

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

Année 2013

Faculté des Sciences de la Terre
Département de Géologie

THÈSE

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de
DOCTORAT ÈS SCIENCES

Développement Durable, Vers un Modèle de Gestion Intégrée
des Ressources en Eau dans le Bassin Versant de Saf-Saf,
Nord-Est Algérien

Option : Hydrogéologie



Par SAKAA Bachir

Ingénieur d'Etat et Magister en Hydrogéologie, Université Badji Mokhtar-Annaba

DIRECTEUR DE THÈSE : HANI Azzedine Professeur U.B.M., Annaba

CO-DIRECTEUR DE THÈSE : CHAFFAI Hicham Professeur U.B.M., Annaba

DEVANT LE JURY

PRÉSIDENT: DJABRI Larbi Professeur U.B.M., Annaba

EXAMINATEURS: ALAYAT Hacène Maître de Conférences A, Univ. El Tarf

BAALI Fethi Maître de Conférences A, Univ. Tébessa

FEHDI Chems Eddine Maître de Conférences A, Univ. Tébessa

TABLES DES MATIERES

Chapitre 1	Introduction	1
1.1	Le Contexte de la Gestion Intégrée des Ressources en Eau, Application dans le Bassin Versant de Saf-Saf	1
1.2	La problématique de la recherche	3
1.3	Les objectifs de la recherche	5
1.4	La méthodologie de la recherche	5
1.5	L'organisation de la thèse	6
Chapitre 2	Les revues de la littérature	8
2.1	Programmes et tendances internationales et régionales sur la Gestion Intégrées des Ressources en Eau	8
2.2	Développement Durable et Durabilité de la Ressource en Eau	11
2.3	Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE)	12
2.4	Principes de la Gestion Intégrée des Ressources en Eau	14
2.5	Développement et Validation des Indicateurs	16
2.5.1	Le Concept de l'Indicateur	16
2.5.2	Les Méthodologies utilisées pour développer les Indicateurs	17
2.5.3	Validation des Indicateurs	21
2.5.4	Les Indicateurs pour la Gestion des Ressources en Eau	22
2.6	Développement et Validation des modèles conceptuels	24
2.7	Les Outils de l'Intégration Environnementale à la Gestion des Ressources en Eau	25
2.7.1	L'Évaluation de l'Impact sur l'Environnement (ÉIE)	25
2.7.2	L'Évaluation Environnementale Stratégique (EES)	26
2.7.3	La Différence entre l'EES et l'EIE	27
2.7.4	Quelques Applications de l'ÉES dans la Politique des Ressources en Eau	28
Chapitre 3	La Description et la Validation du nouveau Modèle Conceptuel de la GIRE par bassin versant	30
3.1	Introduction	30
3.2	Cadre Théorique de Référence	30
3.3	Description des limites du Modèle DPSIR	31
3.4	La Validation du nouveau Modèle Conceptuel	36
3.4.1	La Validation par la Comparaison avec des Cas Étudiés	36
3.4.2	Analyse Critique de la Gestion de l'Eau en Algérie	40
Chapitre 4	L'Application du Nouveau Modèle Conceptuel de la GIRE dans le bassin versant de Saf-Saf	42
4.1	Introduction	42
4.2	Caractéristiques Générales de la Ressource en Eau	43
4.2.1	Les Potentialités de l'Eau	43
4.2.1.1	Les Eaux de Surfaces	43
4.2.1.2	Les Eaux Souterraines	44

4.2.1.3 Les Eaux non Conventionnelles	45
4.2.2 La Qualité de l'Eau	45
4.2.2.1 Faciès chimiques	45
4.2.2.2 Évolutions des Paramètres Physicochimiques des Eaux de la Nappe libre	46
4.3 Les Usagers de l'Eau	51
4.3.1 La Population	51
4.3.2 L'Industrie	52
4.3.3 L'Agriculture	53
4.3.4 L'État des Eaux Usées et Déchets	55
4.3.5 La Vulnérabilité des aquifères étudiés	56
4.4 La Description des Variables (Indicateurs)	58
4.5 Les Statistiques Descriptives des Variables Dépendantes et Indépendantes	64
Chapitre 5 Les Outils et le Plan d'Analyse	70
5.1 Le Plan d'Analyse	70
5.2 Les Outils d'Analyse	72
5.2.1 Les Réseaux de Neurones Artificiels (ANN)	72
5.2.2 Les Matrice de Corrélacion	78
5.2.3 Les Techniques d'Exploration Multivariée	79
5.2.4 L'Évaluation du Risque à la Santé Humaine	80
Chapitre 6 Analyses de Données : Résultats et Discussion	83
6.1 L'Analyse par les RNA et la Comparaison avec les Avis des Experts	83
6.1.1 Les variables de la Force motrice (Driving force)	83
6.1.2 Les variables de Pression	88
6.1.3 Les variables de l'État de la Qualité de l'Eau (State)	92
6.1.4 Les variables d'Impact	97
6.1.5 Les variables de Réponse	102
6.2 Les Matrices de Corrélacion	106
6.2.1 Les variables Forces motrices	107
6.2.2 Les variables de Pression	109
6.2.3 Les variables de l'état de la qualité de l'eau (State)	109
6.2.4 Les variables d'Impact	110
6.2.5 Les variables de Réponse	111
6.3 L'Analyse en Composantes Principales (ACP)	112
6.3.1 Les variables forces motrices D	112
6.3.2 Les variables de Pression	116
6.3.3 Les variables de l'état de la qualité de l'eau de surface (State)	120
6.3.4 Les variables d'Impact	122
6.3.5 Les variables de Réponse	125
6.4 L'Analyse des Facteurs (AF)	128

6.4.1 Les variables Forces motrices (Driving force)	128
6.4.2 Les variables de Pression	130
6.4.3 Les variables de l'état de la qualité de l'eau de surface (State)	132
6.4.4 Les variables d'Impact	132
6.4.5 Les variables de Réponse	134
6.5 L'Evaluation du Risque sur la Santé Humaine	135
Conclusion Générale & Recommandations	142
Références Bibliographiques	145

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1	La différence entre l'EES et l'EIE, d'après Partidário (2001).....	27
Tableau 3.1	Données de l'index proposé pour l'agriculture, l'urbanisation, le développement industriel, le tourisme, les loisirs et la protection de la nature, afin de décrire le modèle DPSIR	37
Tableau 4.1	Les unités industrielles dans le bassin versant Saf-Saf	54
Tableau 4.2	Les statistiques descriptives des variables dépendantes, la MRE et le TDS	66
Tableau 4.3	Les statistiques descriptives des variables Force motrice (D)	68
Tableau 4.4	Les statistiques descriptives des variables de Pression (P)	68
Tableau 4.5	Les statistiques descriptives des variables de l'État (S) de la qualité des eaux de surface	69
Tableau 4.6	Les statistiques descriptives des variables de d'Impact (I)	69
Tableau 4.7	Les statistiques descriptives des variables de Réponse (R)	69
Tableau 6.1	La SOSE pour les divers ANN des variables (D)	84
Tableau 6.2	Les Paramètres statistiques de Régression de la Sortie MRE	84
Tableau 6.3	L'Analyse de la Sensibilité de l'ANN des variables (D)	86
Tableau 6.4	Classement des variables Entrées de la force motrice D via les avis des experts.	87
Tableau 6.5	La SOSE pour les divers ANN des variables P	88
Tableau 6.6	Les Paramètres statistiques de Régression de la Sortie (TDS)	89
Tableau 6.7	L'Analyse de la Sensibilité de l'ANN des variables P	90
Tableau 6.8	Classement des variables Entrées de Pression via les avis des experts	91
Tableau 6.9	La SOSE pour les divers ANN des variables S	93
Tableau 6.10	Les paramètres statistiques de régression de la sortie TDS pour la catégorie S ..	93
Tableau 6.11	L'Analyse de la Sensibilité de l'ANN des variables S	95
Tableau 6.12	Classement des variables Entrées de la catégorie S via les avis des experts	96
Tableau 6.13	La SOSE pour les divers ANN des variables d'Impact	98
Tableau 6.14	Les Paramètres statistiques de Régression de la Sortie MRE pour la catégorie I.	98
Tableau 6.15	L'Analyse de la Sensibilité de l'ANN des variables I	100
Tableau 6.16	Classement des variables Entrées de la catégorie I via les avis des experts	100
Tableau 6.17	La SOSE pour les divers ANN des variables de Réponse	102
Tableau 6.18	Les Paramètres statistiques de Régression de la Sortie (MRE)	103
Tableau 6.19	L'Analyse de la Sensibilité de l'ANN des variables R	104
Tableau 6.20	Classement des variables Entrées de la catégorie R via les avis des experts	104
Tableau 6.21	La matrice de corrélation pour les variables forces motrices	108
Tableau 6.22	La matrice de corrélation pour les variables de Pression	109
Tableau 6.23	La matrice de corrélation pour les variables de la qualité de l'eau	110
Tableau 6.24	La matrice de corrélation pour les variables d'Impact	110
Tableau 6.25	La matrice de corrélation pour les variables de Réponse	111
Tableau 6.26	Les valeurs propres de la matrice de corrélation des variables D	113
Tableau 6.27	Les Corrélations Facteurs-variables (Catégorie D)	114
Tableau 6.28	Les valeurs propres de la matrice de corrélation des variables P	117

Tableau 6.29	Les Corrélations Facteurs-variables (Catégorie P)	118
Tableau 6.30	Les valeurs propres de la matrice de corrélation des variables S	121
Tableau 6.31	Les Corrélations Facteurs-variables (Catégorie S)	121
Tableau 6.32	Les valeurs propres de la matrice de corrélation des variables I	123
Tableau 6.33	Les Corrélations Facteurs-variables (Catégorie I)	124
Tableau 6.34	Les valeurs propres de la matrice de corrélation des variables R	127
Tableau 6.35	Les Corrélations Facteurs-variables (Catégorie R)	127
Tableau 6.36	Les Poids Factoriels (Varimax normalisé) (Catégorie D)	129
Tableau 6.37	Les Poids Factoriels (Varimax normalisé) (Catégorie P)	131
Tableau 6.38	Les Poids Factoriels (Varimax normalisé) (Catégorie S)	132
Tableau 6.39	Les Poids Factoriels (Varimax normalisé) (Catégorie I)	133
Tableau 6.40	Les Poids Factoriels (Varimax normalisé) (Catégorie R)	134
Tableau 6.41	L'indice de risque pour les enfants dans les eaux souterraines	136
Tableau 6.42	L'indice de risque pour les adultes dans les eaux souterraines	137
Tableau 6.43	L'indice de risque pour les enfants dans les eaux de surface	137
Tableau 6.44	L'indice de risque pour les adultes dans les eaux de surface	137

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1	Carte de situation géographique du bassin versant de l'oued Saf-Saf	2
Figure 1.2	La Problématique	4
Figure 1.3	L'Organigramme de la thèse	7
Figure 2.1	Les trois piliers du développement durable	11
Figure 2.2	Le modèle PSR pour développer les indicateurs (Source OECD)	18
Figure 2.3	Le modèle DPSIR pour développer les indicateurs (Source : Agence Européenne pour l'Environnement AEE et l'Évaluation Globale des Eaux Internationales GIWA, 2001)	21
Figure 3.1	La pyramide du DPSIR	33
Figure 3.2	Le diagramme des catégories du modèle conceptuel du DPSIR	34
Figure 3.3	Situation Géographique du de Kalamas (NW Grèce)	37
Figure 3.4	Les principales forces motrices affectant la ressource en eau à l'Afrique du Sud	40
Figure 3.5	Schéma de synthèse de la stratégie du secteur de l'eau	41
Figure 4.1	Le cycle de vie dans le cadre de la gestion des ressources en eau	44
Figure 4.2	Coupe Litho-stratigraphique dans la plaine de Skikda	45
Figure 4.3	Diagramme de Piper pour les eaux de la nappe superficielle (Aout 2005)	47
Figure 4.4	L'Évolution de la CE, du pH et Eh des Eaux de la Nappe Superficielle	48
Figure 4.5	L'Évolution du Ca^{2+} , le pH, du Ma^{2+} , du Na^+ et du K^+ des Eaux de la Nappe libre	50
Figure 4.6	L'Évolution du Ca^{2+} , le pH, du Ma^{2+} , du Na^+ et du K^+ des Eaux de la Nappe libre	51
Figure 4.7	L'Accroissance démographique dans le bassin versant (Source : DPAT)	53
Figure 4.8	Le Périmètre d'Irrigation de la Vallée de L'Oued Saf-Saf	55
Figure 4.9a	Les rejets des eaux usées domestiques	56
Figure 4.9b	rejet des eaux usées de la CTE	56
Figure 4.10a	La décharge de Zef-Zef	56
Figure 4.10b	Le centre d'enfouissement technique	56
Figure 4.11	Carte de Vulnérabilité de la plaine de Skikda	58
Figure 4.12a	Boîte de TUKY pour le TDS	66
Figure 4.12b	Boîte de TUKY pour la MRE	66
Figure 4.13a	Histogramme du TDS	67
Figure 4.13b	Histogramme de la MRE	67
Figure 5.1	Les Étapes de l'Analyse des Données	72
Figure 5.2	Calcul d'un état de neurone	74
Figure 5.3	L'Architecture d'un MLP à Trois Couches	75
Figure 6.1	Le réseau MLP à trois couches pour les variables de la catégorie D	85
Figure 6.2	La SOSE en fonction des nœuds cachés (Catégorie D)	86
Figure 6.3	La MRE observée en fonction de la MRE simulée	87
Figure 6.4	Graphique de l'Erreur à l'apprentissage et à la validation	87
Figure 6.5	Le réseau MLP à trois couches pour les variables de Pression	89

Figure 6.6	La SOSE en fonction des nœuds cachés (Catégorie P)	90
Figure 6.7	Le TDS observé en fonction du TDS simulé	91
Figure 6.8	Graphique de l'Erreur à l'apprentissage et à la validation	92
Figure 6.9	Le réseau MLP à trois couches pour les variables de la qualité de l'eau (S)	94
Figure 6.10	La SOSE en fonction des nœuds cachés (Catégorie S)	95
Figure 6.11	Le TDS observé en fonction du TDS simulé	96
Figure 6.12	Graphique de l'Erreur à l'apprentissage et à la validation	97
Figure 6.13	Le réseau MLP à trois couches pour les variables d'Impact (I)	99
Figure 6.14	La SOSE en fonction des nœuds cachés (Catégorie S)	100
Figure 6.15	Le TDS observé en fonction du TDS simulé	101
Figure 6.16	Graphique de l'Erreur à l'apprentissage et à la validation	101
Figure 6.17	Le réseau MLP à trois couches pour les variables de la catégorie R	103
Figure 6.18	La SOSE en fonction des nœuds cachés (Catégorie D)	104
Figure 6.19	La MRE observée en fonction de la MRE simulée	105
Figure 6.20	Graphique de l'Erreur à l'apprentissage et à la validation	105
Figure 6.21	Histogramme de l'Occupation du Sol	106
Figure 6.22	Histogramme log (Occupation du Sol)	106
Figure 6.23	Les valeurs propres de la matrice de corrélation pour les variables D	113
Fig. 6.24a,b	La projection des variables D sur les plans factoriels, a (1x2) et b (1x3)	115
Fig. 6.25a,b	La projection des municipalités sur les plans factoriels, a (1x2) et b (1x3)	116
Figure 6.26	Les valeurs propres de la matrice de corrélation pour les variables D.....	117
Fig. 6.27a,b	La projection des variables D sur les plans factoriels, a (1x2) et b (1x3)	118
Fig. 6.28a,b	La projection des municipalités sur les plans factoriels, a (1x2) et b (1x3)	119
Figure 6.29	Les valeurs propres de la matrice de corrélation pour les variables S.....	120
Figure 6.30	La projection des variables S sur le plan factoriel 1x2	122
Figure 6.31	La projection des municipalités S sur le plan factoriel 1x2	122
Figure 6.32	Les valeurs propres de la matrice de corrélation pour les variables I	123
Figure 6.33	La projection des variables I sur le plan factoriel 1x2	125
Figure 6.34	La projection des municipalités I sur le plan factoriel 1x2	125
Figure 6.35	Les valeurs propres de la matrice de corrélation pour les variables R	126
Figure 6.36	La projection des variables R sur le plan factoriel 1x3	128
Figure 6.37	La projection des municipalités R sur le plan factoriel 1x3	128
Figure 6.38	Projection des poids factoriels des variables D (Varimax normalisé)	130
Figure 6.39	Projection des poids factoriels des variables P (Varimax normalisé)	131
Figure 6.40	Projection des poids factoriels des variables I (Varimax normalisé)	133
Figure 6.41	Projection des poids factoriels des variables R (Varimax normalisé)	135
Figure 6.42	L'indice de risque pour les deux récepteurs	135
Figure 6.43	L'indice de risque pour toutes les voies d'expositions	135
Figure 6.44	L'indice de risque pour tous les métaux lourds	135

Résumé

L'eau est une ressource précieuse et limitée en particulier dans la région méditerranéenne. Atteindre à une gestion durable des ressources en eau est un objectif global commun dans cette région. Afin de gérer cette ressource il faut trouver un équilibre entre les besoins des personnes et la protection des ressources naturelles. La gestion durable des ressources en eau dans bassin versant de Saf-Saf comme une étude de cas est un problème complexe qui nécessite une nouvelle approche, si la gestion doit être fondée sur des données scientifiques pour l'optimisation et la conservation de cette ressource. La demande accrue d'eau due à la croissance démographique et économique, les besoins environnementaux, la détérioration de la qualité de l'eau et leur impact sur la santé publique et les écosystèmes sont autant des facteurs qui vont créer de graves problèmes d'eau.

Dans cette recherche, un nouveau modèle conceptuel de gestion intégrée de l'eau est proposé pour la gestion de l'eau sur la base de la relation de cause-effet. Le but de ce travail est de savoir comment établir les relations prévisibles à utiliser comme outils d'aide à la décision. Le (DPSIR) a été choisi comme un cadre bien établi pour développer les variables possibles en cinq catégories qui sont : les variables forces motrices, les variables de pression, variables de la qualité de l'eau, les variables d'impact et les variables réponse. Les variables efficaces ont été caractérisées et classifiées en utilisant une analyse multicritères avec les réseaux de neurones artificiels (ANN) et les avis des experts. Les variables retenues ont été classées et organisées en utilisant les techniques exploratoires multivariées (ACP et AF).

Mots Clés : GIRE ; bassin versant du Saf-Saf ; ressources en eau ; modèle DPSIR ; ANN; les avis des experts ; techniques exploratoires multivariées;

Abstract

Water is a precious and limited resource, especially in the Mediterranean region. Achieving sustainable water resources management is a common objective in this region. To manage this resource, it must find a balance between the needs of people and the protection of natural resources. Sustainable water resources management in Saf-Saf river basin as a case study is a complex problem which requires a new approach, if management should be based on scientific data for optimization and conservation of the resource. The increase of water demand due to population and economic growth, environmental needs, deteriorating water quality and their impact on public health and ecosystems are all factors that will create serious water problems.

In this research, a new conceptual water integrated model has been developed based on cause-effect relationship. The objective of this work is how to establish a predictable relationship as tools for decision support. The (DPSIR) was chosen as a well-established to develop the possible variables into five categories which are: driving forces variables, pressure variables, state variables, impact variables and response variables. The effective variables were characterized and classified using a multi-criteria analysis with artificial neural networks (ANN) and expert opinion. These variables were categorized and organized using exploratory multivariate techniques (PCA and FA).

Keywords: IWRM; Saf-Saf river basin; water resources; DPSIR model; ANN; experts opinions; multivariate analysis.

ملخص

الماء هو المورد الثمين والمحدود، وخاصة في منطقة البحر الأبيض المتوسط، تحقيق الإدارة المستدامة للموارد المائية هو الهدف المشترك في هذه المنطقة. لإدارة المورد، يجب إيجاد توازن بين احتياجات الناس وحماية الموارد الطبيعية. الإدارة المستدامة للموارد المائية في حوض الصفصاف هي مشكلة معقدة وتتطلب نهجا جديدا، إذ ينبغي أن تستند الإدارة على البيانات العلمية لتحسين والمحافظة على الموارد. زيادة الطلب على المياه بسبب النمو السكاني والاقتصادي، والاحتياجات البيئية، وتدهور نوعية المياه وأثرها على الصحة العامة والنظم الإيكولوجية، جميعها عوامل من شأنها أن تخلق مشاكل خطيرة للمياه.

في هذا البحث، تم وضع نموذج جديد للتسيير المتكامل للمياه يعتمد على العلاقة بين السبب والنتيجة. والهدف من هذا العمل هو كيفية إقامة علاقة يمكن التنبؤ بها كأدوات لدعم اتخاذ القرار. و اختير نموذج (DPSIR) لتطوير المتغيرات المحتملة في خمس فئات هي: متغيرات القوى المحركة، متغيرات ضغط، ، متغيرات حالة البيئية المائية، متغيرات التأثير على البيئية ومتغيرات الاستجابة. وتميز المتغيرات الفعالة وتصنيفها باستخدام التحليل المتعدد المعايير مع الشبكات العصبية الاصطناعية (ANN) ورأي الخبراء. وصنفت هذه المتغيرات ونظمت متعدد المتغيرات باستخدام تقنيات الاستكشافية (ACP وAF).

الكلمات المفتاحية :

التسيير المتكامل للموارد المائية؛ حوض الصفصاف؛ نموذج (DPSIR)؛ الشبكات العصبية الاصطناعية ANN؛ آراء الخبراء؛ تحليل متعدد المتغيرات.

Remerciement

A la fin de ce travail, je ne manque d'adresser mes sincères Remerciements à mon dieu le grand créateur qui ma a guidé dans mes pats pour arriver à ce niveau.

La réalisation de ce travail n'aurait pu être menée à terme sans le support constant de mon directeur et codirecteur de thèse Mr HANI Azzedine et Mr CHAFFAI Hicham. Je désire les adresser un merci tout particulier, ses précieux commentaires et ses conseils pertinents m'ont grandement aidés tout au long des différentes étapes inhérentes au processus de recherche et à l'élaboration de cette thèse.

Merci à Mr DJABRI Larbi, professeur à l'université Badji Mokhtar Annaba, d'avoir accepté de présider le jury de cette thèse.

Nombreuses sont les personnes qui m'ont aidé à réaliser ce travail, auxquelles je dois avec plaisir, présenter mes remerciements.

Je voudrais également remercier les membres de jury, pour avoir bien voulu lire, commenter et débattre mon travail.

Je ne peux jamais oublier les gens avec lesquels j'ai partagé les merveilleux moments durant le cycle de formation.

Je voudrais également remercier mes enseignants au département de Géologie de l'Université de Annaba.

Je remercie toute personne, qui de près ou de loin ayant généreusement contribué à l'élaboration de ce travail.

Si par mégarde, j'ai oublié quelqu'un, qu'il me pardonne et qu'il soit remercié pour tous.

Chapitre 1 Introduction

1.1 Le Contexte de la Gestion Intégrée des Ressources en Eau, Application dans le Bassin Versant de Saf-Saf

« Plutôt que d'être nécessaire à la vie, l'eau est la vie elle-même », écrivait Saint-Exupéry dans « Terre des hommes ». L'eau est présente à tous les niveaux de la société humaine, de l'écologie à l'industrie, en passant par l'agriculture et on ne lui connaît pas de substitut. En Algérie, l'eau est une ressource fondamentalement préoccupante du fait de sa rareté et du développement économique et social désordonné. Cela entraîne une suite de problèmes de gestion au sens large : pertes, gaspillages, traitements aléatoires, dégradations et manque de protection de la ressource, qui s'ajoutent aux conditions naturelles défavorables. En effet, la complexité de la problématique de l'eau en Algérie et particulièrement celle du Nord du pays s'explique par la politique algérienne de gestion de l'eau qui a été, depuis une dizaine d'années, davantage axée sur la mobilisation de nouvelles ressources que sur la recherche d'une meilleure utilisation des ressources déjà disponibles. Priorité a été donnée au développement de « l'offre » et non à la gestion de la demande. En témoigne la part prépondérante accordée jusqu'à présent dans les budgets d'investissements à l'augmentation des capacités de stockage et au développement des grandes infrastructures de transferts et d'adductions, face à la faiblesse des financements consacrés à l'entretien et à la maintenance des installations, ou à l'amélioration des performances des systèmes de distribution d'eau.

Plus des perturbations du régime et du volume des ressources en eau, de nature quantitative, se surajoutent des modifications de nature qualitative qui altèrent la qualité de la ressource en eau déjà naturellement vulnérables menacée par les nombreux polluants rejetés dans les eaux douces, soit ponctuellement (rejets domestiques ou industriels non traités, décharges non contrôlées, drains tenant lieu de décharge pour les déchets ménagers), soit de façon diffuse (engrais, pesticides provenant de l'agriculture intensive, déchets solides, boues des stations d'épuration). L'ampleur de la menace n'est pas facile à quantifier car ces flux de pollutions sont très mal connus et l'on doit se contenter de les estimer très sommairement de façon indirecte (Plan Bleu 2005).

Le bassin versant de Saf-Saf est situé dans le Nord Est de l'Algérie ; il fait partie du côtier constantinois (d'après le découpage de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques ANRH). Il est limité par le bassin versant de Guebli à l'Ouest, la partie amont du bassin

versant de Seybouse au Sud, le bassin versant de Kébir Ouest à l'Est ; et en fin la mer méditerranée au Nord comme montre la Figure 1.

Le bassin versant de Saf-Saf draine une superficie de l'ordre de 1158 km² ; et contient 30 municipalités et agglomérations qui sont : Bouâbaz (Bbaz), Bouyaâla (Byala), Zone Basse (ZnBs), Sidi Ahmed (SAhd), Ben Mhidi (BMidi), Stora, Hamadi Krouma (HKrma), Hamrouch Hamadi (HHmadi), Fil Fila (Ffila), Oued Laksab (OKsb), El Hadaik (Hadaik), Zef-Zef (ZZef), Bouchtata (Bouchta), Ramdane Djamel (RDjamel), Stayha (Stayha), Beni Bchir (BBchir), El Harrouch (Haroch), Saïd Bousbaâ (SBousb), Toumiettes (Toumiet), Salah Bouchaour (SBouch), Djbel Mekcene (DjMek), Oued Ksoub (OKsoub), Emjz Eddchich (EEdch), Sidi Mezghich (Mezgh), El Ghdir (Ghdir), Essebt (Essebt), Zerdezaz (Zerdezaz), Aïn Bouziane (ABouz), Ouled Hbaba (OHbaba), and Zighoud Youcef (Zyoucef).

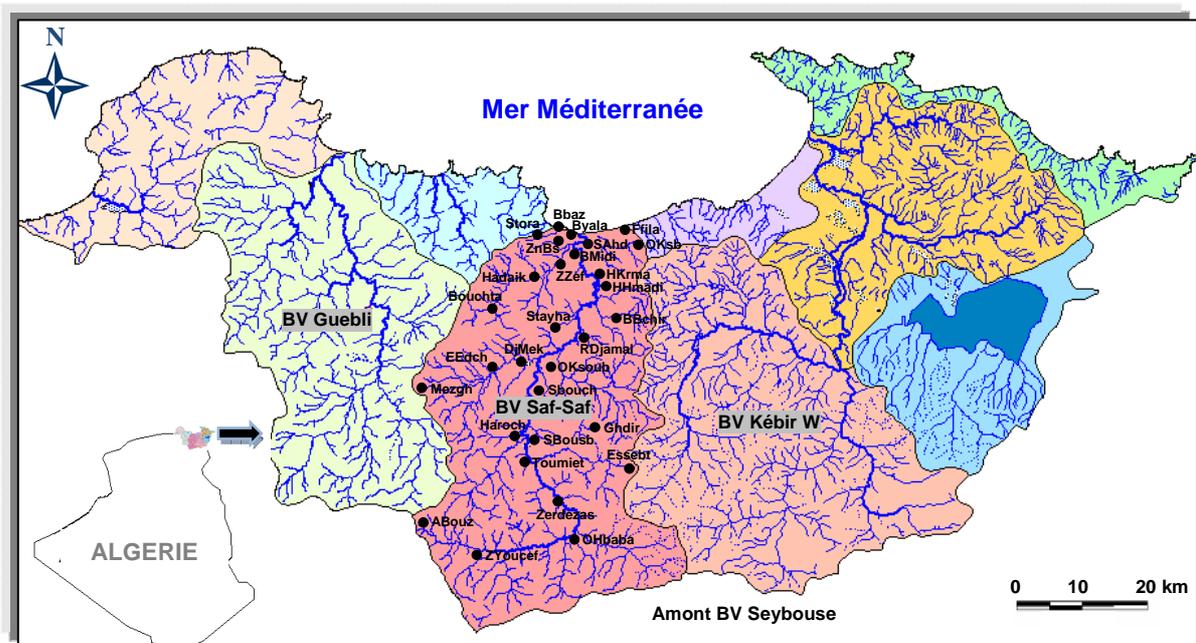


Figure 1.1 Carte de Situation Géographique du Bassin Versant de l'Oued Saf-Saf

Les ressources en eau dans le bassin versant de Saf Saf sont très vulnérables face à une population sans cesse croissante et à une pression grandissante des secteurs économiques incluant l'agriculture, l'industrie et les institutions publiques. La population est estimée de 425068 habitants à l'an 2010, la dotation journalière compris entre 75 à 150 litres hab⁻¹ jour⁻¹. L'industrie est concentrée dans la partie aval du bassin versant, elle consomme 7.1 hm³ an⁻¹ et enfin l'agriculture qui se localise le long de la vallée du Saf Saf avec une consommation en eau d'irrigation de l'ordre de 24.45 hm³ an⁻¹ (Sakaa et al, 2012).

1.2 La Problématique de Recherche

L'absence actuelle des stratégies efficaces dans la gestion des ressources en eau est devenue l'un des problèmes auxquels sont confrontés les bassins versants exoréiques en général et le bassin versant de Saf Saf en particulier. En terme de potentialités hydriques, le bassin versant de Saf Saf reçoit des précipitations moyenne annuelle de l'ordre de 660 mm an⁻¹, c'est à dire le vrai problème de l'eau dans ce bassin n'est pas le manque de ressources, mais l'absence d'une politique de gestion intégrée de l'eau pour alléger les conditions tragiques actuels.

Les concepts de durabilité de l'eau et la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) sont mal compris par les gestionnaires des ressources en eau. En outre, il ya une mauvaise compréhension des conditions de base en termes des problèmes d'eau prioritaires et des municipalités sous stress hydrique. Par conséquent, la subjectivité est considérée comme l'un points faibles chez les décideurs dans le secteur de l'eau.

La qualité de l'eau dans le bassin versant de Saf-Saf est également menacée par les nombreux polluants rejetés dans les eaux douces, soit ponctuellement (rejets domestiques ou industriels non traités, décharges non contrôlées, drains tenant lieu de décharge pour les déchets ménagers), soit de façon diffuse (engrais, pesticides provenant de l'agriculture intensive, déchets solides, boues des stations d'épuration). L'ampleur de la menace n'est pas facile à quantifier car ces flux de pollutions sont très mal connus et l'on doit se contenter de les estimer très sommairement de façon indirecte.

Le ministère de la ressource en eau a suivi une politique de préservation et de conservation des ressources en eau qui s'appuient sur une large panoplie d'instruments légaux pour équilibrer la relation entre le système naturel et humain, le système naturel est très important pour la disponibilité des ressources en eau; tandis que le système humain détermine l'utilisation des ressources, la production de déchets et la pollution de la ressource. Mais ces législations sont encore trop peu efficaces, parce qu'elles rencontrent une grande difficulté dans l'application des textes, liée, en grande partie, à la dispersion des compétences entre les différentes institutions et à la faiblesse de leurs moyens.

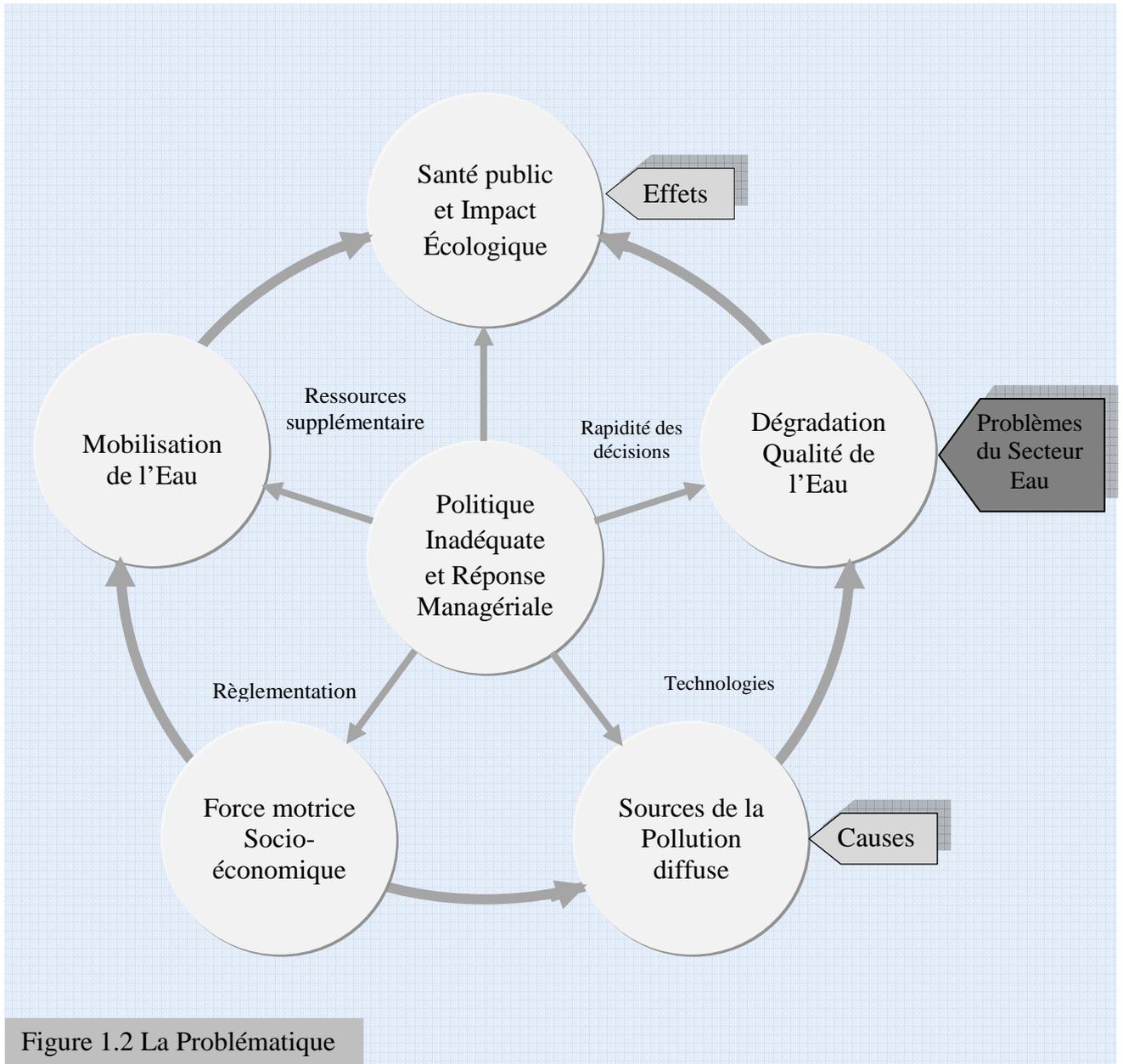


Figure 1.2 La Problématique

1.3 Les Objectifs de la Recherche

Les principaux objectifs de la recherche sont :

- ◆ Définir et valider un nouveau modèle conceptuel de gestion intégrée des ressources en eau pour assister les gestionnaires des secteurs de l'eau;
- ◆ Caractériser les indicateurs effectifs de chaque catégories de gestion intégrée des ressources en eau, et définir spatialement les municipalités sous stress d'eau ;
- ◆ Etablir des relations par prévision entre la mobilisation des ressources en eau et la catégorie socioéconomique, la catégorie de pression, la catégorie de l'état de la qualité de l'eau, la catégorie de réponse et la catégorie d'impact;
- ◆ Classifier les municipalités en groupes associés avec les indicateurs de l'eau qui les distinguent, par l'analyse en composantes principales ACP et l'analyse des facteurs;
- ◆ Evaluer les risques environnementaux sur la santé humaine, soit par la pollution ou par les inondations.

