexité du problème à résoudre.
- Grâce à leur capacité de classification et de généralisation, les réseaux de neurones sont généralement utilisés dans des problèmes de nature statistique.
- Le réseau reste souvent une boîte noire qui fournit une réponse quand on lui présente une donnée, mais le réseau ne fournit pas de justification facile à interpréter.
- Les réseaux de neurones artificiels ont besoin de cas réels servant d'exemples pour leur apprentissage (on appelle cela la base d'apprentissage). Ces cas doivent être d'autant plus nombreux que le problème est complexe et que sa topologie est peu structurée.
- Le gain de temps découlant de l'utilisation de modèles simples pour la production des prévisions d'ensemble peut être réinvesti dans leur interprétation.

Les réseaux de neurones peuvent être définis comme un graphe orienté et pondéré ; Les neurones étant les nœuds, qui seront connectes par des liens appeler lien synaptiques ou synapses, ces liens synaptiques sont pondérés par des poids judicieusement choisis. La propagation de l'activation à travers les liens synaptiques des neurones en aval vont influencer les autres neurones

en amont, cette activation sera pondérée par le lien qu'elle prendra ainsi on appellera poids synaptique le poids de chaque liaison synaptique.

Ils sont décrits par la matrice des poids synaptiques :

$$\begin{pmatrix} W_{1,1}W_{1,2}\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots W_{1,m} \\ W_{2,1}W_{2,2}\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots W_{2,m} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots W_{i,j}\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ W_{n,1}W_{n,2}\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots W_{n,m} \end{pmatrix}$$

$W_{i,j}$: poids de la liaison du neurone "j" vers le neurone "i".

L'activation totale du réseau est décrite par un vecteur d'activation :

$A= (a_1, a_2,..., a_n)$ avec a_i : activation du neurone "i" avec i=1, 2,3,..., n.

IV.3. Apprentissage des réseaux de neurones

On appelle apprentissage du réseau de neurones, la procédure qui consiste à estimer les paramètres afin que celui-ci remplisse au mieux la tâche qui lui est assignée une fois son architecture connue. Cette procédure dépend d'une part de l'interconnexion entre les neurones au sein du réseau et d'autre part de l'usage que l'on veut en faire.

L'apprentissage est dit :

- **Supervisé** : lorsque l'on dispose d'une série d'exemples constitués de paires de valeurs d'entrée et de valeurs de sortie désirées (ou cibles). Il consiste à modifier les paramètres afin que la sortie du réseau se rapproche de la cible pour chaque entrée donnée.

- **Non supervisé** : seules les valeurs d'entrée sont disponibles. Les poids et biais sont ajustés en réponse aux entrées uniquement. Dans ce cas les exemples présentés à l'entrée provoquent une auto-adaptation du réseau afin de produire des valeurs de sortie qui soient proches en réponse pour des valeurs d'entrée similaires. Il s'agit de séparer les entrées en un certain nombre de classes.

IV.4. Les algorithmes d'application

On distingue deux phases dans le fonctionnement d'un réseau de neurones :

IV.4.1. La somme pondérée des entrées

Les synapses pondèrent la quantité d'information qui passe d'un neurone à l'autre. Le corps du neurone, appelé soma, reçoit toutes les informations et déclenche une réaction si l'addition de toutes ces informations excède un certain seuil. Le neurone artificiel est inspiré de ce modèle. Chacune des sources d'information est pondérée par un poids multiplicatif avant de parvenir au neurone. Celui-ci somme les entrées et les fait passer dans une fonction de transfert.

IV.4.2. Fonction de transfert

Une fonction de transfert calcule la valeur de l'état du neurone. C'est cette valeur qui est transmise aux neurones avals. Il existe de nombreuses formes possibles pour la fonction de transfert. La plupart sont des fonctions continues dans l'intervalle [0, 1] ou [−1, 1].Les équations décrivant le comportement des neurones artificiels n'introduisent pas la notion de temps. C'est le cas pour la plupart des modèles actuels de réseaux de neurones.

Un exemple classique de fonctions d'activation, qui sera utilisé dans cette étude est :

La fonction sigmoïde : $a = \frac{1}{1+e^{-n}}$

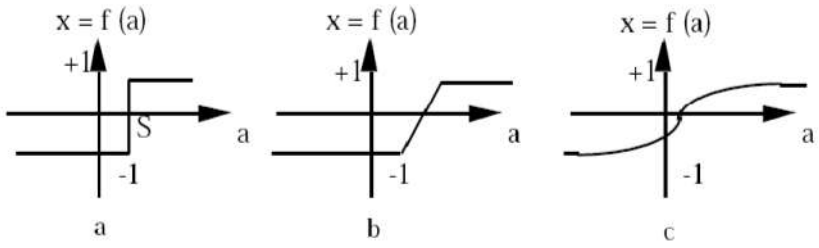


Figure IV.2.fonctions de transfert (a) du neurone seuil ; (b) du neurone linéaire, et (c) du neurone sigmoïde **[Douak, (2008)].**

Tableau IV.1. Fonction de transfert a= f(n), **[Douak, (2008)].**

Groupe de fonctions	**exemple**
Seuil	a=0 si n<0 a= 1 si n⩾0
Linéaire	a = n
Non-linéaire	$a = \frac{1}{1+e^{-n}}$
Combinaison	$a = \frac{1}{1+e^{-n}} + n$

Finalement, l'information quitte le neurone pour être transmise à d'autres neurones. L'opération effectuée par un neurone peut être décrite comme suit :

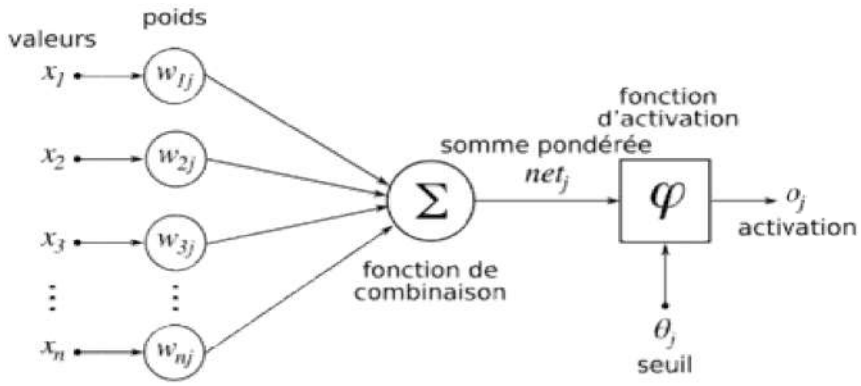


Figure IV.3. Fonctionnement d'un perceptron multicouche**,[Hervert,(2009)]**

IV.5. Architecture d'un réseau de neurone

L'interconnexion entre les neurones dépend de la manière dont l'information circule dans le réseau et dont se fera l'apprentissage.

L'interconnexion permet aussi de distinguer les réseaux ouverts et les réseaux bouclés.

- **Les réseaux non bouclés**

Où le graphe ne possède pas de cycle .Dans tel réseau l'information circule de l'entrée vers la sortie sans aucun retour, il est dit acyclique .Citons l'exemple des réseaux multicouches.

- **Les réseaux bouclés**

Lorsqu'on assiste à un retour de l'information vers l'arrière, d'une manière ou d'une autre, on parle de réseau bouclé (recurrent neural network) et son graphe possède au moins un cycle. Le réseau bouclé fait ramener une ou plusieurs valeurs à l'entrée .Un réseau de neurone bouclé est donc un système dynamique, régi par des équations différentielles.

Les réseaux bouclés sont utilisés pour introduire des délais temporels dans le modèle et nécessite pour cela une série continue sur un site bien déterminé. Dans le cadre de ce travail, seuls les réseaux ouverts sont utilisés en raison de la relative simplicité de leur mise en œuvre et de la possibilité qu'offre ce type de réseaux d'être utilisés sur des sites différents en raison de l'absence de délais temporels, ce qui n'est pas le cas de réseaux bouclés.

IV.6. Architectures multicouches

IV.6.1. Réseau multicouche

Les neurones sont arrangés par couche. Il n'y a pas de connexion entre neurones d'une même couche et les connexions ne se font qu'avec les neurones des couches avals. Généralement chaque neurone d'une couche est connecté à tous les neurones de la couche suivante et celle-ci seulement. Ceci nous permet d'introduire la notion de sens de parcours de l'information et donc de définir les concepts de neurone d'entrée, neurone caché et neurone de sortie.

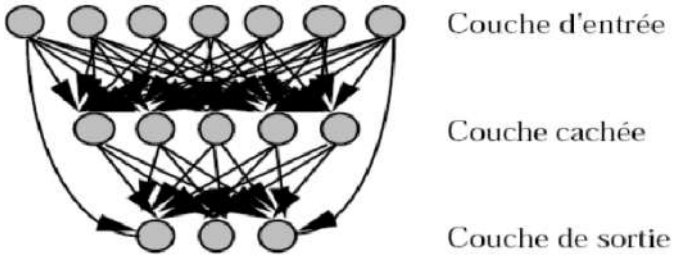


Figure IV.4. Réseau multicouche**,[Yonaba,(2009)].**

IV.6.2. Réseau à connexions locales

Il s'agit d'un réseau multicouche où chaque neurone a des relations avec un nombre réduit et localisé de neurones de la couche avale.

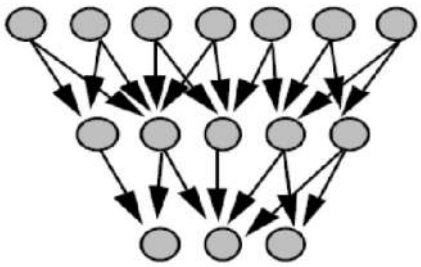


Figure VI.5. Réseau à connexions locales**,[Yonaba,(2009)].**

VI.6.3. Réseau à connexions récurrentes

Les connexions récurrentes ramènent l'information en arrière par rapport au sens de propagation défini dans un réseau multicouche. Ces connexions sont le plus souvent locales.

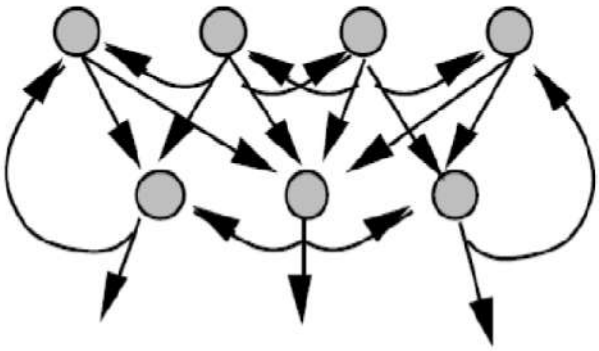


Figure VI.6. Réseau à connexions récurrentes**,[Yonaba,(2009)].**

IV.6.4. Réseau à connexions complètes

Chaque neurone est connecté à tous les neurones du réseau.

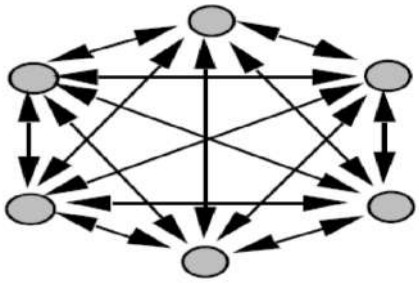


Figure VI.7. Réseau à connexions complètes**,[Yonaba,(2009)].**

IV.7. Le Perceptron multicouches

Le perceptron multicouche **(PMC)** est particulièrement adapté au traitement d'information vectorielle **[Rosenblatt, (1958)].**Les réseaux utilisés lors de la présente étude sont constitués de trois couches**[Lippmann, (1987)],** soit

- une couche d'entrée : constituée de toutes les entrées du modèle et n'est donc pas constituée de neurones en tant que tel ;
- une couche cachée : chacune des entrées est transmise à tous les neurones de cette couche où elle est pondérée par un poids multiplicatif. Ensuite, un biais (0 ou 1) est additionné à la somme des entrées pondérées pour produire un résultat intermédiaire modulé par une fonction de transfert ;
- une couche de sortie : les résultats intermédiaires sont transmis aux neurones de cette couche où se répètent les mêmes opérations menant dans ce cas aux sorties du modèle. La couche de sortie comportera autant de neurones que de variables à modéliser.

Conclusion

Ce chapitre illustre une analogie entre les réseaux neurones artificielles et biologiques aidant à comprendre la structure de base des réseaux de neurones artificiels et le fonctionnement des ses différents composantes en partant de la somme pondérée jusqu'à la fonction de transfert. Et définissant le perceptron multicouches qui introduit la notion de sens de parcours de l'information et donc de définir les concepts de neurone d'entrée, neurone caché et neurone de sortie.

Partie Pratique

Chapitre V

Introduction

Dans ce chapitre nous présentons les résultats préliminaires de la modélisation des paramètres physico-chimiques des eaux de barrage du Ghrib par les réseaux de neurones artificiels.

V.1. Méthodologie de calcul

La méthodologie de calcul par réseaux de neurones des paramètres physico-chimiques des eaux du barrage du Ghrib est illustrée par l'organigramme de la figure V.2.1 associée.

Dans le but de constituer une base de données fiable et représentative nous avons suivi une méthodologie, inspirée d'études bibliographiques **[Hinton(1989) ; Lolas et Olatunbosun (2008)]** qui revêt la méthodologie de calcul suivante:

- Collecte des données ;
- Sélection des entrées et des sorties du modèle neuronal ;
- Préparation de la base de données ;
- Mise en forme des données.