1.4 La Méthodologie de la Recherche

La méthodologie qu'on va suivre pour atteindre nos objectifs de recherche est la suivante :

- Les revues de la littérature qui se visent aux tendances internationales et les rapports de la banque mondiale relatifs à la ressource en eau, la durabilité de l'eau, la Gestion Intégrée des Ressources en Eau et le développement des indicateurs appropriés.
- La description et la validation du nouveau modèle conceptuel de la gestion intégrée des ressources en eau par bassin versant.
- L'application du nouveau modèle conceptuel et la description des indicateurs qui définissent les catégories de la gestion intégrée des ressources en eau.
- La présentation d'un plan d'analyse de l'ensemble de données conforme aux objectifs de notre travail.
- La collecte des données réelles de 30 municipalités du bassin versant de Saf-Saf en termes d'indicateurs socioéconomiques, indicateurs pressions, indicateurs de l'état de l'environnement (qualité de l'eau), indicateurs d'impact sur la santé humaine et les indicateurs de réponse.
- La description des outils d'analyse telle que les réseaux de neurones artificiels (ANN), les opinions d'experts, les statistiques descriptives des indicateurs, les analyses multivariées et l'évaluation détaillée des risques.

- L'établissement des relations de prévision entre la mobilisation de la ressource en eau souterraines et de surfaces à partir du bassin versant et les catégories de la gestion intégrée des ressources en eau.
- La caractérisation des variables effectives et les municipalités sous stress d'eau.
- L'évaluation détaillée du risque environnemental sur l'homme dans les sites très pollués (la partie aval du bassin versant).

1.5 L'Organisation de la thèse

En réponse aux objectifs fixés, cette thèse est composée de 6 Chapitres.

Le Chapitre 1 présente l'introduction qui s'appuie sur le contexte de la Gestion Intégrée des Ressources en Eau, ensuite la problématique et les objectifs de la recherche et enfin la structure de la thèse.

Le Chapitre 2 s'intéresse aux revues de littératures des orientations mondiales de la ressource en eau et les axes connexes tel que la durabilité de l'eau, la gestion intégrée des ressources en eau ...etc.

Le chapitre 3 qui va décrire et valider un nouveau model conceptuel de la gestion intégrée des ressources en eau par bassin versant.

Le chapitre 4 présente l'application du nouveau model conceptuel de la gestion intégrée des ressources en eau dans le bassin versant de Saf-Saf et les statistiques descriptives des variables.

Le chapitre 5 présente le plan et les outils d'analyses par les réseaux de neurones artificiels, les statistiques multivariées et l'évaluation détaillée du risque.

Le chapitre 6 traite les données et discute successivement les résultats obtenus. Enfin, cette thèse se termine par une conclusion qui rappelle les principaux résultats de ce travail et les recommandations qu'ils permettent d'envisager.

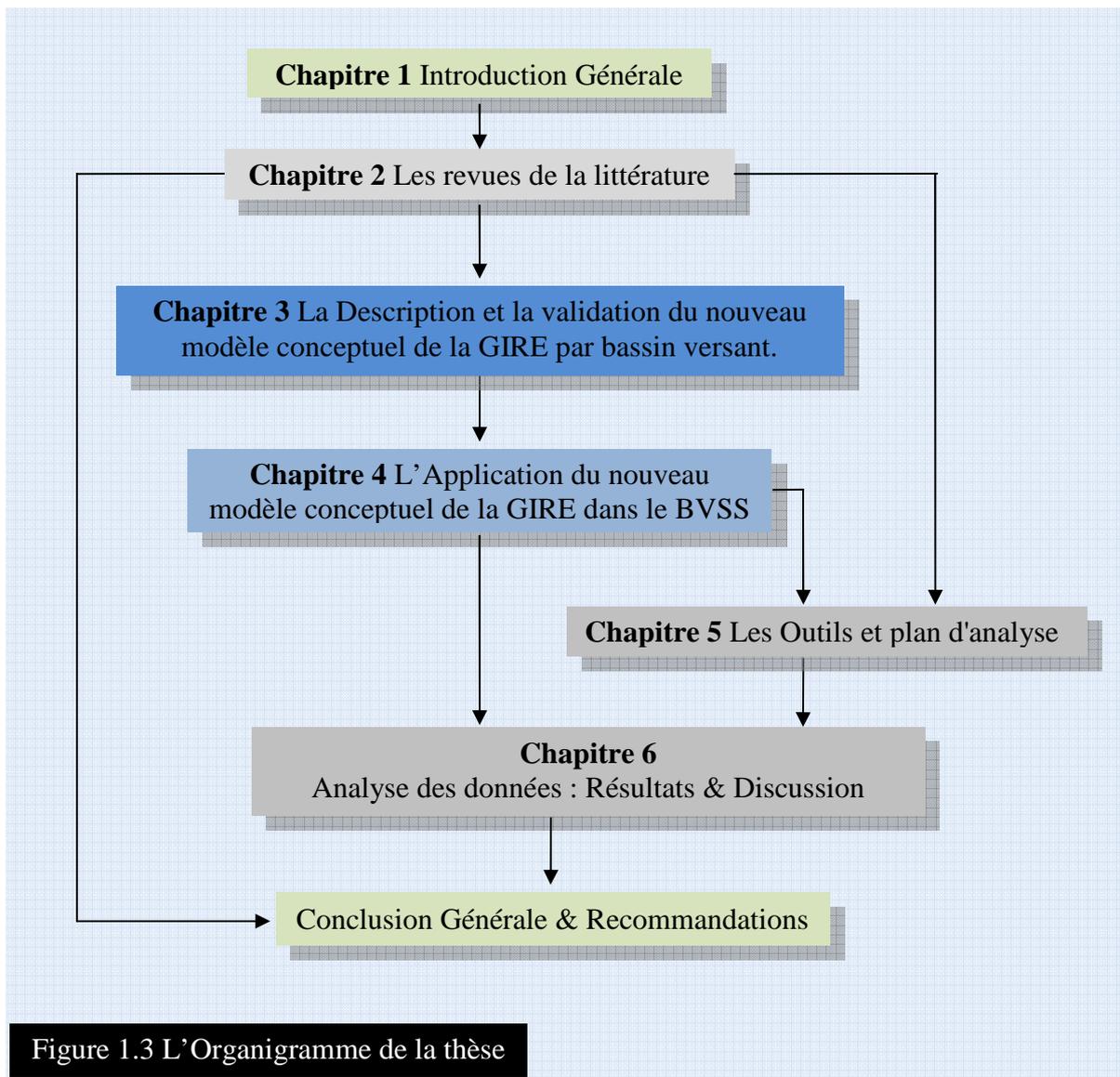


Figure 1.3 L'Organigramme de la thèse

Chapitre 2 Les revues de la littérature

2.1 Programmes et tendances internationales et régionales sur la Gestion Intégrées des Ressources en Eau

Le consensus international sur la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) s'est développé au cours d'un certain nombre d'années, et a été influencé par un certain nombre d'événements importants. Un des plus significatifs de ces événements est le décennie international d'adduction d'eau potable et de l'assainissement des Nations Unies (1981-1990), également appelée la « Décennie de l'eau ». Celle-ci visait à fournir suffisamment d'eau potable et de services d'assainissement à tous. Au début de cette décennie, l'eau et l'assainissement étaient considérés comme les besoins fondamentaux devant être satisfaits à travers la planification efficace par les administrations centrales.

Au cours de la Décennie de l'eau, l'Afrique a connu une amélioration de l'approvisionnement en eau, la couverture passant de 32% à 46%, alors que pour l'assainissement elle passait de 28% à 36% (WSSCC, 1998). En 1994, 381 millions de personnes (54 % de la population de l'Afrique) ne bénéficiaient toujours pas d'accès à l'eau potable et 464 millions (66%) n'avaient pas accès aux installations d'assainissement (WSSCC, 1998). La Décennie de l'eau s'est principalement concentrée sur l'eau et l'assainissement, aux dépens du développement des autres sous-secteurs de l'eau.

Suite à la Décennie de l'eau, la Conférence internationale sur l'eau et l'environnement s'est tenue à Dublin en 1992. C'était la conférence mondiale sur l'eau la plus significative depuis celle des Nations Unies tenue à Mar de Plata en 1977. Cette conférence a fourni les principales données de base sur les problèmes d'eau douce à la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement (CNUED), tenue à Rio de Janeiro en juin 1992. La CNUED visait à élaborer des stratégies et des mesures en vue de freiner et d'inverser les effets de la dégradation de l'environnement et de promouvoir un développement écologiquement sain et durable dans tous les pays. Un plan d'action global pour les années 90 et se poursuivant au 21^{ème} siècle, appelé Action 21, a été élaboré comme base d'un nouveau partenariat mondial pour le développement durable et la protection de l'environnement dans un monde de plus en plus interdépendant.

Un autre événement important a été la création du Partenariat mondial de l'eau et le Conseil mondial de l'eau en 1996 en vue d'améliorer la coordination des activités dans le secteur de l'eau au plan international. Les deux institutions ont pour mission la

coordination de la mise en œuvre des principes et des pratiques de GIRE à travers le monde.

Le consensus international sur la GIRE, né de ces nouveaux développements, porte essentiellement sur les quatre principes de Dublin, qui sont généralement considérés comme fondamentaux dans ce domaine (Thierry et *al.* 2007). Ces principes sont les suivants :

- L'eau douce est une ressource limitée et vulnérable, essentielle pour préserver la vie, le développement et l'environnement ;
- L'exploitation et la gestion de l'eau doivent se fonder sur une approche participative, impliquant les utilisateurs, les planificateurs et les décideurs à tous les niveaux ;
- Les femmes jouent un rôle crucial dans l'approvisionnement, la gestion et la préservation de l'eau ;
- L'eau a une valeur économique dans toutes ses utilisations concurrentes et doit donc être reconnue comme un bien économique.

Les mesures prioritaires recommandées par l'Action 21 pour l'utilisation durable et efficace des ressources en eau douce sont :

- Exploitation et gestion intégrées des ressources en eau;
- Évaluation des ressources en eau;
- Protection de la qualité de l'eau et des écosystèmes aquatiques;
- Fourniture d'eau salubre pour la boisson, la production alimentaire, le développement rural et l'assainissement;
- Compréhension et surveillance des impacts du changement climatique sur les ressources en eau.

Une dimension significative du consensus sur la politique intégrée en matière d'eau concerne la reconnaissance croissante, au cours des années 90, du potentiel et des grandes possibilités de partenariat entre le secteur public et le secteur privé dans le domaine de l'eau, et par conséquent, la nécessité de prendre en compte ces dimensions au niveau des politiques et des stratégies. Ce partenariat prend un nouveau sens dans une approche de gestion intégrée des ressources en eau, parce qu'il met en évidence l'importance de la décentralisation et de la séparation effective des fonctions de réglementation et de service.

Un autre jalon important du développement d'un consensus mondial sur la gestion des ressources en eau est le Deuxième Forum mondial de l'eau et la Conférence ministérielle

de mars 2000 à La Hayes. L'objectif principal de cette rencontre consistait à donner aux parties prenantes l'occasion d'examiner la crise de l'eau qui menace le 21ème siècle et de rechercher le mécanisme le plus apte à assurer la sécurité de l'eau pour toutes les utilisations au cours du siècle. Les principaux documents qui ont servi de base pour l'examen d'une sécurité future de l'eau étaient les documents de vision mondiale de l'eau et de cadre d'action.

Les principaux défis identifiés dans le cadre de la vision étaient la pénurie d'eau, la difficulté d'accès à l'eau potable et le manque d'hygiène en particulier, pour les plus vulnérables, les pauvres, les femmes et les enfants et la montée du besoin en eau pour la production vivrière en vue d'une alimentation correcte. Les grandes causes de ces défis sont la détérioration de la qualité de l'eau douce liée à la dégradation de l'environnement, la concurrence et les disputes plus nombreuses qui entourent les ressources en eau communes, la baisse de l'investissement et la gestion parcellaire des ressources en eau à l'échelon local, national et régional.

Pour la Méditerranée, le Programme des Nations Unies pour l'Environnement et au sein du Plan d'Action, le Plan Bleu s'attache, depuis plus de trente ans, à rendre compte de la situation de l'environnement, de son évolution et à dessiner des scénarios d'avenir pour éclairer la décision, et dresser un constat des évolutions survenues au cours des dernières décennies. Il a pour objectifs d'alerter sur les principaux risques liés à la poursuite des tendances actuelles et d'inviter à l'action en proposant des orientations stratégiques pour mieux concilier l'environnement et le développement et renforcer les solidarités entre les rives.

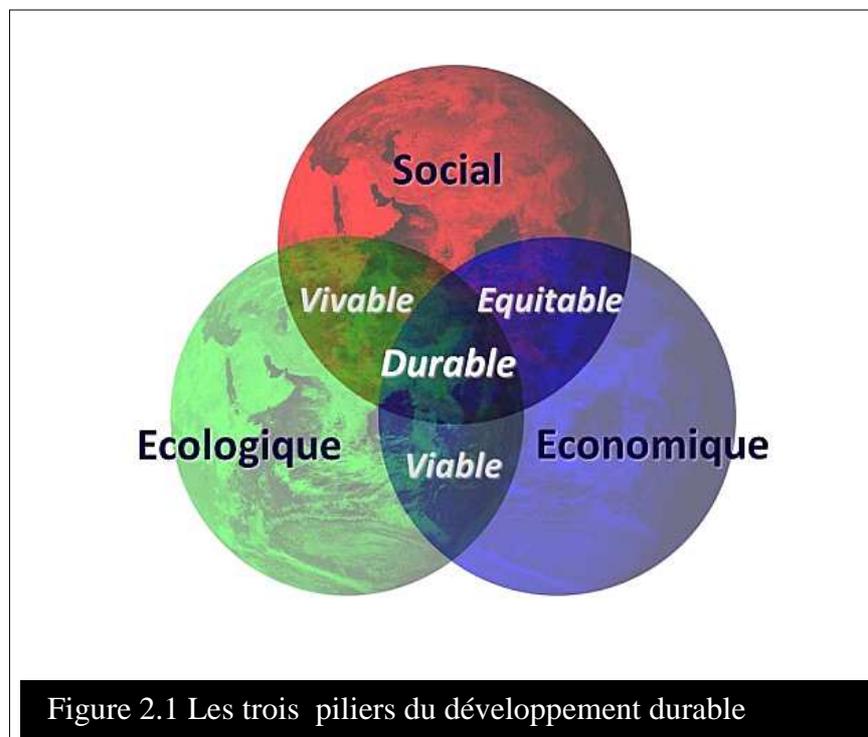
Pour l'Algérie, l'organisation de la gestion de l'eau centralisée se fait par le Ministère des Ressources en Eau, qui est le principal responsable de la politique de l'eau dont il assure l'élaboration et la mise en œuvre. Sa compétence s'étend à l'ensemble des activités relatives à la recherche, l'exploitation, le stockage, la distribution de l'eau pour tous les usages, à l'assainissement. Il veille, avec les ministères chargés de l'Environnement et de la Santé, à la préservation de la qualité des ressources en eau. Durant la dernière décennie, l'Algérie, est également engagée des réformes et développé des lois et des actions comme: le Plan national de l'Eau- le Ministère des Ressources en Eau (2003), Loi nationale de l'eau - Le gouvernement d'Algérie (2005) et Plan d'Action pour la mise en œuvre d'un cadre de la GIRE - Ministère des Ressources en Eau (projet 2006-2007) afin d'élaborer des

plans directeurs d'aménagement et d'affectation des ressources, ainsi que l'information et la sensibilisation des usagers à l'utilisation rationnelle de l'eau.

2.2 Développement Durable et Durabilité de la Ressource en Eau

La Commission Brundtland a défini, lors du Sommet de Rio en 1992 le développement durable est « un développement qui permet la satisfaction des besoins présents sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire les leurs ».

Les **trois piliers** du développement durable : le pilier écologique, le pilier social, le pilier économique (Figure 2.1). Conjonction du **viable** (plan économique), de **l'équitable** (plan social) et de **vivable** (plan écologique).



Le cycle hydrologique doit être appréhendé dans sa globalité par une «gouvernance sociétale» qui, seule, peut garantir la pérennité du couple eau-développement durable, en impliquant gouvernements et citoyens (Froger et alii, 2005). La gouvernance sociétale doit intégrer l'ensemble des responsabilités, du local au régional. Si l'enjeu est global, les opportunités d'action sont locales. Cela exige des accords nationaux, notamment pour le partage des ressources entre les secteurs économiques ou riverains, mais aussi en vertu du principe de subsidiarité la réalisation d'une multitude d'actions pour résoudre des problèmes de proximité. Ces actions ont pour but de protéger en quantité et en qualité voire de créer l'accès à la ressource en eau (Merlin-Brogniart et alii, 2009). Ces actions s'inscrivent dans les projets de

coopération décentralisée, qui montrent leur efficacité dans la réalisation d'opérations adaptées aux besoins ainsi que dans le transfert de savoir-faire et d'innovation organisationnelle réalisés entre des collectivités françaises.

L'intégration des concepts de durabilité de l'eau dans le secteur de gestion est devenue un objectif général pour tous les pays du monde dans l'ordre d'accomplir la durabilité de ses ressources en eau et sa gestion.

2.3 Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE)

La Gestion Intégrée des Ressources en Eau GIRE concerne la gestion de l'eau dans l'ensemble des réservoirs d'eau naturels (atmosphère, biosphère, glaciers, océans, eaux de surface et souterraines) de façon intégrée c'est-à-dire en tenant compte des impacts des usages de l'eau et activités humaines les uns sur les autres.

Le Partenariat Mondial de l'Eau a défini la GIRE comme "un processus qui promeut le développement et la gestion coordonnées de l'eau, des terres et des ressources liées afin de maximiser le bien-être économique et social résultant de manière équitable sans compromettre la durabilité des écosystèmes vitaux".

La GIRE apporte des réponses originales en alternative à une gestion sectorielle des ressources en eau qui ne les considère pas dans leur ensemble ni pour toutes les activités humaines. Elle permet l'optimisation des usages et le partage des bénéfices entre secteurs ou entre États riverains qui se partagent un même bassin fluvial.

Klohn et Appelgren (1998) a souligné la nécessité d'une approche intégrée englobant des politiques sociales, économiques et environnementales, Ils ont évoqué les relations entre la rareté de l'eau et de ses forces motrices, notamment la croissance démographique, la dégradation de l'environnement et l'inégalité à l'accès d'eau. Le défi consiste à adopter une approche de gestion basée sur des facteurs critiques de ressources sociales, en particulier la pénurie d'eau qui ne peut pas être traitées par les techniques classiques axée sur l'offre. Ils ont souligné la nécessité d'élaborer des indicateurs sociaux et non économiques qui reflètent convenablement la capacité de la société à la rareté de l'eau afin d'éviter les conflits internes et externes.

Haddad et Linder (2001) ont effectué un examen critique de la gestion des ressources en eau dans le Moyen-Orient en mettant l'accent sur les Territoires Palestiniens et la Jordanie. Ils ont été conclu que (1) la solution la moins coûteuse pour le développement de l'eau à court et moyen terme est la conservation de l'eau grâce à des pratiques de gestion de la demande en eau, y compris techniques, économiques, financières, institutionnelles, éducatives et juridiques, (2) l'augmentation de l'approvisionnement en eau par la réutilisation des eaux usées, le stockage des eaux pluviales, et (3) mise supplémentaire des eaux par de dessalement de l'eau de mer et saumâtre.

Jonker (2002) définit la GIRE comme la gestion des activités des gens d'une manière qui favorise le développement durable par les moyens d'amélioration de subsistance sans perturber le cycle de l'eau. La GIRE aussi, doit aborder les questions de l'accès et de l'équité, la protection des ressources, l'utilisation efficace, la gouvernance et l'utilisation des terres. Il a proposé un cadre conceptuel avec les pratiques des gens à micro-échelle au sein de la GIRE (mésos-échelle) et l'impact sur le développement durable (à macro-échelle).

IAHS en 2003 a tenu deux catégories décisives de la GIRE : le premier est le système naturel qui est un signifiant critique pour la disponibilité quantitative et qualitative de l'eau, le second est le système humain qui détermine l'utilisation et la pollution de la ressource. L'approche intégrée doit équilibrer les deux catégories et leurs interdépendances. Souvent, la balance sera établie entre tous les consommateurs de l'eau et la restauration des eaux dans le cadre de la préservation de la nature. Le concept d'intégration lie l'eau en quantité et en qualité, la réserve de l'eau et sa conservation, les eaux atmosphériques, superficielles et souterraines, les terres urbanisées et la gestion de l'eau, le développement économique, social et la préservation de l'écosystème, les consommateurs urbains et ruraux, pauvres et riches, la gouvernance de l'eau et la participation publique.

Dans la pratique, la gestion intégrée des ressources en eau varie selon le contexte – Au niveau opérationnel, l'enjeu est de traduire les principes admis en actions concrètes. Pour ce faire, on a souvent recours à ce qu'il est convenu d'appeler la gestion intégrée des ressources en eau, où il est entendu que la gestion englobe aussi bien la notion de gestion, que celle de développement. Cependant, le concept de gestion intégrée des ressources en eau, dont il n'existe pour l'instant aucune définition ne prêtant pas à équivoque, fait l'objet d'une intense controverse. Il s'ensuit que les institutions régionales et nationales doivent

mettre au point leurs propres pratiques de gestion intégrée en se fondant sur le cadre participatif qui se dessine peu à peu au niveau régional et local.

2.4 Principes de la Gestion Intégrée des Ressources en Eau

La réunion de Dublin en 1992 a donné naissance à quatre principes qui ont servi de base à une grande partie de la réforme suivante du secteur de l'eau.

***Principe 1.** L'eau douce est une ressource finie et vulnérable, essentielle au maintien de la vie, au développement et à l'environnement.*

La notion que les eaux douces sont une ressource finie survient alors que le cycle hydrologique produit en moyenne une quantité d'eau fixe par intervalle de temps. Cette quantité globale ne peut pas encore être altérée sensiblement par les actions humaines, bien qu'elle puisse l'être, et soit fréquemment, épuisée par la pollution humaine. La ressource en eau douce est un capital qui doit être maintenu pour s'assurer que les services désirés qu'elle fournisse, soient durables. Ce principe reconnaît que l'eau est nécessaire à des fins, des fonctions et des services variés; la gestion, doit donc être holistique (intégrée) et implique une prise en compte des demandes de cette ressource et les menaces qui pèsent sur elle.

L'approche intégrée à la gestion des ressources en eau rend nécessaire la coordination de la gamme d'activités humaines qui créent des besoins en eau, déterminent les utilisations foncières et génèrent des produits de déchets connexes à l'eau. Ce principe reconnaît aussi la zone de captage ou le bassin fluvial comme l'unité logique pour la gestion des ressources en eau.

***Principe 2.** La mise en valeur et gestion de l'eau devrait se baser sur une approche participative, impliquant les utilisateurs, les planificateurs et les décideurs politiques à tous les niveaux.*

L'eau est un sujet dans lequel chacun est partie prenante. La vraie participation n'a lieu seulement que quand les parties prenantes font partie du processus de prise de décision. Le type de participation dépendra de l'échelle spatiale concernant les décisions particulières de gestion et d'investissement de l'eau. Elle sera surtout affectée par la nature de l'environnement politique dans lequel ces décisions ont lieu. L'approche participative est le meilleur moyen pour réaliser un consensus et un accord durable et commun. La participation concerne la prise de responsabilité, l'identification de l'effet des actions sectorielles sur les autres utilisateurs de l'eau et les écosystèmes aquatiques et

l'acceptation de la nécessité du changement pour améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau et permettre le développement durable de la ressource. La participation ne permet pas toujours d'aboutir au consensus, des processus d'arbitrage ou autres mécanismes de résolution de conflits doivent également être mis en place.

Les gouvernements doivent aider à créer l'opportunité et la capacité de participer, en particulier parmi les femmes et les autres groupes sociaux marginalisés. Il faut reconnaître que créer simplement des opportunités participatives ne signifiera rien pour les groupes actuellement désavantagés à moins que leur capacité à participer soit améliorée. La décentralisation de la prise de décision au plus bas niveau approprié est une stratégie pour une plus grande participation.

Principe 3. Les femmes jouent un rôle central dans l'approvisionnement, la gestion et la sauvegarde de l'eau.

Le rôle central des femmes comme fournisseurs et utilisatrices de l'eau et comme gardiennes du cadre de vie a été rarement reflété dans les dispositions institutionnelles pour la mise en valeur et la gestion des ressources en eau. On reconnaît largement que les femmes jouent un rôle majeur dans la collecte et la sauvegarde de l'eau pour les utilisations domestiques et – dans de nombreux cas – l'utilisation agricole, mais qu'elles ont un rôle beaucoup moins influent que les hommes dans la gestion, l'analyse de problème et les processus de prise de décisions relatifs aux ressources en eau.

La GIRE exige une conscience Genre. En développant la participation entière et efficace des femmes à tous les niveaux de la prise de décision, il faudra prendre en compte la manière dont les différentes sociétés affectent des rôles sociaux, économiques et culturels particuliers aux hommes et aux femmes. Il y a une synergie importante entre l'équité Genre et la gestion durable de l'eau. Faire participer les hommes et les femmes dans les rôles influents à tous les niveaux de la gestion de l'eau peut accélérer la réalisation de la pérennité; et la gestion de l'eau de manière intégrée et durable contribue significativement à l'équité Genre en améliorant l'accès des femmes et des hommes à l'eau et aux services connexes à l'eau pour la satisfaction de leurs besoins essentiels

Principe 4. L'eau a une valeur économique dans toutes ses utilisations concurrentes et devrait être reconnue aussi bien comme bien économique que bien social.

Dans ce principe, il est essentiel de reconnaître d'abord le droit fondamental de tous les êtres humains à avoir accès à l'eau potable et à l'assainissement à un prix accessible. La gestion de l'eau en tant que bien économique est une manière importante de réaliser les

objectifs sociaux tels que l'utilisation efficace et équitable, et encourager la conservation et la protection des ressources en eau. L'eau a une valeur en tant que bien économique de même que bien social. Beaucoup d'échecs passés dans la gestion des ressources en eau sont attribuables au fait que la pleine valeur de l'eau n'a pas été reconnue.

2.5 Développement et Validation des Indicateurs

La prise en compte du facteur humain dans le tissu naturel des interactions a appelé à des nouvelles méthodologies pour étudier les systèmes naturels et économiques et de résoudre des problèmes de santé publique. La complexité du risque pour la santé publique, de la durabilité économique et la qualité de l'environnement sont difficiles à comprendre et sont encore difficiles. Ces difficultés ont contribué à promouvoir les approches indicateurs-base de gestion. Par conséquent, dans la dernière décennie, la croissance des indicateurs est devenue une approche commune, en particulier l'influence de l'homme a été présentée comme une nouvelle variable en recherche scientifique pour la connaissance du monde naturel. Sans un système indicateurs-base intégrée et durable, il est difficile d'établir des liens, généralement acceptée et mise en pratique (Bowen et Riley, 2003).

2.5.1 Le Concept de l'Indicateur

Un indicateur est une variable qui reflète ou explique autres variables qui sont plus difficiles à comprendre ou à quantifier (Van Der Werf et Petit, 2002). Pour Mitchell et al. (1995), l'indicateur est une mesure de rechange utilisé pour décrire un état ou une situation lorsque des mesures directes ne sont pas possibles.

Une définition plus rigoureuse est donnée par l'Institut international pour le développement durable: "Un indicateur quantifie et simplifie des phénomènes et nous aide à comprendre des réalités complexes. Les indicateurs sont des agrégats de matières premières et des données traitées, mais elles peuvent être agrégés pour former des complexes indices" (IIDD, 1995).

Les indicateurs sont un outil pragmatique utilisé pour simplifier la description des systèmes complexes. Ils peuvent être utilisés individuellement, en tant que partie d'un ensemble, ou regroupés dans un ensemble pour améliorer la compréhension par les utilisateurs finaux (Van Passel et al. 2007).

Les trois fonctions de l'indicateur sont de simplifier, de quantifier et de communiquer facilement. Au niveau des exploitations, évaluation directe de l'état écologique des

ressources en eau peuvent être la meilleure approche pour évaluer la durabilité. Payraudeau et Van Der Werf (2005) appellent ce concept la pertinence environnementale d'une mesure et classifient les mesures en deux types d'indicateurs: Le premier type est de performance environnementale qui cherche à mesurer l'écart entre la réalité et les objectifs environnementaux comme quantifiés et fixés par les politiques. Le deuxième est d'indicateurs de développement durable qui ont l'intention de mesurer les progrès vers la réalisation du développement durable dans les pays méditerranéens. La mesure directe des variables d'état est souvent trop coûteuse et techniquement difficile à mettre en œuvre au niveau des secteurs de l'eau (Girardin et al. 1999).

L'Agence Européenne pour l'Environnement (AEE) a défini l'indicateur comme "la valeur observée représentant d'un phénomène à étudier".

Le Plan Bleu a expliqué les indicateurs comme des moyens de consolider et résumer les informations quantitatives, mais surtout ce sont des moyens privilégiés de communiquer et d'objectiver les situations et les politiques. L'approche générale du Plan Bleu pour les indicateurs est :

- du problème à l'indicateur : le problème est mieux analysé à l'aide d'indicateur quantifiable.
- un outil privilégié pour le dialogue : la sélection et la quantification des indicateurs constitue un outil extraordinaire pour le dialogue et la participation du publique.
- une procédure qui évolue dans le temps : la valeur ajoutée pour les indicateurs réside dans leur calendrier et leur réajustement constant, en tenant compte de l'évolution souvent rapide des questions en jeu et comment elles sont perçues.

2.5.2 Les Méthodologies utilisées pour développer les Indicateurs

◆ Le Modèle Pression-État-Réponse (The Pressure-State-Response model « PSR »)

Le modèle PSR popularisé par l'Organisation de Coopération et de Développement Économique OCDE, est un exemple d'un cadre commun pour l'évaluation environnementale. Les problèmes environnementaux et les solutions sont simplifiés dans des variables qui insistent sur les relations cause-effet entre les activités humaines qui exercent des pressions sur l'environnement, l'état de l'environnement, et la réponse de la société à la condition (voir Figure 2.2).

La qualité de l'eau est une préoccupation typique de l'environnement qui peut être utilisée comme un exemple pour afficher les trois types d'indicateurs. Le tonnage d'engrais utilisés

par les propriétaires riverains est un indicateur qui mesure la pression que l'environnement est confronté. Les variables d'état contrôlent l'état de l'environnement. Dans cet exemple, la dynamique réelle des éléments nutritifs de la masse d'eau servirait l'indicateur d'état. L'indicateur de réponse mesure les actions prises pour réduire les pressions ou d'améliorer l'état de la ressource en question. Le nombre d'ateliers organisés ou une législation protectrice qui protège la qualité de l'eau sont des exemples quantitatifs des indicateurs de réponse.

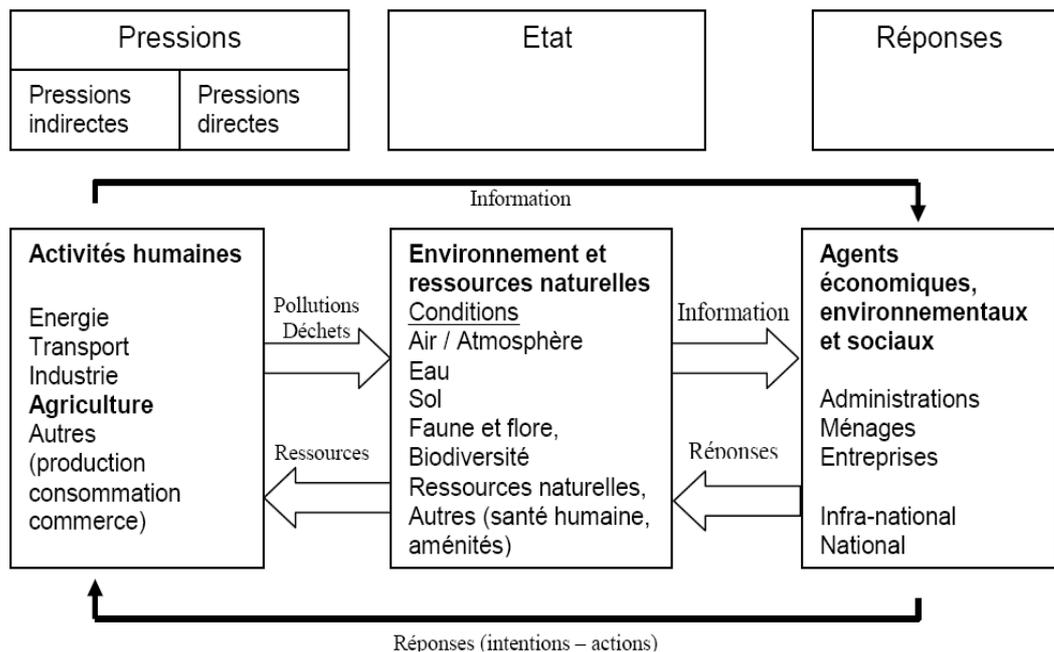


Figure 2.2 Le modèle PSR pour développer les indicateurs (Source OECD, 1993)

L'approche PSR est un complément utile à la littérature qui est rendue explicite la nécessité de se concentrer sur les facteurs influençant sur les systèmes environnementaux et les conséquences associées (en termes de conditions environnementales et de changement de réglementation). Cependant, ses limites conceptuelles sont importantes, cet approche décrit un système trop simple dans son point de vue et trop étroite dans sa portée (Requier, 2012).

◆ **Le Modèle Force motrice-Pression-État-Impact-Réponse (The Driving force-Pressure-State-Impact-Response model “DPSIR”)**

Les descriptions originales du P-S-R sont axées sur les pressions anthropiques et les réponses. L'un des problèmes était que les définitions originales n'ont pas effectivement tenu compte des causes naturelles dans la catégorie de pression. Par conséquent, la variabilité naturelle et les événements épisodiques n'avaient pas de place dans le modèle. Par conséquent, la variabilité naturelle et les événements épisodiques n'avaient pas de place dans le modèle. Alors que la forte activité anthropique est souvent un élément important, voire dominant, dans le changement l'environnemental.

D'un côté, ce défi a conduit certains, notamment la Commission des Nations Unies de Développement durable pour décrire un modèle PSR. La principale modification ici était d'élargir le concept de pression d'incorporer les pressions du système social, économique, institutionnel et naturel (Bockstaller et al, 2003). Cependant, même lorsque la force motrice remplace pression, le modèle ne tient pas à expliquer une catégorie de compte pour les raisons sous-jacentes des pressions. Pour analyser les techniques politiques et l'allocation des ressources dans la gestion de l'environnement, il est essentiel de comprendre les causes des problèmes étudiés (Ast, 1999). Un modèle qui mesure les polluants, mais ne donne aucune information sur les conditions sociales entourant l'introduction des polluants (par exemple, les changements de la production industrielle côtière) ne fournit pas les données nécessaires pour inspirer le changement significatif.

Un autre élément manquant à partir du modèle PSR est l'examen de la motivation humaine répondant à l'état des conditions environnementales. Alors que l'intendance sociale de l'environnement devrait être une composante essentielle dans la politique de l'environnement, ce n'est pas la seule motivation, les ressources sociales ne sont pas infinies, les dépenses de temps, d'énergie et d'efforts sont hiérarchisés selon une suite riche et souvent contradictoires de facteurs. Certes, l'un de ces facteurs devrait être les coûts sociaux imposés ou les avantages obtenus grâce à des changements dans la qualité du support environnemental. L'impact social du changement de l'environnement est un facteur essentiel pour l'influence sur les politiques. Un système d'indicateurs qui enregistre l'état mais pas l'impact essentiellement suppose que chaque changement de la pression, l'état ou la réponse doit avoir la même quantité d'attention ou de ressources. De façon réaliste, tous les efforts des organismes sont un équilibre délicat entre les priorités, y

compris les indicateurs qui mesurent les impacts sur les humains et l'écosystème rendent le modèle de gestion plus utile.

L'approche DPSIR représente plus efficacement les complexités de l'interaction socio-environnementale et met en lumière la nécessité de comprendre et de mesurer la nature et l'ampleur de cette dynamique. L'intégration plus efficace de la condition sociale, de la dynamique environnementale et de la réponse institutionnelle peut enrichir un processus d'informer les décideurs sur l'utilisation durable des ressources et les pratiques du développement, l'Agence Européenne pour l'Environnement AEE et l'Évaluation Globale des Eaux Internationales GIWA à l'an 2001 ont expliquées ce modèle comme:

D : Les forces motrice (Driving forces) englobant les facteurs socio-économiques et sectoriels influençant sur l'ensemble des variables pertinentes ;

P : Les indicateurs de pression décrivant les variables qui provoquent directement les problèmes environnementaux ;

S : Les indicateurs d'état (state) illustre les conditions existantes et le changement observable de l'environnement ;

I : Les indicateurs d'impact décrivent les effets maximaux des changements d'état sur l'homme et l'écosystème ;

R : Les indicateurs de réponse présentent les effets au niveau des administrateurs et les politiciens pour traiter et résoudre les problèmes.

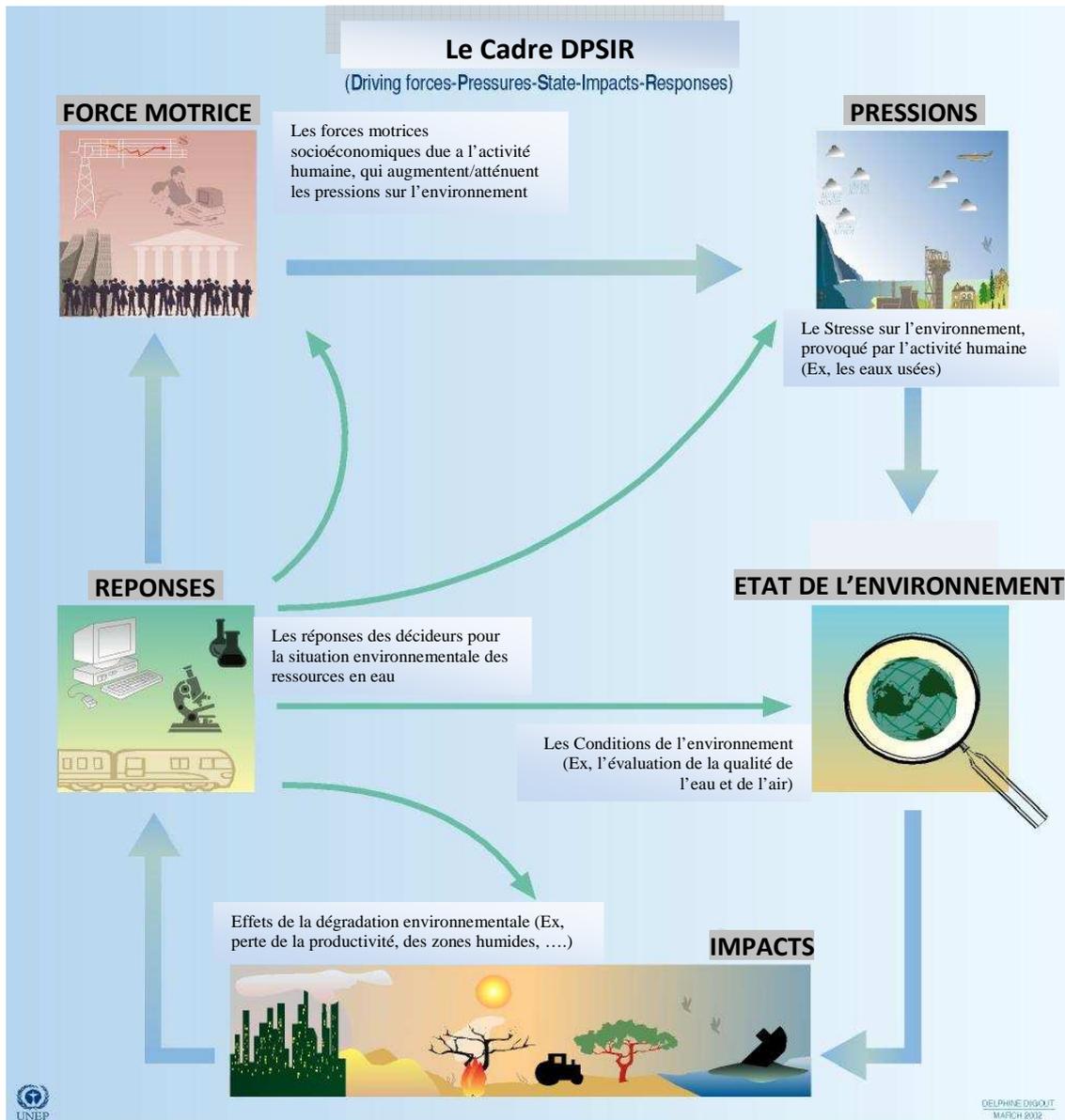


Figure 2.3 Le modèle DPSIR pour développer les indicateurs (Source: Agence Européenne pour l'Environnement AEE et l'Évaluation Globale des Eaux Internationales GIWA, 2001)

2.5.3 Validation des Indicateurs

Selon Girardin et al, 1999 la méthodologie utilisée dans l'élaboration et le développement d'indicateurs doit correspondre aux normes scientifiques, ce qui implique une procédure de validation. Mitchel et al, 1995 mentionnent la nécessité d'indicateurs pour être scientifiquement valide, mais ces auteurs ne proposent pas une procédure de validation. Un indicateur sera validée que si elle est bien fondée et scientifiquement conçu, si les informations qu'il fournit est pertinente, si elle est utile et utilisé par les utilisateurs finaux (Bockstaller et Girardin, 2003). Les opinions et les jugements d'experts et le consensus

pour le choix des indicateurs par un jury d'experts joue un rôle majeur dans ce type de validation (Mayer et Butler, 1993; Van der Werf et Zimmer, 1998; Hess et al, 1999; Smith et al, 2000). Pour valider la qualité de l'indicateur, l'utilité d'un test devraient être prises pour obtenir les opinions finales des utilisateurs sur l'efficacité de l'indicateur comme un diagnostic ou outil d'aide à la décision (Girardin et al, 1999).

2.5.4 Les Indicateurs pour la Gestion des Ressources en Eau

La Force motrice-Pression-État-Impact-Réponse DPSIR a été choisi pour analyser tous les bassins versants régionaux dans le projet de recherche européen, EUROCAT, qui vise à assurer des bassins versants et des zones côtières intégrées. Il aidera prévoir comment les changements socio-économiques futurs dans les bassins versants peut affecter la qualité de l'eau en vue de formuler des réponses politiques qui vont agir pour réduire les pressions exercées par certains pilotes, et les impacts de certaines pressions sur la qualité de l'eau (Cave et al, 2003). En outre, Jeunesse et al. (2003) a introduit le modèle DPSIR pour l'environnement la relation cause-effet pour développer des indicateurs du système aide à la décision intégré et opérationnelle pour une utilisation durable des ressources en eau au niveau du bassin versant. Manoliadis (2002) a utilisé un cadre conceptuel modifié Pression-État-Impact-Réponse (PSIR) pour élaborer des indicateurs écologiques pour les systèmes d'irrigation en Grèce, Les indicateurs de pression abordés l'utilisation de l'eau, les indicateurs d'état a expliqué la qualité de l'eau et sa disponibilité, les indicateurs d'impact présenté à la perte de la production alimentaire et les indicateurs de réponse a conclu que les mesures visant une utilisation efficace de l'eau. He et al. (2000) a proposé un cadre conceptuel pour développer et intégrer un ensemble d'indicateurs hydrologiques et biologiques qui décrivent les conditions et la santé des bassins versants à l'aide de la télédétection et des SIG. Ces indicateurs sont essentiels pour une saine politique et la prise de décision dans la gestion des ressources en eau. Sullivan (2002) a présenté les façons de calculer l'indice de pauvreté en eau dans laquelle une approche interdisciplinaire est suivie pour entreprendre une évaluation intégrée de stress hydrique et de pénurie, reliant la disponibilité de l'eau avec des indicateurs socio-économiques qui reflètent la pauvreté. Feitelson et Cheoweth (2002) ont proposés un indice de pauvreté en eau pour identifier le degré auquel les pays sont susceptibles de rencontrer des problèmes pour répondre à leurs besoins d'approvisionnement en eau. L'indice de pauvreté en eau sera basé sur trois indicateurs, y compris : (1) le coût de l'approvisionnement durable en eau potable à toutes les personnes, en tout temps, (2) Le coût de l'assainissement et de traitement des eaux

usées, et (3) L'abordabilité. Malte (2002) a élaboré des indicateurs de durabilité de l'eau douce, de la qualité de l'eau de mer et des eaux usées à l'aide du modèle DPSIR.

Les critères utilisés pour la sélection des indicateurs sont les suivants: la validité scientifique; facile à comprendre; la comparabilité et la sensibilité du public, mesurables, capable d'être mis à jour régulièrement, et la disponibilité des données.

Il est clair qu'il existe des différences dans les points de vue des chercheurs et des organisations internationales concernant la définition, les cadres de développement, les critères de sélection et la validation des indicateurs. Par conséquent, il est important d'établir un cadre de référence pour les indicateurs dans le contexte de la durabilité de l'eau et basée sur une approche intégrée. Le cadre d'indicateurs proposé de référence comprend:

- Les indicateurs sélectionnés reflètent et traduisent la définition de la durabilité de l'eau en insistant sur les quatre dimensions de la durabilité; social, économique, environnemental et institutionnel incorporés d'une manière intégrée.
- Un indicateur est défini comme quelque chose qui nous aide à comprendre où nous sommes, où nous allons et combien on y est loin de l'objectif. C'est un paramètre qui fournit des informations à propos de la relation entre les éléments de la chaîne DPSIR qui résumant les caractéristiques du système des ressources en eau.
- Le modèle DPSIR la relation cause-effet environnementale a été adoptée pour élaborer des indicateurs d'une approche de gestion intégrée des ressources en eau vers le développement durable de l'eau dans la région méditerranéenne.
- Approche participative pour l'indicateur de développement et de validation de la conception et de l'utilité des indicateurs peuvent être entrepris, y compris des experts représentant les acteurs concernés du secteur de l'eau provenant de plusieurs institutions.
- Les critères suivants ont été utilisés pour la sélection des indicateurs: (a) pertinentes pour l'objectif principal de l'évaluation des progrès vers la durabilité; (b) Independent (c) Compréhensible, (d) mesurable; (e) Réalisable; (f) Scientifiquement solide et techniquement robustes; (g) indicatif et (h) général.
- Le SIG et des techniques de télédétection sont des outils très performants pour l'obtention des données et des informations sur les indicateurs de l'état de l'environnement.

2.6 Développement et Validation des modèles conceptuels

Les modèles conceptuels sont des représentations graphiques du monde réel en utilisant les diagrammes d'influence. Les éléments de ces diagrammes sont représentés par des boîtes et des interactions entre ces éléments par des flèches indiquant une influence d'un élément sur un autre à la fois dans les niveaux horizontaux et hiérarchique. Les modèles conceptuels doivent être traduits dans une liste d'indicateurs qui sont liés par des processus paramétriques (Brang et al, 2002). La construction uniforme et multidisciplinaire du cadre du modèle conceptuel est extrêmement importante dans l'accumulation des connaissances. Un tel cadre du modèle conceptuel permettrait à un choix plus basée sur la théorie des indicateurs et le développement des outils pour évaluer les aspects multidimensionnels d'une approche intégrée transdisciplinaire et intersectorielle. Ces outils sont nécessaires pour analyser la situation actuelle et d'évaluer les impacts probables des actions proposées par rapport à ces dimensions. Idéalement, cela permettrait à une situation dans laquelle un aperçu de différentes disciplines pourrait être une source d'inspiration mutuelle. Le consensus sur les concepts de base et les hypothèses de base derrière eux est une condition indispensable (première) pour la formation d'une équipe pluridisciplinaire (uniforme) cadre (Kamp et al, 2003). Plusieurs chercheurs affirment qu'une modélisation conceptuelle adéquate est essentielle car elle permet d'expliquer le problème à être mis au point (McGregor et Korson, 1990; Bonfatti et Monari, 1994; Hoydalsvik et Sindre, 1993). McMEnamin et Palmer (1984) et Jackson (1995) considèrent les deux catégories des modèles conceptuels: (a) l'état actuel des modèles qui expriment des propriétés essentielles et les fonctionnalités des aspects critiques du système actuel, et (b) l'état désiré modèles, qui définissent les exigences pour le futur système. Les modèles conceptuels jouent un rôle central lors de l'analyse du problème et leurs principales caractéristiques qui sont la description et la compréhension. Dans le concret, les modèles conceptuels devrait aider les développeurs à comprendre le problème et ses contraintes avant qu'une solution est identifiée (Dieste et al, 2003), car ils permettent de :

- Faire des concepts du monde réel et les relations corporelles (Motschnig-Pitrik, 1993);
- Voir des représentations symboliques des cartes mentales qui aident à interpréter les situations mal structurées (Worren et al, 2000.);
- Enregistrer les parties de la réalité qui sont importantes pour effectuer la tâche en question et rétrograder les autres éléments qui sont insignifiants (Borgida, 1991);

- Encourager l'analyseur à penser et à documenter en termes de problème, plutôt que à la solution (Davis, 1993);
- Prendre en charge la communication entre les différents acteurs (Mylopoulos et al, 1997.);
- Définir de façon officielle les aspects du monde physique et social qui nous entoure pour l'application de la compréhension et de la communication (Loucopoulos et Karakostas, 1995).

Dieste et al, 2003 a souligné que le débat dans les sciences académiques se préoccupe de la validité scientifique des théories et des modèles conceptuels, c'est la mesure dans laquelle les théories correspondent à la réalité.

Afin de mieux comprendre les problèmes de gestion des ressources hydriques, il est essentiel d'établir un modèle conceptuel d'eau intégré reflétant le cycle de vie des ressources en eau. Pour assurer l'exactitude et de la pertinence du modèle conceptuel de l'eau intégré prévu, il doit être validé. Les commentaires sont une technique de validation commune dans lequel un ou plusieurs intervenants vérifient la validité d'un modèle (Haumer et al, 2000; Cité de Freedman et Weinberg, 1982). La validation peut également être réalisée par comparaison avec des modèles bien établis et utilisés dans d'autres pays.

2.7 Les Outils de l'Intégration Environnementale dans la Gestion des Ressources en Eau

2.5.1 L'Évaluation de l'Impact sur l'Environnement (ÉIE)

Évaluation de l'impact environnemental (EIE), en tant que forme répandue de l'évaluation de l'impact, est bien établie dans le monde comme la prouve son utilisation généralisée dans le contrôle du développement réglementaire et d'autres processus du droit de l'environnement, et par sa présence dans la loi internationale et les normes des institutions financières. L'EIE a été fréquemment utilisée pour évaluer les impacts des projets de développement majeurs qui peuvent avoir un impact sur la prestation des services d'écosystème de multiples façons. Le cas impressionnant de l'énorme barrage hydroélectrique sur le fleuve Yangtze en Chine centrale (Hvistendahl, 2008) est un exemple remarquable, où les impacts environnementaux comprennent la contamination de l'eau douce, la disparition d'espèces endémiques, les changements de la synchronisation de l'eau et des flux, entre autres. Tellería (2009) a souligné les impacts des parcs éoliens, en particulier celles liées à la destruction des habitats et / ou la fragmentation (incidence sur

la biodiversité) et à l'impact visuel sur le paysage (services culturels). La transformation des paysages naturels par des paysages urbanisés est aussi une force importante derrière l'érosion de la diversité biologique dans le monde entier qui modifie les services écosystémiques tels que la purification de l'eau, la production du sol, la fixation du carbone et la régulation du climat, notamment le changement de la diversité des espèces avec les principaux rôles écologiques dans les écosystèmes (O Shea et Olander, 2011; Sanford et al, 2008). Mais à cause de plusieurs insuffisances de limiter l'évaluation aux seuls projets, un nouveau instrument de l'évaluation a été conçu, vise au niveau stratégique des politiques sectorielles et des programmes qui définissent le cadre de base pour l'identification des projets. Ce qu'on appelle l'Évaluation Environnementale Stratégique (EES) "(Kessler et Dorp, 1998).

2.7.2 L'Évaluation Environnementale Stratégique (EES)

L'Évaluation Environnementale Stratégique (EES) est entendue comme des approches analytiques et participatives de la prise de décision stratégique, qui visent à intégrer les considérations d'environnement dans les politiques, les plans et les programmes et à évaluer leurs interactions avec les considérations d'ordre économique et social. Il s'agit donc d'un processus d'évaluation et de prise en compte d'enjeux environnementaux au plus haut niveau du processus décisionnel de l'appareil gouvernemental. Cependant, l'approche recouvre une grande série d'outils et d'approches distinctes qui peuvent s'appliquer aux besoins spécifiques d'une situation particulière.

L'EES possède un fort ancrage international et fait partie intégrante des politiques d'aide au développement et de coopération. L'EES fait partie des outils pratiques recommandés par l'OCDE (2006) et avalisés par les principaux grands bailleurs de fonds et institutions financières (PNUD/PNUE, GTZ, etc.). De plus, le Sommet mondial pour le développement durable de Johannesburg en 2002 souligne « l'importance des cadres stratégiques et d'une prise de décision équilibrée, conditions fondamentales à l'obtention d'avancées vers les objectifs de développement ».

De la sorte, l'EES représente une étape importante dans le processus de prise de décision et de planification. Ce dernier se caractérise par une hiérarchie de niveau : les projets, les programmes, les plans et les politiques ; les politiques déterminant d'une manière logique les plans, les plans qui orientent les programmes et les projets qui sont élaborés à partir des programmes.

2.7.3 La Différence entre l'EES et l'EIE

La question de la différence de l'EES par rapport à l'EIE a été mis sur tableau dès les premiers jours. En fait, il a été utilisé comme argument principal pour justifier les raisons pour lesquelles EES a été nécessaire. De nombreux auteurs ont présenté plusieurs comparaisons en termes d'avantages et les inconvénients de l'EES à l'égard de l'EIE (Wood et Djeddour, 1992; Lee et Walsh, 1992). La compréhension actuelle de ces différences se reflète dans le tableau 2.1.

Tableau 2.1 La différence entre l'EES et l'EIE, d'après Partidário (2001)

	EES	EIE
Nature d'action	Stratégie, visions, concepts	Actions de construction / opération
Le Focus	Moments critiques de décision le long du processus de décision	Produits des processus de décision (résultats finaux)
Niveau de décision	Politique, planification	Projet
Relation à la décision	facilitateur	Évaluateur, souvent exigence administrative
Alternatives	Équilibre spatial de l'emplacement, les technologies, les mesures fiscales, les stratégies économiques, sociales ou physiques	Emplacements spécifiques alternatifs, la conception, la construction, l'exploitation
Ampleur d'impacts	Macroscopique, surtout mondial, national, régional	Microscopique, essentiellement locale
Portée des impacts	Les questions de durabilité, les questions économiques et sociales peuvent être plus concrets que les problèmes physiques ou écologiques	Environnement avec un développement durable focalisé aux problèmes physiques, écologiques, social et économique
Échelle de temps	À long et à moyen terme	À moyen et à court terme
Clé des sources de données	Les rapports de l'état de l'environnement, Agenda local 21, données statistiques, Instruments politique et de planification	Le travail de terrain, l'analyse des échantillons et des données statistiques
Données	Essentiellement descriptives, mais mélangé avec les quantifiables	Principalement quantifiables
Rigueur de l'analyse (incertitude)	Moins de rigueur / plus d'incertitude	plus de rigueur / moins d'incertitude
Repères d'évaluation	Repères de durabilité (critères et objectifs)	Les restrictions légales et les meilleures pratiques
Sorties (Outputs)	Vaste brosse	détaillé
Perception publique	Vague / distant	Plus réactif
Post-évaluation	Autres actions stratégiques ou planification de projet	Preuves objectives / la construction et l'opération

Il est important de souligner que l'EES ne doit pas être considérée comme une solution pour occuper l'espace vide laissé par une conceptualisation inadéquate des projet d'EIE, ou pour résoudre les difficultés de compréhension et de mise en œuvre du projet de l'EIE.

2.7.4 Quelques Applications de l'ÉES dans la Politique des Ressources en Eau

☒ L'ÉES du Secteur de l'Hydraulique en en Mauritanie

Les autorités mauritaniennes, conscientes de la richesse des ressources naturelles du pays et de l'importance de la préservation de l'environnement, ont engagé des actions concrètes visant la protection de l'environnement, à travers l'élaboration d'une évaluation environnementale stratégique (EES) dans les secteurs de l'eau et du développement rural. La réalisation d'une analyse économique-environnementale sur le plan macroéconomique ainsi que plusieurs autres aux échelles sectorielles (secteurs de l'eau, etc..) complète ce dispositif (Abdel Kader Sadeck, 2010).

En effet, l'EES a été adoptée comme instrument de gouvernance environnementale dans de nombreux pays industrialisés. Cet outil suscite un intérêt croissant dans les pays en développement et sa réalisation dans le secteur de l'eau en Mauritanie devrait permettre :

- l'analyse prospective des enjeux environnementaux au niveau le plus élevé des départements sectoriels chargés de cette problématique;
- l'évaluation de l'incidence des politiques sectorielles en cohérence avec les problèmes environnementaux subséquents;
- l'identification et l'analyse des différentes options, solutions de rechange ou scénarios possibles au niveau des programmes sectoriels, en tenant compte des enjeux majeurs et de la sensibilité des milieux;
- une identification d'indicateurs environnementaux afin de consolider la réalisation des programmes sectoriels, en ce qui concerne la prise en compte de la préservation de la qualité de l'eau, de l'environnement, de la prévention des conflits potentiels,
- la mise au point de propositions aux décideurs, en leur procurant un contexte de planification éclairé et transparent ;
- la mise en harmonie des prises de décision sectorielle avec les outils de bonne gouvernance environnementale.

☒ L'ÉES du Secteur de l'Eau en Jordanie

L'étude d'EES couvre le secteur de l'eau en Jordanie face à l'alimentation de l'eau potable, industrielle, agricole et de l'écosystème; couvrant l'approvisionnement en eau, évacuation des eaux usées et leur réutilisation, l'évacuation des eaux pluviales, et compte tenu de transferts interbassins versants et le dessalement de l'eau de mer. L'objectif principal de

l'étude est d'identifier les problèmes au premier stade qui peuvent nécessiter d'autres actions ou de coordination pour répondre aux exigences des futurs projets liés aux possibles conséquences sur l'environnement. l'ÉES passera en revue aux programmes d'investissements proposés dans secteur de l'eau en Jordanie en vue de développer une perspective stratégique des questions environnementales liées à l'eau et à identifier les politiques, les mesures d'atténuation réglementaires, techniques et institutionnelles pour assurer la protection de l'environnement des ressources en eau et la gestion, ainsi que l'utilisation durable (Jordanie , 2002).

Chapitre 3 La Description et la Validation du nouveau Modèle Conceptuel de la GIRE par bassin versant

3.1 Introduction

La gestion des ressources en eau dans un bassin versant côtier, connu par une grande zone industrielle (base pétrolière, centrales thermiques, etc.), une agriculture assez importante et forte croissance démographique face à des ressources en eau limitées, représente un défi complexe, parce qu'elle exige des nouveaux concepts et des techniques de gestion qui doivent être basés sur les bonnes connaissances scientifiques afin d'optimiser et de préserver les ressources en eau.

Ce travail de recherche avait pour but de contribuer à ces efforts à travers le développement d'un modèle conceptuel DPRIS. Il a été la première fois qui a abordé la situation dans son ensemble de la GIRE en mettant l'accent sur les concepts de durabilité et d'interactions continues entre le système institutionnel, humains et naturels. Les approches intégrées de l'écosystème ont été introduites dans ce modèle conceptuel. En outre, les ensembles des variables (indicateurs) efficaces et utiles ont été caractérisés pour l'analyse et la surveillance du secteur de l'eau. Le modèle conceptuel DPRIS support les planificateurs et les gestionnaires de l'eau à acquérir des connaissances et une compréhension adéquates des problèmes réels de l'eau. Il provoque des changements dans les opinions subjectives des décideurs et leurs permet de concevoir des interventions appropriées dans le but d'assurer l'utilisation et la gestion durable des ressources en eau du bassin, dans le cadre de la conservation de l'environnement.

3.2 Cadre Théorique de Référence

Ce cadre a mis le contexte et la base pour le nouveau modèle conceptuel. Il vise à fournir les composantes générales et les mécanismes du système des ressources en eau qui se traduirait par un nouveau modèle conceptuel. Les points importants dans ce cadre sont les suivants :

- L'objectif global du secteur de l'eau est d'assurer une gestion durable des ressources en eau. La définition de la durabilité de l'eau est maintenant la somme de la ressource en eau naturelle telle que le taux de l'exploitation des ressources en eau renouvelables ne dépasse pas le taux des systèmes naturels peuvent les reconstituer et sans nuire à l'intégrité du cycle hydrologique ou écologique. En outre, les ressources naturelles en eau doivent être protégées contre toutes sources de pollution. Alors, Il est destiné à assurer les exigences de l'activité humaine pour

les générations actuelles et futures dans un environnement vivable, socialement acceptable, économiquement viable et des moyens institutionnellement sonores incorporés l'ensemble d'une manière intégrée ;

- L'intégration de la durabilité environnementale dans la gestion des ressources en eau à travers des approches préventives et des écosystèmes ;
- La GIRE est une approche efficace pour assurer la durabilité de l'eau, ce n'est pas un produit idéal, mais un processus d'équilibrage dynamique ;
- Le concept d'intégration relie les eaux de surface et souterraines, la quantité et de la qualité de l'eau, les pressions de pollution et de la qualité de l'eau, l'approvisionnement en eau et de conservation de l'eau, le développement social et économique, les usagers urbain et rural. Il intègre également les écosystèmes et l'utilisation des terres dans la gestion des ressources en eau ;
- Le modèle DPSIR a été sélectionné comme un cadre bien établi pour la relation cause-effet afin de développer les variables possibles ;
- Les méthodes du jugement et l'opinion des experts ont été entreprises pour le développement et la validation de la conception et de l'utilité du modèle conceptuel ainsi que les variables

3.3 Description des limites du Modèle DPSIR

Les éléments et les sciences reliées à l'eau et sa gestion ont été décrits dans un cycle (Figure 00) comme un nouveau modèle conceptuel.

La Figure00 indique que le développement et la gestion des ressources en eau doit être dans les limites de la durabilité écologique et la disponibilité des ressources en eau naturelle. Ce modèle conceptuel est basé principalement sur les trois catégories décisives suivantes :

- Le système naturel qui forme un critère significatif pour la disponibilité de l'eau en quantité et qualité,
- Le système humain qui détermine l'utilisation de l'eau et la pollution de cette ressource,
- Le système de gestion et institutionnel qui doit équilibrer la balance entre le système humain et le système naturel et leurs interdépendances.

Dans la Figure 3.1, les trois systèmes sont divisés en cinq catégories basées sur la relation cause-effet du modèle (DPSIR) pour le développement des variables reliées à l'eau. Ces variables reflètent et traduisent les concepts de la durabilité de l'eau et les approches

préventives et écosystémiques. Les cinq catégories sont: (D) force motrice (les aspects socioéconomiques), (P) les pressions de la pollution anthropique, (S) l'état de la qualité de l'eau, (I) l'impact écologique et de la santé publique, et (R) les réponses institutionnelles. Le système humain est expliqué par les variables des forces socioéconomiques, de la pollution anthropologique et la santé publique. Le système naturel est représenté par l'état de l'eau et l'impact écologique. Le système institutionnel est représenté par les réponses institutionnelles. La Figure 3.1 présente une interaction continue entre le système humain d'un côté et le système naturel dans l'autre côté. D'ailleurs, il y a une relation duale entre l'interaction du système humain, naturel et le système institutionnel. Suivant, une balance sera établie entre la demande en eau de la société et la restauration des eaux dans le cadre de la conservation de la nature.

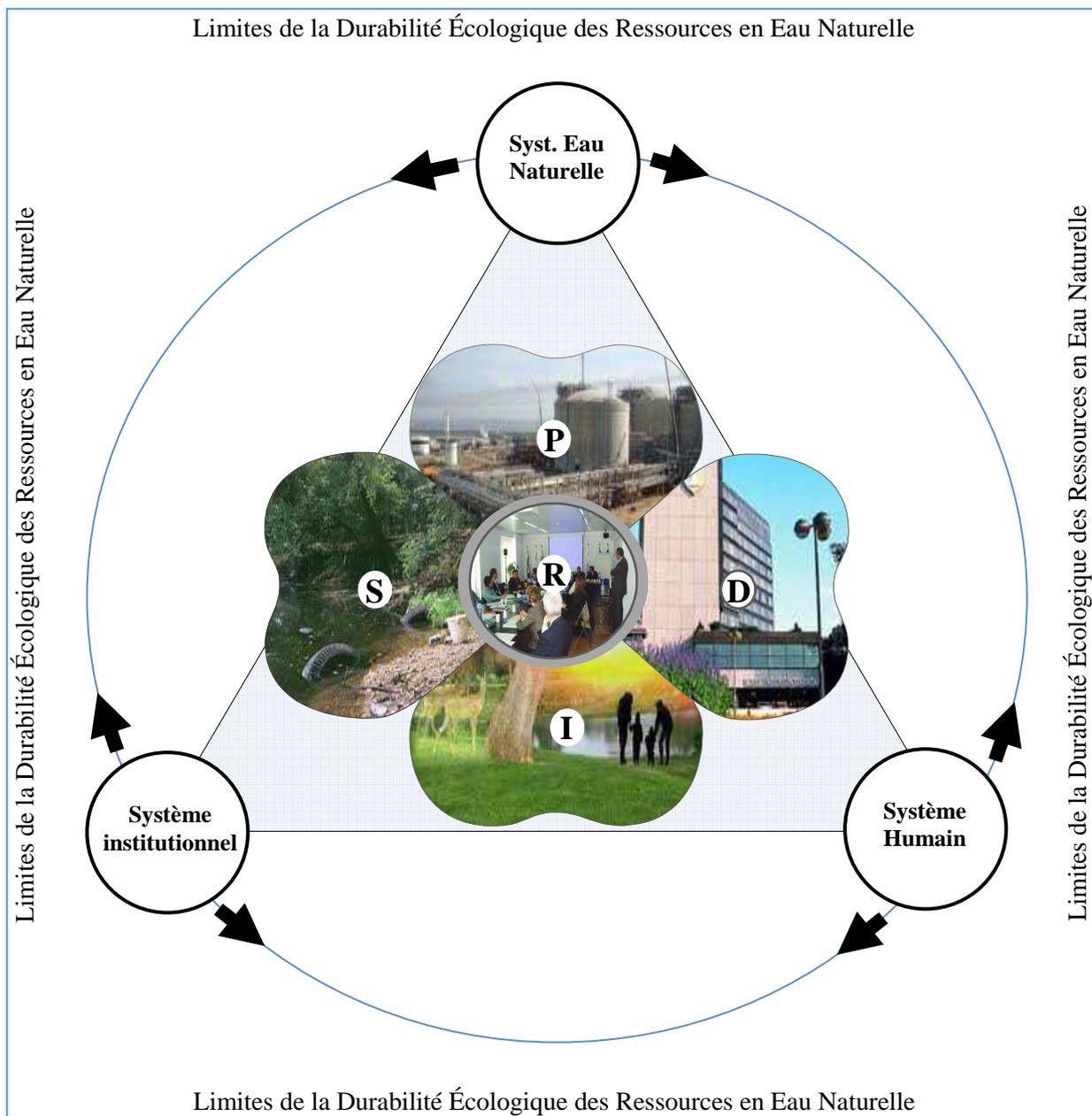


Figure 3.1 La pyramide du DPSIR

Chaque catégorie du modèle DPSIR englobe un ensemble des variables les plus pertinentes qui reflètent les aspects critiques des ressources en eau (Figure 3.2). Les suivants sont les catégories et les variables possibles sélectionnées:

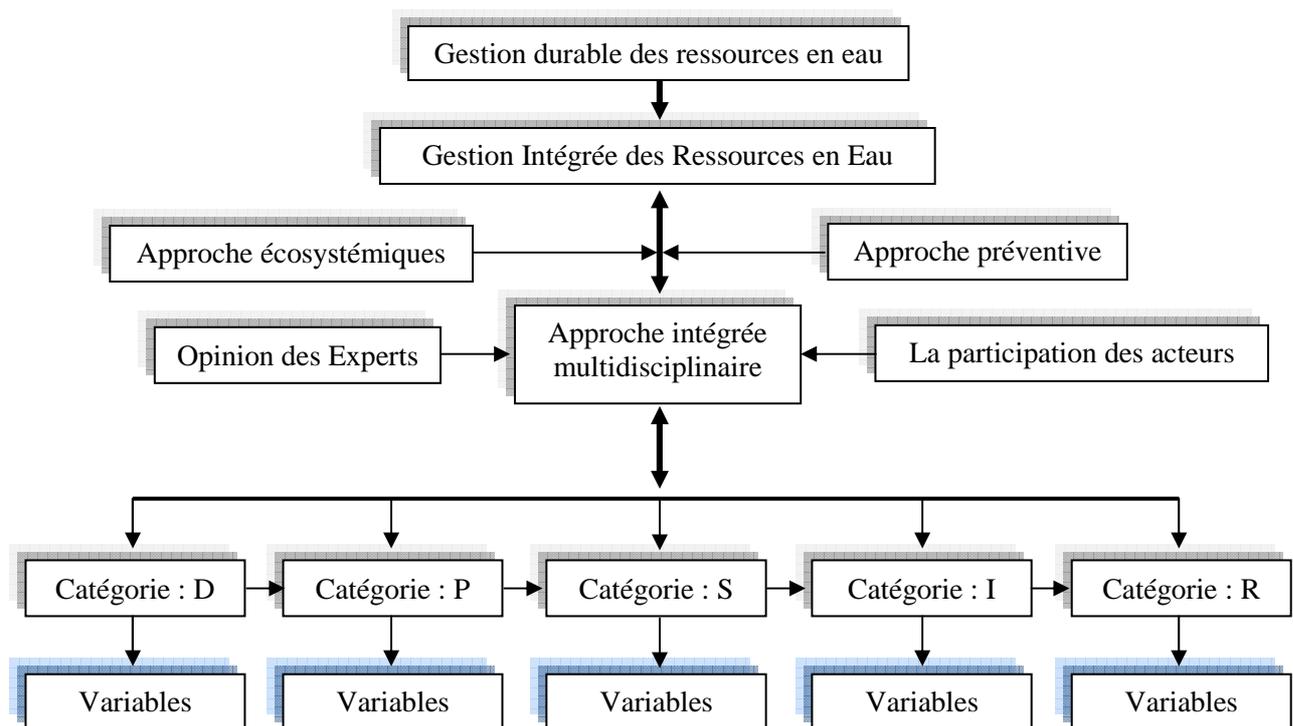


Figure 3.2 Le diagramme des catégories du modèle conceptuel du DPSIR

1. La Mobilisation des Ressources en Eau à partir du bassin versant
2. Le Total des Sels Dissous (TDS)

La Catégorie des variables de la force motrice (Driving force)

3. La Population
4. Les Revenues par Employant
5. L'Occupation du Sol
6. Le Tourisme
7. Le Taux de raccordement aux réseaux de l'Eau Potable
8. Le Taux de raccordement aux réseaux des Eaux Usées
9. La Dotation journalière de l'Eau Potable
10. Évacuation des Eaux Pluviales
11. Le Prix de l'Eau
12. La Taxation sur l'Eau
13. La Consommation de l'Eau d'Agriculture
14. L'Intégration des Femmes
15. Les Pertes d'Eau

La Catégorie des variables de Pression

16. Les Déchets Solides Sauvages
17. La Génération des Eaux Usées Domestiques
18. Les Pesticides
19. Les Engrais Chimiques
20. Les Engrais Organiques
21. Les Stations du Carburant
22. Les Eaux Usées Industrielles
23. Le Dioxyde de Carbone (CO₂)

La Catégorie des variables d'État

- **La qualité de l'eau**

24. Les Nitrates
25. Les Chlorure
26. Le Sodium
27. Le Calcium
28. Le Magnésium
29. Le Potassium
30. Les Sulfate
31. Les Bicarbonates
32. La Demande Biochimique en Oxygène (DBO₅)
33. La Demande Chimique en Oxygène (DCO)
34. La Température
35. Le potentiel en Hydrogène (pH)

La Catégorie des variables d'Impact

- **Écologique**

36. La Perte de Productivité
37. La Perte des Zones Humides

- **La Santé Publique**

38. Les Maladies à Transmission Hydrique

La Catégorie des variables de Réponse

39. Le Stockage des Eaux Pluviales
40. L'Importation de l'Eau

41. L'Efficacité dans l'Eau d'Irrigation
42. L'Efficacité des Systèmes d'Information
43. La Sensibilisation sur l'Eau
44. Le Dessalement de l'Eau de Mer

3.4 La Validation du nouveau Modèle Conceptuel

Pour assurer la performance du modèle conceptuel proposé dans ce travail de recherche, il doit être validé. La validation peut se faire par comparaison avec des modèles bien établis et utilisés dans d'autres pays. Les commentaires sont aussi une technique de validation commune, dans laquelle un ou plusieurs intervenants vérifient la fiabilité du modèle.