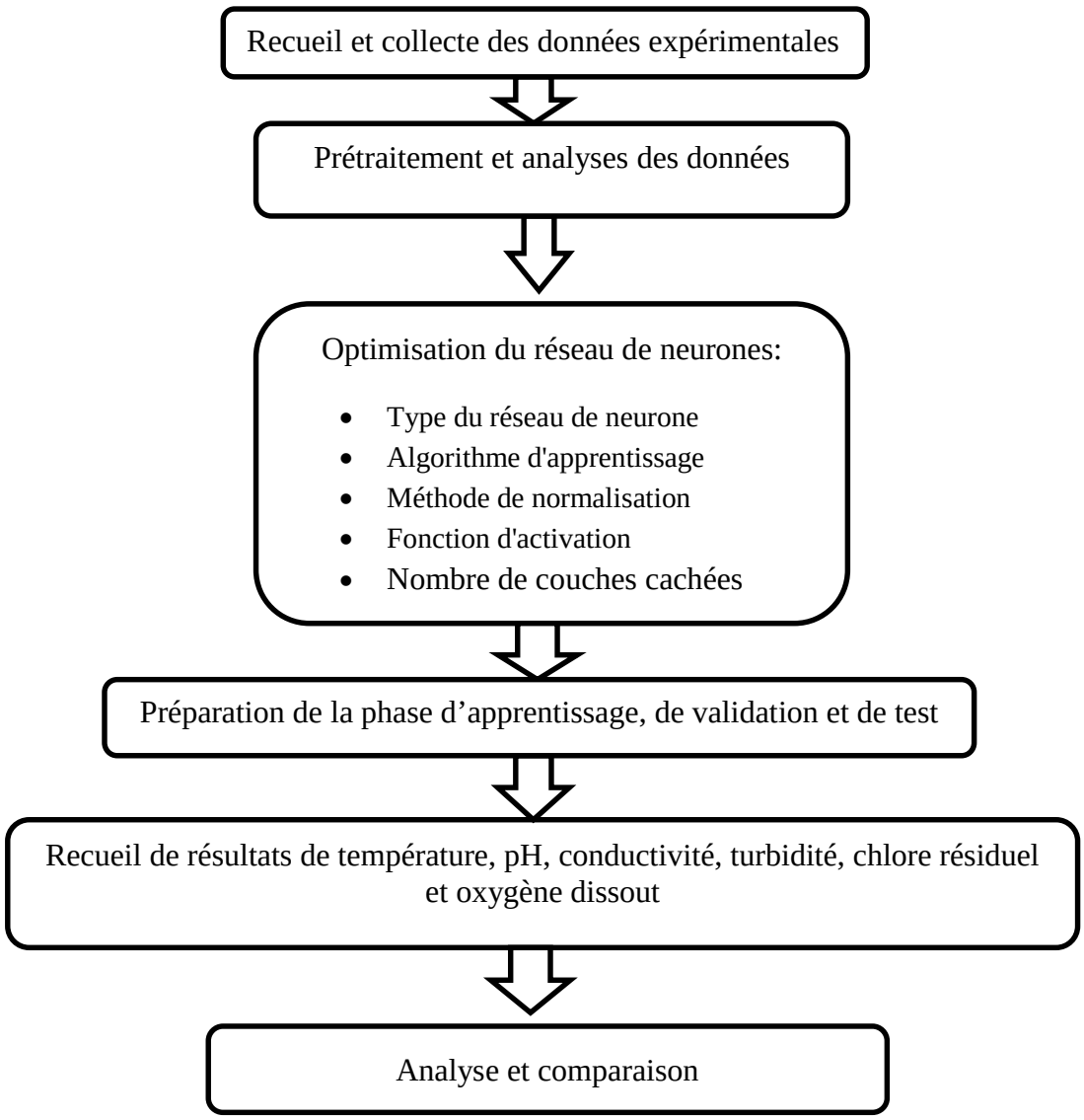


Figure V.1. Méthodologie de calcul des paramètres physico-chimique par les réseaux de neurones artificiels.

V.1.1. Collecte des données

On a regroupé des données des paramètres physico-chimiques de cinq (5) années (2009 à 2013) de traitement des eaux, en amont et en aval de barrage de Ghrib.

V.1.2. Sélection des entrées et des sorties du modèle neuronal

Nous avons choisi les paramètres physico-chimiques en voyant leurs effets pertinents sur la potabilité d'eau

La sélection vise deux points essentiels, **[Hinton, (1989)]** :

- Réduction de la dimension de l'espace de représentation des variables de modèle ;
- Élimination des entrées qui n'ont pas ou peu d'influence sur la sortie.

Nos paramètres choisis sont :

Entrés (en amont de traitement) :

- t : temps de traitement des eaux (mois)
- Température (°C)
- pH
- Conductivité (µS/cm)
- Turbidité (N.T.U.)
- Oxygène dissout (mg O_2/l)

Sorties (en aval de traitement) :

- Température (°C)
- pH
- Conductivité (µS/cm)
- Turbidité (N.T.U.)
- Oxygène dissout (mg O_2/l)
- Chlore résiduel (mg/l)

V.1.3. Mise en forme des données

Après le filtrage des données pour éliminer les points aberrants qui peuvent avoir un effet négatif sur la performance des **RNA** ce qui sert à construire notre base des données.

La base de données obtenue est représentée par une matrice rectangulaire de 47 lignes divisé en :

- Base de données d'entrées réalisée par une matrice rectangulaire de dimension [47,6] ;
- Base de données de sorties réalisée par une matrice rectangulaire de dimension [47,6].

Dans cette étape les données sont subdivisées en trois sous-ensembles :

- Un ensemble de (80%) des données pour l'apprentissage;
- Un ensemble de (10%) des données pour la phase de validation;
- Un ensemble de (10%) des données pour le test.

V.2. Normalisation de la base de données partielle

La normalisation est une étape importante dans le processus de l'élaboration des données. Elle devient dans la plus part des cas, une exigence pour les matrices des inputs, du fait qu'on utilise souvent des fonctions de transfert bornées de type sigmoïdes dans les modélisations statiques.

Dans notre travail, on a utilisé une base de données représentée en 47 lignes et 12 colonnes, correspondante aux valeurs des paramètres physico-chimiques d'eau en amont et en aval du barrage du Ghrib. Les valeurs numériques ont été normalisées afin d'améliorer l'optimisation. La normalisation se fait par (***MATLAB version 2009a).***

V.3. Structure des RNSO obtenus

La structure de base retenue est un perceptron multicouche à trois couches : une couche d'entrée, une couche cachée, une couche de sortie.

L'algorithme d'apprentissage utilisé est Levenberg-Marquardt (la fonction nftool de MATLAB®) avec l'option d'apprentissage atténué pour éviter le sur-apprentissage. La procédure commence par deux fonctions de transfert sigmoïde tangent hyperbolique

- Fonction tansig de MATLAB® pour la couche cachée ;
- Fonction purelin de linéarisation de MATLAB® pour la couche de sortie.

La figure VI.2.2 donne la représentation schématique de perceptron pour les **RNAO** obtenus :

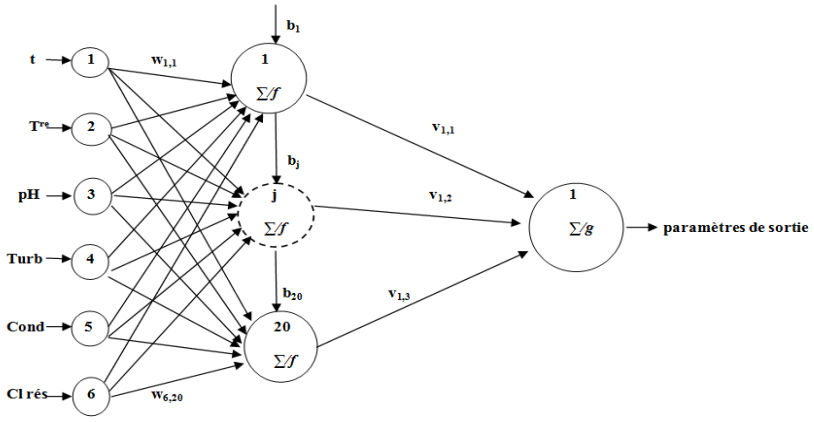


Figure V.2. Illustration de l'architecture de réseau de neurones optimisé

Les entrées du modèle sont les paramètres physico-chimiques des eaux de barrage de Ghrib avec une espace-temps *t* en mois (de janvier 2009 à mars 2013). Un model neuronal d'entrées classiques optimisé par réseaux de neurones dont l'objectif est de prévoir une seule variable à la fois. La couche de sortie ne comportera qu'un seul neurone.

Les vecteurs d'entrée ainsi que le vecteur contenant les valeurs cibles à obtenir en sortie sont normalisés avant d'être exploités afin d'obtenir des distributions centrées unitaires pour que le réseau n'ait pas à combiner des distributions très différentes. Ensuite, ces vecteurs d'entrée sont transmis à chacun des neurones de la couche cachée, chacun de ces neurones pondère chacune des entrées

La couche de sortie de chaque neurone de la couche cachée est transmise au neurone de sortie. La fonction de transfert du neurone de sortie est linéaire. La sortie finale du réseau est un vecteur contenant les valeurs d'un des paramètres physico-chimiques prédit pour le pas de temps (*t*+30j).

Une telle procédure d'optimisation où les paramètres physico-chimiques sont observé est comparé aux ceux prévus par le modèle se nomme « apprentissage supervisé ».

La performance du modèle peut être évaluée grâce à plusieurs indicateurs, ceux utilisés dans cette étude sont :

- l'erreur absolue moyenne (EAM) définie par :

$$EAM=\frac{\sum_1^n P_{prévu}-P_{exp}}{N}$$

- la racine d'erreur quadratique moyenne (REQM) définie par :

$$REQM=\sqrt{\frac{\sum_1^n (P_{prévu}-P_{exp})^2}{N}}$$

Avec

$P_{prévu}$: la valeur prédite par le modèle du paramètre à modéliser ;

P_{exp} :la valeur expérimentale du paramètre à modéliser ;

N : désigne la taille de la série.

V.4. Validation des résultats obtenus par RNA avec les valeurs expérimentales

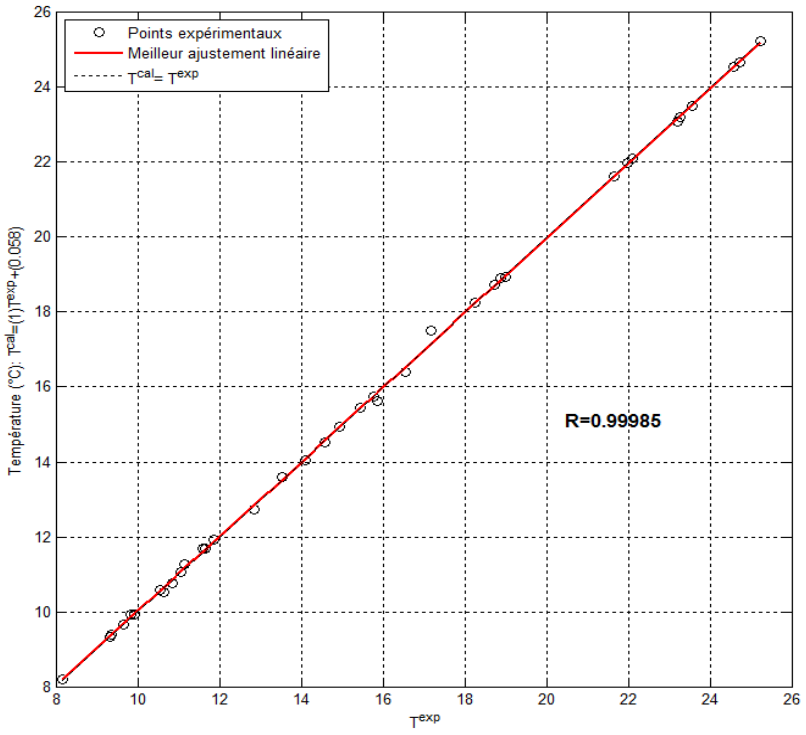
V.4.1. La température

Le tableau V.1. récapitule la topologie du réseau de neurones statique optimal (RNSO) obtenu pour la température.

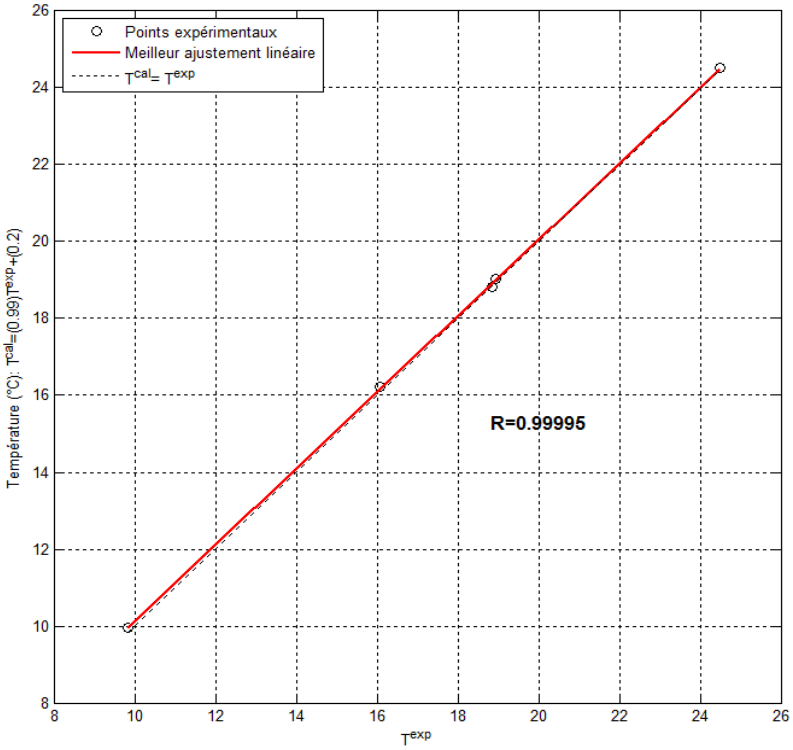
Tableau V.1. Topologie du RNSO pour la température.

Couche d'entrée	**Couche cachée**		**Couche de sortie**		**Algorithme d'apprentissage**
Nombre de neurones	**Nombre de neurones**	**Fonction d'activation**	**Nombre de neurones**	**Fonction d'activation**	
6	6	Tangente Sigmoïde «tansig»	1	Identité «purelin»	Levenberg-Marquardt LM

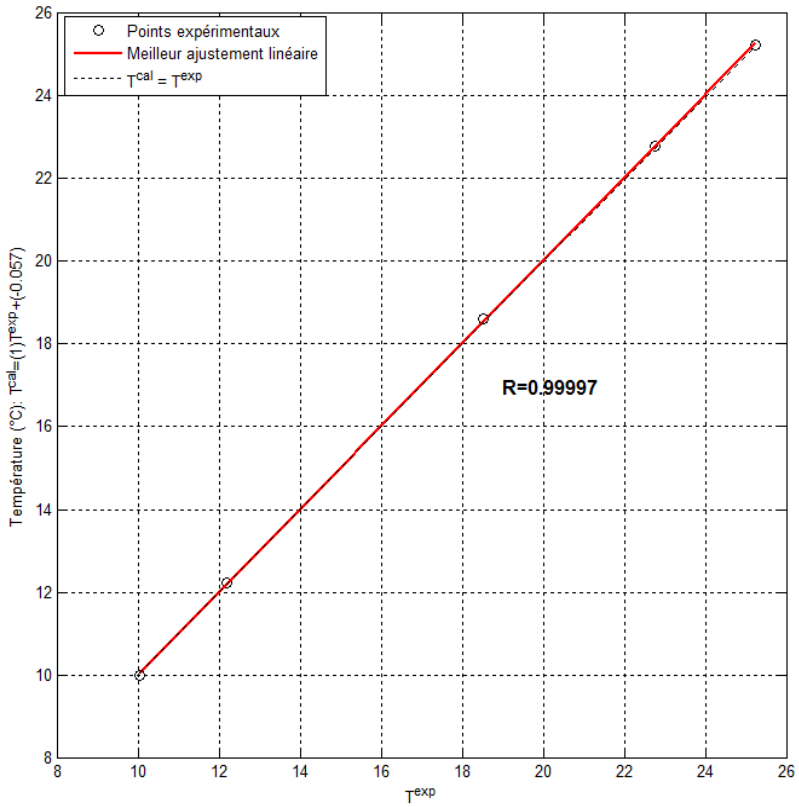
La validation des valeurs prédites par le réseau de neurones artificiel avec les valeurs expérimentales pour la température en termes d'apprentissage **(a)**, de validation **(b)**, de test **(c)**, **(d)** et du réseau des neurones optimaux sont illustrées dans la Figure V.3.