3.4.1 La Validation par la Comparaison avec des Cas Étudiés

◆ Le Cas du bassin versant de Kalamas (NW Grèce)

Le bassin versant de Kalamas est l'un des plus importants systèmes aquatiques en Grèce occidentale. Le bassin de Kalamas a été choisi parce qu'il s'agit d'un système méditerranéen typique apparaissant des modifications de son régime hydrologique généralement influent sur la qualité de l'eau, la vie aquatique et en outre les utilisations des écosystèmes. Le talweg du bassin a une longueur de 113 km, provenant de la centrale de l'Épire et débouchant dans la mer Ionienne (Figure. 3.3). Il peut être considéré comme une rivière de taille moyenne avec des fluctuations saisonnières du niveau d'eau. Les débits minimum et maximum sont de 2,8 m³/sec et 1.692 m³/sec pendant l'été et pendant l'hiver respectivement (Karageorgiou 2005). Le climat de la région est de type méditerranéen avec une sécheresse estivale marquée et un hiver doux. Par conséquent le régime hydrologique de la rivière est dépend principalement de la répartition saisonnière des précipitations. La pluviométrie moyenne annuelle est d'environ 1100 mm tandis que le printemps et l'automne sont les saisons les plus pluvieuses (Arapis 1998) avec une température moyenne d'environ 17,3 ° C.

L'objectif de l'étude est l'application du régime d'analyse DPSIR en même temps que chacune de ses composantes, en identifiant également les priorités pour la région étudiée. Par conséquent, les pressions environnementales et les données actuelles qualité de l'eau basée sur un programme de surveillance prolongée sont évalués, et les impacts indirects ainsi que les réponses politiques sont discutées.

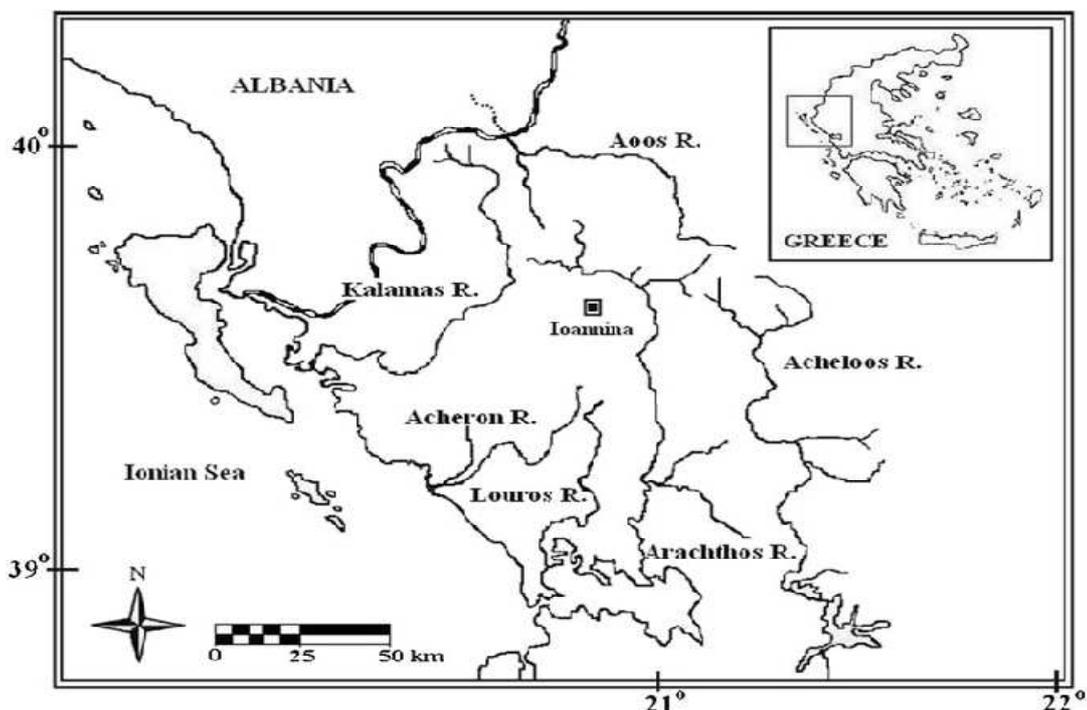


Figure 3.3 Situation Géographique du de Kalamas (NW Grèce)

La série d'indicateurs sélectionnés qui ont été choisis pour décrire le modèle DPSIR sont énumérés dans le tableau 3.1. Dans les sections suivantes, les forces motrices, les pressions, l'état, les impacts et les réponses dans le bassin Kalamas sont discutés :

Tableau 3.1 Données de l'index proposé pour l'agriculture, l'urbanisation, le développement industriel, le tourisme, les loisirs et la protection de la nature, afin de décrire le modèle DPSIR

Force motrice	Pression	État	Impact	Réponse
Agriculture	Utilisation des engrais et des pesticides, changement de l'occupation du sol, l'irrigation, l'élevage	Concentration de chlorophylle-a dans l'eau, la destruction de l'habitat	Détérioration de la qualité de l'eau, l'eutrophisation, l'état de conservation	Les politiques agricoles, plans de gestion de la pollution diffuse
Urbanisation	Croissance des zones urbaines, Demande du traitement des eaux usées	L'oxygène dissous, concentration des nutriments	L'eutrophisation, l'augmentation de la demande en O ₂ , la perte d'habitat	Évaluation des stations d'épuration, désignation des zones de peuplement
Développement Industriel	Effluent industriels	La variabilité des flux, état de conservation	Qualité de l'eau, la perte d'habitat, disparition des espèces	La mise en œuvre de la DCE
Besoins de Loisirs	Urbanisation, la production de déchets, l'imperméabilisation des sols	L'élimination des déchets, l'infrastructure touristique/installations	Dégradation du bassin versant, altérations de l'habitat	Approche de gestion globale
Besoins pour la protection de la nature	Demandes pour la conservation, conservation des espèces, inondation/sécheresse	Demande de la zone pour la nature	L'état de conservation, les effets sur la biodiversité	Mesures de la conservation des espèces, l'évaluation des biens et services.

La politique européenne de l'eau a introduit la nécessité d'appliquer des approches méthodologiques nouvelles pour la gestion durable des ressources en eau. Dans ce cas d'étude, le modèle DPSIR a été développé comme un outil méthodologique pour l'étude de cas du bassin versant de Kalamas (NW Grèce). Selon l'approche DPSIR, il a été révélé que les principales forces motrices, conduira à des pressions, étaient l'agriculture, l'élevage et les nombreux points sources de pollution situées dans la zone de chalandise. Des concentrations élevées de nutriments (Azote nitrique $\text{NO}_3^- \text{N}$: 0.1-2, 6 mg/l, Azote ammoniacal $\text{NH}_4^- \text{N}$: 0.01-1 0,29 mg/l, phosphore réactif soluble : 0,03 à 5,76 mg/l), ainsi que la chlorophylle-a des valeurs élevées (0.54 à 6.14 mg/m³) mettre en évidence l'eutrophisation du fleuve. Les mesures d'intervention comprennent l'élimination de la pollution diffuse ainsi que la réduction de la charge organique grâce à l'optimisation des installations de traitement existaient. Depuis plusieurs parties de la rivière Kalamas sont désignées comme zones protégées, des mesures spécifiques pour protéger la biodiversité devrait être entrepris.

La mise en œuvre des exigences propres au site écologiques est donc urgente. La pratique passée commun de la surexploitation de l'eau de rivière pour divers utilisations généralement compétentes devraient être limitées en particulier à la lumière de changement climatique dans la région méditerranéenne. La Grèce est sous la pression économique forte et la nécessité d'améliorer le niveau de vie est assez urgent. Alors, la nécessité pour le développement devrait être coïncidée avec la politique environnementale qui évite la surexploitation des ressources naturelles, notamment les ressources aquatiques. Cela devient plus complexe à des endroits éloignés, comme l'Épire, où la pression pour des projets de développement est élevée. L'impact des activités humaines sur ces systèmes méditerranéens saisonnières de stress hydrique peut être limité leur capacité future à survivre en tant durables, les systèmes autorégulés. L'obligation d'appliquer la politique environnementale européenne à l'échelle régionale pousse la planification environnementale et de sensibilisation.

◆ Le Cas de l’Afrique du Sud

L’Afrique du Sud a utilisé le cadre DPSIR pour identifier les indicateurs de base pour les ressources en eau.

Systèmes des ressources en eau sont touchés par deux les principaux facteurs, naturels (climat, par exemple) et anthropique (développement). Ces facteurs entraînent certaines pressions sur les ressources en eau, qui se traduisent par des impacts sur les ressources en eau douce, soit en modifiant la quantité et / ou la qualité des eaux souterraines et de surface.

Les principaux facteurs de changement dans la ressources en eau et les principaux domaines d’impact de ces facteurs ont été présentées ci-dessous (Figure 3.4).

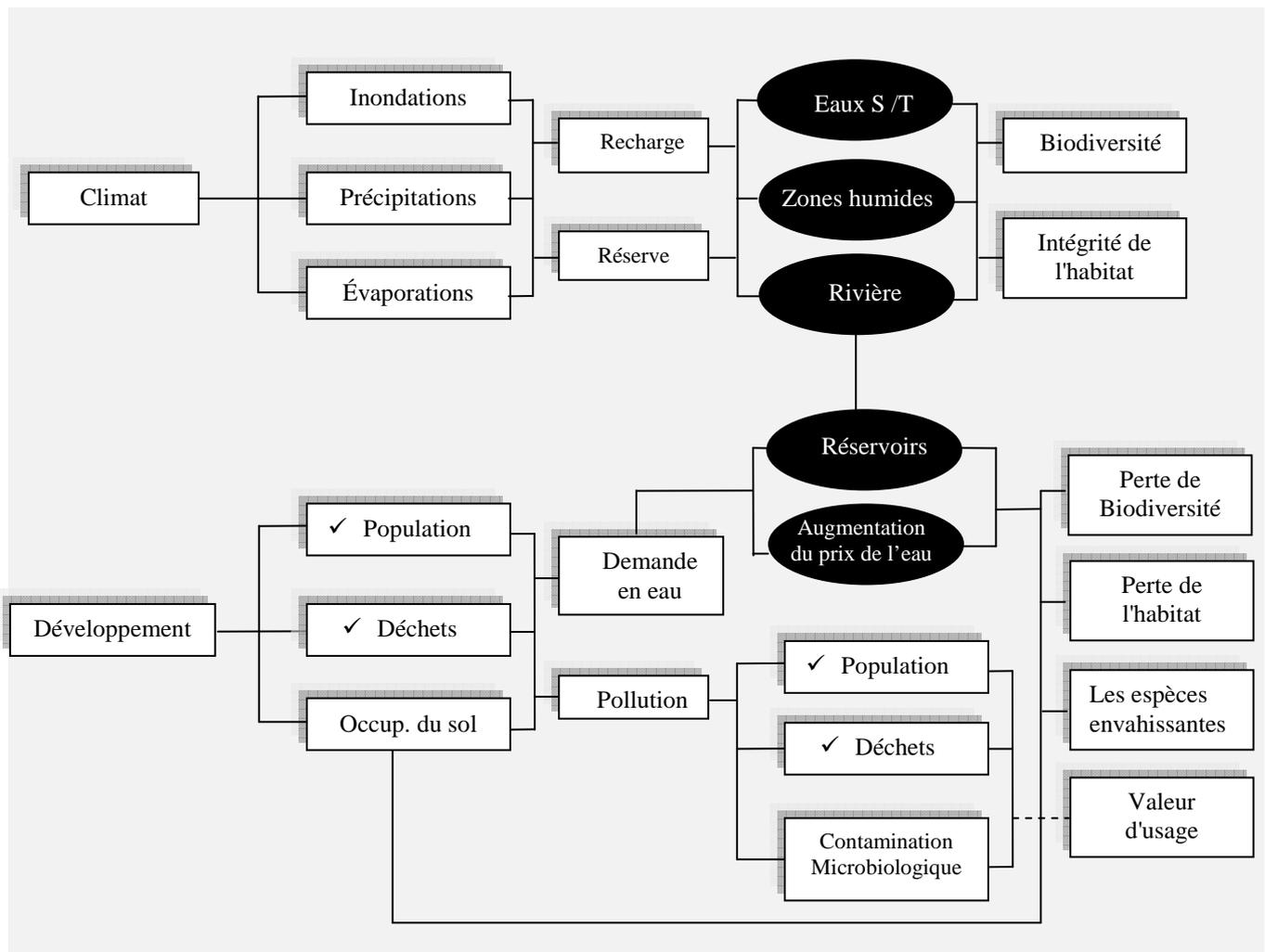


Figure 3.4 Les principales forces motrices affectant la ressource en eau à l’Afrique du Sud

Les six questions préoccupantes soulevées ont été encore déballés dans les causes possibles, comment la question se traduit et les actions de gestion, c'est-à-dire (le modèle DPSIR). Les problèmes identifiés sont les suivants:

Enjeux environnementaux liés à la ressource en eau :

1. Les ressources en eau douce de surface et souterraine sont très limitées
2. La modification de la qualité des eaux (de surface et souterraines)
3. La dégradation et la perte de l'intégrité des écosystèmes d'eau douce
4. Gestion des inondations et la sécheresse de l'intérieur des ressources en eau

Les questions Socio-économiques et politiques relatives aux à la ressource en eau :

5. Répartition inadéquate et inéquitable des services
6. Les conflits d'intérêts sur le partage de l'eau (national et international)

3.4.2 Analyse Critique de la Gestion de l'Eau en Algérie

La politique engagée vise à créer un outil de décision à moyen terme, actualisable ultérieurement sans intervention extérieure, pour le développement et la gestion des ressources hydriques de l'Algérie. Elle s'articule autour des concepts suivants:

1. Préciser l'étendue et la qualité des ressources hydriques y compris les ressources non conventionnelles;
2. Évaluer les demandes en eau, aujourd'hui et à l'avenir;
3. Dresser l'inventaire des infrastructures existantes et projetées, identifier de nouvelles potentialités et engager les actions pour leur mobilisation et transfert;
4. Confronter, d'une manière dynamique, les ressources et les besoins et chiffrer les coûts et les bénéfices de chaque variante ainsi que son impact sur l'économie nationale;
5. Examiner le cadre institutionnel et son adéquation pour la gestion et la protection de la ressource.

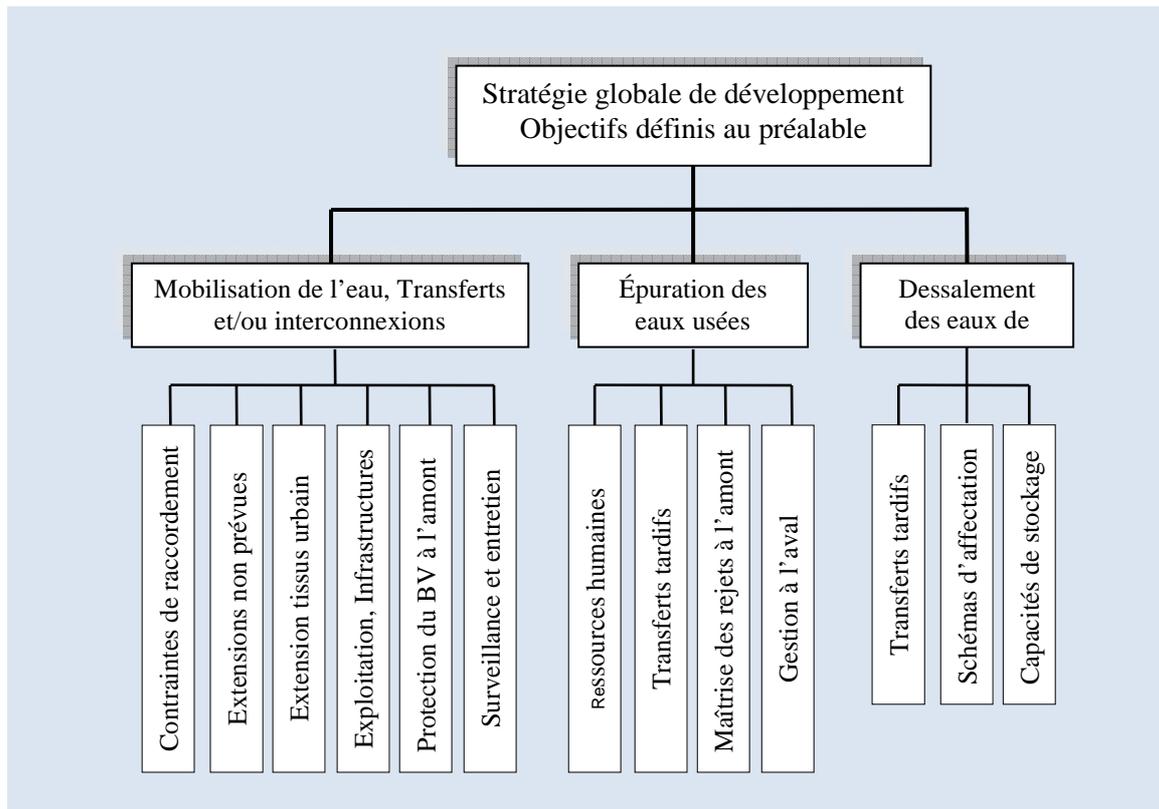


Figure 3.5 Schéma de synthèse de la stratégie du secteur de l'eau

À la lumière de la revue de la littérature, le nouveau modèle conceptuel et les études de cas présentées, l'analyse critique du modèle de gestion à la figure 3.5 conclut ce qui suit :

- Les trois éléments du modèle ne reflètent pas les concepts de durabilité qui sont sociales, économiques, environnementales et institutionnelles;
- La gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) ne doit pas être l'un des trois éléments pour parvenir à une gestion durable des ressources en eau. La GIRE est une approche et un processus qui mène à un développement durable;
- Les actions proposées dans le plan national de l'eau ne répond pas à la gravité et de l'ampleur des problèmes liés à l'eau;
- Les variables liées à l'eau n'ont pas été développés qui rend la surveillance, le suivi et la mesure de l'efficacité du plan de difficile, et
- L'utilisation de l'eau pour l'écosystème de la nature est manquante.

Chapitre 4 L'Application du Nouveau Modèle Conceptuel de la GIRE dans le bassin versant de Saf-Saf

4.1 Introduction

L'utilisation de l'eau nécessite la mise en place d'infrastructures complexes et génère des impacts environnementaux tant au niveau de la ressource elle-même qu'au niveau des infrastructures d'exploitation et d'assainissement. Sa gestion est cruciale et fait l'objet de nombreux textes réglementaires.

Le cycle de vie dans le cadre de la gestion des ressources en eau dans le bassin versant de Saf-Saf est représenté par la figure qui se suit (Figure 4.1). La mobilisation de l'eau se fait à partir des différents types de ressources (conventionnelles et non conventionnelles), pour assurer l'alimentation en eau potable, en eau d'irrigation et en eau industrielle. La population desservie par l'AEP à travers le bassin versant de Saf-Saf est estimée à 76% en moyenne, une station de dessalement de l'eau de mer est implantée à la commune de Skikda avec une capacité de $1.6 \text{ hm}^3 \cdot \text{an}^{-1}$ afin de couvrir les abonnés et les institutions publics. L'alimentation en eau pour l'irrigation se fait à partir des barrages, retenues collinaires, puits ...etc. Pour l'industrie le pôle pétrochimique consomme une quantité d'eau de plus de $7 \text{ hm}^3 \cdot \text{an}^{-1}$, la satisfaction de cette quantité se fait par le barrage, les forages et l'eau de mer dans le cas de refroidissement des turbines électriques.

Dans le milieu urbain, les eaux usées (domestiques et industrielles) rejetées dans les affluents du bassin versant de l'oued Saf-Saf sans aucun traitement ainsi que les rejets atmosphériques dues aux activités pétrochimiques causent des pollutions des eaux, des sols et de l'air.

Dans le milieu rural, la pollution des eaux peut être menée par les rejets des eaux usées dans les cours d'eau sans traitement et aussi par l'utilisation intensive des pesticides et les fertilisants chimiques ou organiques dans l'agriculture.

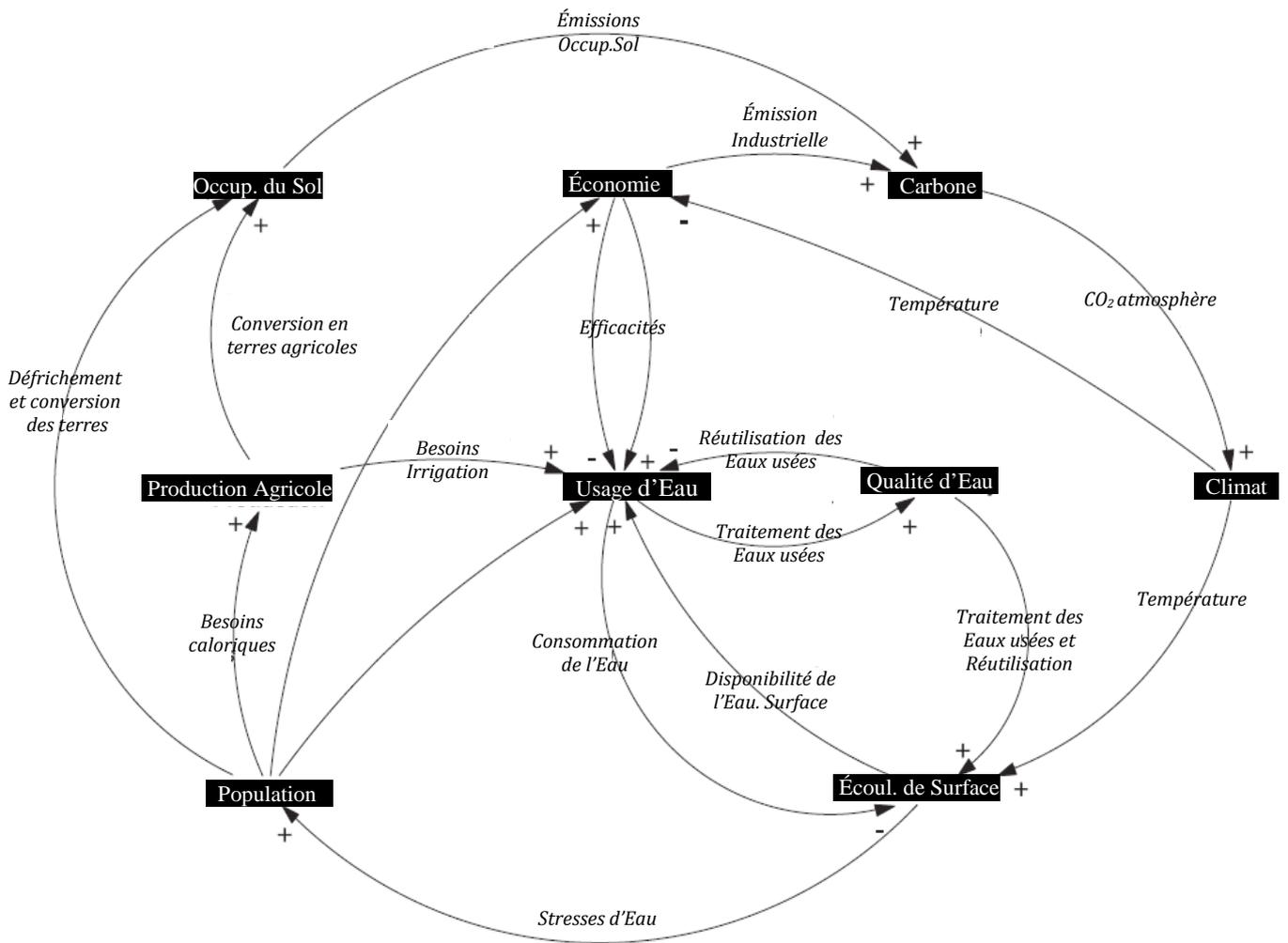


Figure 4.1 Le cycle de vie dans le cadre de la gestion des ressources en eau

4.2 Caractéristiques Générales de la Ressource en Eau

4.2.1 Les Potentialités de l'Eau

4.2.1.1 Les Eaux de Surfaces

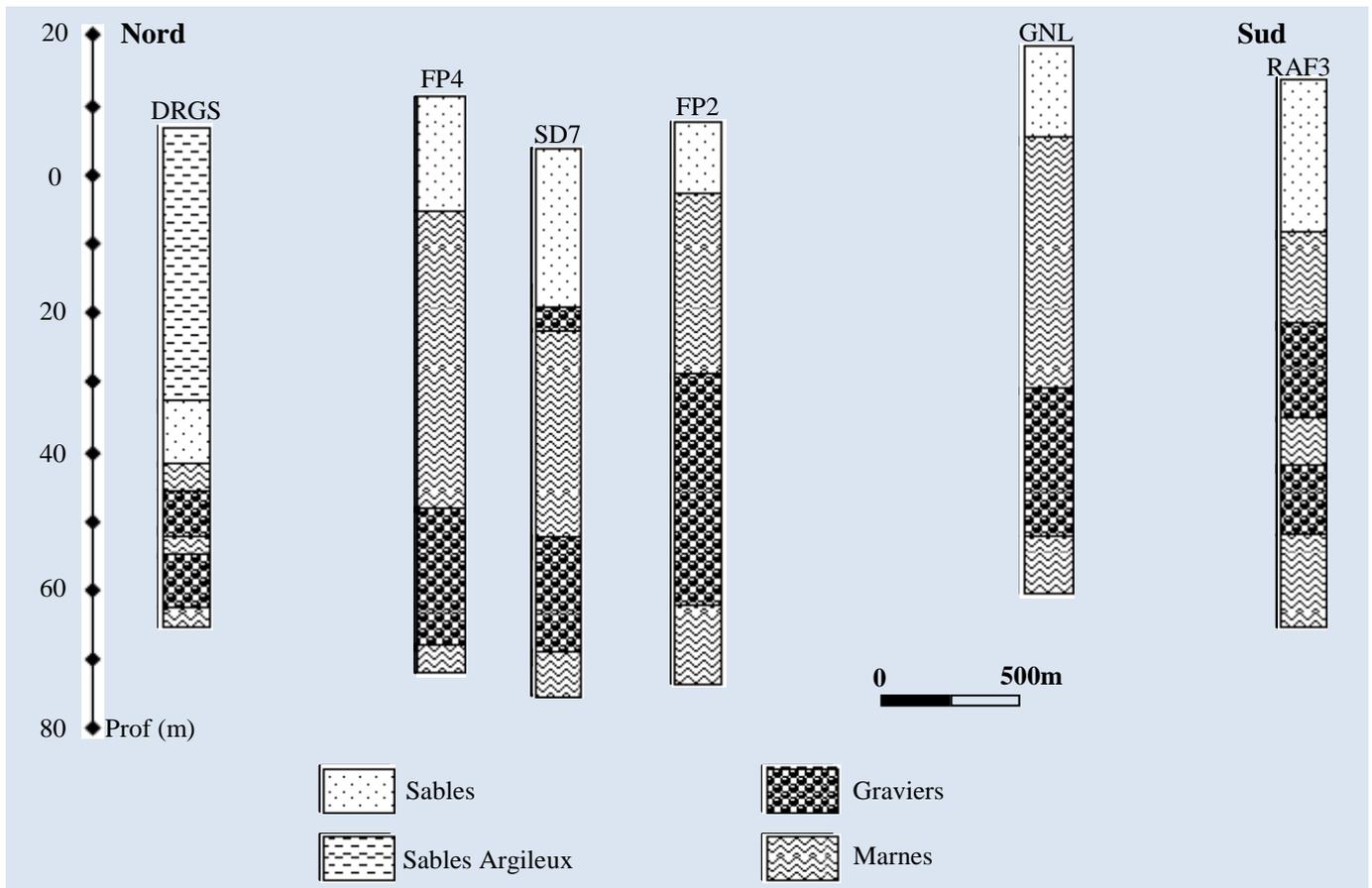
Les ressources en eau de surfaces proviennent totalement de l'oued Saf-Saf et ses affluents, avec un apport approximatif extrapolé de l'ordre de $110 \text{ hm}^3 \cdot \text{an}^{-1}$ (Khalfaoui, 2008). Pour les barrages, le seul de Zerdezas qui contient un volume annuel de $30.32 \text{ hm}^3 \cdot \text{an}^{-1}$ destiné à l'alimentation en eau potable, l'alimentation en eau industrielle et l'irrigation. Ces besoins seront comblés par l'importation d'un volume annuel de $12.04 \text{ hm}^3 \cdot \text{an}^{-1}$ à partir du barrage de Guénitra (bassin versant de l'oued Guebli).

Concernant les retenues collinaires, elles sont essentiellement destinées à l'irrigation des terres agricoles. Elles sont au nombre de 18 retenues (ABH, 2000) mobilisant un volume annuel de $2.54 \text{ hm}^3 \cdot \text{an}^{-1}$.

4.2.1.2 Les Eaux Souterraines

Les logs litho-stratigraphiques des forages d'exploitation au niveau de la partie aval du bassin versant de Saf-Saf montrent que le système aquifère est de type bicouche composé essentiellement de deux nappes superposées (Figure 4.2):

La nappe superficielle qui circule dans des sables quaternaires et dont l'épaisseur varie de 8 à 30 m. Elle est en relation directe avec la surface et repose sur un substratum marneux imperméable, latéralement semi-perméable au Sud par la présence des argiles sableuses. Ainsi, cette nappe est alimentée par les précipitations et l'oued Saf-Saf surtout en période de crue ; la majorité des puits qui captent les eaux de la nappe superficielle, dont le rôle est limité uniquement à satisfaire les besoins domestiques et l'irrigation de quelques parcelles. Les débits d'exploitation sont très peu significants ;



La nappe profonde dite aussi « nappe des graviers » qui s'écoule dans des graviers, galets et sables, est située en dessous de la nappe superficielle. Son épaisseur au niveau de la zone industrielle varie entre 6 et 42 m. Elle est sollicitée par dix forages pour l'alimentation en eau industrielle. Cette nappe n'est limitée dans toutes les directions qu'avec des schistes métamorphiques, sauf au nord par la mer méditerranéenne. Elle repose sur un substratum marneux et se caractérise avec un toit marneux qui devient argilo-sableux à l'Est. Ainsi, l'alimentation de cette nappe s'effectue par les précipitations, l'oued Saf-Saf et enfin parfois par drainance à partir de la nappe superficielle aux lieux semi-perméables à l'Est, cette nappe est captée par une soixantaine de forages, dont 18 forages sont abandonnés pour des raisons de colmatage ou du rendement très faible, et plus de quarante forages en service mobilisent annuellement un volume de $14,53 \text{ Hm}^3 \cdot \text{an}^{-1}$, ils sont destinés essentiellement à l'alimentation en eau potable et aussi pour l'industrie (besoins de la zone industrielle).

4.2.1.3 Les Eaux non Conventionnelles

Une station de dessalement de l'eau de mer est implantée à la commune de Filfila avec une capacité de production annuelle de $3.65 \text{ hm}^3 \cdot \text{an}^{-1}$. Mais actuellement elle produit qu'un volume annuel de l'ordre de $1.46 \text{ hm}^3 \cdot \text{an}^{-1}$ afin de combler le déficit en eau potable à Skikda et Fil-fila.

4.2.2 La Qualité de l'Eau

4.2.2.1 Faciès chimiques

A partir du diagramme de Piper présenté dans la figure 4.3, pour une campagne des basses eaux (périodes Août 2005), les points figuratifs des analyses situent les cations dans le domaine magnésique (74%) et accessoirement dans le domaine calcique (26%). Les anions sont plutôt figurés à 91 % dans le domaine bicarbonaté (56 %) et accessoirement dans le domaine chloruré (35%). Ainsi, nous observons trois principaux faciès chimiques :

- 1- Bicarbonaté magnésique
- 2- Chloruré calcique
- 3- Chloruré magnésique.
- 4-Sulfatées calciques

Les eaux de l'oued Saf-Saf sont caractérisées essentiellement avec un faciès de type bicarbonaté magnésique (Mg-HCO_3) (Labar S. et al. 2006).

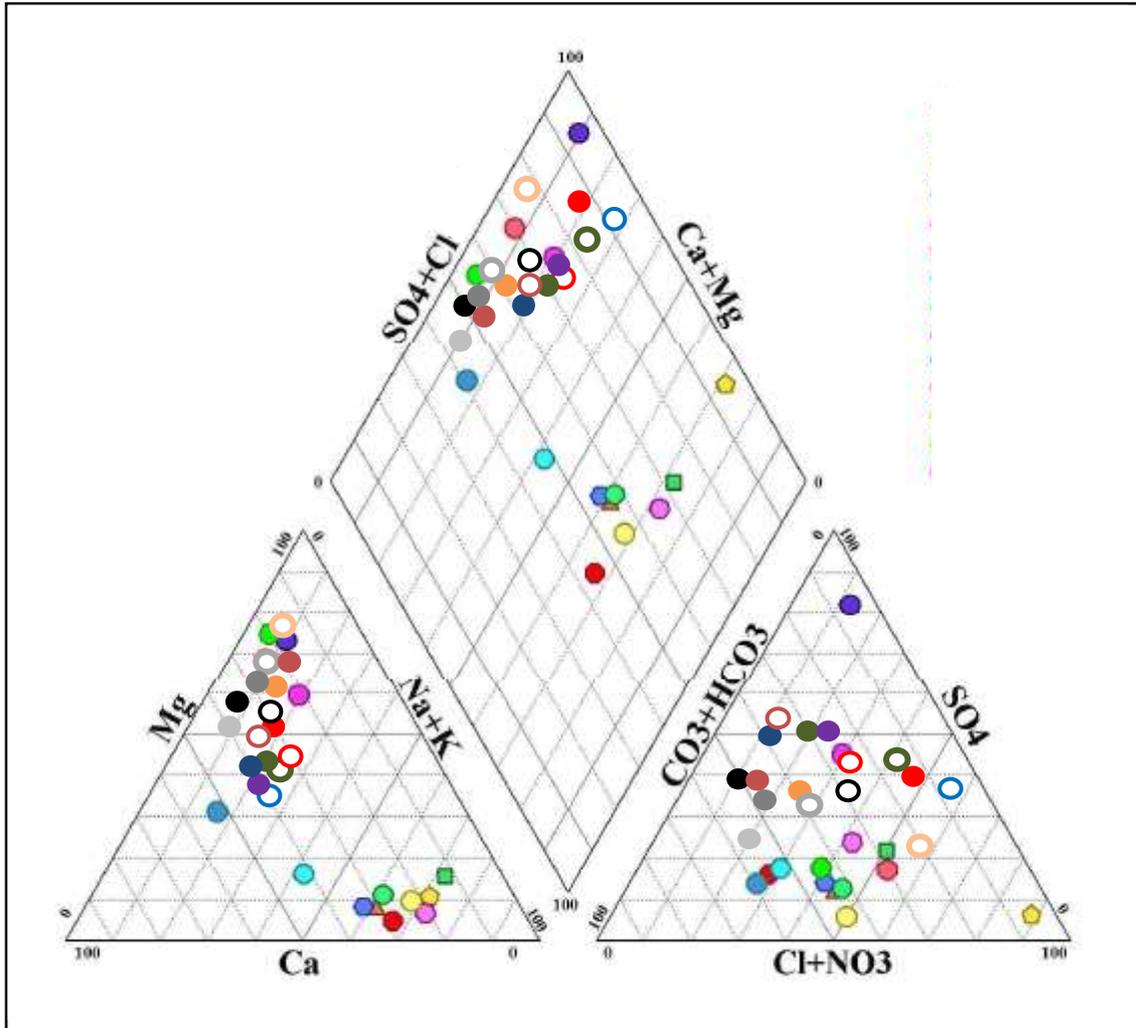


Figure 4.3 Diagramme de Piper pour les eaux de la nappe superficielle (Aout 2005)

4.2.2.2 Évolutions des Paramètres Physicochimiques des Eaux de la Nappe libre

◆ Conductivité Électrique ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)

L'analyse des graphiques de la conductivité électrique montre que la majorité des points d'eau dépassent la norme recommandée (Figure 4.4) pour les eaux d'alimentation en eau potable, à l'exception des piézomètres (Pz92 et Pz 47). Pour les eaux d'irrigation, tous les points d'eau ne dépassent pas la norme. Les valeurs extrêmes sont de 243 et 5980 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ dues aux débits importants de l'oued aux apports du barrage Zerdezas qui diluent les concentrations. Par contre des valeurs plus importantes peuvent se présenter accidentellement parfois par le rejet direct des eaux de mer par défaillance de la station de dessalement qui se trouve à l'intérieur de la zone industrielle (Labar *et al*, 2007a).

◆ Le potentiel en Hydrogène (pH)

Le pH de l'eau est la mesure de l'équilibre acide-base, il est contrôlé par le système d'équilibre CO₂-Bicarbonates-Carbonates. La figure 4.4 montre que tous les points d'eau se trouvent dans l'intervalle de la norme de potabilité avec des valeurs du pH variant de 4.6 à 8,7.et présentent une évolution naturelle normale.

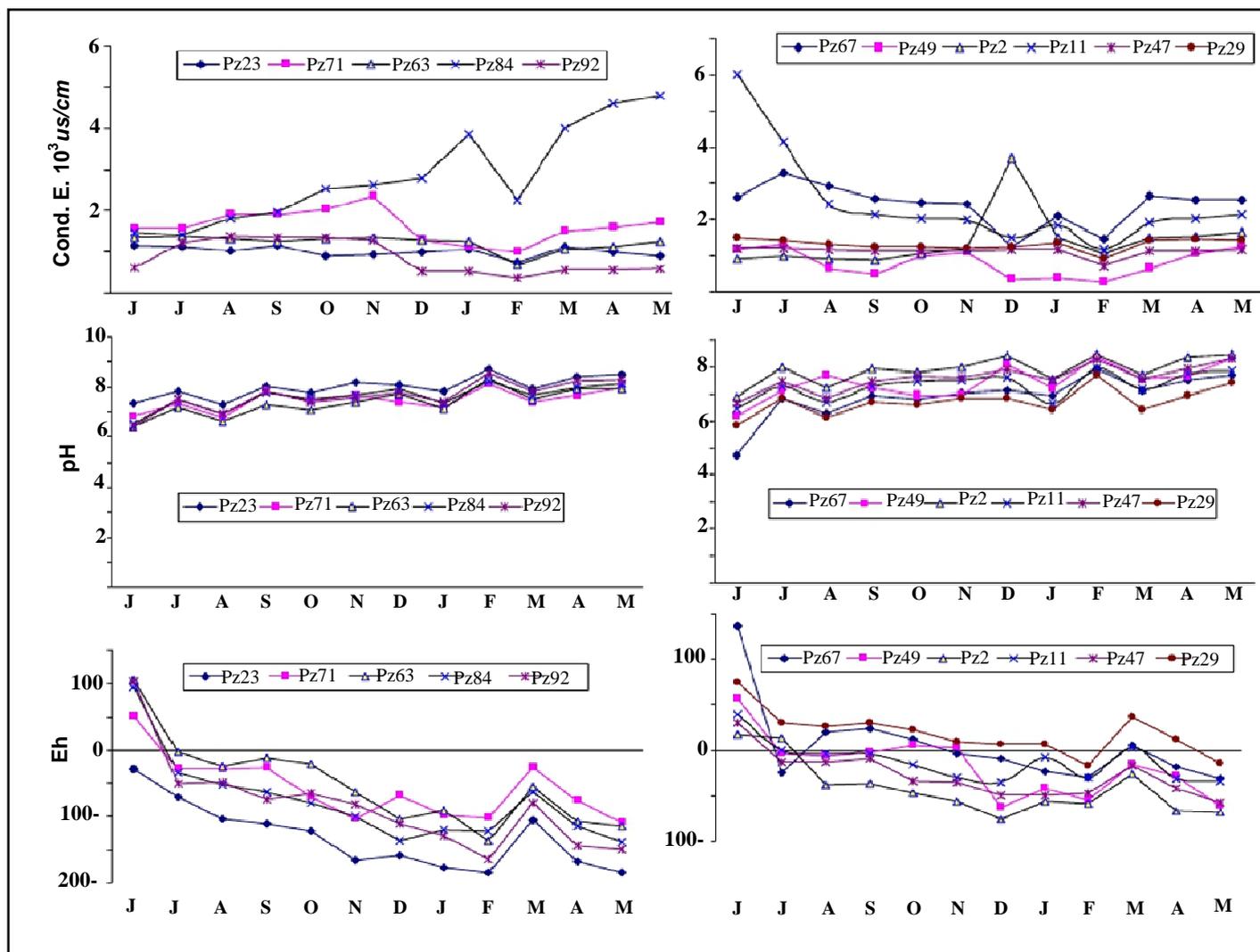


Figure 4.4 L'Évolution de la CE, du pH et Eh des Eaux de la Nappe libre

◆ Le Potentiel d'oxydoréduction (Eh)

Le paramètre Eh nous permet de prévoir l'état des ions chimiques dans l'eau et la direction des réactions chimiques (oxydation ou réduction). La Figure 4.4 montre que les eaux de la nappe superficielle présentent des valeurs du potentiel d'oxydoréduction très variables durant toute l'année. Ces eaux souterraines semblent très influencées par une origine

anthropique qui ne peut être que les rejets organiques industriels essentiellement les hydrocarbures qui font diminuer l'oxygénation en consommant l'oxygène (Labar S. *et al*, 2007). Ainsi les eaux de la nappe superficielle indiquent dans la majorité des points d'eaux (Figure 4.4) sur un milieu réducteur.

◆ **Le Calcium (Ca^{2+})**

La présence du Ca^{2+} dans les eaux souterraines a deux origines, le premier est celui de la dissolution des calcaires (CaCO_3), et le second par la dissolution de la gypseuse (CaSO_4). La figure 4.5 montre que les eaux de la nappe superficielle présentent des concentrations en calcium variant de 20 et 490 mg.l^{-1} . Alors la plus part des points d'eau sont à la norme, à l'exception de quelques valeurs élevées qui sont observées au niveau de quelques points (Pz71, Pz29 et Pz67) en amont de la nappe superficielle (490 mg.l^{-1}) à cause des lentilles gypseuses existant dans le réservoir aquifère et de la dissolution des cipolins (socle métamorphique) et à cause des formations évaporitiques qui existent à l'amont.

◆ **Le Magnésium (Mg^{2+})**

L'origine du Mg^{2+} est semblable à celle du Ca^{2+} , parce qu'il provient de la dissolution des calcaires dolomitiques $(\text{Ca,Mg})\text{CO}_3$ à fortes teneurs en magnésium. La figure 4.5 montre que la majorité des points d'eaux de la nappe superficielle dépassent presque durant toute l'année la norme de potabilité en teneurs de magnésium. Les valeurs extrêmes se remarquent au mois de juillet à cause de l'effet de l'évaporation. Alors que les plus faibles concentrations durant les autres mois sont dues aux effets de dilution par les apports de pluies aux mois de janvier et février.

◆ **Le Potassium (K^+)**

C'est un élément assez important dans les minéraux silicatés (plagioclases potassiques, argiles potassiques), sa présence à peu près constante dans les eaux naturelles et ne dépassent pas habituellement 10 à 15 mg.l^{-1} . Dans le cas de la nappe superficielle le potassium provient de l'altération des formations argileuses (argiles potassiques).

◆ **Les Chlorures (Cl^-) et le Sodium (Na^+)**

L'origine de ces éléments est liée principalement à la dissolution des formations salifères et à l'effet de l'intrusion marine. Ainsi, les teneurs des chlorures et du sodium qui sont très variables sont dues à la dissolution rapide des formations évaporitiques riches en halite.

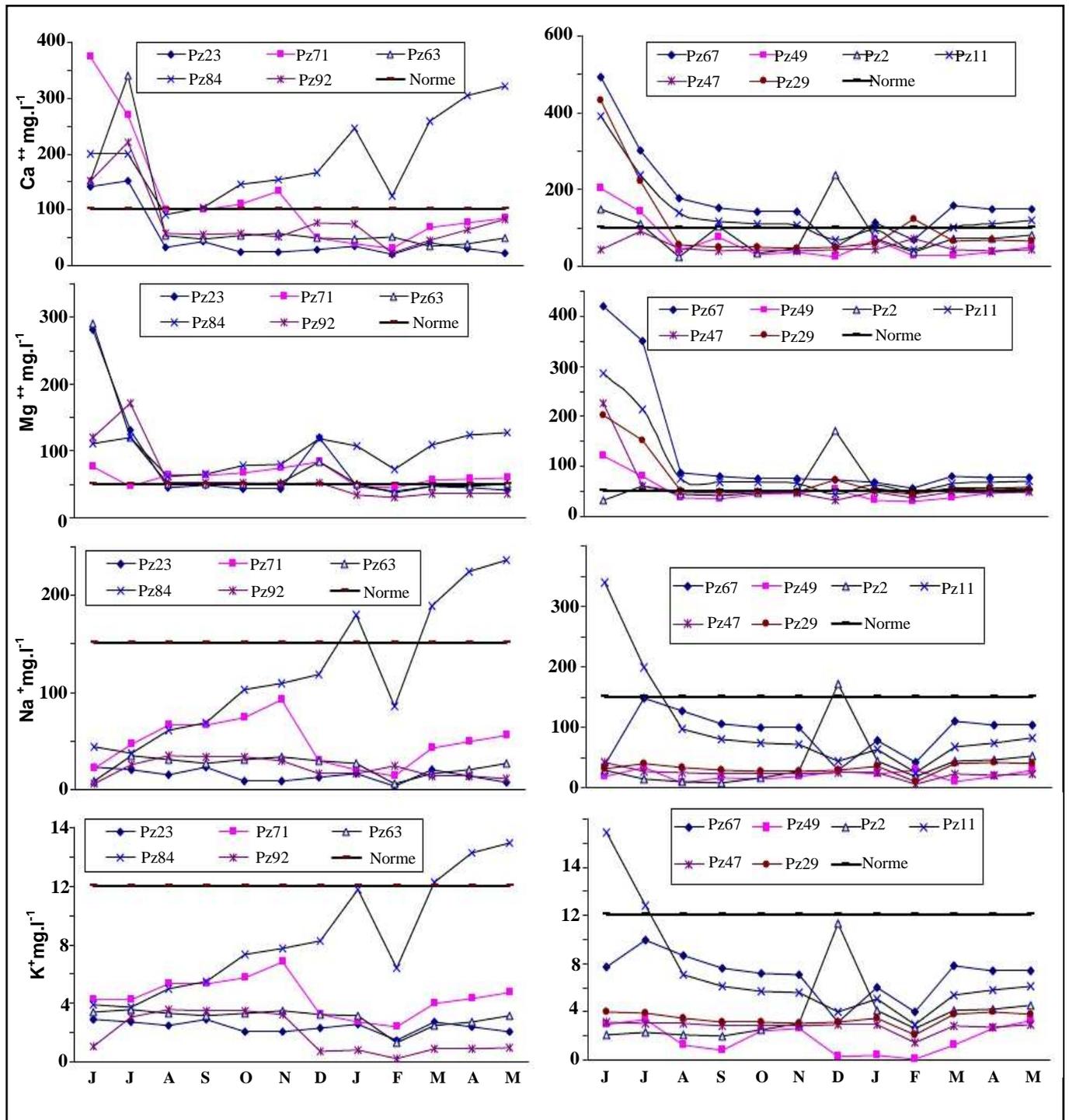


Figure 4.5 L'Évolution du Ca²⁺, le pH, du Mg²⁺, du Na⁺ et du K⁺ des eaux de la nappe libre

Les teneurs des chlorures présentent en général des valeurs inférieures aux normes de potabilité avec une moyenne qui varie entre 175 et 192 mg.l⁻¹, à l'exception des points d'eau (Pz11, Pz67, Pz84 et Pz71) ou les teneurs en chlorures dépassent les 400 mg.l⁻¹ aux mois de mai, juin et juillet. Alors les teneurs du sodium varient entre 39 et 51 mg.l⁻¹, ceci renseigne sur l'effet de dilution par les pluies.

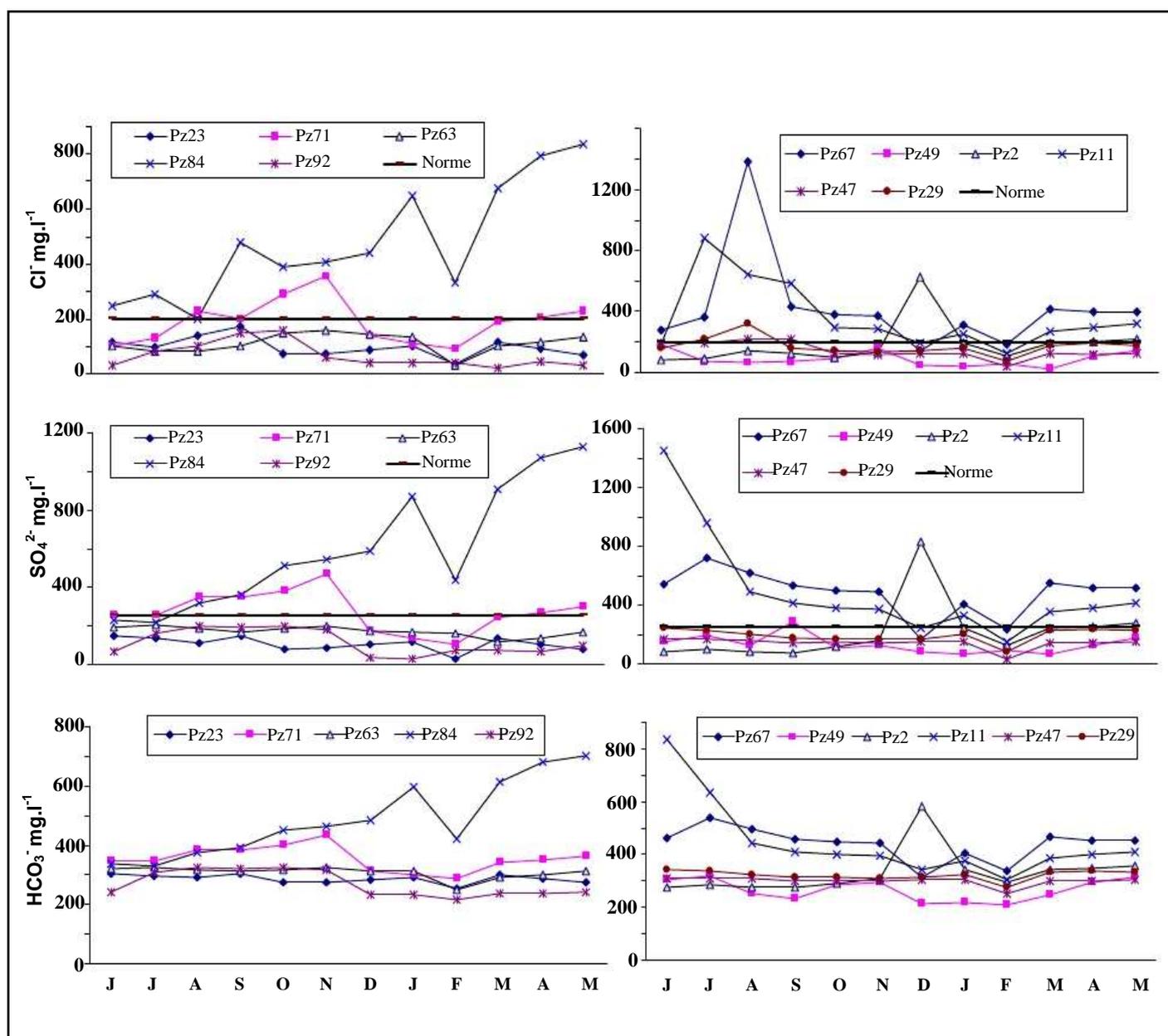


Figure 4.6 L'Évolution du Ca²⁺, le pH, du Ma²⁺, du Na⁺ et du K⁺ des eaux de la nappe libre

◆ Les Sulfates (SO_4^{2-})

L'origine de la présence du SO_4^{2-} dans les eaux souterraines est la dissolution des formations gypseuse (CaSO_4). Ainsi, la figure 4.6 montre que l'évolution des sulfates dans les eaux de la nappe superficielle suit des trajectoires normales avec des concentrations réduites pendant toute l'année et presque dans la majorité des points d'eaux. Cependant, certains points (Pz11, Pz67 et Pz84) présentent des valeurs excessives à cause des apports supplémentaires en sulfates à partir de l'évaporation et de la dissolution des formations gypseuses. Également, on peut associer à cette origine de forte concentration de cet élément dans la nappe superficielle l'apport des hydrocarbures bruts qui sont relativement chargés en sulfates.

◆ Les Bicarbonates (HCO_3^-)

Les ions de bicarbonate sont définis par les hydrogénocarbonates et caractérisent essentiellement l'alcalinité des eaux naturelles. Ainsi, dans les eaux naturelles l'alcalinité, exprimée en HCO_3^- , varie de 10 à 350 mg.l^{-1} . La présence des bicarbonates dans l'eau est due essentiellement à la dissolution des formations carbonatées (cipolins, calcaires) par des eaux chargées en gaz carbonique. La présence de cet élément dans les eaux souterraines de la nappe superficielle est dans les normes durant toute l'année et dans tous les points d'eaux (Figure 4.6). Les fortes teneurs en bicarbonates sont dues principalement aux apports souterrains sortant du socle métamorphique (Iabar et al, 2006).

4.3 Les Usagers de l'Eau

L'eau est nécessaire pour de nombreux usages qui dépendent de sa quantité et sa qualité. Mais certains usages peuvent avoir un impact sur la ressource et compromettre à la fois le bon fonctionnement du milieu naturel et les autres usages qui en dépendent. Préserver l'eau, tout en conciliant l'ensemble des usages avec les besoins du milieu naturel, est donc un enjeu d'intérêt général. Pour la préserver, nous devons la gérer ensemble à l'échelle du bassin versant.

4.3.1 La Population

La population totale du bassin versant de l'oued Saf-Saf est estimée à 425068 habitant, à l'an 2010, en se basant sur l'année de référence ou un RGPH (Recensement Générale de Population et d'Habitat) de l'année 1998, avec un taux d'accroissement démographique de

l'ordre de 2.31% selon les données de la DPAT (Direction de Planification et d'Aménagement de Territoire).

La proportion de la population urbaine est estimée à 60% et les 40% restant représentent la population rurale. La projection de la population est présentée dans la Figure 4.7.

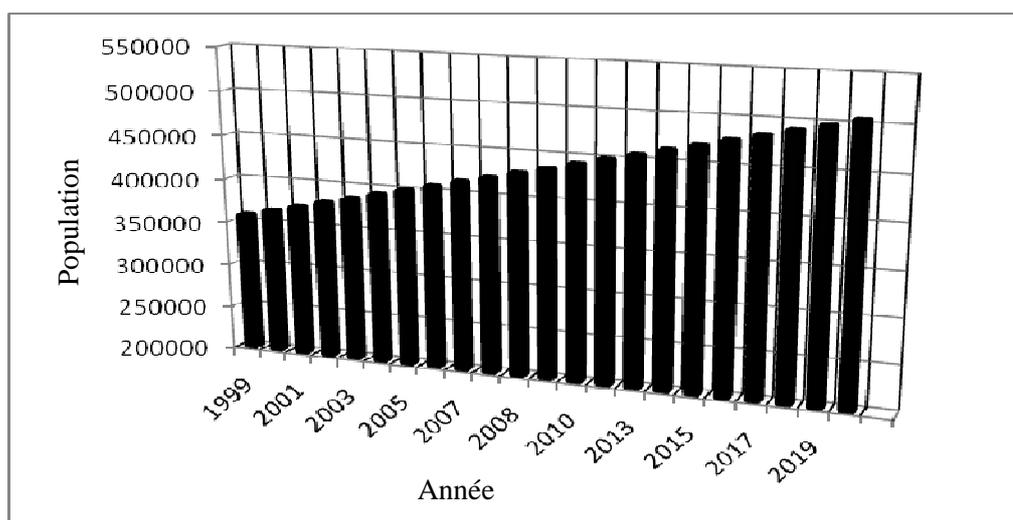


Figure 4.7 L'Accroissement démographique dans le bassin versant

4.3.2 L'Industrie

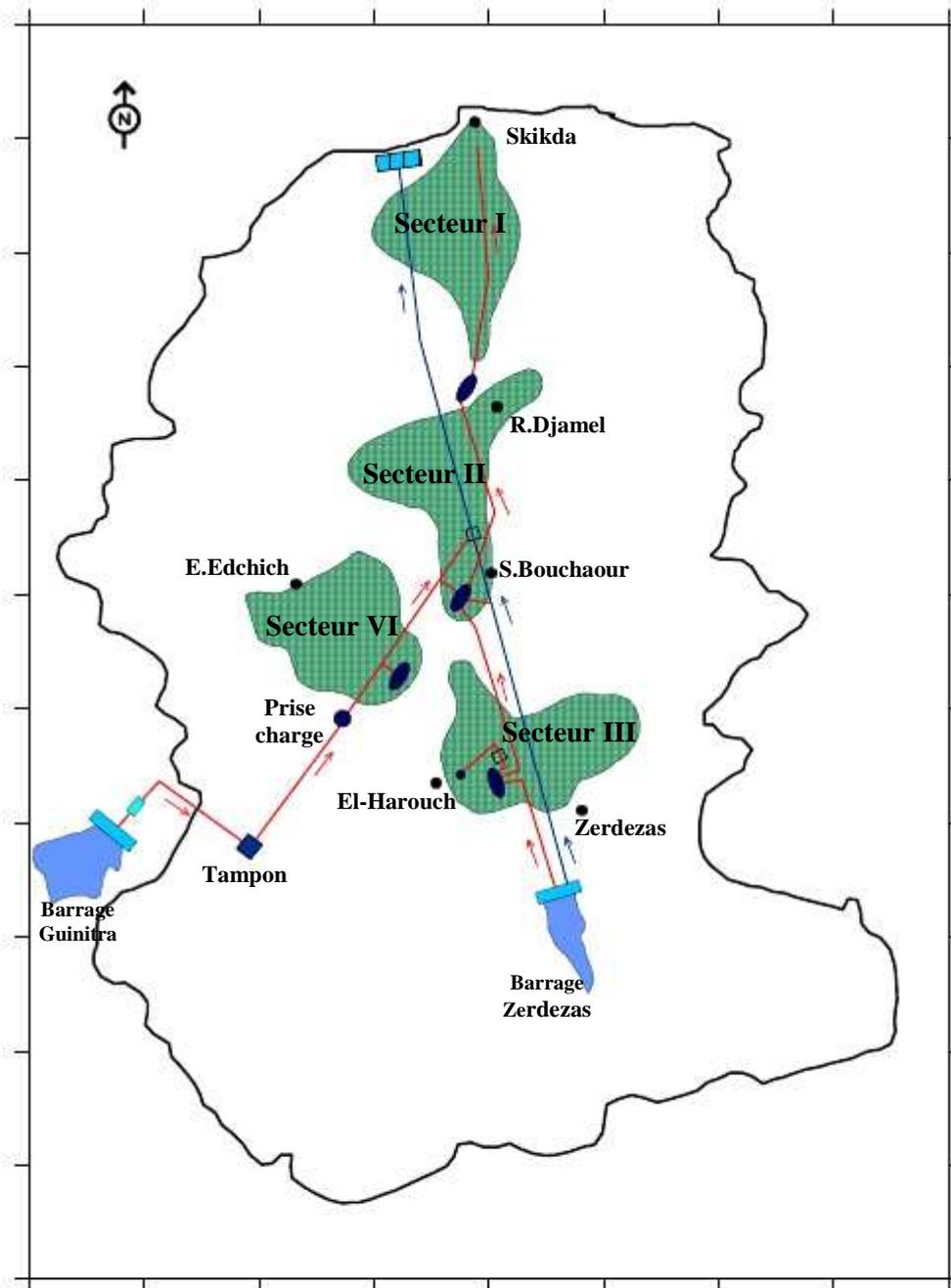
La partie aval du bassin versant est très connue par sa vocation industrielle, n'est définie que par une activité industrielle très développée. L'intensité de l'activité industrielle est le résultat de la mise en œuvre de toute une stratégie de développement national qui s'exprime à travers les différents plans successifs et qui a permis à cette zone d'être aujourd'hui une plate forme privilégiée de valorisation de ses ressources en hydrocarbures. En effet, le secteur industriel se caractérise par une prédominance de l'activité pétrochimique représentée par le complexe des matières plastiques CP1/K, le complexe de raffinage RA1/K, ainsi que par le complexe de liquéfaction de gaz naturel GL1/K. Le pôle de production pétrochimique représente le troisième consommateur d'eau (il consomme près de $7.1 \text{ hm}^3 \cdot \text{an}^{-1}$, soit 12.40%) après l'agriculture et la consommation domestique. Alors que, dans la partie centrale, et l'amont du bassin versant Saf-Saf sont caractérisées par des activités industrielles très limités et de type agroalimentaire telles que les huileries, les moulins, les conserveries etc.

Tableau 4.1 Les unités industrielles dans le bassin versant Saf-Saf

Localisation	Unités	Type de produit
Skikda	RA1/K	Le raffinage des produits pétrochimiques
	GL1/K	Liquéfaction du gaz naturel
	CP1/K	Les matières plastiques
	ENGI	Oxygène, Azote et Argon naturel
	ENDG	Gaz industriel
	POLYMED	Produits pétrochimiques
	CTE	L'électricité
	ENAMARBRE	Marbre
H.Krouma	ERID	Semoule
Bouchtata	Huileries	Huiles
R.Djamel	Conserverie	Huiles
El.Hrrouch	ERID	Semoule
	Huilerie	Huiles
E.Eddchich	Huilerie	Huiles
Zerdezas	Huilerie	Huiles
El.Ghdir	Huilerie	Huiles
S.Mezghich	Huilerie	Huiles

4.3.3 L'Agriculture

La promotion du milieu rural et autosuffisance alimentaire sont les deux objectifs fondamentaux de la nouvelle politique agricole nationale, basée à une gestion intégrée des ressources en eau dans les terres agricoles. Les superficies des terres agricoles équipées et irriguées se localisent le long de la vallée de l'oued Saf-Saf, elles sont estimées à 5054 hectares et sont divisées en quatre secteurs différents qui sont : le secteur I de Skikda-B.Béchar, le secteur II de S.Bouchaour-R.Djamel, le secteur III d'El Harrouch et le secteur (IV) de E.Eddchich (Figure 4.8), ce périmètre irriguée est géré par l'Office Nationale d'Irrigation et de Drainage (ONID), alors que les autres terres agricoles sont gérées par la Direction des Services Agricoles (DSA) de la willaya de Skikda. L'ensemble des terres agricoles du bassin versant consomme un volume d'eau annuel de $24.45 \text{ hm}^3 \cdot \text{an}^{-1}$ (soit 43.61% de la consommation totale) afin d'irriguer les cultures maraîchères (pomme de terre, l'oignon,....etc.), l'arboriculture,....etc.



La Légende

-  Conduite mixte AEP. Irrigation
-  Conduite AEP Skikda
-  Réservoirs
-  Sens d'écoulement après pompage
-  Station traitement AEP Skikda
-  Agglomération

0 10km

Figure 4.8 Le Périmètre d'Irrigation de la Vallée de L'Oued Saf-Saf (Khalfaoui F, 2008)

4.3.4 L'État des Eaux Usées et Déchets

- **Les eaux usées domestiques et industrielles**

Dans l'ensemble du BVSS le système d'assainissement est généralement de type unitaire. Les eaux usées domestiques sont estimées à $28 \text{ hm}^3 \cdot \text{an}^{-1}$, alors que celles issues de l'industrie sont estimées à $221 \text{ hm}^3 \cdot \text{an}^{-1}$, tous les réseaux d'assainissement sont destinés à rejeter les eaux usées dans les cours d'eau (comme oued Zeramna et oued Saf-Saf) sans aucun traitement comme montre les Figures suivantes :



Figure 4.9a Les rejets des eaux usées domestiques



Figure 4.9b Le rejet des eaux usées de la CTE

- **Les déchets solides**

Les déchets solides rejetés dans les décharges des communes du bassin versant sont estimés à 270 tonnes par jour, l'analyse des déchets (d'après la direction de l'environnement) montre que 75% des déchets correspond à la matière organique, une proportion de 9% de plastiques, 8% de papier et cartons et le reste comme matière divers. L'élimination des déchets se fait soit par combustion comme la décharge de Zef-Zef (Figure 4.10a) ou bien par des centres d'enfouissement technique CET (Figure 4.10b) recommandés par des organismes internationaux comme l'OMS, la banque mondiale,etc.



Figure 4.10a La décharge de Zef-Zef



Figure 4.10b Le centre d'enfouissement technique

4.3.5 La Vulnérabilité des aquifères étudiés

La pollution urbaine et industrielle qui s'accroît d'année à une autre ainsi que les risques de contamination des aquifères péris urbains s'intensifient de manière préoccupante.

D'un point de vue qualitatif, il est admis que les eaux souterraines sont généralement mieux protégées. Lorsqu'un aquifère est contaminé par une substance chimique, la pollution peut durer longtemps. Avec des temps de séjour de quelques semaines à quelques années, les eaux souterraines sont plus sensibles aux pollutions que les rivières dans lesquelles les molécules ne font généralement que transiter. Cette notion est particulièrement importante pour des molécules persistantes comme les nitrates et les pesticides. Enfin, grâce à la couche imperméable qui les recouvre, les nappes captives sont moins exposées aux pollutions que les nappes libres. Les caractéristiques naturelles (profondeur de l'eau, type de sol, perméabilité...etc.) peuvent influencer la vulnérabilité des aquifères. Ainsi, celle-ci résulte d'une combinaison de plusieurs facteurs, à savoir :

1- La profondeur de l'eau qui conditionne l'évolution d'un polluant dans le sol et le sous-sol. Dans notre cas elle varie de 8 à 30 m.

2- La recharge efficace qui renouvelle les eaux souterraines et entretient le débit de l'écoulement souterrain. Dans notre cas elle est de l'ordre de 72 mm.

3- Les matériaux de l'aquifère sont définis principalement par les sables au Nord et les graviers au sud.

4- Le type de sol de part sa nature perméable constitue une zone d'échange importante avec la nappe. Elle peut en effet jouer un rôle d'épuration. Les fonctions du sol sont cependant complexes. Ses principales actions sont, selon sa nature, son épaisseur, le climat local et son activité biologique :

- de dégrader les substances polluantes ;
- de les fixer : le sol joue alors un rôle de "tampon" qui augmente le temps de transfert des substances polluantes vers la nappe ;
- ou au contraire, d'être une source de pollution. Ces deux premières fonctions ne sont cependant pas toujours suffisantes pour protéger les nappes.

Toutefois, notre région est dominée par les sables, un peu par les argiles au Sud et les alluvions aux abords de l'oued Saf Saf.

5- La pente du terrain influe sur l'infiltration efficace et par conséquent sur la propagation d'un contaminant. Les faibles pentes qui sont moins de 12% caractérisent la totalité de notre zone d'étude.

6- La zone vadose (non saturée) qui est la partie comprise entre la surface du sol et la surface de la nappe libre conditionne le transport des polluants vers la nappe. Elle est caractérisée essentiellement dans notre région par les sables alors qu'elle est dominée par les argiles au Sud, à l'Est et à l'Ouest de l'aquifère côtier.

7- La perméabilité du terrain conditionne la dispersion d'un contaminant vers la nappe. Elle varie de 0.04 à 12 m/j et ne dépassent guère les 4 m/j qu'au Nord-Ouest et Sud-Est de l'aquifère côtier.

Ainsi qu'à partir des caractéristiques naturelles et l'application de la méthode DRASTIC (Chaffai et al, 2006). L'analyse de la carte montre la dominance de la class 2 ($100 < I < 150$) caractérisée par une vulnérabilité moyenne à la pollution. Une faible vulnérabilité localisée au Sud d'El Hadaïk et en fin une forte vulnérabilité aux alentours de Skikda et R.Djamel (Figure 4.11).