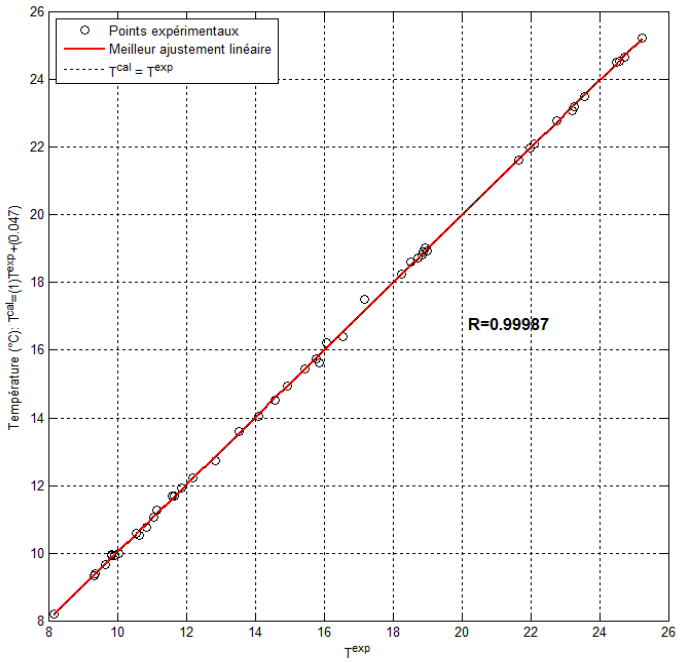
(a)


Points expérimentaux
Meilleur ajustement linéaire
$T^{cal}= T^{exp}$
R=0.99995
Température (°C): $T^{cal}=(0.99)T^{exp}+(0.2)$
T^{exp}

(b)


Points expérimentaux
Meilleur ajustement linéaire
$T^{cal} = T^{exp}$
R=0.99997
Température (°C): $T^{cal}=(1)T^{exp}+(-0.057)$
T^{exp}

(c)



(d)

Figure V.3. Validation des valeurs prédites par RNA avec les valeurs expérimentales pour la température :

(a) Apprentissage, **(b)** Validation, **(c)** Test, **(d)** Réseau des neurones optimal

La figure V.4. Présente la validation des valeurs prédites par RNAO avec les valeurs expérimentales pour toute la plage de température.

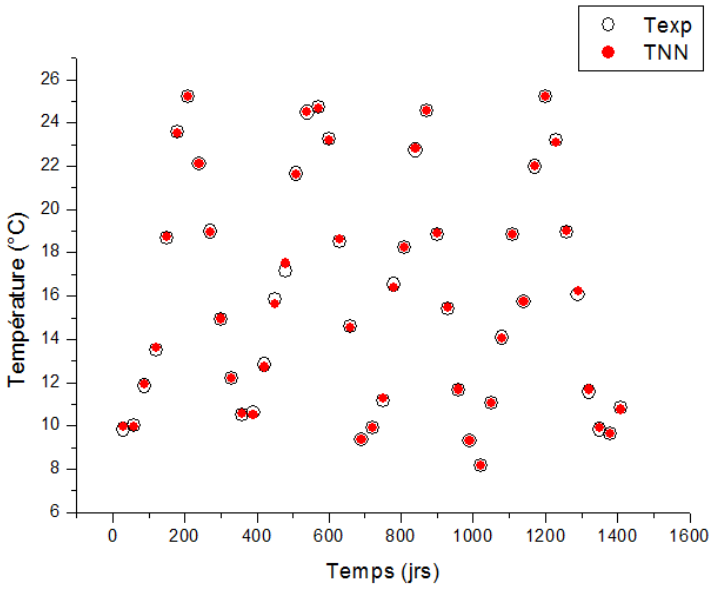


Figure V.4. Validation des valeurs expérimentales et des valeurs prédites par RNA de la température.

Le tableau V.4. présente les erreurs relatives absolues moyennes et les coefficients de régression de la phase d'apprentissage, validation et de test du RNSO pour la plage de température.

Tableau V.2. Les erreurs relatives absolues moyennes et les coefficients de régression de la phase d'apprentissage, validation et de test du RNSO.

	Température (°C)			
	Apprentissage	**Validation**	**Test**	**Total**
EAM (°C)	0.06012	0.08190	0.05123	0.06156
Max (EA)	0.35690	0.15380	0.09280	0.35690
REQM (°C)	0.01490	0.04301	0.02612	0.01290
Max (REQ)	0.09080	0.09620	0.05830	0.09620
R	0.99985	0.99994	0.99997	0.99987

Vu que l'erreur maximale absolue moyenne est de 0.3569et l'erreur maximale de la racine quadratique est de 0.0962 on peut affirmer que les valeurs mesurées de la température coïncident avec les valeurs de la température estimées par le RNSO et par conséquent le modèle neuronal reproduit l'output fidèlement.

V.4.2. Le pH

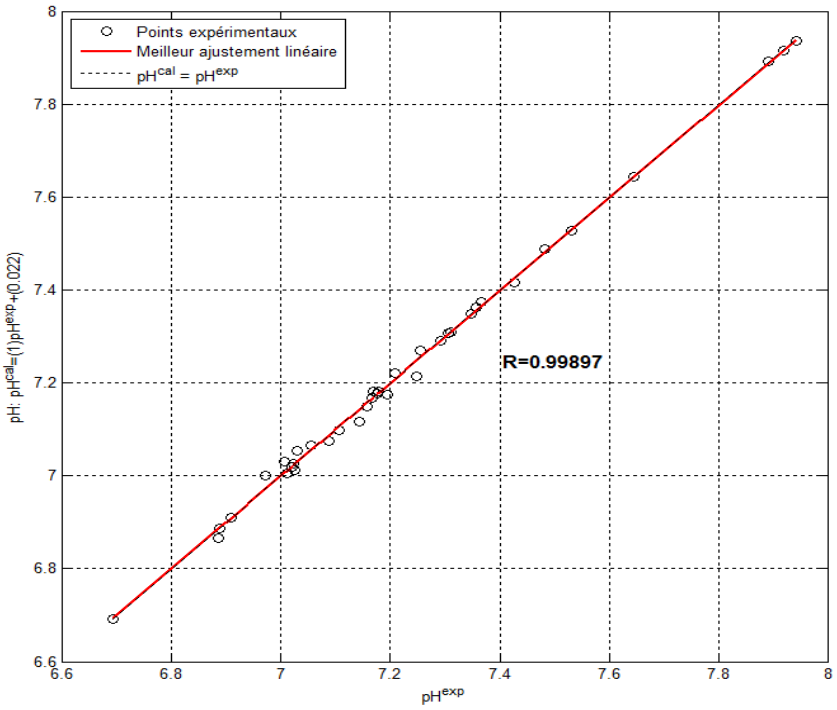
Les différents éléments structurels du réseau des neurones optimal utilisé dans la modélisation du pH sont présentés dans le tableau V.3.

Tableau V.3. Topologie du RNSO pour le pH.

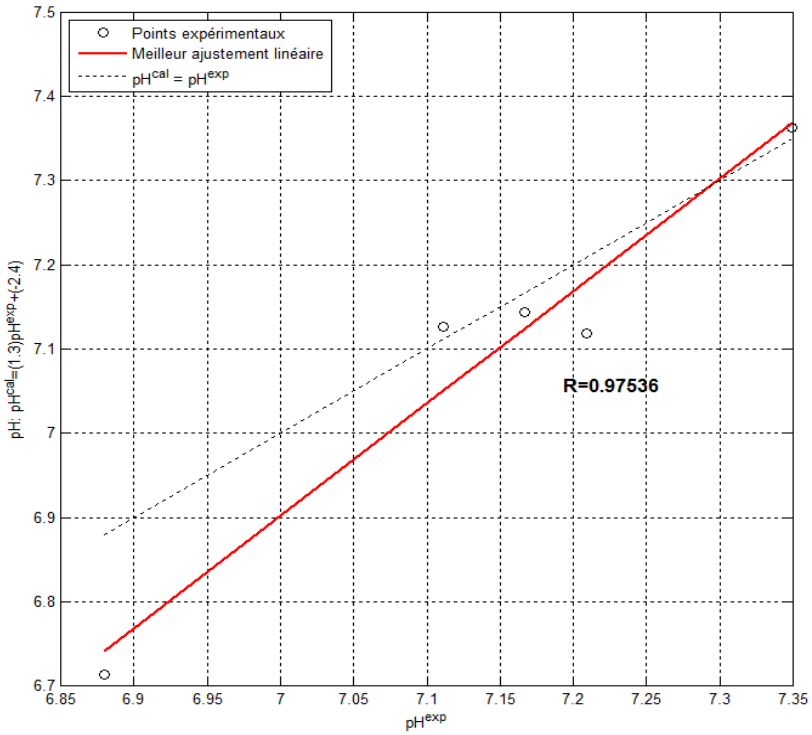
Couche d'entrée	**Couche cachée**		**Couche de sortie**		**Algorithm d'apprentissage**
Nombre de neurones	**Nombre de neurones**	**Fonction d'activation**	**Nombre de neurones**	**Fonction d'activation**	
6	6	Tangente Sigmoïde «tansig»	1	Identité «purelin»	Levenberg-Marquardt LM

Pour une meilleure performance de RNAO, une base des données constituée par des valeurs intermédiaires par rapport à la base des données a été générée. Cette base et constitués de trois ensembles d'apprentissage, de validation et de test, pour La validation des valeurs prédites par le

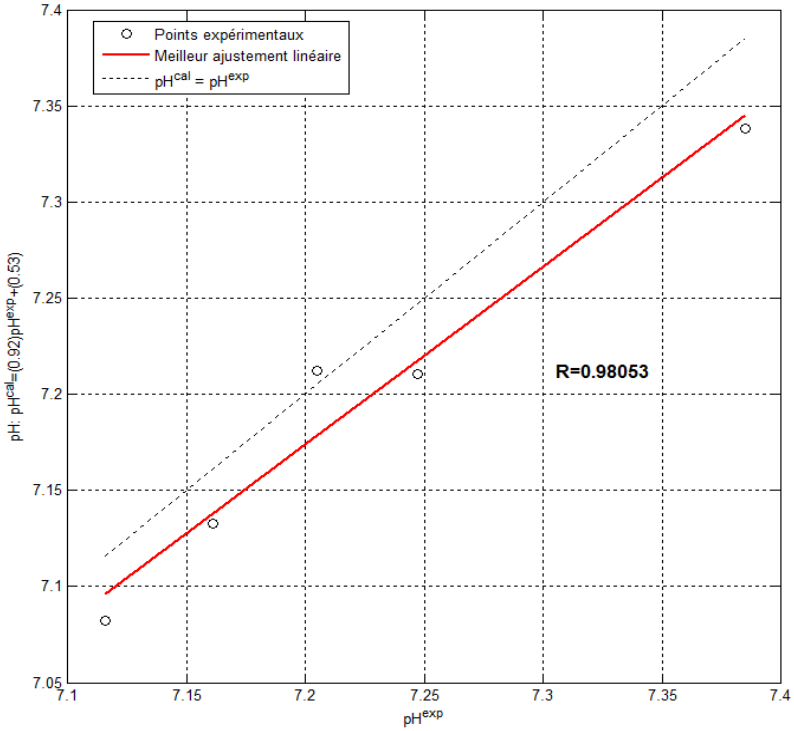
réseau de neurones artificiel avec les valeurs expérimentales pour le *pH*, la figure V.5. illustre ces trois termes avec le réseau de neurones optimal.



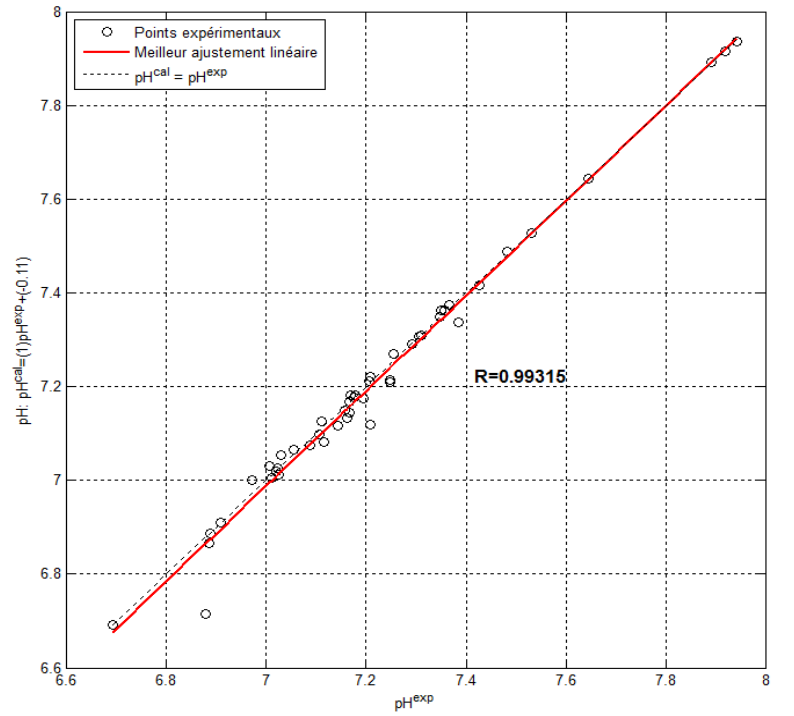
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure V.5. Validation des valeurs prédites par RNA avec les valeurs expérimentales pour le pH:

(a) Apprentissage, **(b)** Validation, **(c)** Test, **(d)** Réseau des neurones optimal

La figure V.6. regroupe les valeurs prédites par RNAO et les valeurs expérimentales pour toute la plage du pH.

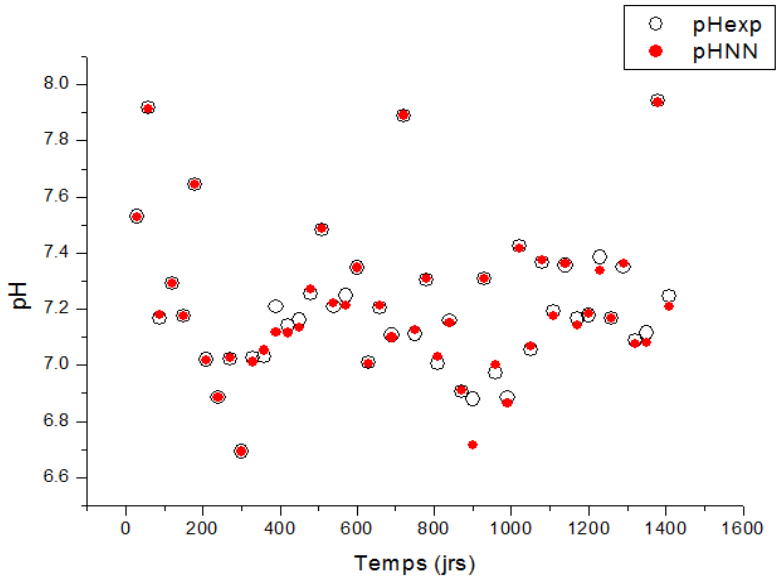


Figure V.6. Validation des valeurs expérimentales et des valeurs prédites par RNA du *pH*

Les erreurs relatives absolues moyennes et les coefficients de régression de la phase d'apprentissage, validation et de test du RNSO pour la plage du *pH* sont récapitulés dans le tableau V.4.

Tableau V.4. Les erreurs relatives absolues moyennes et les coefficients de régression de la phase d'apprentissage, validation et de test du RNSO.

	pH			
	Apprentissage	**Validation**	**Test**	**total**
EAM	0.00901	0.06156	0.03067	0.01690
Max (EA)	0.03440	0.16540	0.04700	0.16540
REQM	0.00212	0.03823	0.01490	0.00478
Max (REQ)	0.01270	0.08550	0.03330	0.08550
R	0.99897	0.97536	0.98052	0.99316

Il est clair que les valeurs prédites par le modèle neuronal pour le *pH* sont en excellent accord avec les valeurs expérimentales : le coefficient de régression est de 99%, l'erreur maximale absolue moyenne est estimée à0.1654et l'erreur maximale de la racine quadratique a une valeur de 0.0855.

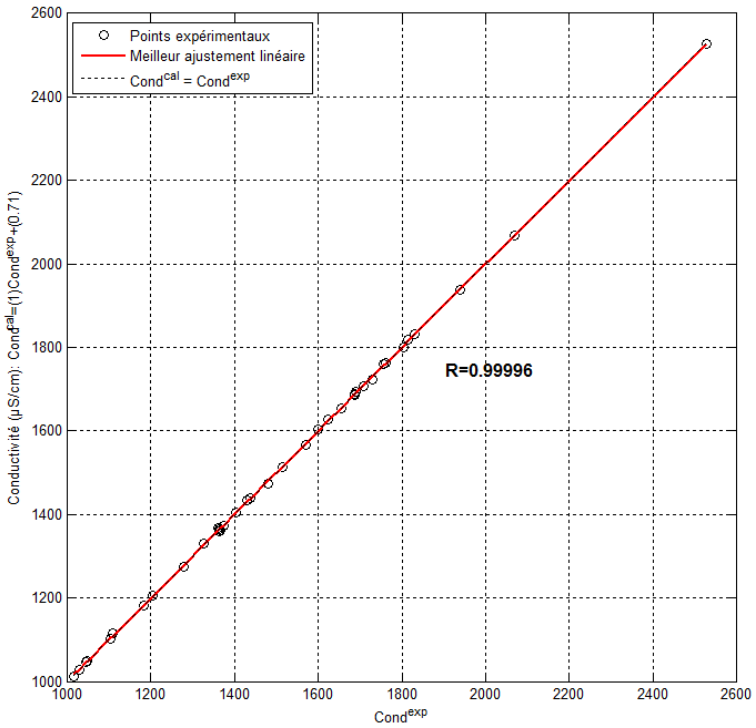
V.4.3. La conductivité

Le tableau V.5.1donne la topologie du réseau de neurones statique optimal (RNSO) obtenu pour la conductivité

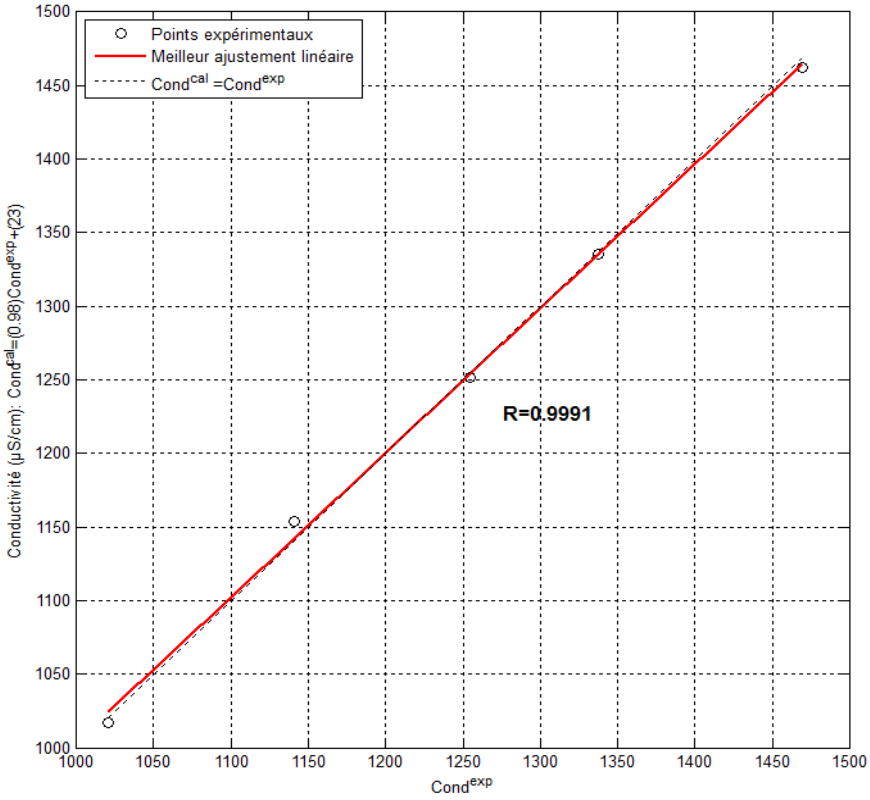
Tableau V.5. Topologie du RNSO pour la conductivité.

Couche d'entrée	**Couche cachée**		**Couche de sortie**		**Algorithm d'apprentissage**
Nombre de neurones	**Nombre de neurones**	**Fonction d'activation**	**Nombre de neurones**	**Fonction d'activation**	
6	5	Tangente Sigmoïde «tansig»	1	Identité «purelin»	Levenberg-Marquardt LM

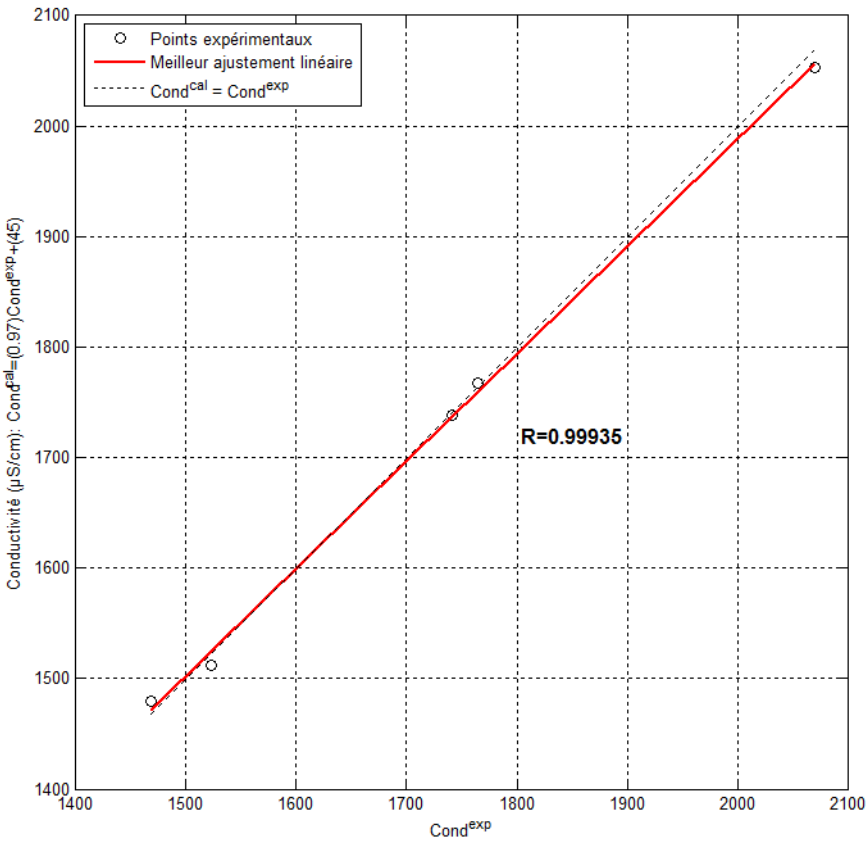
Les termes d'apprentissage **(a)**, de validation **(b)**, **(c)** de test, **(d)** et du réseau des neurones optimal pour La validation des valeurs prédites par le réseau de neurones artificiel avec les valeurs expérimentales pour la conductivité sont illustrées dans la figure V.7.



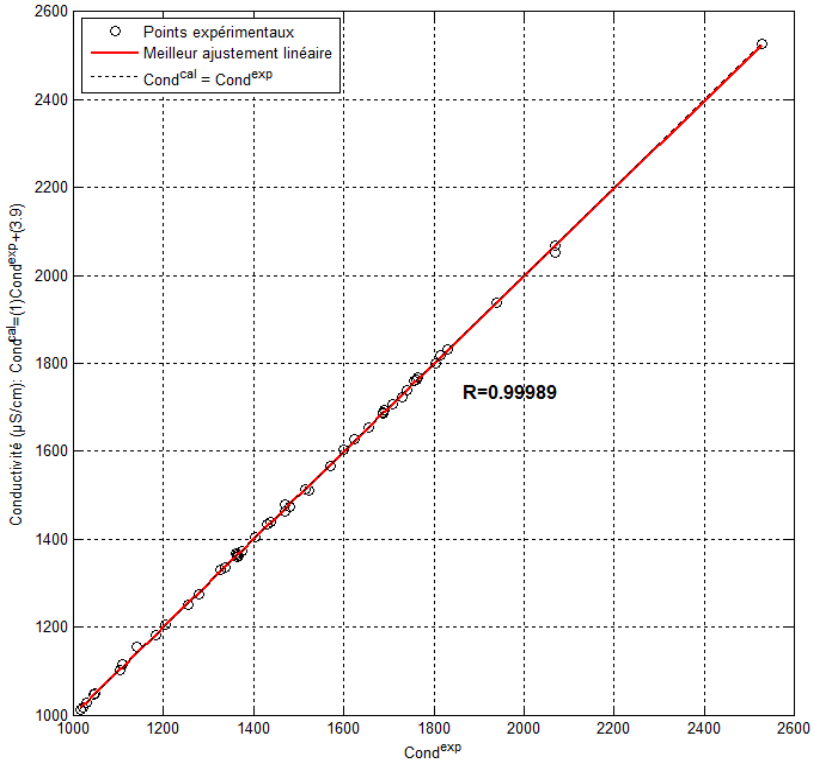
(a)


Points expérimentaux
Meilleur ajustement linéaire
Cond^cal =Cond^exp
R=0.9991
Conductivité (µS/cm): Cond^cal=(0.98)Cond^exp+(23)
Cond^exp
1000
1050
1100
1150
1200
1250
1300
1350
1400
1450
1500

(b)


Points expérimentaux
Meilleur ajustement linéaire
Cond^cal = Cond^exp
R=0.99935
Conductivité (µS/cm): Cond^cal=(0.97)Cond^exp+(45)
Cond^exp
1400
1500
1600
1700
1800
1900
2000
2100

(c)



(d)

Figure V.7. Validation des valeurs prédites par RNA avec les valeurs expérimentales pour la conductivité:

(a) Apprentissage, **(b)** Validation, **(c)** Test, **(d)** Réseau des neurones optimal.

La figure V.8. présente la validation des valeurs prédites par RNAO avec les valeurs expérimentales pour toute la plage de conductivité.

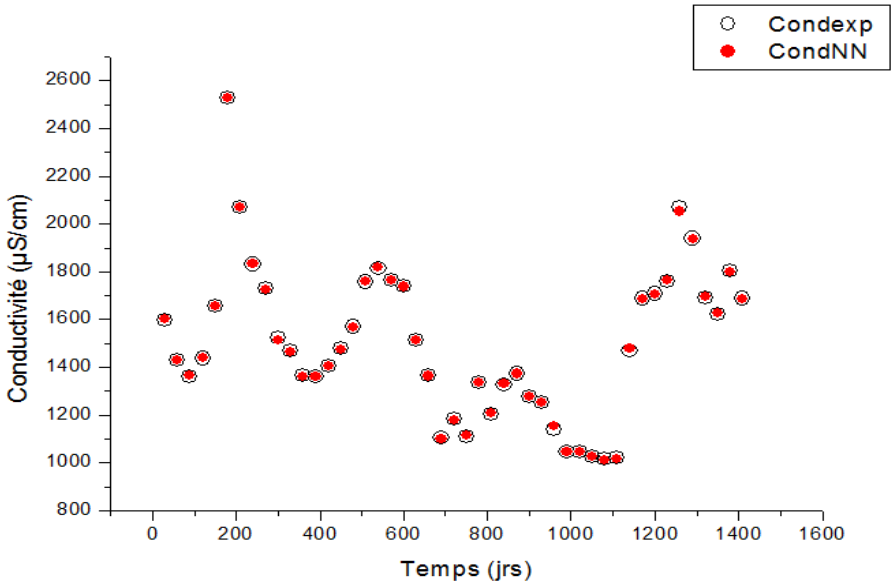


Figure V.8. Validation des valeurs expérimentales et des valeurs prédites par RNA de la conductivité.

Le tableau V.6. présente les erreurs relatives absolues moyennes et les coefficients de régression de la conductivité pour les phases d'apprentissage, validation et de test du RNSO pour la plage de la conductivité.

Tableau V.6. Les erreurs relatives absolues moyennes et les coefficients de régression de la conductivité de la phase d'apprentissage, validation et de test du RNSO.