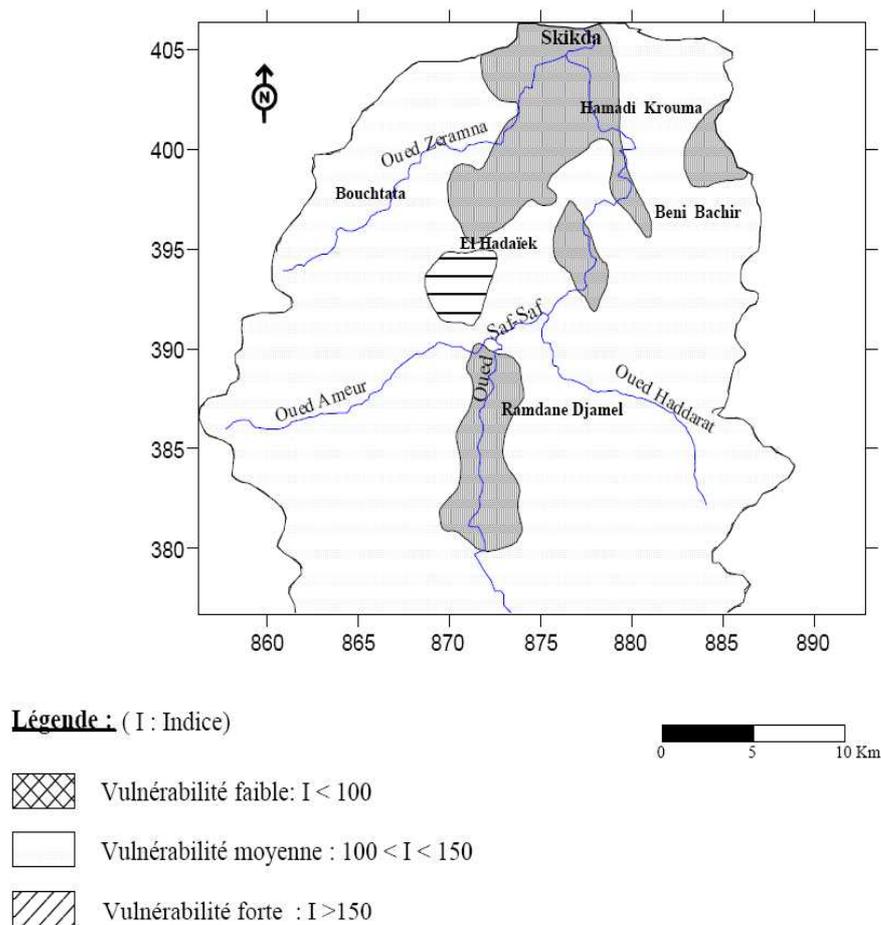


Figure 4.11 Carte de Vulnérabilité de la plaine de Skikda (Chaffai et al, 2006)

4.4 La Description des Variables (Indicateurs)

L'an 2010 était constaté comme une année de référence pour la collecte des données, et la qualité des eaux de surfaces. La mobilisation de la ressource en eau à partir des aquifères, barrages et par le dessalement de l'eau de mer sera la variable dépendante : des variables Force motrice (**Driving force**), des variables de l'**Impact** et les variables de **Réponse**. Le total des solides dissous (TDS) sera une variable dépendante des variables de **Pression** et de l'**État (State)** de la qualité de l'eau de surface la pression de pollution.

1. La Mobilisation de la Ressource en Eau (MRE)

Elle représente la quantité d'eau mobilisée pour les différents usages de chaque commune ou agglomération, elle est mesurée en million de mètre cube par an ($\text{hm}^3 \cdot \text{an}^{-1}$).

2. Le Total des Solides Dissous (TDS)

Le TDS reflète la salinité des eaux douces et son origine naturel (précipitation, lessivages des formations,etc.). Il comprend les sels inorganiques principalement le Calcium, le Magnésium, le Potassium, le Sodium, les Carbonates les Bicarbonates, Chlorures, Sulfates et Phosphates. Le TDS est mesuré en milligramme par litre ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$).

☒ La Catégorie des variables forces motrices (Driving forces)

3. La Population (Pop)

C'est la population totale qui vit à l'intérieur du BVSS à l'an 2006, elle est mesurée en nombre.

4. Les Revenues par Employant (REmp)

Cette variable reflète une moyenne des revenus par habitant et par an, elle mesurée en DA/an

5. L'Occupation du Sol (OccupS)

Elle représente le rapport entre les surfaces urbanisées et les surfaces agricoles dans chaque commune, les surfaces urbaines incluent les établissements publics, les parcs, les jardins ainsi que les établissements industrielles et commerciales, elle est mesurée en pourcentage (%).

6. Le Tourisme (Tourism)

Cette variable reflète tous les algériens ou étrangers qui visitent les communes côtières durant la saison d'été, elle est mesurée en nombre.

7. Le Taux de Raccordement aux Réseaux de l'Eau Potable (TxEP)

Il représente la proportion de la population connectée aux réseaux de l'alimentation de l'eau potable (AEP), il est mesuré en pourcentage (%).

8. Le Taux de Raccordement aux Réseaux des Eaux Usées (TxEU)

Il représente la proportion de la population connectée aux réseaux des eaux usées, il est mesuré en pourcentage (%).

9. La Dotation Journalière de l'Eau Potable (DotEP)

Cette variable signifie la quantité d'eau journalière distribuée à l'habitant dans chaque commune, elle est mesurée en litre par jour et par habitant (l/j/hab).

10. Évacuation des Eaux Pluviales (ÉvEPluv)

Cette variable représente la proportion du recouvrement zones urbaines par les réseaux d'évacuation des eaux pluviales. Ces systèmes comprennent les cours d'eau aménagés et les buses. Elle est estimée en pourcentage (%).

11. Le Prix de l'Eau (PrixE)

Le prix de l'eau est le quotient du coût total des dépenses (distribution) par le volume vendu, il est estimé en dinars algériens par mètre cube d'eau (DA.m⁻³).

12. La Taxation sur l'Eau (TaxE)

C'est le rapport de la taxation des services eaux sur les revenus collectés, donc les taxes sont mesurées en pourcentage (%).

13. La Consommation de l'Eau d'Agriculture (ConEAg)

Cette variable reflète la quantité d'eau consommée par l'agriculture dans chaque commune, elle est mesurée en million de mètre cube par an (hm³.an⁻¹).

14. L'Intégration des Femmes (IntégFem)

Il signifie la proportion des femmes qui emploient dans les services gestionnaires de l'eau par rapport aux hommes, il est mesuré en pourcentage (%).

15. Les Pertes d'Eau (PerteE)

Cette variable représente la proportion de la quantité d'eau perdue dans les systèmes des réseaux de distribution de l'eau potable dans chaque commune, elle est estimée en pourcentage (%).

☒ La Catégorie des variables de Pression

16. Les Déchets Solides Sauvages (DécSauv)

C'est une variable qui signifie la génération de déchets sauvages domestique, industriels et médicaux, ils sont mesurés en tonnes par jour (tonne/j).

17. La Génération des Eaux Usées Domestiques (EUDom)

Les eaux usées domestiques représentent l'eau usagée générée par les abonnés, les institutions publiques, les hôpitaux Etc. elles sont mesurées en million de mètre cube par an ($\text{hm}^3 \cdot \text{an}^{-1}$).

18. Les pesticides (Pesticid)

Les pesticides représentent tous les produits photo-sanitaires utilisés dans l'agriculture tels que les herbicides, insecticides, les nématicides et les fongicides, ils sont mesurés en tonnes par an (tonnes/an).

19. Les Engrais Chimiques (EngrCh)

Ils représentent la quantité des engrais chimiques utilisés en agriculture pour l'amélioration du rendement, les engrais incluent les ammonitrates, les sulfates de potassium, les phosphates et les sulfates ammoniacaux, ils sont mesurés en tonnes par an ($\text{tonne} \cdot \text{an}^{-1}$).

20. Les Engrais Organiques (EngrOrg)

Les engrais organiques représentent la quantité des déchets organiques générés par les animaux domestiques qui sera transféré par les bactéries en sels ammoniacaux (NH_4), puis en nitrites (NO_2) et ensuite en nitrates (NO_3), ils sont mesurés en tonnes par an (tonne/an).

21. Les Stations du Carburant (StCarb)

Cette variable représente le nombre de station de services qui fournit l'énergie pour la circulation des véhicules. Ces stations ont un réservoir enterré, donc elles seront considérées comme source de pollution par les hydrocarbures.

22. Les Eaux Usées Industrielles (EUInd)

Ces eaux usées sont générées par les différentes installations existantes dans le bassin versant, elles sont mesurées en million de mètre cube par an ($\text{hm}^3 \cdot \text{an}^{-1}$).

23. Le Dioxyde de Carbone (CO_2)

Il représente la concentration du CO_2 dans l'air due à l'émission gazeuse par les installations industrielles (pôle pétrochimique) et la circulation des véhicules, le CO_2 est mesurée en partie par million (ppm).

☒ La Catégorie des variables d'État de la qualité de l'eau de surface (State)

24. Les Nitrates (NO_3^-)

Les nitrates représentent l'état de l'oxydation intermédiaire d'azote dans l'oxydation biochimique du sel ammoniacal (NH_4^-) en nitrates (NO_3^-), les concentrations élevées des nitrates dans les eaux souterraines sont dues : aux déchets solides, aux eaux usées, ou bien à l'utilisation des engrais et les pesticides dans agriculture. L'OMS n'autorise qu'une concentration inférieure à 45 mg.l^{-1} . les réserves d'eau qui contient des concentrations élevées en nitrates provoquent des risques sur la santé publique.

25. Les Chlorures (Cl^-)

Les chlorures indiquent les composantes du chlore avec les autres éléments spécialement le sodium, le calcium et le magnésium. L'abondance des chlorures dans les eaux souterraines est prévenue à des eaux usées industrielles, ou bien par l'infiltration des eaux d'irrigation ou par l'intrusion marine pour les aquifères côtiers, l'OMS autorise des concentrations inférieures à 250 mg.l^{-1} .

26. Le Sodium (Na^+)

Il représente le sel sodique soluble dans les eaux, les concentrations élevées du sodium sont causées par le lessivage des formations géologiques ou bien par une intrusion marine. En général le sel sodique n'est pas toxique, le sodium doit être autour de 200 mg.l^{-1} .

27. Le Calcium (Ca^{2+})

Dans les eaux souterraines le calcium dépend de la lithologie des formations traversées par ces eaux, le calcium est abondant dans les calcaires les dolomies...etc., il contribue à la dureté de l'eau. L'OMS autorise une concentration de 100 mg.l^{-1} .

28. Le Magnésium (Mg^{2+})

Il appartient aux sels très solubles dans les eaux, et contribue à la dureté de l'eau, l'excès de concentration de magnésium est indésirable dans l'eau potable, il est mesuré en mg.l^{-1} .

29. Le Potassium (K^+)

Les concentrations du potassium dans les eaux souterraines sont dues généralement à l'utilisation des engrais chimiques dans l'agriculture, l'OMS n'autorise que 5 mg.l^{-1} .

30. Les Sulfates (SO_4^{2-})

Dans les eaux souterraines les sulfates sont dérivés à des minéraux évaporitiques (gypses), ils sont considérés parmi les anions les moins toxiques, les effets physiologiques résultent à des concentrations supérieures à 600 mg.l^{-1} .

31. Les Bicarbonates (HCO_3^-)

Ils indiquent la présence des anions de HCO_3^- dans les eaux souterraines et de surface, ils sont mesurés en milligramme par litre (mg.l^{-1}).

32. Demande Biochimique en Oxygène (DBO_5)

Elle correspond à la quantité d'oxygène consommé pendant un temps donné (5 jours) pour assurer l'oxydation des matières organiques biodégradables (bactéries et micro-organismes) par voie biologique. Informent sur le degré et la nature des pollutions et les risques d'asphyxie des eaux.

33. Demande Chimique en Oxygène (DCO)

Elle quantifie l'oxygène nécessaire à l'oxydation de la majeure partie des composés et sels minéraux oxydables. Informent sur le degré et la nature des pollutions et les risques d'asphyxie des eaux.

34. la Température (T)

La température de l'eau est un facteur déterminant de l'état des eaux de surface, elle est mesurée en degré Celsius.

35. Le potentiel en Hydrogène (pH)

Le pH d'une solution égale au Logarithme de l'inverse de l'activité ionique de l'hydrogène ($\text{pH}=\text{Log}1/\text{H}$), le pH de l'eau est la mesure de l'équilibre acide-base, il est contrôlé par le système d'équilibre CO_2 -Bicarbonates-Carbonates. L'augmentation de la concentration du CO_2 va abaisser le pH, tandis que la diminution du CO_2 accroît le pH. Un $\text{pH} < 7$ indique une solution acide, alors qu'un $\text{pH} > 7$ indique une solution alcaline.

☒ La Catégorie des variables d'Impact

- **Sur la santé publique**

36. Les maladies à transmission hydrique (MaladTrHy)

Cette variable indique le nombre de personnes affectées par les maladies à transmission hydrique (Fièvre Typhoïdes, l'Hépatite virale A et les Dysenteries), en général, ces maladies sont causées par une pénétration des eaux usées aux réseaux de l'alimentation en eau potable.

- **Sur l'Écologie**

37. La Perte de Productivité Agricole (PertePAg)

La perte de la productivité agricole signifie la diminution du rendement des terres agricoles qui due à l'extension urbaine, et au vieillissement des arbres fruitières, elle est estimée en tonnes.

38. La Perte des Zones Humides (PerteZnHu)

Il s'agit de la superficie des zones humides déjà polluées à la suite de l'urbanisation et l'industrialisation à la partie centre et aval du bassin versant de l'oued. Elle est mesurée en hectare.

☒ La Catégorie des variables de Réponse

39. Le Stockage des Eaux Pluviales (StoEPluv)

Le stockage des eaux de pluies représente le volume d'eau collecté par les barrages, les retenues collinaires et les réservoirs d'eau d'irrigation, il est mesuré en million de mètre cube par an ($\text{hm}^3 \cdot \text{an}^{-1}$).

40. L'Importation de l'Eau (ImportE)

Cette variable représente la quantité d'eau importée à partir des ressources hors commune, elle est mesurée en million de mètre cube par an ($\text{hm}^3 \cdot \text{an}^{-1}$).

41. L'Efficacité dans l'Eau d'Irrigation (EfEIrrig)

Cette variable indique la proportion de la consommation de l'eau d'irrigation par rapport à la production totale de l'eau d'irrigation, elle mesurée en pourcentage (%).

42. L'Efficacité des Systèmes d'Information (EfSyInf)

Elle indique l'existence des systèmes d'information, en incluant les ressources humaines, les équipements de mesure et les logiciels qui aident à améliorer la gestion des ressources en eau, elle est mesurée en %.

43. La Sensibilisation sur l'Eau (SensibE)

La sensibilisation représente le nombre de population à éduquer sur l'utilisation correcte de l'eau et la pollution des eaux et de l'environnement. Le ministère de l'éducation à arranger des programmes qui s'intéressent à l'eau et l'environnement, ainsi l'ABH et la direction de l'environnement organisent des campagnes de sensibilisation sur l'eau durant la journée internationale de l'eau.

44. Le Dessalement de l'Eau de Mer (DEM)

Il représente la quantité de l'eau de mer dessalée pour l'alimentation en eau potable, elle existe une seule station de dessalement installée à la commune de Skikda. Elle mesurée en million de mètre cube par an ($\text{hm}^3 \cdot \text{an}^{-1}$).

45. L'Efficacité de l'Alimentation en Eau Potable (EffAIEP)

Elle représente la consommation municipale d'eau en proportion de la production d'eau à partir des ressources en eau. Efficacité = consommation / production.

4.5 Les Statistiques Descriptives des Variables Dépendantes et Indépendantes

Le choix des procédures d'analyse appropriées des données exige les statistiques descriptives de l'ensemble des variables dans une forme qui indique leurs caractéristiques. Ces sont souvent : la moyenne, la médiane, l'écart type, les quartiles à 25% et à 75% et le coefficient d'asymétrie. Les statistiques descriptives sont calculées pour les variables de la force motrice (Driving force), les variables de Pression, les variables de l'État (State) de la qualité des eaux de surfaces, les variables d'Impact et les variables de Réponse. Pour la mobilisation de la ressource en eau MRE et le total des solides dissous (TDS) seront aussi discutés.

◆ Les Variables Dépendantes, la MRE et le TDS

La boîte à moustache de Tukey pour la variable dépendante MRE (Figure 4.12b) permet d'affiner la précision des statistiques. On remarque que vingt trois (23) observations i.e. fréquences absolues (76.66% de données) sont localisées dans la gamme de deux déviations standards (+/- SD). Donc cette proportion des données est plus grande que celle désignée pour des données distribuées normalement (68.3%), alors que cinq (05) fréquences sont localisées dans la gamme de double déviations standards (+/- 2SD) et les deux (02) dernières fréquences se localisent à l'extérieur de la gamme des quatre déviations standards (+/- 4SD). Ce qui indique que la distribution des données est équilibrée.

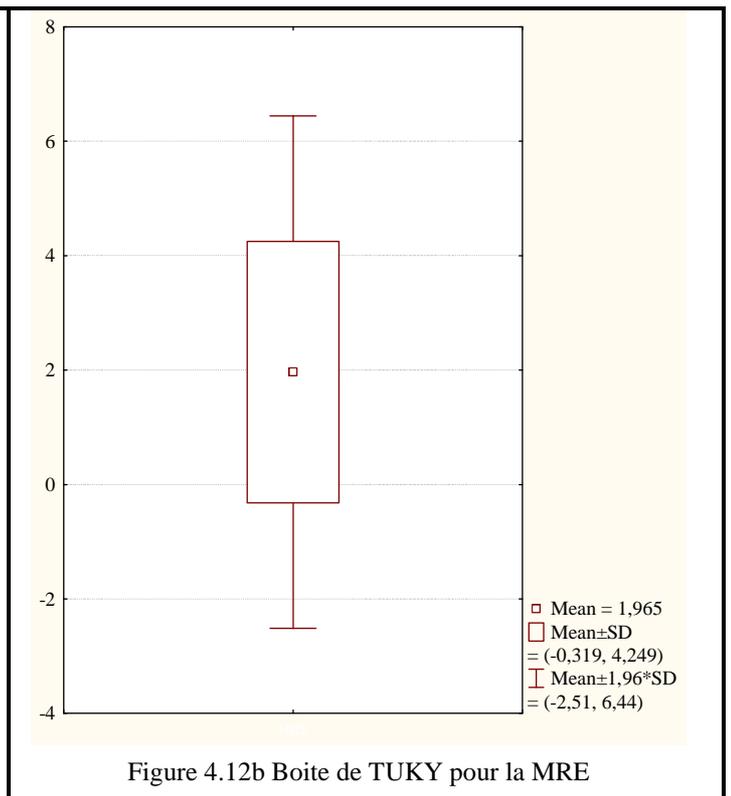
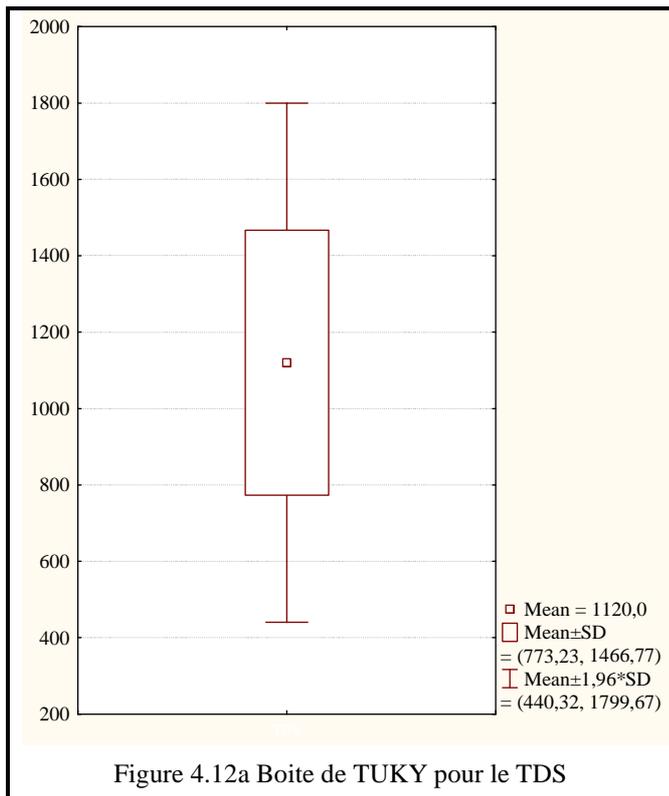
Pour le TDS l'ensemble d'effectif se localise dans la gamme de double déviations standards (+/- 2SD), indiquant une distribution équilibrée (Figure 4.12a).

Le tableau 4.2 montre que les deux variables dépendantes (MRE et TDS) ont un coefficient d'asymétrie positif différent, ces coefficients signifient que les faibles valeurs de ces variables correspondents aux grandes fréquences, ainsi que les moyennes sont

supérieurs ou proches aux médianes et inférieurs au quartile 75%, donc raisonnablement les deux variables sont distribuées normalement.

Tableau 4.2 Les statistiques descriptives des variables dépendantes, la MRE et le TDS

	N	Moyenne	Médiane	Sous quartile	Sur quartile	Écart type	Asymétrie
MRE	30	1,965	0,800	0,06	7,23	0,35	3,3
TDS	30	1120	1177,5	446	1631,5	871	1334,4



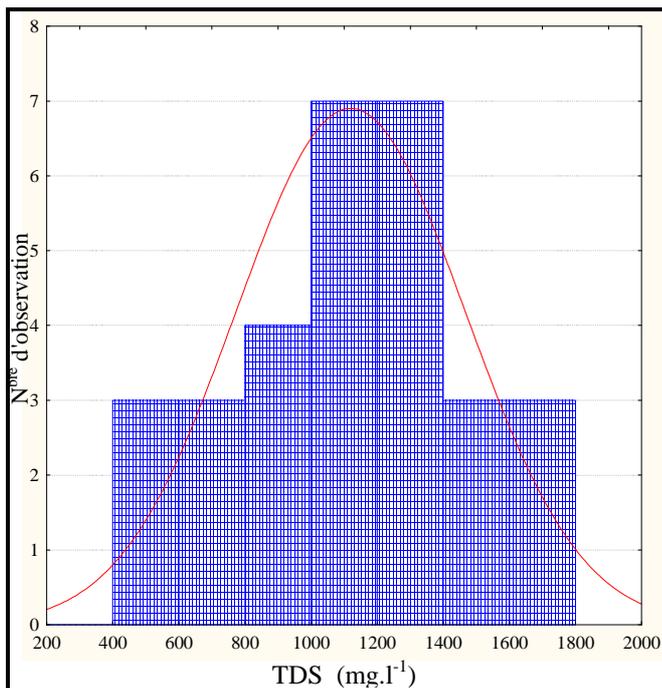


Figure 4.13a Histogramme du TDS

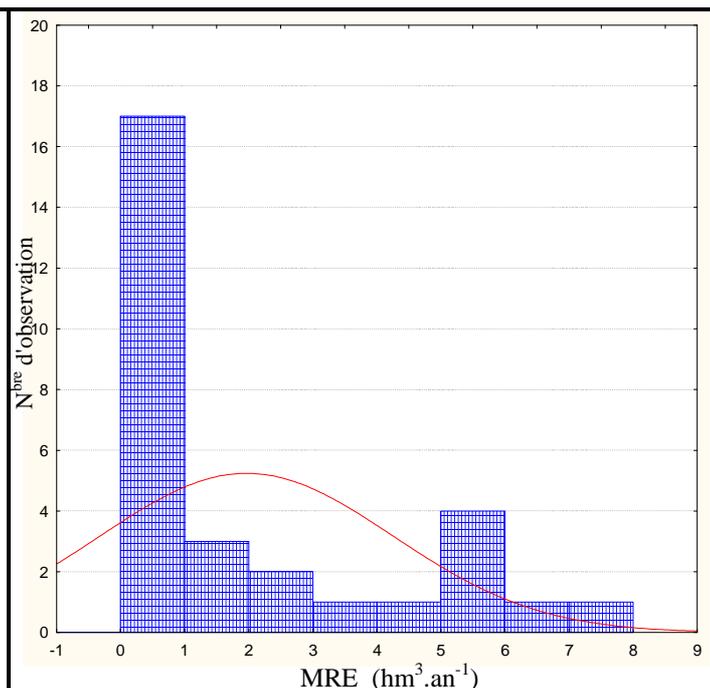


Figure 4.13b Histogramme de la MRE

◆ Les Variables indépendantes de la force motrice (Driving force)

Le tableau 4.3 montre que la majorité des variables de la Force motrice « D » ont des coefficients d'asymétrie positifs avec différentes valeurs (Asymétrie à droite) à l'exception du taux de raccordement aux eaux usées et à l'eau potable, les taxes sur l'eau et les pertes de l'eau qui présentent des coefficients d'asymétrie négatifs (Asymétrie à gauche). La population, le taux de raccordement au réseau AEP, le taux de raccordement au réseau des eaux usées, l'évacuation des eaux pluviales, la dotation en eau potable, le prix de l'eau, l'intégration des femmes et les pertes d'eau ont des coefficients d'asymétries assez faibles et distribuées normalement (distribution Gaussienne). Alors que les revenus par employant, le tourisme, la consommation en eau d'agriculture, l'occupation du sol et les taxes sur l'eau présentent des coefficients d'asymétries assez importants et ne s'ajustent pas à la loi normale. La distribution de toutes les variables est testée par le test "D" de Kolmogorov-Smirnov.

Tableau 4.3 Les statistiques descriptives des variables Force motrice (D)

	N	Moyenne	Médiane	Sous quartile	Sur quartile	Écart type	Asymétrie
Pop	30	15833,6	9780	4236	21370	15175,18	1,345
REmp	30	323180	311677,5	307058	335213	28668,98	1,412
Tourism	30	2789,7	0,00	0,00	0,00	8378,64	3,925
OccupS	30	17,60	2,00	0,30	10,0	32,27	1,836
TxEp	30	67,40	74,0	52,0	87,0	25,63	-0,712
TxEU	30	78,50	80,0	70,0	90,0	14,78	-1,086
EvEPluv	30	43,90	29,5	15,0	79,0	31,86	0,460
DotEP	30	90,10	83,5	60,0	135,0	43,53	0,247
PrixE	30	14,90	12,4	6,3	24,5	8,35	0,198
TaxE	30	27,10	37,0	10,0	37,0	13,23	-0,583
ConEAg	30	0,90	0,00	0,0	0,70	1,94	2,891
IntégFem	30	6,90	6,00	2,0	10,0	5,33	0,931
PerteE	30	25,3	25,00	20,0	30,0	6,48	-0,757

◆ Les Variables indépendantes de Pression

Les déchets solides sauvages, les eaux usées domestiques, les pesticides, les engrais chimiques et organiques sont des variables qui présentent des asymétries faibles et distribuées Normale. Alors que les autres variables (StCarb, EUInd et le CO₂) présentent des asymétries importantes et ne s'ajustent pas à la loi Normale. Sachant qu'on a utilisé le test "D" de Kolmogorov-Smirnov pour tester la Normalité de la distribution.

Tableau 4.4 Les statistiques descriptives des variables de Pression (P)

	N	Moyenne	Médiane	Sous quartile	Sur quartile	Écart type	Asymétrie
DécSauv	30	13,515	9,00	4,200	17,80	11,754	1,228
EUDom	30	1,323	0,725	0,320	1,650	1,513	1,891
Pesticid	30	1,080	0,725	0,310	1,710	1,005	1,131
EngrCh	30	130,488	100,4	39,500	155,75	124,97	1,565
EngrOrg	30	1244,4	1122,0	210,00	2050,0	1055,42	0,440
StCarb	30	0,633	0,000	0,0000	1,000	0,964	1,324
EUInd	30	9,057	0,004	0,0005	0,005	37,457	4,962
CO ₂	30	460,53	377,5	372,00	509,00	132,996	2,263

◆ Les Variables indépendantes de l'État (State) de la qualité des eaux de surface

Le tableau 4.5 montre que le sodium et les sulfates, la DBO₅ et la température présentent des coefficients d'asymétries considérables et le test "D" montre que la distribution de ces variables est non-normale. Alors que Le calcium, le magnésium, le potassium, les nitrates, les chlorures, les bicarbonates, la DCO, la CE et le pH ayant des coefficients d'asymétries faibles et sont distribuées normalement.

Tableau 4.5 Les statistiques descriptives des variables de l'État (S) de la qualité des eaux de surface

	N	Moyenne	Médiane	Sous quartile	Sur quartile	Écart type	Asymétrie
Na ⁺	30	101,61	115,00	70,00	131,00	39,575	-0,598
Ca ⁺⁺	30	132,14	145,00	76,20	168,00	50,601	-0,232
Mg ⁺⁺	30	95,92	100,00	78,00	124,00	41,013	-0,326
K ⁺	30	5,070	5,350	4,500	6,00	1,581	-0,229
NO ₃ ⁻	30	36,47	39,750	15,000	48,00	21,184	0,317
Cl ⁻	30	255,84	290,00	102,00	375,00	128,728	-0,633
SO ₄ ²⁻	30	184,04	164,90	151,00	225,80	58,884	1,245
HCO ₃ ⁻	30	265,82	259,00	210,00	332,60	74,775	0,338
DBO ₅	30	29,532	8,950	5,500	60,00	34,158	1,044
DCO	30	58,817	45,300	28,60	85,60	39,547	0,862
CE	30	1427,4	1536,5	950,00	1755,00	493,210	-0,233
T	30	14,600	15,00	14,00	15,00	0,4983	-0,430
pH	30	7,753	7,775	7,500	8,000	0,3716	-0,561

◆ Les Variables indépendantes d'Impact

Les trois variables d'impact présentent des coefficients d'asymétrie signifiant positifs et la répartition de ces variables est non Normale. (Le test d'ajustement se fait par le test "D" avec un seuil de confiance FD = 0.05).

Tableau 4.6 Les statistiques descriptives des variables de d'Impact (I)

	N	Moyenne	Médiane	Sous quartile	Sur quartile	Écart type	Asymétrie
PertePAg	30	72,433	35,00	8,000	86,00	98,85	2,012
PerteZnHu	30	4,5666	0,000	0,000	5,00	9,009	1,950
MaladTrHy	30	1,000	0,000	0,000	2,00	1,313	1,077

◆ Les Variables indépendantes de Réponse

Le tableau 4.7 montre que le dessalement de l'eau de mer, le stockage des eaux pluviales, la sensibilisation sur l'eau l'efficacité des systèmes d'information présentent des coefficients d'asymétries importants et la répartition ne s'ajuste pas à la loi normale, alors que l'importation de l'eau, l'efficacité dans l'eau d'irrigation ayant des coefficients d'asymétries assez faibles et sont distribuées normalement.

Tableau 4.7 Les statistiques descriptives des variables de Réponse (R)

	N	Moyenne	Médiane	Sous quartile	Sur quartile	Écart type	Asymétrie
DEM	30	0,0597	0,000	0,0000	0,0000	0,2249	3,890
StoEPluv	30	1,1173	0,0375	0,0000	0,1500	5,6456	5,472
ImportE	30	1,8223	0,650	0,0000	3,0500	2,6736	1,749
EfEIrri	30	53,5000	57,50	50,000	69,000	20,946	-1,604
SensibE	30	565,870	360,00	230,00	745,00	515,40	1,5687
EfSyInf	30	37,3333	50,00	20,000	50,000	22,884	-0,4252

4.6 Remarques et Conclusion

- La croissance de population est importante, elle dépassera les 500000 habitants à l'an 2030.
- Il y a un impact environnemental négatif dû aux rejets des eaux usées dans les cours d'eau sans aucun traitement et l'émission des gaz carboniques par le pôle pétrochimique.
- La dotation journalière en eau potable varie de 28 à 143 l.hab⁻¹.jour⁻¹, ce qui indique une mobilisation inégale des eaux à travers le bassin versant Saf-Saf.
- Une moyenne des fuites d'eau potable de l'ordre de 25% dans l'ensemble des municipalités et des agglomérations du bassin.
- La concentration du dioxyde de carbone CO₂ varie entre 290 et 685 ppm, cette variabilité est due à la localisation de l'industrie et le nombre des véhicules circulant dans les villes, la concentration 685 ppm est une valeur extrême causée par l'émission des gaz carboniques par le complexe pétrochimique.
- La qualité des eaux souterraines dans la nappe profonde a subi à un processus de dégradation continue soit par la pollution industrielle ou la surexploitation et invasion marine.
- Le total des sels dissous TDS dépasse la norme admise par l'OMS (1000 mg/l) dans la majorité des eaux de surface de la partie aval du bassin versant.
- Les systèmes d'information qui aident à la gestion de l'eau ne sont disponibles que dans quelques sites (Harouch, Ramdane Djamel et Zeredezas).
- L'efficacité dans les systèmes d'irrigation varie de 75% à 90%, cette variabilité est due aux différentes techniques utilisées dans l'irrigation.
- On remarque que l'usine de dessalement de l'eau de mer est installée seulement à la zone industrielle qui alimente Filfila.

Chapitre 5 Les Outils et le Plan d'Analyse

5.1 Le Plan d'Analyse

Les objectifs du plan d'analyse sont :

- La caractérisation et la classification par ordre de priorité les variables effectives possibles appartenant aux variables de base dans le cadre des cinq catégories du modèle de DPSIR décrit. L'ensemble des variables sélectionnées, et ainsi que les municipalités (observations) ont été classées et organisées de telle sorte que les municipalités sous la stressse d'eau ont été bien identifiées.
- Un modèle de prévision reliant entre la mobilisation de la ressource en eau d'une part et les variables forces motrices (D), les variables de l'état de la qualité de l'eau de surface (S), et les variables des réponses politiques(P) d'une autre part. La prévision entre la qualité de l'eau et les variables de pression de pollution a été également mise en place.

Les outils choisis pour ce travail sont : l'ANN (les Réseaux de Neurone Artificiels), l'évaluation du risque sur la santé humaine, les statistiques multi-variées. Les logiciels utilisés sont : le STATISTICA version 8.0 et Risc WorkBench Version 4.03. Les étapes à suivre pour procéder à l'analyse des données sont présentées dans la Figure 5.1. Les étapes de l'analyse de données sont :

L'étape (1) : exprime la création d'un modèle d'ANN (RNA), la caractérisation et la classification des variables efficaces pour la simulation des relations entre les variables dépendantes et indépendantes. L'étape (2) : présente la comparaison entre le classement des variables selon les avis des experts (données du questionnaires) avec celui obtenu par la sensibilité des réseaux de neurones dans l'étape (1). L'étape (3) : présente les matrices de corrélation pour les cinq catégories du DPSIR .Deux techniques d'analyses multi-variées sont entreprises dans l'étape (4) pour grouper les variables sélectionnées par les RNA ayant les mêmes caractéristiques et les identifier les municipalités sous stress d'eau. L'étape (5) : présente l'évaluation des risques sur la santé publique dans les sites pollués. Les résultats dans l'étape (1) et (4) ont été également réintroduire pour compléter le modèle DPSRI avec les variables sélectionnées et les municipalités qui sont sous la stressse d'eau. L'ensemble des résultats sera une base pour étudier l'évaluation stratégique de l'environnement.