	Conductivité (µS/cm)			
	Apprentissage	**Validation**	**Test**	**Total**
EAM (µS/cm)	2.32956	5.71823	8.73690	3.37160
Max (EA)	7.35210	13.48040	16.13210	16.13210
REQM (µS/cm)	0.49367	3.18080	4.53210	0.70570
Max (REQ)	3.00260	7.11240	10.13420	10.13420
R	0.99995	0.99909	0.99934	0.99989

La conductivité des eaux de barrage a été précisément prédite par les RNA avec un coefficient de régression de 0.9998 et une erreur absolue moyenne de 3.37 (µS/cm) et une valeur de la racine quadratique moyenne de 0.70 (µS/cm) ou l'erreur absolue ne dépasse pas 16.13 (µS/cm) au maximum.

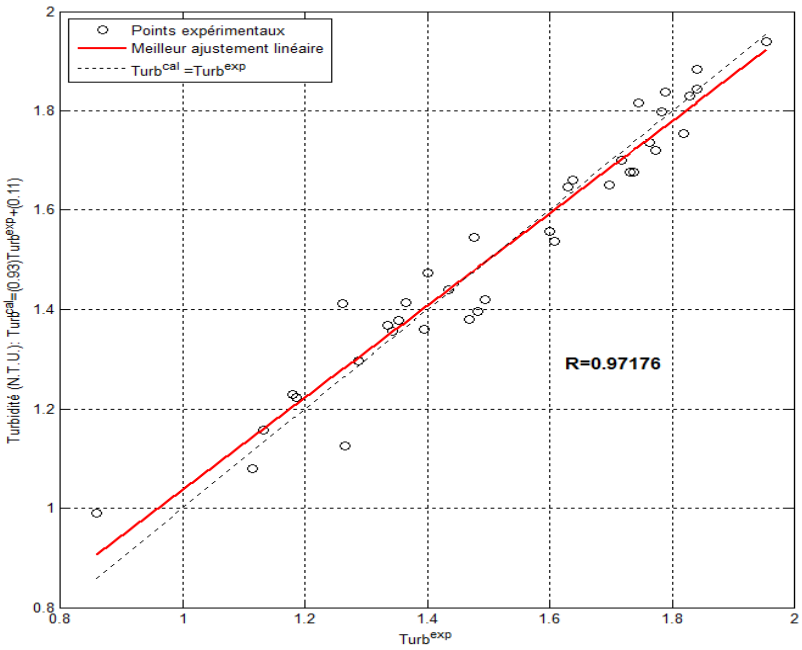
V.4.4. La turbidité

La topologie du réseau de neurones statique optimal (RNSO) obtenu pour la turbidité est représentée dans Le tableau V.7.

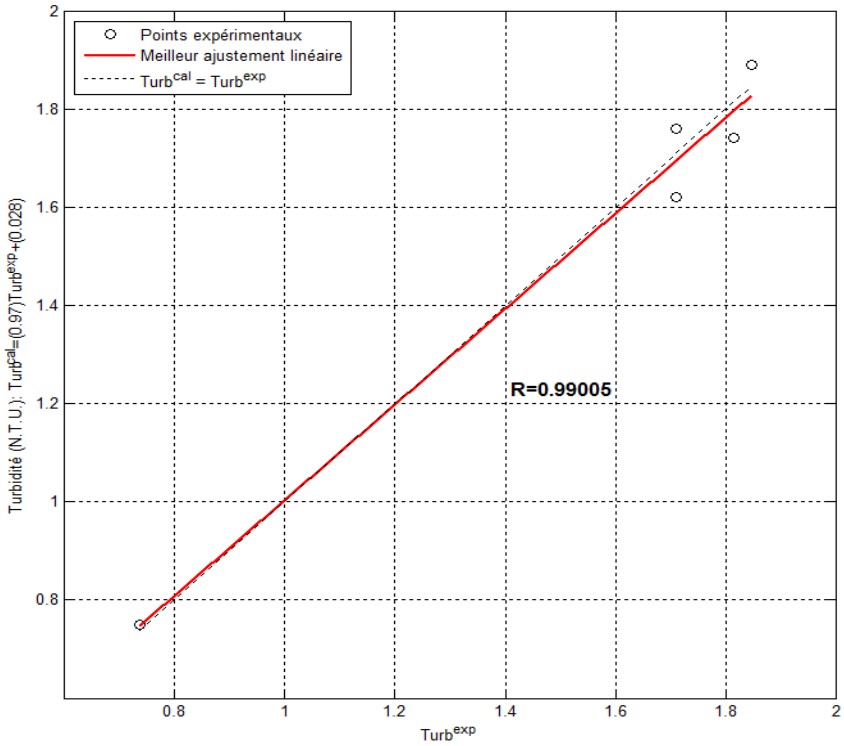
Tableau V.7. Topologie du RNSO pour la turbidité

Couche d'entrée	**Couche cachée**		**Couche de sortie**		**Algorithme d'apprentissage**
Nombre de neurones	**Nombre de neurones**	**Fonction d'activation**	**Nombre de neurones**	**Fonction d'activation**	
6	8	Tangente Sigmoïde «tansig»	1	Identité «purelin»	Levenberg-Marquardt LM

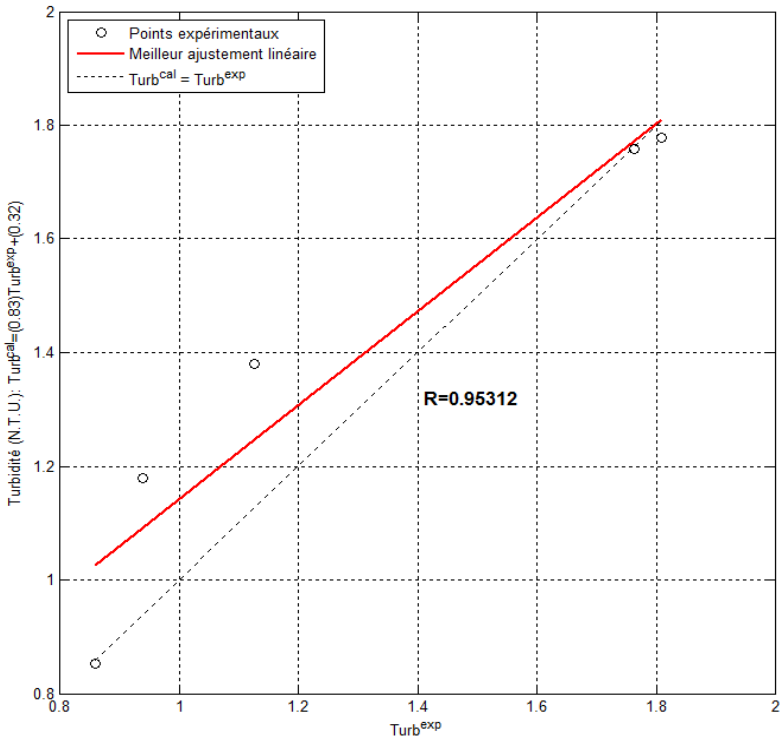
La figure V.9. présente les trois termes d'apprentissage **(a)**, de validation **(b)**, de test **(c)**, **(d)** et un terme qui récapitule le réseau des neurones optimal pour La validation des valeurs prédites par le réseau de neurones artificiel avec les valeurs expérimentales pour la turbidité.



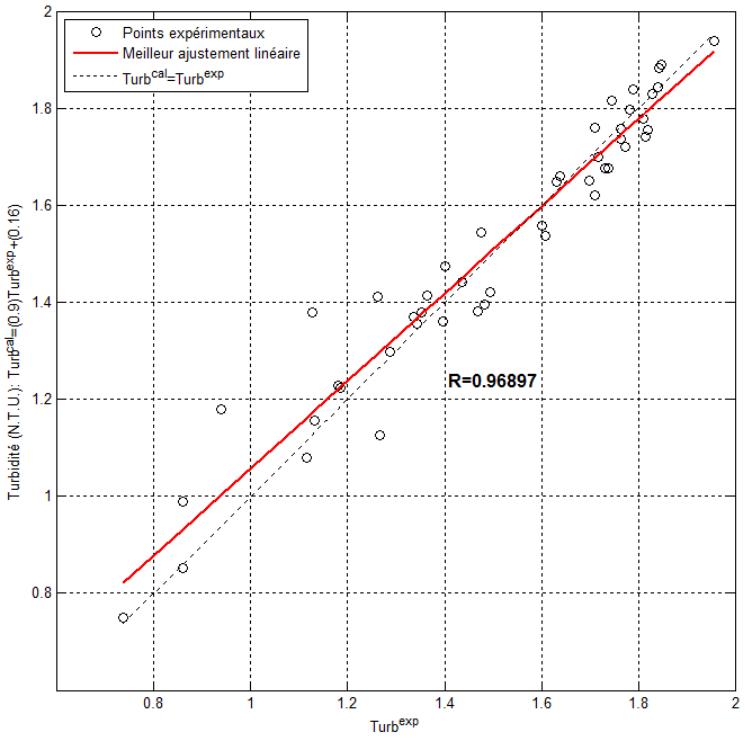
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure V.9. Validation des valeurs prédites par RNA avec les valeurs expérimentales pour la turbidité:

(a) Apprentissage, **(b)** Validation, **(c)** Test, **(d)** Réseau des neurones optimal

La figure V.10. présente la validation des valeurs prédites par RNAO avec les valeurs expérimentales pour toute la plage de la turbidité.

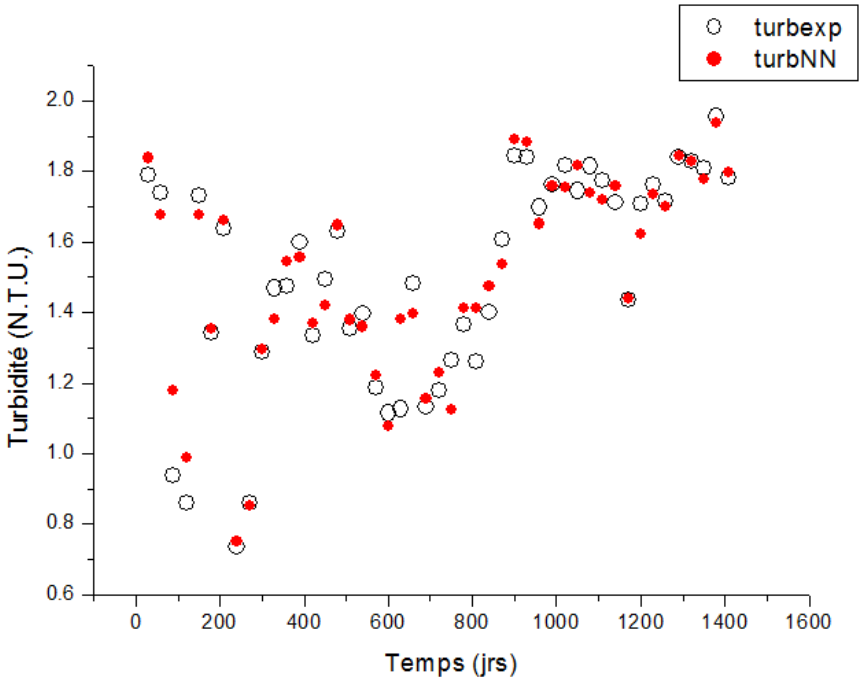


Figure V.10. Validation des valeurs expérimentales et des valeurs prédites par RNA de la turbidité

Le tableau V.8. présente les erreurs relatives absolues moyennes et les coefficients de régression de la turbidité des phases d'apprentissage, validation et de test du RNSO pour la plage du turbidité.

Tableau V.8. Les erreurs relatives absolues moyennes et les coefficients de régression de la turbidité de la phase d'apprentissage, validation et de test du RNSO.

	Turbidité (N.T.U.)			
	Apprentissage	**Validation**	**Test**	**Total**
EAM (N.T.U.)	0.04889	0.05378	0.10723	0.05556
Max (EA)	0.14967	0.08845	0.25354	0.25356
REQM (N.T.U.)	0.01001	0.02678	0.07012	0.01123
Max (REQ)	0.06056	0.05989	0.15689	0.15689
R	0.97176	0.99005	0.95312	0.96897

Avec un coefficient de régression de 96% on peut affirmer que le RNAO a été capable de prédire des valeurs de turbidité très proche de celles obtenues expérimentalement, avec une valeur d'erreur maximale de 0.25354 et une erreur quadratique maximale de 0.15689.

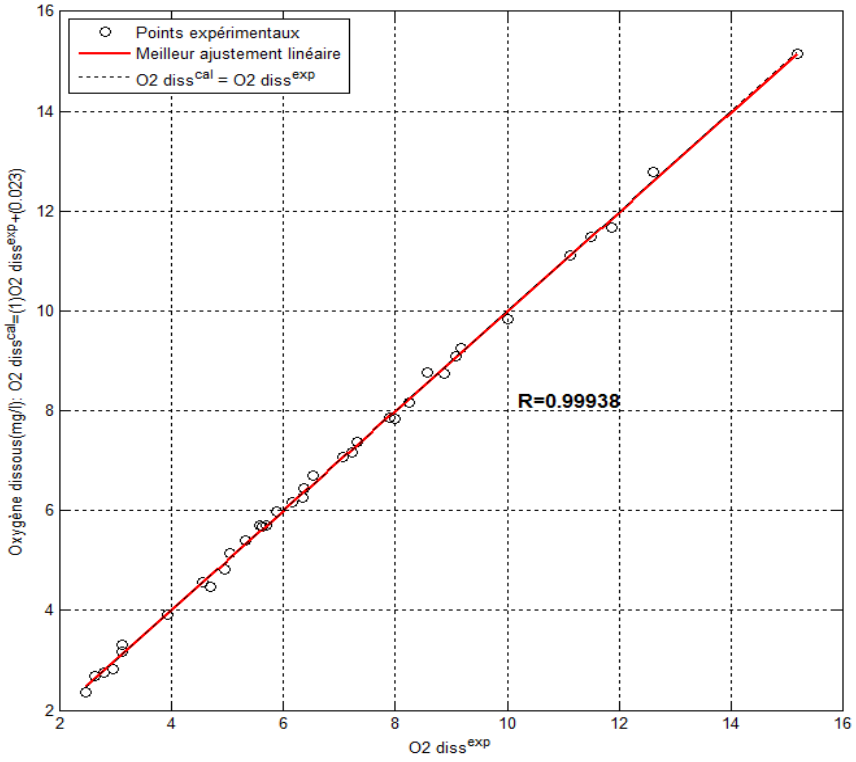
V.4.5.L'oxygène dissout

Le tableau V.9. représente la topologie du réseau de neurones statique optimal (RNSO) dans le cas de l'oxygène dissout.

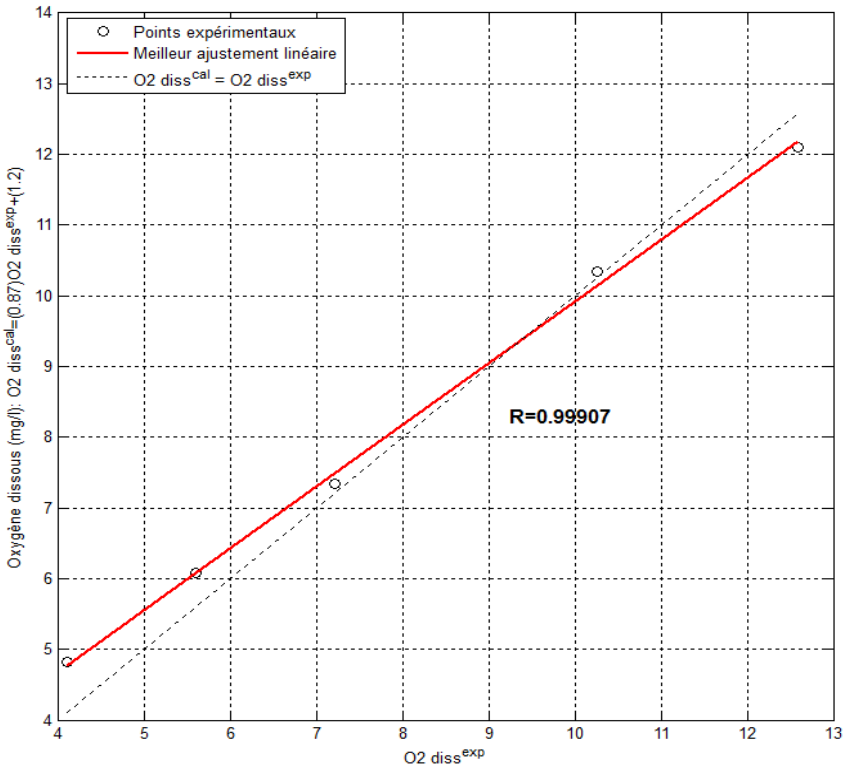
Tableau V.9. Topologie du RNSO pour l'oxygène dissout

Couche d'entrée	**Couche cachée**		**Couche de sortie**		**Algorithme d'apprentissage**
Nombre de neurones	**Nombre de neurones**	**Fonction d'activation**	**Nombre de neurones**	**Fonction d'activation**	
6	3	Tangente Sigmoïde «tansig»	1	Identité «purelin»	Levenberg-Marquardt LM

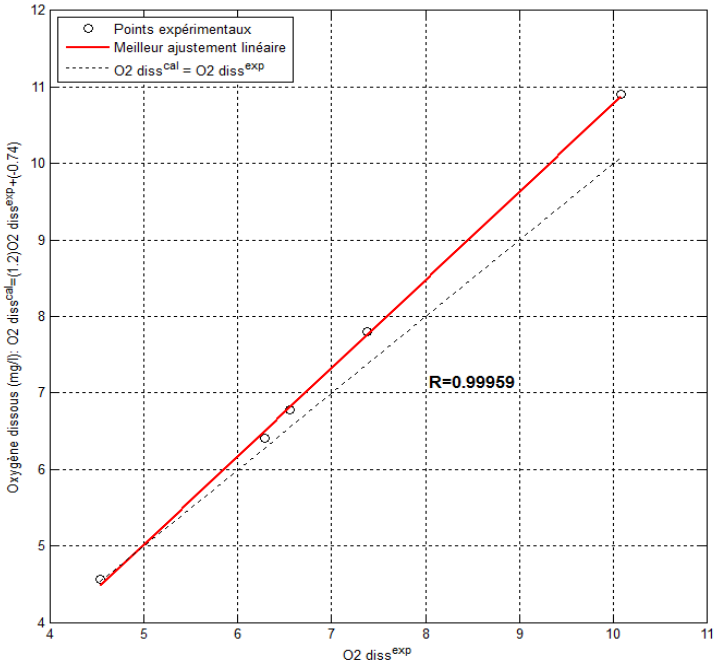
Les termes d'apprentissage **(a)**, de validation **(b)**, de test **(c)**, et du réseau des neurones optimal**(d),** illustrées dans la figure V.11. , sont utilisées par le réseau de neurones artificiel pour une prédiction des valeurs de l'oxygène dissout et une linéarisation entre les valeurs prédites et expérimentales.


Points expérimentaux
Meilleur ajustement linéaire
O2 diss^cal = O2 diss^exp
R=0.99938
Oxygène dissous(mg/l): O2 diss^cal=(1)O2 diss^exp+(0.023)
O2 diss^exp

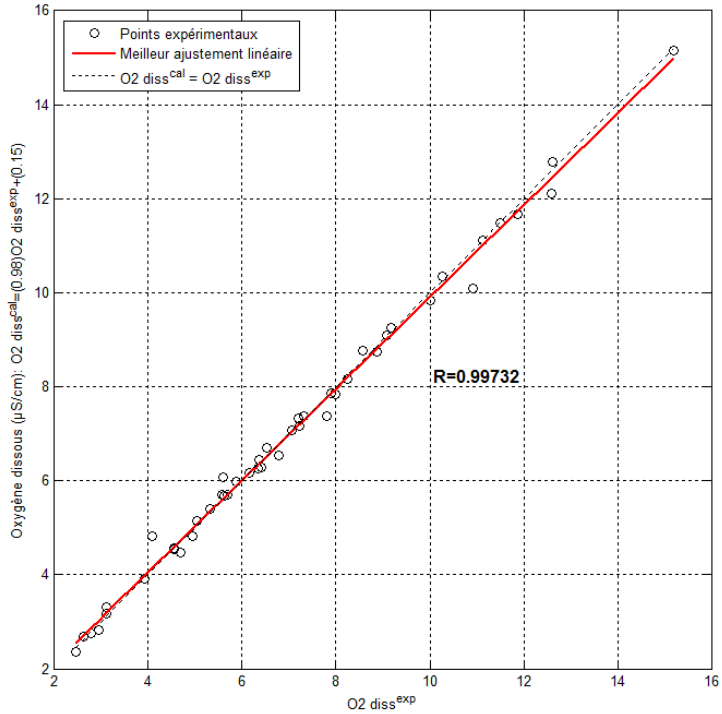
(a)


Points expérimentaux
Meilleur ajustement linéaire
O2 diss^cal = O2 diss^exp
R=0.99907
Oxygène dissous (mg/l): O2 diss^cal=(0.87)O2 diss^exp+(1.2)
O2 diss^exp

(b)



(c)



(d)

Figure V.11. Validation des valeurs prédites par RNA avec les valeurs expérimentales pour l'oxygène dissout:

(a) Apprentissage, **(b)** Validation, **(c)** Test, **(d)** Réseau des neurones optimal

La figure V.12. illustre la validation des valeurs prédites par RNAO avec les valeurs expérimentales pour toute la plage de l'oxygène dissout.

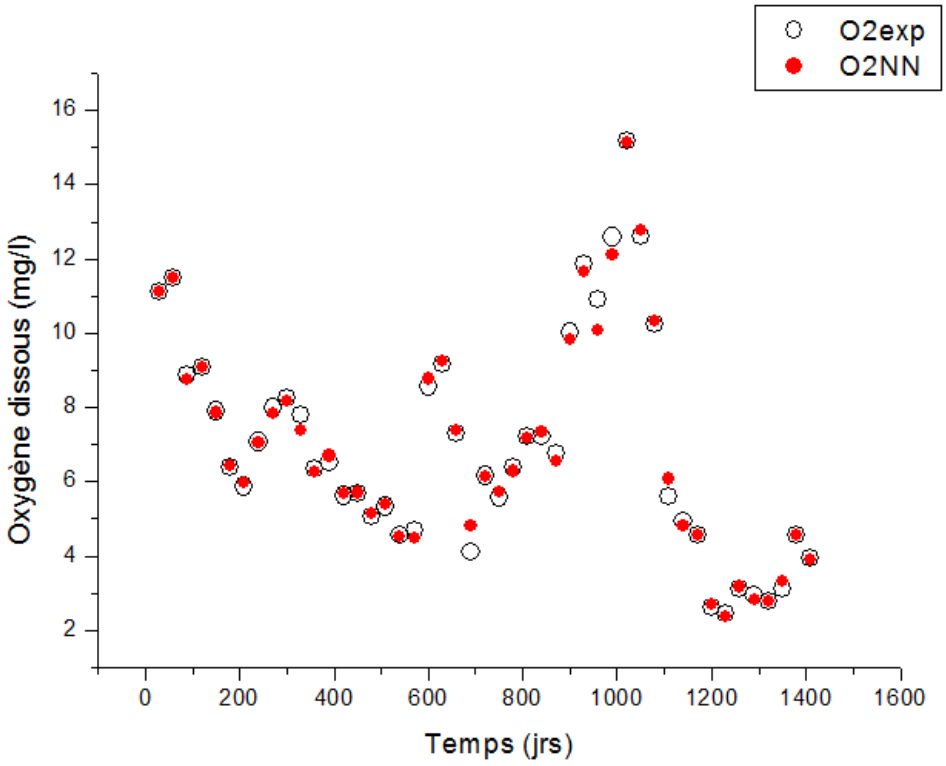


Figure V.12. Validation des valeurs expérimentales et des valeurs prédites par RNA de l'oxygène dissout

Le tableau V.10. présente les erreurs relatives absolues moyennes et les coefficients de régression de l'oxygène dissout des phases d'apprentissage, validation et de test du RNSO pour la plage du oxygène dissout.

Tableau V.10. Les erreurs relatives absolues moyennes et les coefficients de régression de l'oxygène dissout de la phase d'apprentissage, validation et de test du RNSO.

	Oxygène dissout (mgO_2/l)			
	Apprentissage	**Validation**	**Test**	**Total**
EAM (mgO_2/l)	0.08589	0.37745	0.32634	0.14245
Max (EA)	0.22589	0.71356	0.83201	0.83201
REQM (mgO_2/l)	0.01756	0.19967	0.19378	0.03267
Max (REQ)	0.10656	0.44645	0.43312	0.44645
R	0.99937	0.99906	0.99958	0.99732

Le RNAO de trois neurones de couche cachée prédit avec un coefficient de régression de 99.73% les valeurs d'oxygène dissout des eaux du barrage après le processus du traitement.

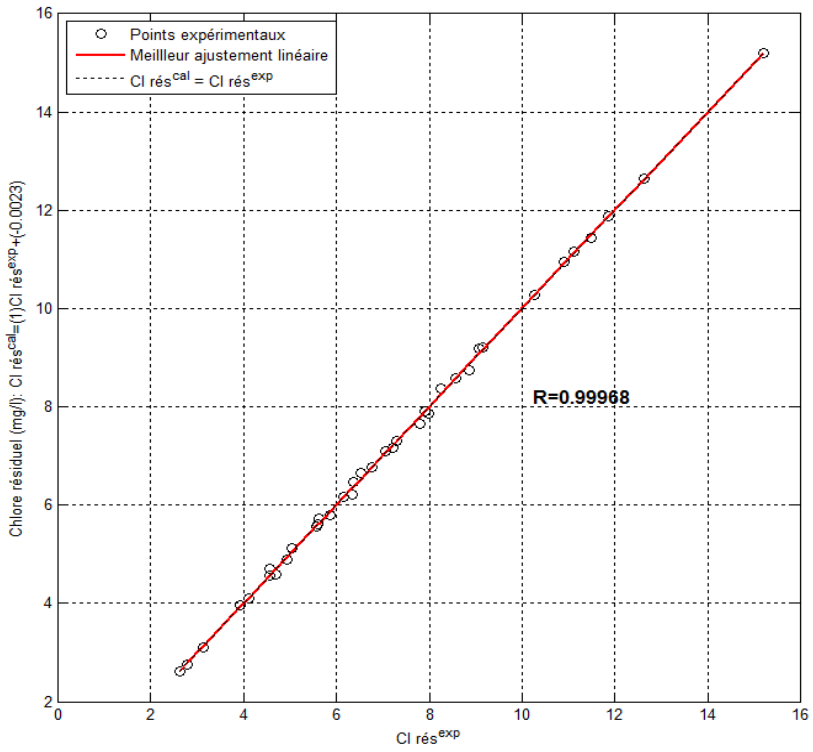
V.4.6. Chlore résiduel

La topologie du réseau de neurones statique optimal (RNSO) obtenu pour la conductivité est représentée dans Le tableau V.11.

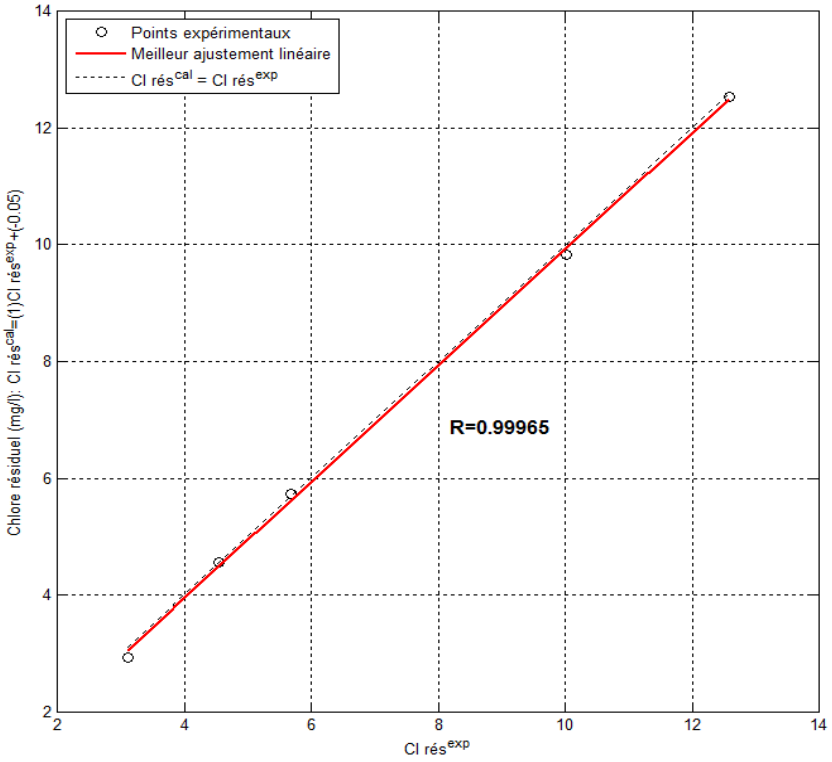
Tableau V.11. Topologie du RNSO pour le chlore résiduel

Couche d'entrée	**Couche cachée**		**Couche de sortie**		**Algorithme d'apprentissage**
Nombre de neurones	**Nombre de neurones**	**Fonction d'activation**	**Nombre de neurones**	**Fonction d'activation**	
6	6	Tangente Sigmoïde «tansig»	1	Identité «purelin»	Levenberg-Marquardt LM