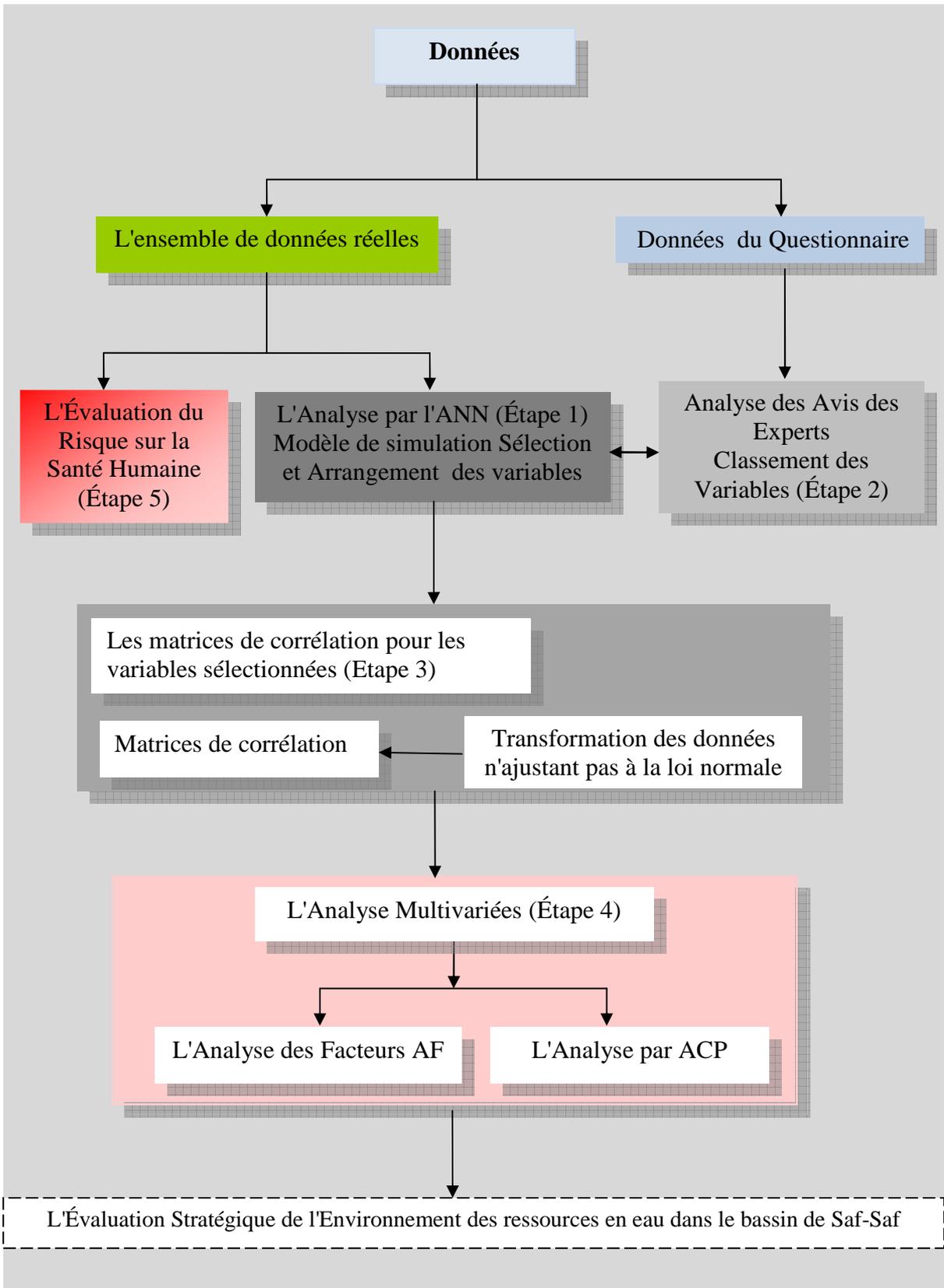


Figure 5.1 Les Étapes de l'Analyse des Données

5.2 Les Outils d'Analyse

Les outils d'analyse utilisés dans ce travail sont : les réseaux de Neurone Artificiels (ANN), les statistiques descriptives, l'analyse des matrices de corrélation, l'analyse multivariée inclue l'analyse des composantes principales et l'analyse des facteurs.

5.2.1 Les Réseaux de Neurones Artificiels (ANN)

☒ Introduction

Un modèle de réseau neuronal est modèle connexionniste qui simule le traitement de l'information ayant lieu dans le système nerveux. Cependant, ce réseau est composé par un ensemble de nœuds (les unités) connectés par des liens orientés, ou connexions. Les modèles connexionnistes utilisent une information numérique et sont des systèmes dynamiques qui affectent des calculs analogues à ceux d'un neurone. En effet, un réseau connexionniste est constitué d'éléments extrêmement simples qui interagissent pour donner au réseau son comportement global. Ces unités de base reçoivent des signaux provenant de l'extérieur ou d'autres neurones du réseau. Ils calculent une fonction, simple en général, de ces signaux et envoient à leur tour des signaux vers un ou plusieurs autres neurones ou vers l'extérieur. La Figure 5.2 montre un schéma comportant les organismes principaux d'un neurone artificiel. L'ANN est utilisé dans le domaine d'hydrogéologie et hydrologie (Lallahem et Mania, 2003a, b), dans le domaine de la gestion de l'eau, l'ANN est utilisé pour la prévision des paramètres de la qualité de l'eau (Mier et Dandy, 1996), la prévision de la demande de l'eau (Liu et *al*, 2003), la modélisation pluie-débit (Minns et Hall, 1996), la prévision des flux (Coulibaly et *al*, 2000 ; Chang et *al*, 2003), la relation entre la pluie et le débit (Rajurkar et *al* 2004 ; Riad et *al*, 2004) la gestion des aquifères côtiers (Jalala S, 2005).

Un neurone est caractérisé par trois concepts : son état, ses connexions avec d'autres neurones et sa fonction de transition. Il possède un état interne, et reçoit des signaux qui lui permettent de changer l'état, l'ensemble des états possibles d'un neurone pourra être par exemple : 0 ou 1, où 0 sera interprété comme l'état inactif et 1 l'état actif. Pour calculer un tel état, il faut donc considérer les connexions entre ce neurone et ceux qui l'entourent. Cependant dans le modèle connexionniste, chaque nœud i du réseau a un niveau (seuil) d'activation numérique $a_i(t)$ qui lui est associé au temps (t) :

$a_i(t) = [a_1(t), a_2(t), a_3(t), a_4(t), \dots]$ qui représente l'état courant du neurone au temps (t) . A chaque instant, le niveau d'activation de chaque nœud, ou chaque sortie qui en dépend fonctionnellement, et communiqué aux nœuds voisins (n) .

La quantité totale d'activation en entrée $e_j(t)$ que le nœud j reçoit de ses voisins à chaque instant (t) . Une connexion entre deux neurones a une valeur numérique associée appelée poids de connexion, ces poids sont utilisés pendant les calculs qui mettent à jour les liens entre chaque nœud. Dans la sortie, les poids des liens reliant le nœud i au nœud j sont notés w_{ji} . La matrice W des poids de connexions est choisi pour représenter la mémoire à long terme et peut être une fonction du temps, donc la sortie A_j est donnée comme :

$$A_j = W_0 + \sum_j W_{ij} X_j ,$$

L'état X_i du neurone i est une fonction en activité A_i : $X_i = f(A_i)$

La fonction f est appelée fonction de transition ou de transfère et peut avoir plusieurs formes différentes, les plus utilisées sont: la fonction identique, la fonction à seuil et la fonction sigmoïdale. Cette dernière est continue, différentiable et bornée sur l'intervalle $[0,1]$. Elle peut être définie par l'une des deux formes suivantes:

$$F(x) = A \frac{e^{kx} - 1}{e^{kx} + 1} \quad \text{Ou bien} \quad F(x) = A \frac{1}{e^{-kx} + 1}$$

Ces deux fonctions sont bornées, cependant quand x tends vers à l'infinie la fonction :

$$F(x) = A \quad \lim_{x \rightarrow \infty} \left[A \frac{e^{kx} - 1}{e^{kx} + 1} \right] = A$$

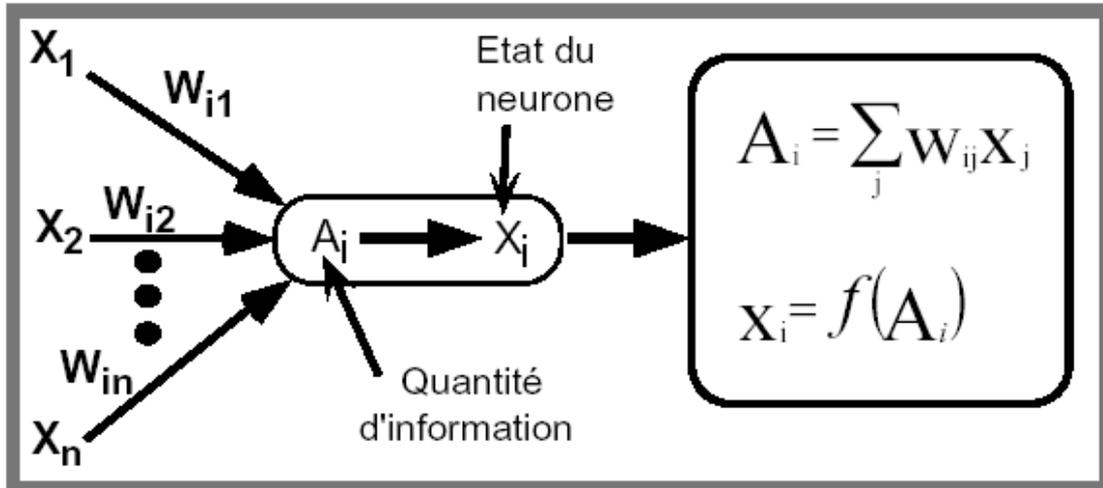


Figure 5.2 Calcul d'un état de neurone

L'état x_i d'un neurone i est une fonction des états des neurones j , de son voisinage, et des poids des connexions w_{ij} .

La fonction exponentielle est utilisée au niveau de la couche de sortie afin d'assurer des valeurs de sorties positives et non bornées, le paramètre A régule la valeur de saturation et le paramètre k , réel et positif sert à réguler la pente de la courbe en un point hors saturation.

Les Perceptrons Multicouches (MLP) selon (Bishop, 1995; Riad et al, 2004) sont des réseaux neuronaux pour lesquels les neurones sont organisés en couches successives, les connexions sont toujours dirigées des couches inférieures vers les couches supérieures. Choisir l'Architecture d'un Perceptron Multicouche (MLP) consiste à fixer le nombre des couches, le nombre des cellules par couche, la nature des différentes connexions entre les neurones et la nature des neurones sur chaque couche.

Les modèles ANN sont des outils mathématiques, capable de modéliser des fonctions extrêmement complexes (Najjar et al, 1997). Ces modèles ont une approche informatique inspirée par le système nerveux humain. Le modèle de réseau neuronal le plus populaire est le réseau MLP avec deux algorithmes de rétro-propagation : le Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno (BFGS Quasi-Newton) et le gradient conjugué (SCG). Le nombre de neurones dans la couche cachée est décidé après l'apprentissage et le test (Rumelhart et al, 1986). Actuellement, le MLP est le modèle le plus populaire (Hagan et al, 1996). Le MLP est capable de rapprocher toute fonction mesurable d'un espace de dimension finie à l'autre d'un degré souhaité de précision (Hornik et al, 1989).

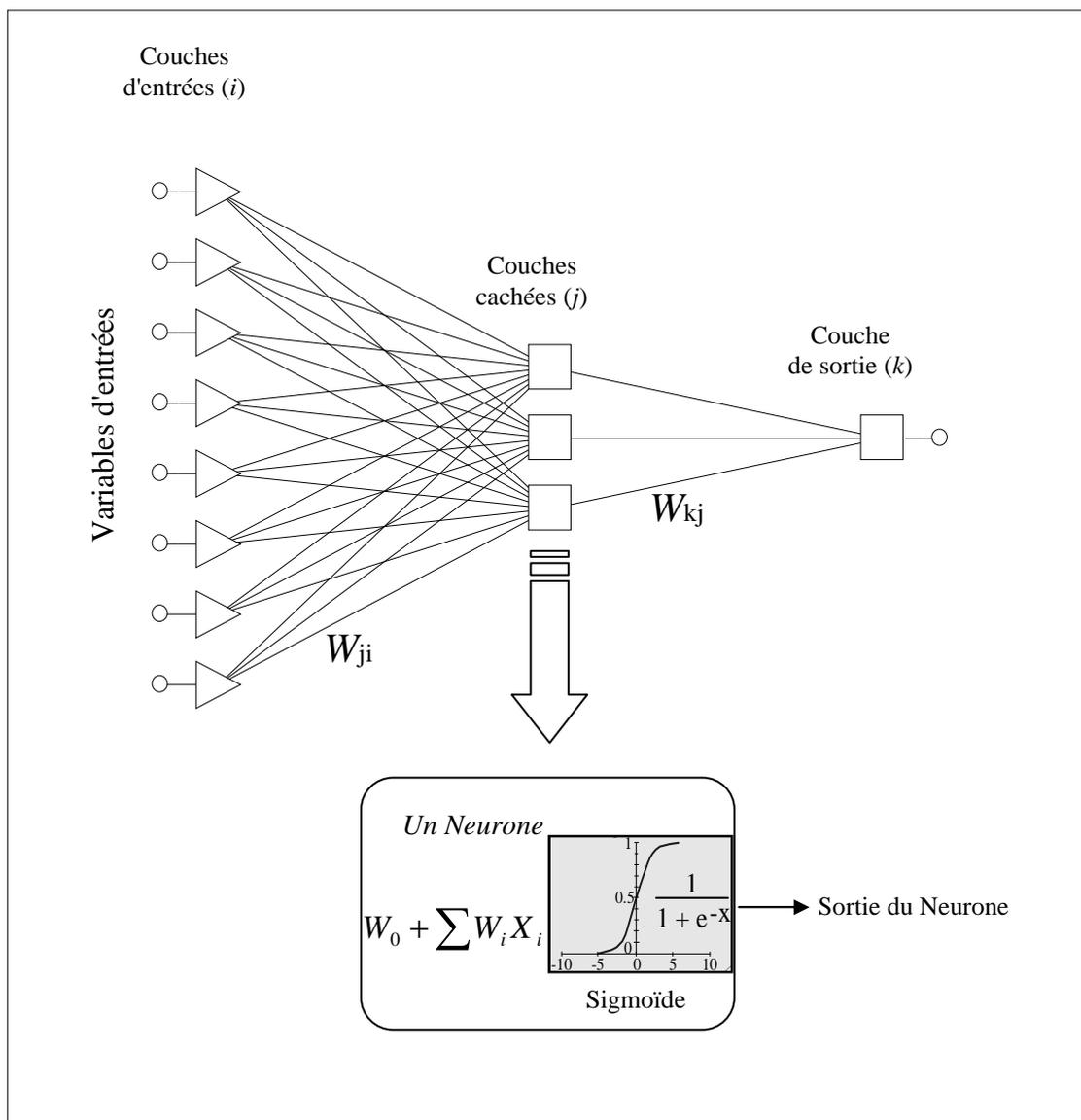


Figure 5.3 L'Architecture d'un MLP à Trois Couches

☒ Le Calage du Modèle

Après que le nombre des neurones dans les trois couches ait été arrangé de façon que les résultats, statistiquement soient plus plausibles, trois partitions différentes de la base de données sont alors utilisées pour les simulations. La base de données a été divisée en trois phases afin d'éviter le sur-apprentissage (Xiao et Chadarasekar, 1997) : une phase d'apprentissage (*Training*) (50% de données), une phase de validation (*Verification*) (25% de données) et une phase de test (*Testing*) (25%). La validation est une technique utilisée couramment dans les modèles ANN, et a un impact significatif sur la répartition des données (Burdon et al, 1997).

Pour détecter la perturbation du modèle, on utilise qu'une partie de données par l'apprentissage et une autre partie sera réservée pour tester la performance du modèle afin de décider l'arrêt de l'apprentissage avec des nœuds cachés optimales (Braddock et al, 1997). Cet arrêt est fait lorsque l'erreur de la validation du modèle commence à augmenter (Lallahem et Mania, 2003a, b ; Hani et al, 2006).

☒ Critère de Performance du Modèle

Il existe de nombreux critères pour l'évaluation des modèles conceptuels, ces critères sont proposés par l'organisation mondiale de la météorologie (WMO, 1975), et utilisés dans le domaine de simulation. Les critères sont classés dans deux groupes : un groupe des indicateurs graphiques et un autre groupe des mesures numériques. La Somme de l'Erreur Carré (SOSE), et le coefficient de détermination R^2 peuvent être comme des indicateurs numériques pour définir un réseau (MLP) optimal (Lallahem et Mania, 2003; Riad et al, 2003; Najjar et al, 1996). D'ailleurs que, la SOSE peut être utilisé pour comparer la performance du (MLP) avec d'autres types communs de l'ANN (Legates et McCabe, 1999).

$$SOSE = \sum_{i=1}^N (Q_i - \hat{Q}_i)^2 \quad (1)$$

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q}_i)(\hat{Q}_i - \bar{\hat{Q}}_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q}_i)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (\hat{Q}_i - \bar{\hat{Q}}_i)^2}} \right]^2 \quad (2)$$

Où :

Q_i : est la valeur de la sortie observée;

\hat{Q}_i : est la valeur de la sortie prévue;

\bar{Q}_i : est la valeur de la moyenne des valeurs des \hat{Q}_i ;

N : est le nombre total des données.

La SOSE donne une indication quantitative de l'erreur du réseau. Elle mesure l'écart entre la valeur prévue et celle observée correspondante. Le coefficient de détermination R^2 représente la proportion de variation des valeurs des sorties. Des valeurs de sortie de 90% indiquent que la performance du modèle est très bonne, la performance du modèle est

bonne lorsque $80\% < R^2 < 90\%$, le modèle est non performant si : $60\% < R^2 < 80\%$ (Lallahem et Mania, 2003a, b). La valeur idéale pour la SOSE est zéro.

☒ **Détermination des Entrées du Model**

Modèles RNA ont la capacité de déterminer quels intrants sont essentiels. Ils sont surtout utiles pour des problèmes complexes où le nombre d'entrées possibles est grand et où la connaissance a priori n'est pas disponible pour déterminer les apports appropriés (Lachtermacher et Fuller, 1994). Une analyse de sensibilité peut être réalisée afin d'identifier l'importance des variables d'entrée. Ceci indique quelles variables sont considérées comme les plus utiles pour être retenu par le modèle ANN. Les modèles ANN supprime les variables d'entrée avec une faible sensibilité. La sensibilité est présentée par le Ratio et Rang. La figure sensibilité de base est l'erreur. Cela indique la performance du réseau si cette variable est "indisponible". Les variables importantes ont une grande erreur, ce qui indique que les performances du réseau se détériorent gravement s'ils ne sont pas présents. Le ratio indique le rapport entre l'erreur et l'erreur de base (c'est à dire l'erreur du réseau si toutes les variables sont "disponibles"). Le Rang énumère simplement les variables dans l'ordre de leur importance.

☒ **Le Logiciel**

Le module Data Mining (Automated Neural Networks) du logiciel STATISTICA, version 8.0 a été utilisée dans ce travail de recherche pour caractériser les variables d'efficacité et d'établir des relations par simulation entre la variable de Sortie (dépendante) et les variables Entrées indépendantes. L'ANN est un programme complet, État de l'Art, puissant et extrêmement rapide, le module ANN sous STATISTICA 8.0 comportant :

- Intégration pré-et post-traitement, y compris la sélection des données, mise à l'échelle, la normalisation et la substitution des valeurs manquantes, l'interprétation de la classification, régression, et les problèmes de séries chronologiques.
- La facilité exceptionnelle de l'utilisation couplée avec une puissance analytique non-surpassée, par exemple, un type unique intelligent (Solveur du Problème) peut guider étape par étape dans la procédure de création des différents réseaux et en choisissant le réseau le plus performant.

- Des techniques analytiques et exploratoires puissantes, y compris la sélection des algorithmes d'entrée (choix des variables d'entrée appropriées à l'analyse exploratoire des données, qui est une application typique des réseaux de neurones).
- État de l'Art des algorithmes d'apprentissage hautement optimisé, et plein contrôle sur tous les aspects qui influent sur les performances du réseau telles que l'activation et les fonctions d'erreur, ou la complexité du réseau.
- Graphique compréhensif et statistique qui facilite les analyses exploratoires interactives et,
- La Sélection d'un modèle neuronal soutient les classes les plus importantes des réseaux de neurones MLP, y compris, Fonction Radiale de Base (RFB), pour résoudre vos problèmes concrets.

5.2.2 Les Matrices de Corrélation

Le coefficient de corrélation de Bravais-Pearson est un indice statistique qui exprime l'intensité et le sens (positif ou négatif) de la relation linéaire entre deux variables quantitatives. C'est une mesure de la liaison linéaire, c'est à dire de la capacité de prédire une variable x par une autre y à l'aide d'un modèle linéaire. Il permet de mesurer l'intensité de la liaison entre deux caractères quantitatifs. C'est donc un paramètre important dans l'analyse des régressions linéaires (simples ou multiples). En revanche, ce coefficient est nul ($r = 0$) lorsqu'il n'y a pas de relation linéaire entre les variables (ce qui n'exclut pas l'existence d'une relation autre que linéaire). Par ailleurs, le coefficient est de signe positif si la relation est positive (directe, croissante) et de signe négatif si la relation est négative (inverse, décroissante).

Ce coefficient varie entre -1 et +1 ; l'intensité de la relation linéaire sera donc d'autant plus forte que la valeur du coefficient est proche de +1 ou de - 1, et d'autant plus faible qu'elle est proche de 0.

- Une valeur proche de +1 montre une forte liaison entre les deux caractères. La relation linéaire est ici croissante (c'est-à-dire que les variables varient dans le même sens);
- Une valeur proche de -1 montre également une forte liaison mais la relation linéaire entre les deux caractères est décroissante (les variables varient dans le sens contraire);
- Une valeur proche de 0 montre une absence de relation linéaire entre les deux caractères.

5.2.3 Les Techniques d'Exploration Multivariée

☒ L'Analyse en Composantes Principales (ACP)

L'ACP est une méthode descriptive qui permet de réduire le nombre des variables afin de projeter le nuage de points dans un sous-espace bidimensionnel engendré par des couples d'axes fonctionnels ou facteurs. Deux types d'analyses sont disponibles, selon les données normalisées ou bien centrées. Dans le premier cas, l'analyse est effectuée par la matrice de corrélation, alors que le deuxième cas, l'analyse est effectuée par la matrice de covariance. Cependant, la méthode de base se compose d'une matrice symétrique diagonale : de corrélation ou de covariance. La particularité de ce modèle est le graphisme qui fournit un aide visuel pour le classement des variables et des cas (observations). Ce modèle a une caractéristique unique comme actif, ainsi que les variables et les observations peuvent être spécifiées. Les variables actives dans l'ANN sont utilisées dans les calculs des composantes principales. L'ACP produit des résultats sous deux formes : les tables de calculs et les graphiques, les tables de calculs sont utilisées pour interpréter les résultats et les graphiques associés aident au classement des variables et des observations visuellement, elle produit également un large éventail de résultats.

L'objectif principal de l'ACP est de récupérer un espace vectoriel de dimension inférieure sur laquelle l'origine des points (variables et observations) peut être prévu, de sorte que la structure sous-jacente des données pourrait être détecté.

☒ L'Analyse Factorielle (AF)

L'analyse factorielle est un terme générique pour les techniques statistiques concernées par la réduction d'un ensemble de variables observables dans un petit nombre de facteurs latents et la détection de la structure dans les relations entre les variables, c'est-à classifier les variables. Cette structure est exprimée dans le modèle de variances et covariances entre les variables et les similitudes entre les observations. L'hypothèse sous-jacente de l'analyse factorielle est qu'il existe un certain nombre de facteurs latents non observés qui représentent les corrélations au sein d'un ensemble d'observations multivariées.

L'analyse factorielle fonctionne par extraction des valeurs et vecteurs propres d'une matrice carrée $[R]$ qui est $m \times m$, obtenue en multipliant une matrice de données normalisée $[X]$ par sa transposée $[X']$.

$$[R] = [X]'[X]$$

Les éléments de R constituée par des coefficients de corrélation qui sont les sommes de carrés premières et des produits croisés de m variables :

$$r_{jk} = \sum_{i=1}^n X_{ij}X_{ik}$$

Où j et k sont les deux colonnes de la matrice de donnée.

Faire tourner la solution de facteur est essentiel pour obtenir une structure de facteur plus simple qui est à interpréter. La rotation maximise la variance des facteurs sur les nouveaux axes. La méthode la plus classique de calcul de la rotation est de réorienter ou de nettoyer les chargements obtenus dans une analyse en composantes principales et apporter une structure simple qui est la rotation *varimax* (Kaiser, 1958). La rotation *Varimax* est une rotation orthogonale de facteurs qui redistribue la variance expliquée dans le modèle de saturations factorielles. La variance totale expliquée est la même avant et après la rotation.

5.2.4 L'Évaluation du Risque à la Santé Humaine

Walton (2001) a défini l'évaluation du risque sur la santé humaine comme la caractérisation des effets nocifs potentiels sur la vie ou la santé humaine. Il a expliqué que le processus de l'évaluation du risque vise à :

- Fournir une analyse du risque de base et aide à déterminer la nécessité d'une action sur les sites.
- Fournir une règle pour déterminer des concentrations limites pour les produits chimiques qui peuvent rester en place.
- Fournir un processus cohérent pour évaluer les menaces sur la santé publique dans les sites.

La commission européenne (2002) à intégrer le rôle d'évaluation des risques dans le cadre du modèle DPSIR pour le développement de l'indicateur d'Impact et d'organiser les informations sur le cycle de vie dans la Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE).

Au cours des dernières années, l'évaluation des risques sur la santé publique a été appliquée dans tous les problèmes de pollution.

Le logiciel RISC (Risk Integrated Software Clean-ups) est conçu pour être exécuté en six (06) étapes principales (Spence et Waldon, 2001) :

Etape 1 : Le choix des éléments chimiques polluants

L'objectif principal de l'étape une consiste à choisir les éléments chimiques polluants pour l'évaluation du risque. Les éléments chimiques utilisés dans ce travail sont : le plomb (Pb), le Chrome (Cr III), le Cuivre (Cu) et le Mercure (Hg).

Etape 2 : Les voies d'Exposition

Les eaux souterraines à Skikda utilisées pour l'alimentation en eau potable, l'industrie et l'irrigation ainsi que les eaux de surfaces utilisées pour l'irrigation. Par conséquent, les voies d'exposition qui peuvent être indiquées sont : *l'ingestion, l'inhalation* et le *contact cutané*, ainsi que *l'ingestion des légumes*.

Etape 3 : La détermination des points récepteurs

Les concentrations des points récepteurs sont les concentrations des métaux lourds des les eaux souterraines et de surfaces qui peuvent être en contact avec le milieu environnant.

Etape 4 : La description des récepteurs

Les deux types des récepteurs sont les *adultes* et les *enfants* qui vivent d'une façon permanente dans les municipalités côtières.

Etape 5 : Le calcul du risque

Dans cette étape, l'indice de risque est calculé par le rapport entre la dose journalière d'Exposition (DJE) et la dose journalière Admissible (DJA) qui seront calculé par les formules de type (l'équation de l'ingestion des eaux souterraines):

$$DJA = \frac{C_{\max} \cdot IR \cdot AAF \cdot EF}{BW \cdot 365 \cdot \frac{j}{an}}$$

$$DJE = \frac{C_{\text{moy}} \cdot IR \cdot AAF \cdot EF \cdot ED}{LT \cdot BW \cdot 365 \cdot \frac{j}{an}}$$

Où :

DJA = La Dose Journalière Admissible (mg/kg/jour)

DJE = La Dose Journalière d'Exposition (mg/kg/jour)

C_{max} = La concentration maximale des contaminants dans les eaux souterraines (mg.l⁻¹)

C_{moy} = La concentration moyenne des contaminants dans les eaux souterraines sur toute la durée d'exposition (mg.l⁻¹)

IR = Le volume d'eau d'ingestion (l/jour)

AAF = Le facteur d'absorption

EF = La fréquence d'exposition

BW = Le poids corporel (kg)

ED = La durée d'exposition (an)

LT = L'espérance de vie = 70 ans (par convention)

Etape 6 : Le vue des résultats

C'est la dernière étape du **RISC** qui permet de visualiser les tableaux de synthèse et les graphiques de l'indice de risque pour chaque récepteur et toutes les voies d'exposition.

Chapitre 6 Analyses de Données : Résultats et Discussion

6.1 L'Analyse par les RNA et la Comparaison avec les Avis des Experts

Le Réseaux des Neurones Artificiels (RNA ou ANN) a été utilisé pour caractériser et classer par ordre de priorité les variables indépendantes des différentes catégories du modèle DPSIR. La linéarité et la normalité des données ne sont pas pré-requises pour l'utilisation du modèle RNA. Par conséquent, il n'est pas nécessaire de transformer des données.

Les avis des experts ont été entrepris à des fins de comparaison pour examiner le niveau de compréhension et de connaissance du groupe d'expert sélectionné sur les conditions de base actuelles du secteur de l'eau. L'obtention des avis se fait par le biais d'un questionnaire. Les connaissances sur le classement des variables dans les cinq catégories du modèle DPSIR ont été recueillies auprès de 20 experts de la wilaya de Skikda et Constantine. Le groupe comprenait les ingénieurs chefs services d'ADE, de l'Environnement, de la DHW, de l'hydraulique agricole du DSA, le chef service environnement de la base pétrolière, les autorités industrielles et les ingénieurs de l'ANRH.

Les résultats des RNA ont été comparés avec les avis des experts pour les catégories : de la force motrice (D), de la Pression, de l'État de la qualité de l'eau (S), de l'impact et de Réponses.

6.1.1 Les variables de la force motrice (Driving force)

Les données de la variable dépendante mobilisation de la ressource en eau (MRE) et celles des variables indépendantes de la force motrice (D) ont été appliquées dans la création du modèle neuronal RNA. Les variables indépendantes de la catégorie D sont : la population (Pop), les revenus par employant (REmp), le tourisme (Tourism), l'occupation du sol (OccupS), le taux de raccordement à l'eau potable (TxEP), le taux de raccordement aux réseaux des eaux usées (TxEU), la dotation journalière de l'eau potable (DotEP), l'évacuation des eaux pluviales (ÉvEPluv), le prix de l'eau (PrixE), la taxation sur l'eau (TaxE), la consommation de l'eau d'agriculture (ConEAg), l'intégration des femmes (IntégFem), et les pertes d'eau (PerteE). Les variables indépendantes représentant la force motrice D ont été considérées comme variables Entrées, alors que la Sortie est la variable

dépendante mobilisation de la ressource en eau (MRE). Le réseau MLP (Multilayer Perceptron) peut être représenté par la formule suivante :

$$\{WRM\} = ANN \left[\begin{array}{l} \text{Pop, REmp, Tourism, OccupS, TxEP, TxEU, DotEP, EvEPluv, PrixE, TaxE,} \\ \text{ConEA, IntégFem, PerteE.} \end{array} \right]$$

Un digramme schématique de ce réseau MLP est donné dans la figure 6.1

Résultats et Discussion

Les types des réseaux neuronaux utilisés sont les suivantes : le Perceptron Multicouche MLP avec deux algorithmes de rétro-propagation (Broyden Fletcher Goldfarb Shano : BFGS Quasi-Newton et le Gradient Conjugué SGC) et le RBF (l'ANN à fonctions radiales de base). Au cours de l'analyse, plusieurs réseaux ont été testés. Le meilleur ANN trouvé est le MLP à trois (3) couches et à quinze (15) nœuds cachés (Figure 6.1) et un minimum de SOSE (Sum Of Square Error) de 0.003342 par rapport aux autres types d'ANN (Tableau 6.1). Le modèle a une très bonne performance dans la phase d'apprentissage avec un écart-type de 2.772, et la SOSE des trois phases (l'apprentissage, la validation et le test) est petite et indique que les données des variables appartenant à la même population (Tableau 6.2). En outre, le coefficient de corrélation est supérieur à 98% pour la phase d'apprentissage, de validation et de test, ce qui montre un excellent accord entre la Mobilisation de la Ressource en Eau observée et simulée (Figure 6.3). La figure 6.4 montre la SOSE en fonction du nombre de pas de simulation indique que la gamme de l'Erreur lors de l'apprentissage et de la validation est très petite.

Tableau 6.1 La SOSE pour les divers ANN des variables D

ANN	Architecture	SOSE
RBF	13-16-1	0,014655
MLP (CG 77)	13-15-1	0,004750
MLP (BFGS 139)	13-15-1	0,003342

Tableau 6.2 Les Paramètres statistiques de Régression de la Sortie (MRE)

	Training	Verification	Testing
Moyenne	1.528125	<u>3.665714</u>	1.264286
Écart-type	1.945824	<u>2.772381</u>	1.898963
SOSE	0,000033	<u>0,003342</u>	0,009313
Corrélation	0,999595	<u>0,977895</u>	0,941942

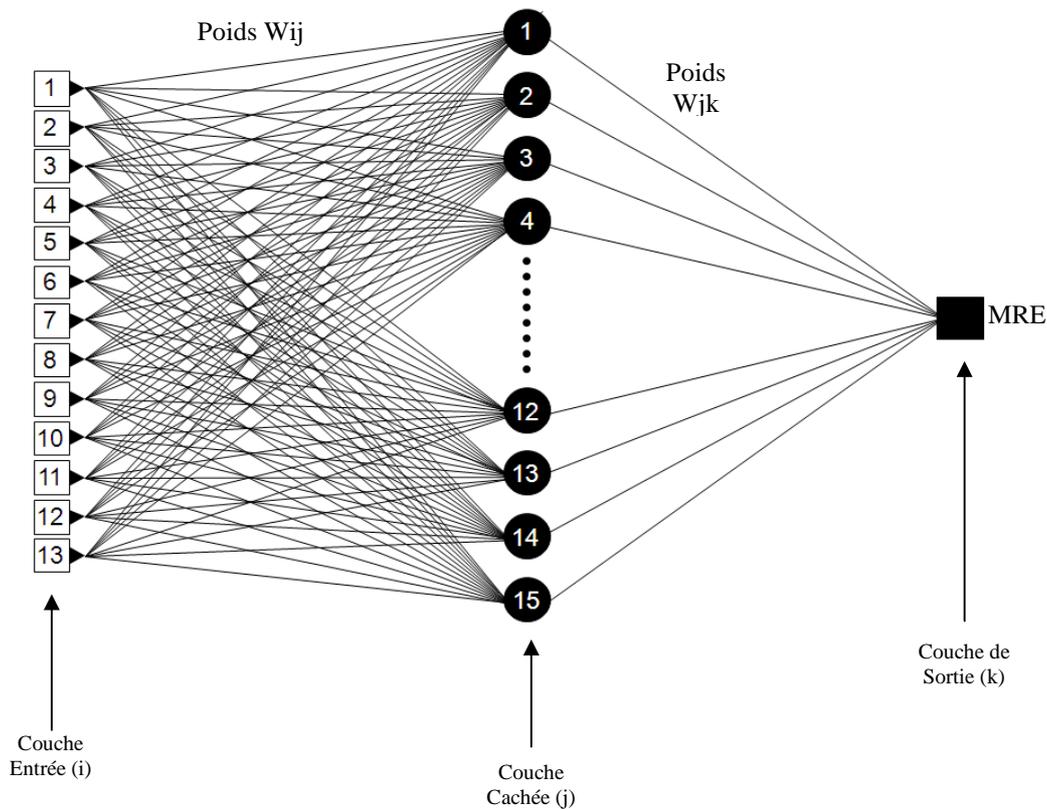


Figure 6.1 Le réseau MLP à trois couches pour les variables de la catégorie D

Légende:

- MRE: la Mobilisation de la Ressource en Eau en $\text{hm}^3.\text{an}^{-1}$
- 1: La Population en nombre
- 2: Les Revenues par Employant $\text{dinars}.\text{an}^{-1}$
- 3: L'Occupation du Sol (%)
- 4: Le Tourisme en nombre
- 5: Le Taux de raccordement aux réseaux de l'Eau Potable (%)
- 6: Le Taux de raccordement aux réseaux des Eaux Usées (%)
- 7: La Dotation journalière de l'Eau Potable $\text{l.hab}^{-1}.\text{jour}^{-1}$
- 8: Évacuation des Eaux Pluviales en (%)
- 9: Le Prix de l'Eau $\text{Dinars}.\text{m}^{-3}$
- 10: La Taxation sur l'Eau (%)
- 11: La Consommation de l'Eau d'Agriculture $\text{hm}^3.\text{an}^{-1}$
- 12: L'Intégration des Femmes (%)
- 13: Les Pertes d'Eau (%)

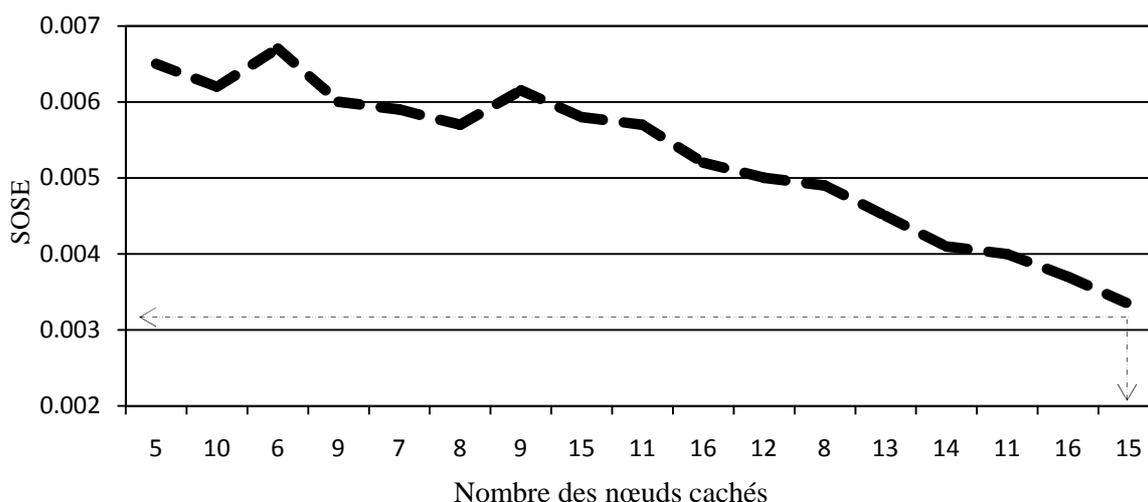


Figure 6.2 La SOSE en fonction des nœuds cachés (Catégorie D)

L'analyse de la sensibilité de l'ANN pour les variables indépendantes de la force motrice dans les deux phases de training et de vérification (Tableau 6.3) indique que la consommation en eau d'agriculture (ConEAg) est la variable force la plus effective dans la catégorie force motrice « D » suivie par l'occupation du sol (OccupS). Le reste des variables effectives en fonction de leurs rang dans la phase de vérification sont les suivantes : l'évacuation des eaux pluviales (EVEPluv), les revenus par employant (REmp), le taux de raccordement des eaux usées (TxEU), le prix de l'eau (PrixE), le taux de raccordement au réseaux de l'eau potable (TxEP), la population (Pop) les pertes d'eau (PerteE), les taxes sur l'eau (TaxE), l'intégration des femmes (IntégFem), et le tourisme.