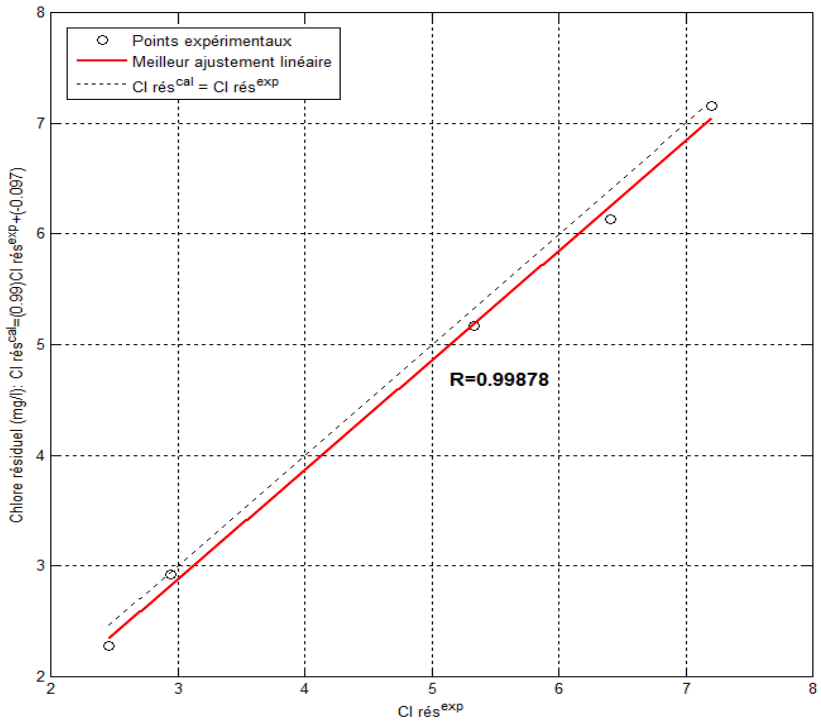
Les termes d'apprentissage **(a)**, de validation **(b)**, **(c)** de test, **(d)** et du réseau des neurones optimal pour La validation des valeurs prédites par le réseau de neurones artificiel avec les valeurs expérimentales pour le chlore résiduel sont illustrés dans la figure V.13.



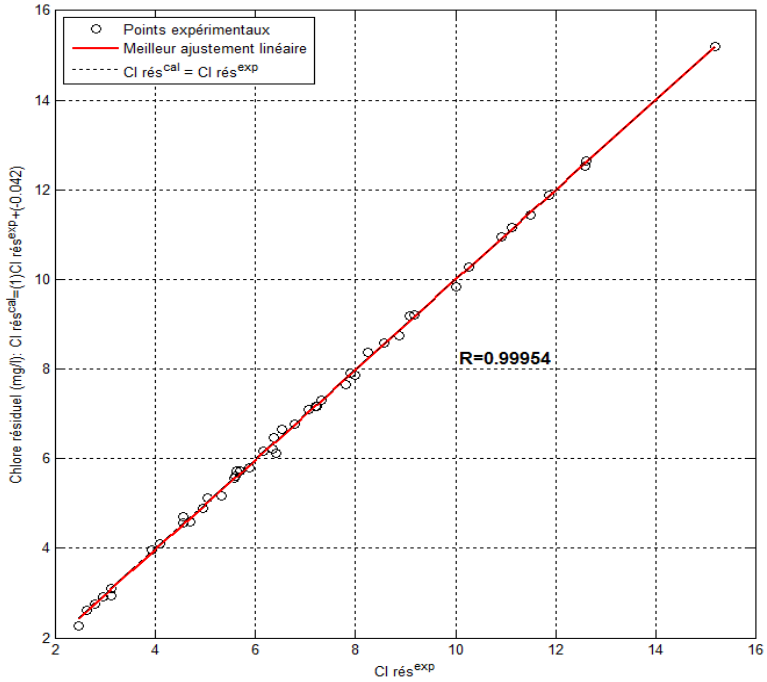
(a)


Points expérimentaux
Meilleur ajustement linéaire
Cl rés^{cal} = Cl rés^{exp}
R=0.99965
Chlore résiduel (mg/l): Cl rés^{cal}=(1)Cl rés^{exp}+(-0.05)
Cl rés^{exp}

(b)


Points expérimentaux
Meilleur ajustement linéaire
Cl rés^{cal} = Cl rés^{exp}
R=0.99878
Chlore résiduel (mg/l): Cl rés^{cal}=(0.99)Cl rés^{exp}+(-0.097)
Cl rés^{exp}

(c)



(d)

Figure V.13. Validation des valeurs prédites par RNA avec les valeurs expérimentales pour le chlore résiduel:

(a) Apprentissage, **(b)** Validation, **(c)** Test, **(d)** Réseau des neurones optimal

La figure V.14. présente la validation des valeurs prédites par RNAO avec les valeurs expérimentales pour toute la plage du chlore résiduel.

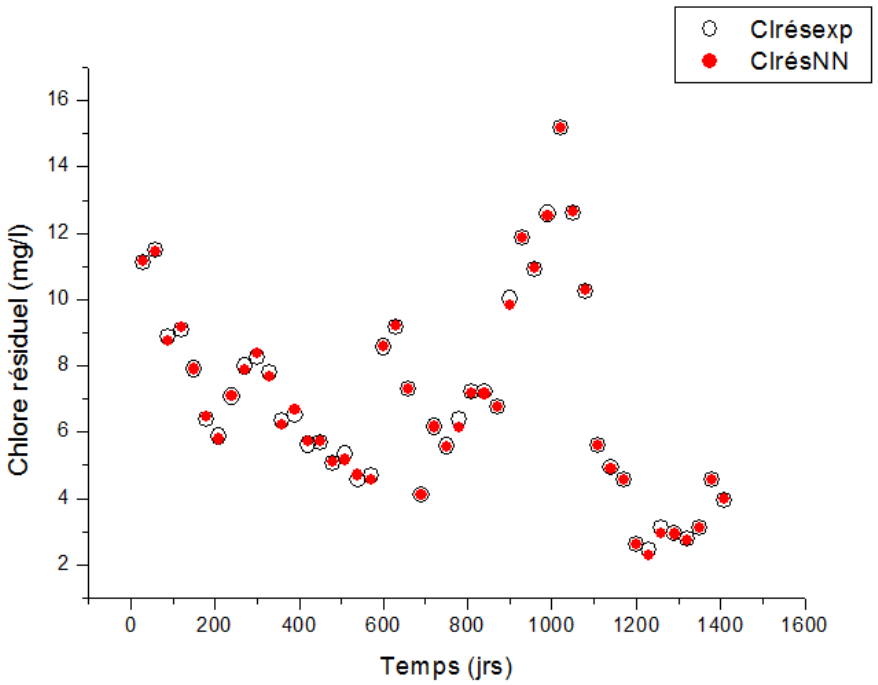


Figure V.14. Validation des valeurs expérimentales et des valeurs prédites par RNA du chlore résiduel

Le tableau V.12. présente les erreurs relatives absolues moyennes et les coefficients de régression de la chlore résiduel des phases d'apprentissage, validation et de test du RNSO pour la plage du chlore résiduel.

Tableau V.12. Les erreurs relatives absolues moyennes et les coefficients de régression du chlore résiduel de la phase d'apprentissage, validation et de test du RNSO

	Chlore résiduel (mg/l)			
	Apprentissage	**Validation**	**Test**	**RNO**
EAM (mg/l)	0.05534	0.09478	0.13823	0.06834
Max (EA)	0.14645	0.17901	0.27456	0.27456
REQM (mg/l)	0.01198	0.05278	0.07467	0.01356
Max (REQ)	0.07276	0.11789	0.16689	0.16689
R	0.99968	0.99964	0.99877	0.99954

Conclusion

Dans ce chapitre, une modélisation des paramètres physico-chimiques des eaux du barrage du Ghrib a été développée par les réseaux neurones artificiels.

Les topologies, les coefficients de régression et les différentes erreurs des réseaux de neurones optimaux conçus pour les paramètres étudiés sont mentionnés comme suit :

- Le pH : ((6, 6,1) : R= 0,9931 ; EAM=0.00478; REQM=0.01690) ;
- La température ((6, 6,1) : R=0,9998 ; EAM=0.06156; REQM=0.01290) ;
- La conductivité ((6, 5,1) : R= 0,9998 ; EAM=3.37160;REQM=0.70570) ;
- L'oxygène dissout ((6, 3,1) : R= 0,9973 ; EAM=0.14245;REQM= 0.03267) ;
- Le chlore résiduel ((6, 6,1) : R= 0,9995 ; EAM=0.06834;REQM= 0.06834) ;
- La turbidité ((6, 8 ,1) : R= 0,9989 ; EAM= 0.05556;REQM= 0.01123).

La comparaison effectuée entre les valeurs prédites par les RNA et ceux obtenus expérimentalement confirme que les RNA permettent la prédiction et la modélisation des valeurs des paramètres physico-chimiques des eaux du barrage du Ghrib.

Conclusion générale

Ce travail consiste en une modélisation par réseaux de neurones des paramètres physico-chimiques des eaux du barrage de Ghrib pour l'utiliser par la suite comme approche pour le contrôle des données en aval et en amont de la filiale de traitement .

Cette approche a été développée par un programme sur MATLAB et ceci en deux étapes distinctes, la première consiste en une collecte massive de données sur terrain pour une élaboration d'une base de données constituée de (5) cinq paramètres en input et (6) six en output et son optimisation pour aboutir à l'architecture des réseaux de neurones statiques optimaux (RNSO). Ensuite la deuxième étape où la mise en œuvre de l'architecture du réseau de neurone optimisé obtenue est testée et généralisée.

La topologie, l'EAM, et le coefficient de régression (R) des six réseaux neurones optimaux élaborés sont représentés comme suit :

- [6-(6)-1] pour la température : 1 neurone dans la couche d'entrée, 6 neurones dans la couche cachée et 1 neurone dans la couche de sortie avec une EAM = 0.06156 °C et R = 0.99987.
- [6-(6)-1] pour le *pH :* 1 neurone dans la couche d'entrée, 6 neurones dans la couche cachée et 1 neurone dans la couche de sortie avec une EAM = 0.01690 et R = 0.99316.
- [6-(5)-1] pour le Conductivité: 1 neurone dans la couche d'entrée, 5 neurones dans la couche cachée et 1 neurone dans la couche de sortie avec une EAM =3.37160 µS/cm et R = 0.99989.
- [6-(8)-1] pour le Turbidité: 1 neurone dans la couche d'entrée, 8 neurones dans la couche cachée et 1 neurone dans la couche de sortie avec une EAM = 0.05556 NTU et R = 0.96897.
- [6-(3)-1] pour le l'Oxygène dissout: 1 neurone dans la couche d'entrée, 3 neurones dans la couche cachée et 1 neurone dans la couche de sortie avec une EAM = 0.14245 mg O_2/l et R = 0.99732.
- [6-(6)-1] pour le Chlore résiduel: 1 neurone dans la couche d'entrée, 6 neurones dans la couche cachée et 1 neurone dans la couche de sortie avec une EAM = 0.06834 mg/l et R = 0.99954.

En plus, on peut dire que :

- La modélisation par réseau de neurones artificiels est une approche basée sur les données tirées de l'expérience, donc la qualité des données est tranchante quant à la précision et la robustesse du model.
- Les réseaux de neurones artificiels fonctionnent comme une boite noire qui fiabilise la modélisation et la simulation.
- Les réseaux de neurones artificiels permettent de développer une approche pour prédire une traçabilité entre les données en aval et en amont de la filiale de traitement des eaux.

Suivant ces conclusion ; le but principal de ce travail est d'adopter le système de réseau de neurones statique optimal dans une filiale de contrôle des eaux à potabiliser et d'élargir la base de données du traitement des eaux pour tester l'extrapolation sur d'autre paramètres de contrôle.

En premier lieu, une présentation du barrage et la station de traitement de ses eaux nous a donné une pré-idée sur la qualité des eaux et les procèdes de contrôle. Ensuite, la modélisation nous a proposé un moyen de fiabiliser et de gérer les paramètres des eaux en input et output en toutes conditions et par respect des normes. Les réseaux de neurones sont une méthode de traitement collectif des données qui procède par étapes pour une meilleure gestion des données et un traitement plus simple, de période plus courte et ainsi de rendement scientifique et économique plus intéressant. La modélisation a fait une linéarisation entre les valeurs expérimentales et prédites par les réseaux de neurones optimaux pour la liste des paramètres modélisés.

Avec les résultats précédents, on peut conclure que la modélisation par réseau de neurones artificiels est assez fiable pour contrôler des données d'une chaine de traitement des eaux en aval et en amont.

Annexe

Cette annexe renferme les différents graphes des paramètres biologiques, une représentation des données biologiques des eaux brutes et traitées de l'étape III, filiale de Médéa de l'année 2009.

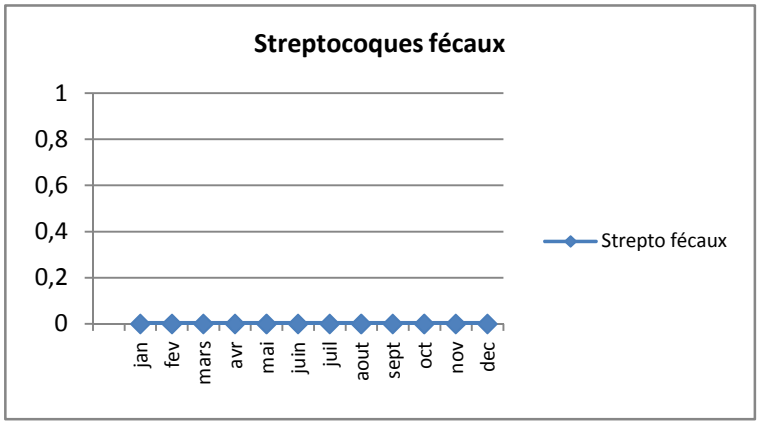


Figure A.I. Graphe de streptocoques fécaux de l'eau traitée de Médéa 2009.

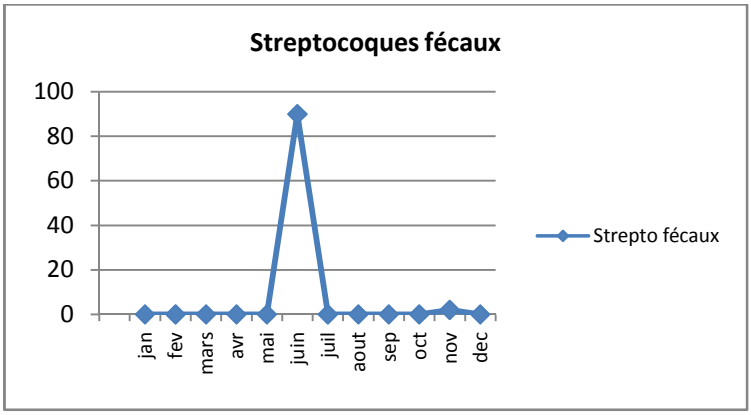


Figure A.II. Graphe de streptocoques fécaux de l'eau brute 2009.

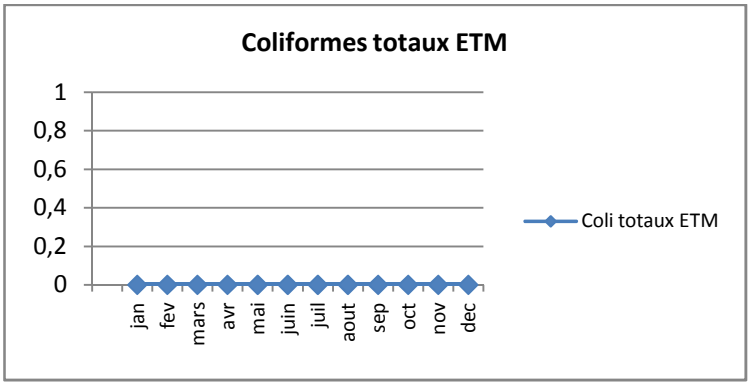


Figure A.III. Graphe de Coliformes totaux de l'eau traitée 2009.

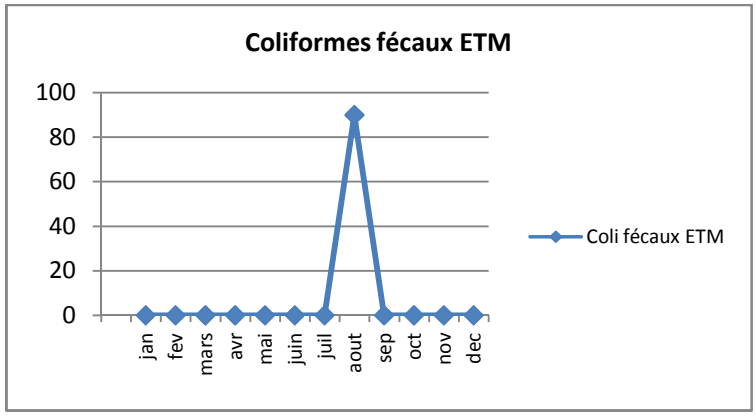


Figure A.VI. Graphe de coliformes fécaux de l'eau traitée de Médéa 2009.

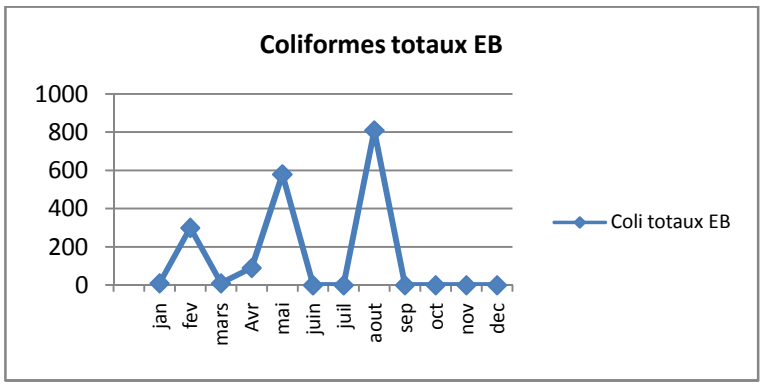


Figure A.V. Graphe de coliformes totaux de l'eau brute de Médéa 2009.

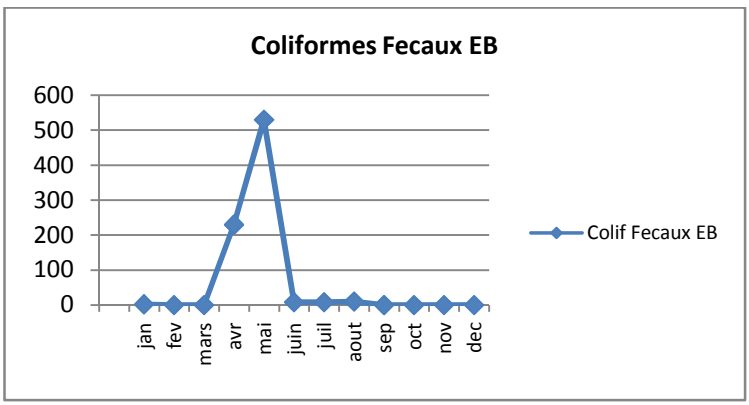


Figure A.VI. Graphe des coliformes fécaux de l'eau brute 2009.

Les histogrammes suivants illustrent des valeurs des moyennes biologiques et du chlore résiduel dans l'eau brute et traitée de Médéa.

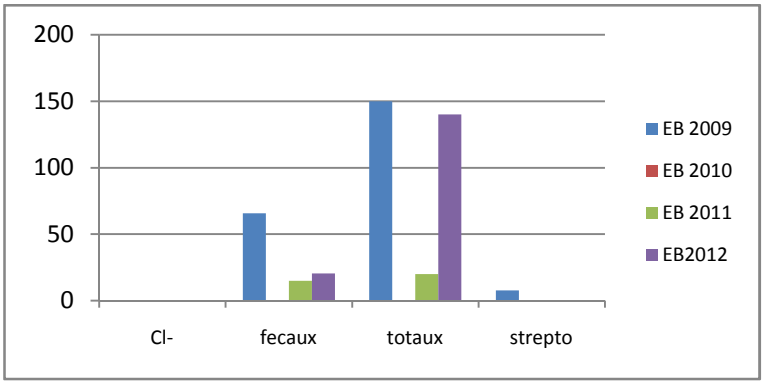


Figure A.V. Moyenne annuelle des paramètres biologiques et le chlore résiduel dans l'eau brute.

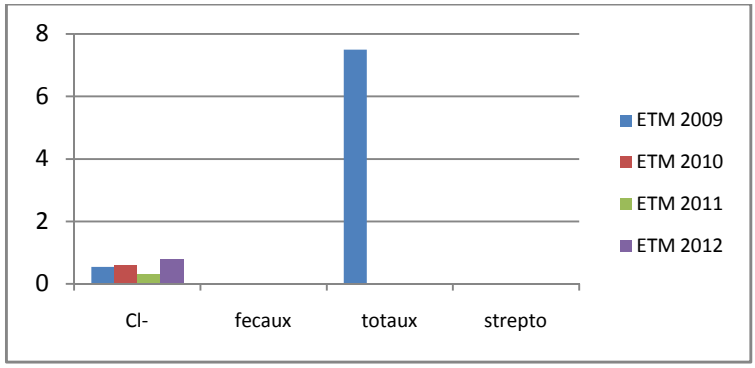


Figure A.VI. Moyenne annuelle des paramètres biologiques et le chlore résiduel dans l'eau traitée EIII Médéa.

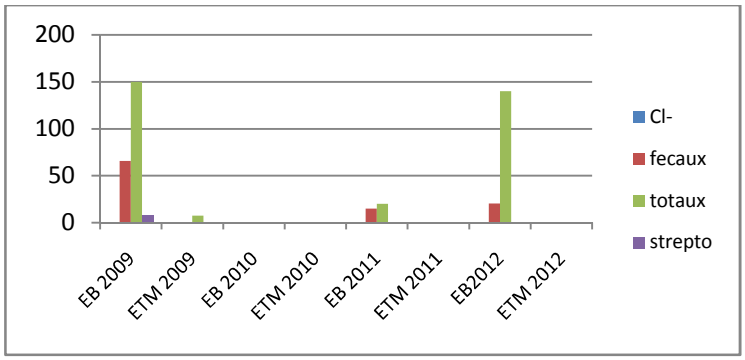


Figure A.VII. Moyenne annuelle des paramètres biologiques et le chlore résiduel dans l'eau brute et traitée par année.

1. http://www.gov.mb.ca/waterstewardship/odw/public-info/fact_sheets/pdf/fr/factsheet_turbidity_fr.pdf (Consulté le 12/03/2013).
2. http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/magnesium/index-fra.php (Consulté le 13/03/2013).
3. http://eprint.insa-toulouse.fr/archive/00000111/ (Consulté le 26/03/2013).
4. http://www.univ-biskra.dz/lab/Larhyss/index.php?option=com_content&view=article&id=52&Itemid=50 (Consulté le 01/04/2013).
5. http://eprint.insa-toulouse.fr/archive/00000111/ (Consulté le 01/04/2013).
6. http://www.univbiskra.dz/lab/Larhyss/index.php?option=com_content&view=article&id=52&Itemid=5 (Consulté le 01/04/2013).
7. nijotech.draxarts.com/index.php/nijotech/.../107(Consulté le 07/04/2013).
8. http://www.isca.in/rjrs/archive/special_issue2012/10.ISCA-ISC-2012-8EVS-40.pdf (Consulté le 10/04/2013).
9. http://www.nrcresearchpress.com (Consulté le 10/04/2013).
10. http://www.envirobiotechjournals.com (Consulté le 12/04/2013).
11. http://onlinelibrary.wiley.com (Consulté le 12/04/2013).
12. http://www.nrcresearchpress.com (Consulté le 23/05/2013).
13. http://www.google.dz/images (Consulté le 24/05/2013).
14. http://green-lodge-riviera.e-monsite.com/pages/concept-de l'ecolodge-green-lodge-riviera.html (Consulté le 24/05/2013).
15. http://www.feralco.com/FR/FR/page9-coagulation-floculation.php (Consulté le 26/05/2013).
16. http://concours-stendhal.pagesperso-orange.fr/Traitement_et_irrigation.html) (Consulté le 27/05/2013).
17. http://traitementdeseaux.fr/techniques-traitement/floculation (Consulté le 27/05/2013).
18. http://www.acheter-piscine.com/entretien-piscine/comparatif-des-produits-desinfectants/ (Consulté le 29/05/2013).
19. http://aventure.blogs.liberation.fr/eautour_du_monde/2007/10/quand-leau-pota.html (Consulté le 01/06/2013).
20. http://www.lenntech.fr/francais/eaux-souterraines/proprietes.htm (Consulté le 02/06/2013).
21. http://www.gov.ns.ca (Consulté le 02/06/2013).
22. http://www.inspq.qc.ca (Consulté le 02/06/2013).

23. BEAUDRY J-P. Traitement des eaux, Ed. Le Griffon d'argile INC, Canada, (1984).

24. BOUCHER M. Modélisation hydrologique probabiliste par réseaux de neurones, mémoire pour diplôme de maitre des sciences, l'université Laval, Canada, (2006).

25. CARDOT C. Procédés physico-chimiques et biologiques, maison Ellipse, France, (1999).

26. CHERBI M. Contribution à l'étude des populations zooplantoniques de trois lacs : Hamiz, Ghrib et Boughezoul, thèse de doctorat, université d'Alger, (1984).

27. Coulibaly, P., Anctil, F. et Bobbée, B. Prévisions hydrologiques par réseaux de neurones artificiels : état de l'art, Revue Canadienne de Génie Civil, 26, 293-304. (1999).

28. DEGREMENT Mémento technique de l'eau**,** 9e édition, Rueil-Malmaison 1989, France.

29. DJEZZAR S. Optimisation du traitement des eaux du barrage Ghrib par coagulation améliorée mémoire de master, université de Médéa, Algérie, (2012).

30. Douak F. Reconstruction des images compressées en utilisant les réseaux de neurones artificiels, mémoire de magister université de Batna. ,(2008)

31. Dreyfus G. Martinez Samuelides Gordon Badran Thiria et Herault(2002) **reseaux de neurons** , Methodologie et applications *Eyrolles*

32. Éric Hervet Réseaux neurones, Université de Moncton Moncton, CANADA (2009)

33. FILION M. Modélisation de la qualité de l'eau et prévision des débits par la méthode des réseaux de neurones, mémoire pour diplôme de maitre des sciences, l'université Laval, Canada, (2007).

34. FRANCK R. Analyse des eaux aspects réglementaires et techniques, lycée de borda.

35. HERNANDEZ DE LEON H. Supervision et diagnostic des procédés de production d'eau potable, thèse de doctorat, Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes du CNRS, France, (2006).

36. Hinton Comparison of multilayer perceptron and radial basis function networks as tools for flood forcasting, Anaheim, CA, USA, (1989)**.**

37. INSTITUT NATIONAL DE SANTE PUBLIQUE du Québec, Santé Canada, (1992).

38. KETTAB A. Traitement des eaux "les eaux potable", O.P.U, Alger, (1992).

39. LAIDANI C. Méthodologie et modélisation des pertes de charges dans les systèmes hybride de séparation par réseaux de neurone, mémoire de magister, université de Médéa, Algérie, (2007).

40. Lippmann, R.P. An introduction to Computing with neural nets. IEEE Acoustics, Speech and signal Processing magazine, 4, 4-22. (1987).

41. LOUNASS A. Amélioration des procèdes de clarification des eaux de la station hamadi-kroma de Skikda, mémoire de magister, université de Skikda, (2009).

42. McCulloch et Pitt. A logical calculus for ideas immanent in nervous activity bulletin of mathematical biophysics 5155 133(1943).

43. PAGOTTO C. Etude de l'émission et le transfert dans les eaux et les sols des éléments trace métalliques et hydrocarbures en domaine routier, thèse de doctorat, université de Poitier, France, (1999).

44. PHILIPPO P, POMMERY J, THOMAS P. Evolution d' une eau de surface au cours des traitements de potabilisation ; comportement des espèces métalliques au contact des matières humiques, J.fr.Hydrobiol, (1981).

45. RODIER J-P L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mers, 7e édition, Dunod, Paris, (1984).

46. RODIER J-P L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mers, 8e édition, Dunod, Paris, (1996).

47. RONALAD V. Eau, Environnement et Santé Publique, 2èmeédition, EdTEC & DOC, (2003) Paris.

48. Rosenblatt F. The Perceptron : a probabilistic model for information storage and organization in the brain, Psychological Review, 65, 386-408. (1958).

49. Rumelhart D-E et Mcclelland J-I Parallel Distributed Processing Expolaration in the microstructure of cognition MIT press. Cambridge (MA) (1986) .

50.VALIRON F. Gestion des Eaux : alimentation en eau - assainissement, Presses de l'école Nationale des ponts et chaussées, Paris, (1989).

51.Yonaba H. Modélisation hydrologique hybride : Réseau de neurones –model conceptuel-, thèse de doctorat, l'université Laval, Canada, (2009).