Les résultats obtenus par le modèle ANN et les avis des experts (Tableau 6.4) sont semblables seulement dans le septième et le neuvième rang qui sont le prix de l'eau et les taxes sur l'eau, alors qu'ils diffèrent dans le classement des variables restantes.

Tableau 6.3 L'Analyse de la Sensibilité de l'ANN des variables D

	Pop	REmp	Tourism	OccupS	TxEP	TxEU	EvEPluv	DotEP	PrixE	TaxE	ConEAg	IntégFem	PerteE
Rang 7	2	13	1	8	6	5	3	10	12	4	11	9	
Ratio	34,88	905,19	1,31	1034,73	30,46	67,81	165,33	578,14	17,11	3,08	256,93	5,27	18,53
Rang 9	4	13	2	8	6	3	5	7	11	1	12	10	
Ratio	1,78	5,32	0,99	10,36	1,95	2,55	8,23	4,51	2,22	1,03	33,50	1,02	1,16

Tableau 6.4 Classement des variables Entrées de la force motrice D via les avis des experts

	Pop	REmp	Tourism	OccupS	TxEp	TxEU	EvEPluv	DotEP	PrixE	TaxE	ConEAg	IntégFem	PerteE
Rang	<u>2</u>	<u>10</u>	<u>12</u>	<u>8</u>	<u>1</u>	<u>5</u>	<u>9</u>	<u>6</u>	<u>7</u>	<u>11</u>	<u>3</u>	<u>13</u>	<u>4</u>

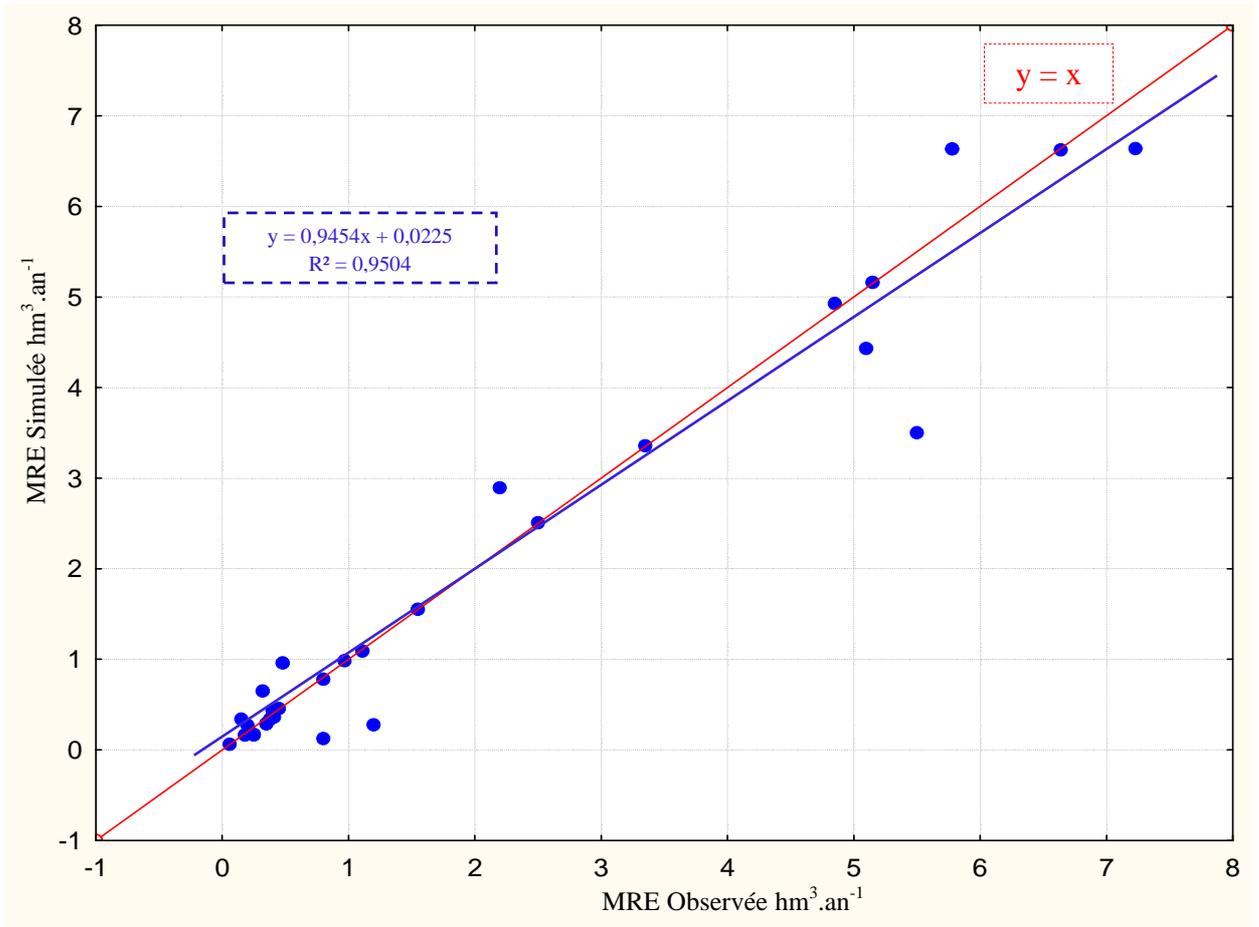


Figure 6.3 La MRE observée en fonction de la MRE simulée

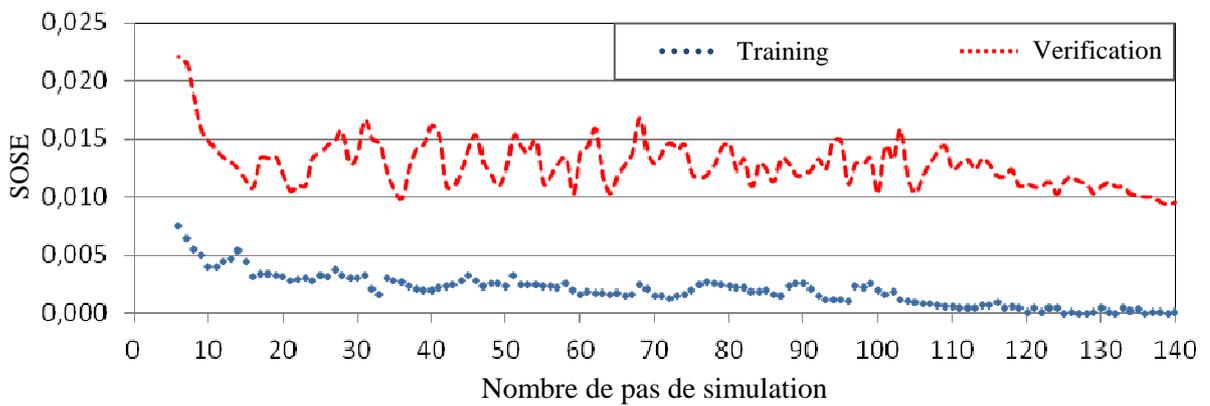


Figure 6.4 Graphique de l'Erreur à l'apprentissage et à la validation

6.1.2 Les variables de Pression

Les données de la variable sortie le total des solides dissous (TDS) et celles des variables indépendantes de Pression ont été appliquées dans la création du modèle neuronal. Les variables indépendantes de Pression sont : Les Déchets Solides Sauvages (DécSauv), La Génération des Eaux Usées Domestiques (EUDom), Les pesticides (Pesticid), Les Engrais Chimiques (EngrCh), Les Engrais Organiques (EngrOrg), Les Stations du Carburant (StCarb), Les Eaux Usées Industrielles (EUInd) et Le Dioxyde de Carbone (CO₂). Les variables indépendantes représentant la Pression ont été considérées comme variables Entrées, alors que la Sortie est la variable dépendante TDS (le total des solides dissous).

Le réseau MLP (Multilayer Perceptron) peut être représenté par la formule suivante :

$$\{TDS\} = ANN [DécSauv, EUDom, Pesticid, EngrCh, EngrOrg, StCarb, EUInd, CO_2].$$

Résultats et Discussion

Les types des réseaux neuronaux utilisés sont les suivantes : le Perceptron Multicouche MLP avec deux algorithmes de rétro-propagation le BFGS Quasi-Newton et le Gradient Conjugué SGC et le RBF. Au cours de l'analyse, plusieurs réseaux ont été testés. Le meilleur réseau neuronal trouvé est le MLP à trois (3) couches et à neuf (09) nœuds cachés (Figure 6.5) et un minimum de SOSE (Sum Of Square Error) de 0.02814 par rapport aux autres types des RNA (Tableau 6.5). Le modèle a une très bonne performance dans la phase d'apprentissage avec un écart-type de 192.04, et la SOSE des trois phases (l'apprentissage, la validation et le test) est petite et indique que les données des variables appartenant à la même population (Tableau 6.6). En plus, le coefficient de corrélation est supérieur à 95% pour la phase d'apprentissage, de validation et de test, ce qui montre un excellent accord entre le total des solides dissous (TDS) observé et simulé (Figure 6.7). Le graphique de la Figure 6.8 montre la SOSE en fonction du nombre de pas de simulation indique que la gamme de l'Erreur lors de l'apprentissage et de la validation est très petite au fur a mesure de l'avancement des pas d'itération.

Tableau 6.5 La SOSE pour les divers ANN des variables P

ANN	Architecture	SOSE
RBF	8-10-1	0.0385
MLP (CG 40)	8-12-1	0.0326
MLP (BFGS 105)	8-9-1	0,02814

Tableau 6.6 Les Paramètres statistiques de Régression de la Sortie (TDS)

	Training	Vérification	Testing
Moyenne	1144,65	1170,70	1008,36
Écart-type	358,24	192,04	406,21
SOSE	0,0037	0,02814	0,00735
Corrélation	0,9600	0,9871	0,9545

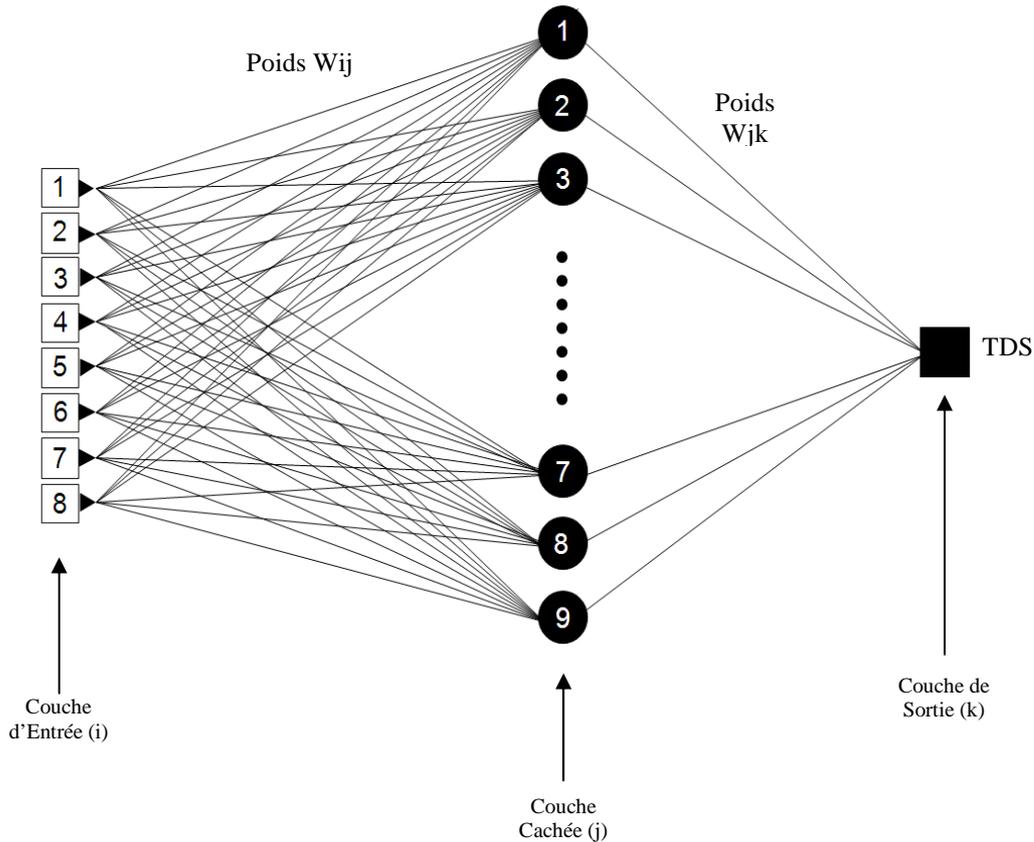


Figure 6.5 Le réseau MLP à trois couches pour les variables de Pression

Légende:

- TDS: le Total des Solides Dissous (mg.l^{-1})
- 1: Les Déchets Solides Sauvages (tonne.an^{-1})
- 2: La Génération des Eaux Usées Domestiques ($\text{hm}^3.\text{an}^{-1}$)
- 3: Les pesticides (tonne.an^{-1})
- 4: Les Engrais Chimiques (tonne.an^{-1})
- 5: Les Engrais Organiques (tonne.an^{-1})
- 6: Les Stations du Carburant (Nombre)
- 7: Les Eaux Usées Industrielles ($\text{hm}^3.\text{an}^{-1}$)
- 8: Le Dioxyde de Carbone (ppm)

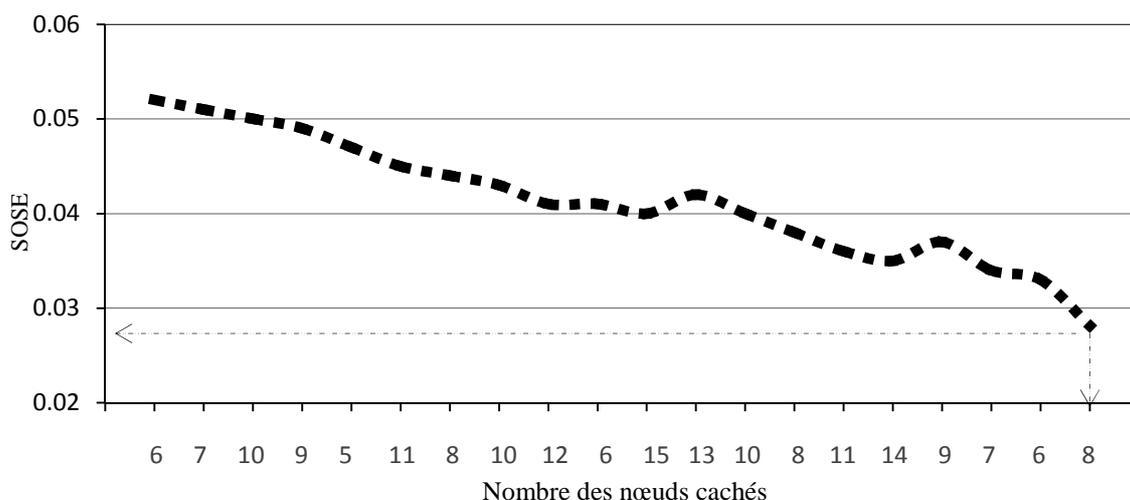


Figure 6.6 La SOSE en fonction des nœuds cachés (Catégorie P)

L'analyse de la sensibilité de l'ANN pour les variables indépendantes de Pression dans les deux phases de training et de vérification (Tableau 6.7) indique que la génération des eaux usées domestiques (EUDom) est la variable source de pollution la plus pressante sur la qualité de l'eau dans la catégorie de Pression suivie par les eaux usées industrielle (EUInd). Le reste des variables en fonction de leurs rangs dans la phase de vérification sont les suivantes : les déchets sauvages (DécSauv), les engrais chimiques (EngrCh), le dioxyde de carbone (CO₂), les pesticides (Pesticid), les engrais organiques (EngrOrg) et les stations de service carburants (StCarb).

Les résultats obtenus par le modèle ANN et les avis des experts (Tableau 6.8) sont semblables seulement dans le quatrième, le huitième, le deuxième et le cinquième rang, alors qu'ils sont très peu différents dans le classement des variables restantes.

Tableau 6.7 L'Analyse de la Sensibilité de l'ANN des variables P

	DécSauv	EUDom	Pesticid	EngrCh	EngrOrg	StCarb	EUInd	CO ₂
Rang	1	3	7	4	6	8	2	5
Ratio	10,511	5,320	2,866	5,078	3,867	1,088	6,512	4,294
Rang	<u>3</u>	<u>1</u>	<u>6</u>	<u>4</u>	<u>7</u>	<u>8</u>	<u>2</u>	<u>5</u>
Ratio	<u>1,897</u>	<u>2,213</u>	<u>1,059</u>	<u>1,771</u>	<u>1,017</u>	<u>0,181</u>	<u>1,996</u>	<u>1,067</u>

Tableau 6.8 Classement des variables Entrées de Pression via les avis des experts

	DécSauv	EUDom	Pesticid	EngrCh	EngrOrg	StCarb	EUInd	CO ₂
<u>Rang</u>	<u>3</u>	<u>2</u>	<u>7</u>	<u>5</u>	<u>8</u>	<u>6</u>	<u>1</u>	<u>4</u>

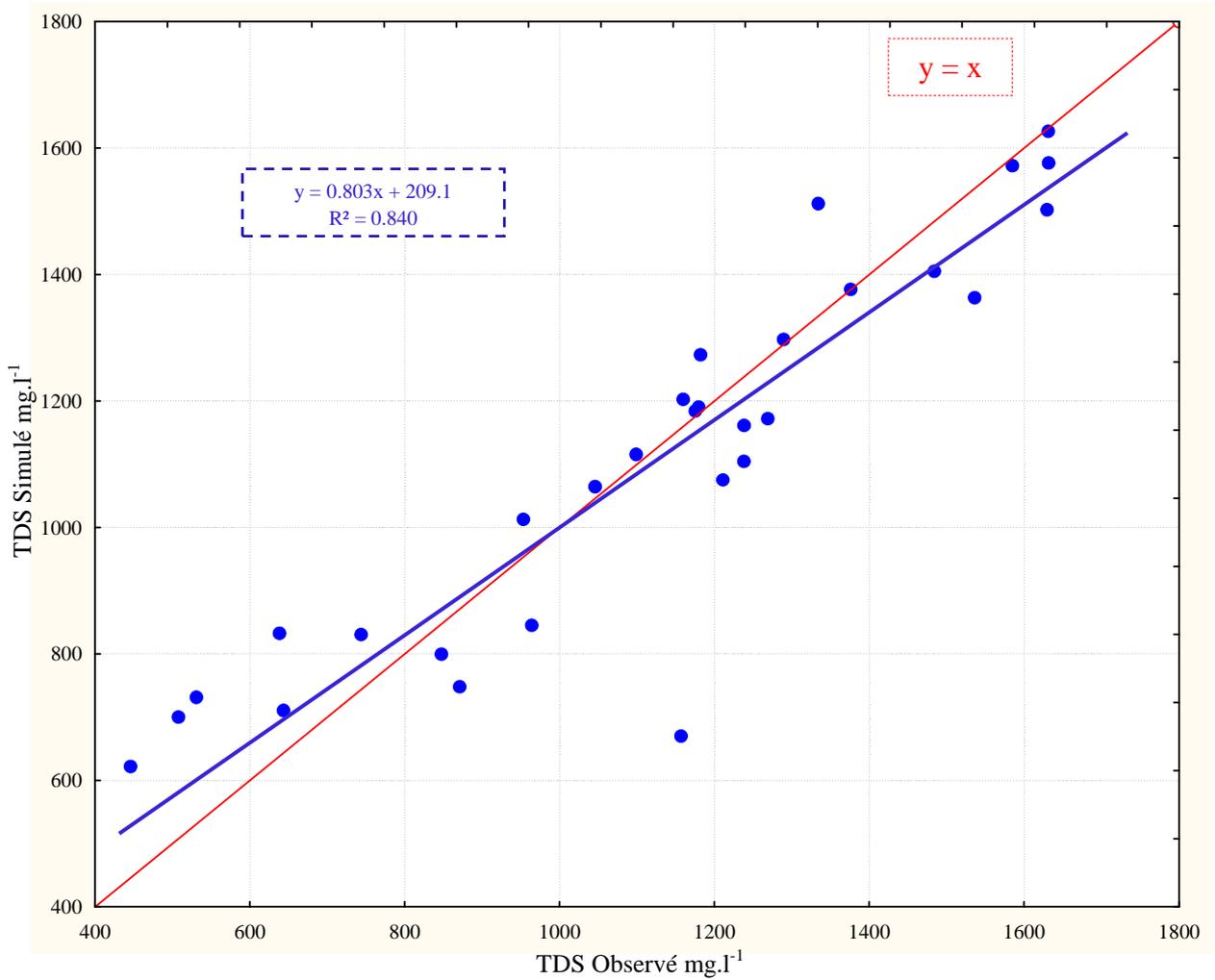


Figure 6.7 Le TDS observé en fonction du TDS simulé

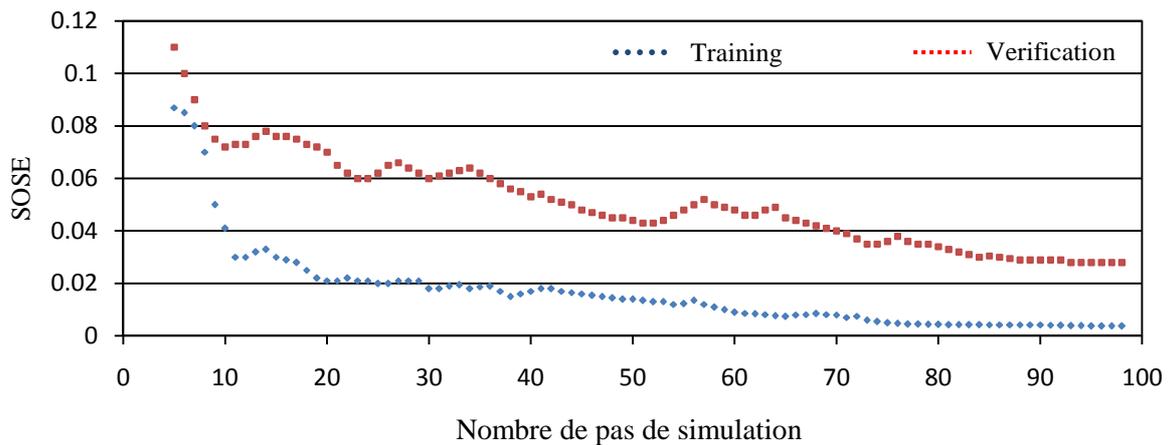


Figure 6.8 Graphique de l'Erreur à l'apprentissage et à la validation

6.1.3 Les variables de l'État de la Qualité de l'Eau (State)

La variable dépendante le total des solides dissous (TDS) et les variables indépendantes de l'état de la qualité de l'eau de surface (State) ont été utilisées dans la création d'un modèle de réseau de neurone. Les variables indépendantes de l'état de la qualité de l'eau de surface (catégorie S) sont : les Nitrates (NO_3^-), les Chlorures (Cl^-), le Sodium (Na^+), le Calcium (Ca^{2+}), le Magnésium (Mg^{2+}), le Potassium (K^+), les Sulfates (SO_4^{2-}), les Bicarbonates (HCO_3^-), la Demande Biochimique en Oxygène (DBO_5), la Demande Chimique en Oxygène (DCO), la Conductivité Électrique (CE), la Température (T) et le potentiel en Hydrogène (pH). Les variables indépendantes représentant l'état de la qualité de l'eau de surface (S) ont été considérées comme variables Entrées, alors que la Sortie est la variable dépendante TDS (le total des solides dissous).

Le réseau MLP (Multilayer Perceptron) peut être représenté par la formule suivante :

$$\{\text{TDS}\} = \text{ANN} [\text{NO}_3^-, \text{Cl}^-, \text{Na}^+, \text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}, \text{K}^+, \text{SO}_4^{2-}, \text{HCO}_3^-, \text{DBO}_5, \text{DCO}, \text{CE}, \text{T}, \text{pH}].$$

Résultats et Discussion

Les types des réseaux neuronaux utilisés sont les suivantes : le Perceptron Multicouche MLP avec deux algorithmes de rétro-propagation le BFGS Quasi-Newton et le Gradient Conjugué SGC et le RBF. Au cours de l'analyse, plusieurs réseaux ont été testés. Le meilleur réseau neuronal trouvé est le MLP à trois (3) couches avec dix (10) nœuds cachés (Figure 6.9) et un minimum de SOSE (Sum Of Square Error) de 0.3972 par rapport aux

autres types des RNA (Tableau 6.9). Le modèle a une très bonne performance dans la phase d'apprentissage avec un écart-type de 396.42 et la SOSE des trois phases (l'apprentissage, la validation et le test) est petite et indique que les données des variables appartenant à la même population (Tableau 6.10). En plus, le coefficient de corrélation est supérieur à 96% pour la phase d'apprentissage, de validation et de test, ce qui montre un excellent accord entre le total des solides dissous (TDS) observé et simulé (Figure 6.11). La figure 6.12 montre la SOSE en fonction du nombre de pas de simulation indique que la gamme de l'Erreur lors de l'apprentissage et de la validation est très petite.

Tableau 6.9 La SOSE pour les divers ANN des variables S

ANN	Architecture	SOSE
RBF	13-8-1	0.758
MLP (CG 78)	13-14-1	0.430
MLP (BFGS 85)	13-10-1	0,3972

Tableau 6.10 Les Paramètres statistiques de Régression de la Sortie (TDS) pour la catégorie S

	Training	Vérification	Testing
Moyenne	984,26	1059,65	1305,90
Écart-type	410,23	396,42	241,26
SOSE	0,295	0,3972	0,1647
Corrélation	0,996	0,971	0,962

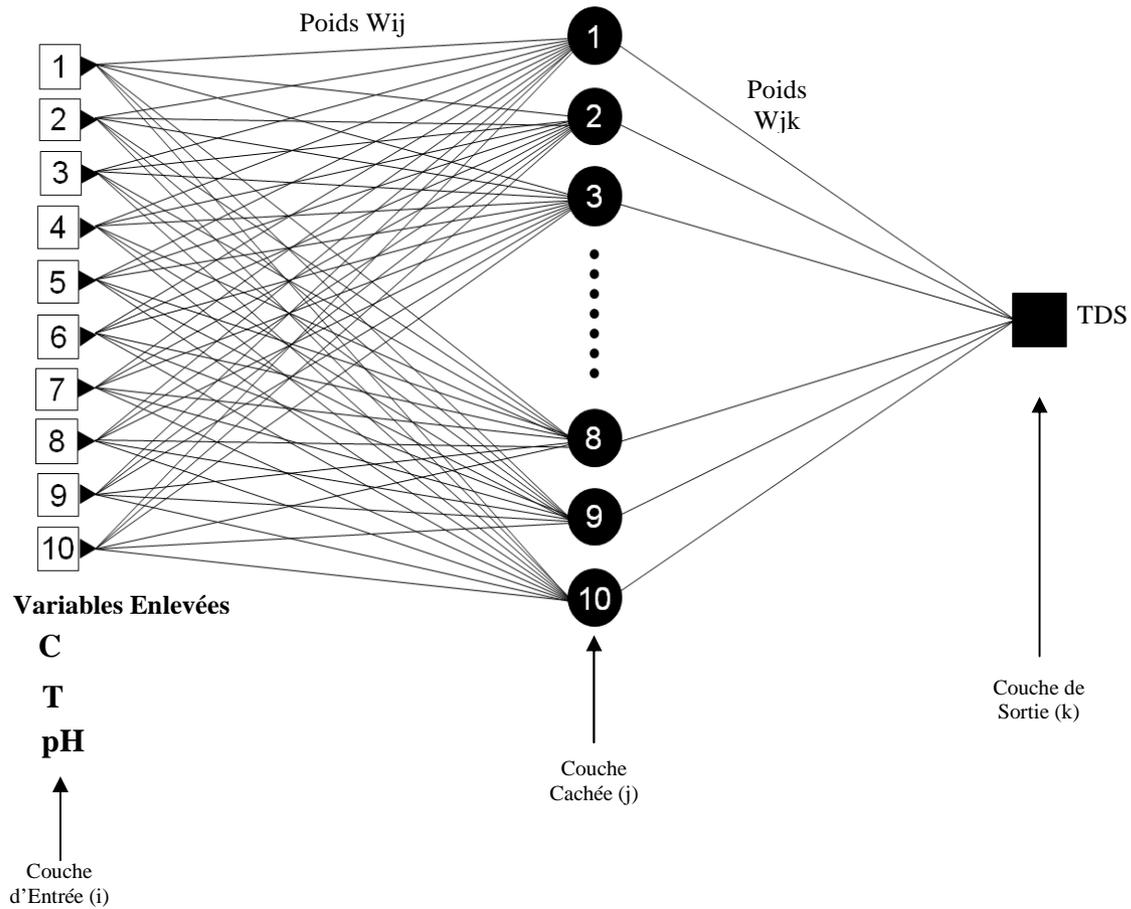


Figure 6.9 Le réseau MLP à trois couches pour les variables de la qualité de l'eau (S)

Légende:

TDS: le Total des Solides Dissous (mg.l^{-1})

1: Les Nitrates (NO_3^-) en mg.l^{-1}

2: Les Chlorures (Cl^-) en mg.l^{-1}

3: Le Sodium (Na^+) en mg.l^{-1}

4: Le Calcium (Ca^{2+}) en mg.l^{-1}

5: Le Magnésium (Mg^{2+}) en mg.l^{-1}

6: Le Potassium (K^+) en mg.l^{-1}

7: Les Sulfates (SO_4^{2-}) en mg.l^{-1}

8: Les Bicarbonates (HCO_3^-) en mg.l^{-1}

9: Demande Biochimique en Oxygène (DBO_5) en mg.l^{-1}

10: Demande Chimique en Oxygène (DCO) en mg.l^{-1}

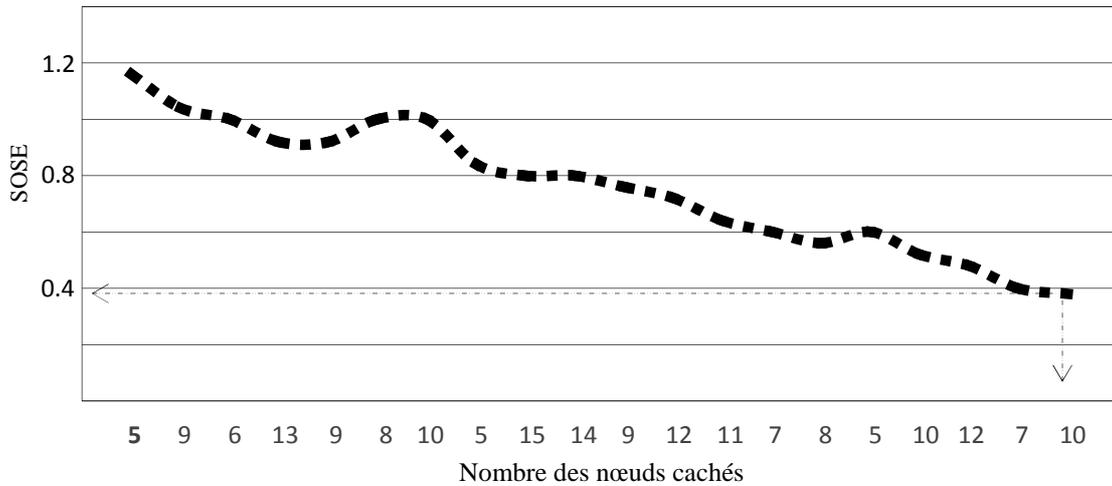


Figure 6.10 La SOSE en fonction des nœuds cachés (Catégorie S)

L'analyse de la sensibilité de l'ANN aux paramètres de la qualité de l'eau de surface dans la phase de vérification (Tableau 6.11) indique que les Chlorures (Cl^-) et les Nitrates NO_3^- sont les deux principaux paramètres qui influencent sur la qualité des eaux de surface, et puis ils sont suivis par le Magnésium (Mg^{2+}), la DBO_5 , le Sodium (Na^+), le Potassium (K^+), le Calcium (Ca^{2+}), les Sulfates (SO_4^{2-}), les Bicarbonates (HCO_3^-) et la DCO. Le modèle ANN a enlevé trois (03) variables d'Entrée en raison de leur faible sensibilité, ces variables sont : la Conductivité Électrique (CE), la Température (T) et le potentiel en Hydrogène (pH).

Les résultats obtenus par le modèle ANN et les avis des experts (Tableau 6.12) sont semblables presque dans tous les paramètres, à part les cas : du Calcium, du Magnésium et la demande chimique en oxygène.

Tableau 6.11 L'Analyse de la Sensibilité de l'ANN des variables S

	NO_3^-	Cl^-	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	SO_4^{2-}	HCO_3^-	DBO_5	DCO
Rang	2,19	4,26	3,67	1,703	1,718	1,135	1,895	1,138	1,99	1,54
Ratio	3	1	2	7	6	10	5	9	4	8
<u>Rang</u>	<u>1,092</u>	<u>1,298</u>	<u>0,997</u>	<u>0,941</u>	<u>1,006</u>	<u>0,978</u>	<u>0,882</u>	<u>0,856</u>	<u>0,995</u>	<u>0,712</u>
<u>Ratio</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>5</u>	<u>7</u>	<u>3</u>	<u>6</u>	<u>8</u>	<u>9</u>	<u>4</u>	<u>10</u>

Tableau 6.12 Classement des variables Entrées de la catégorie S via les avis des experts

	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	DBO ₅	DCO
Rang	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>5</u>	<u>4</u>	<u>8</u>	<u>6</u>	<u>9</u>	<u>10</u>	<u>3</u>	<u>7</u>

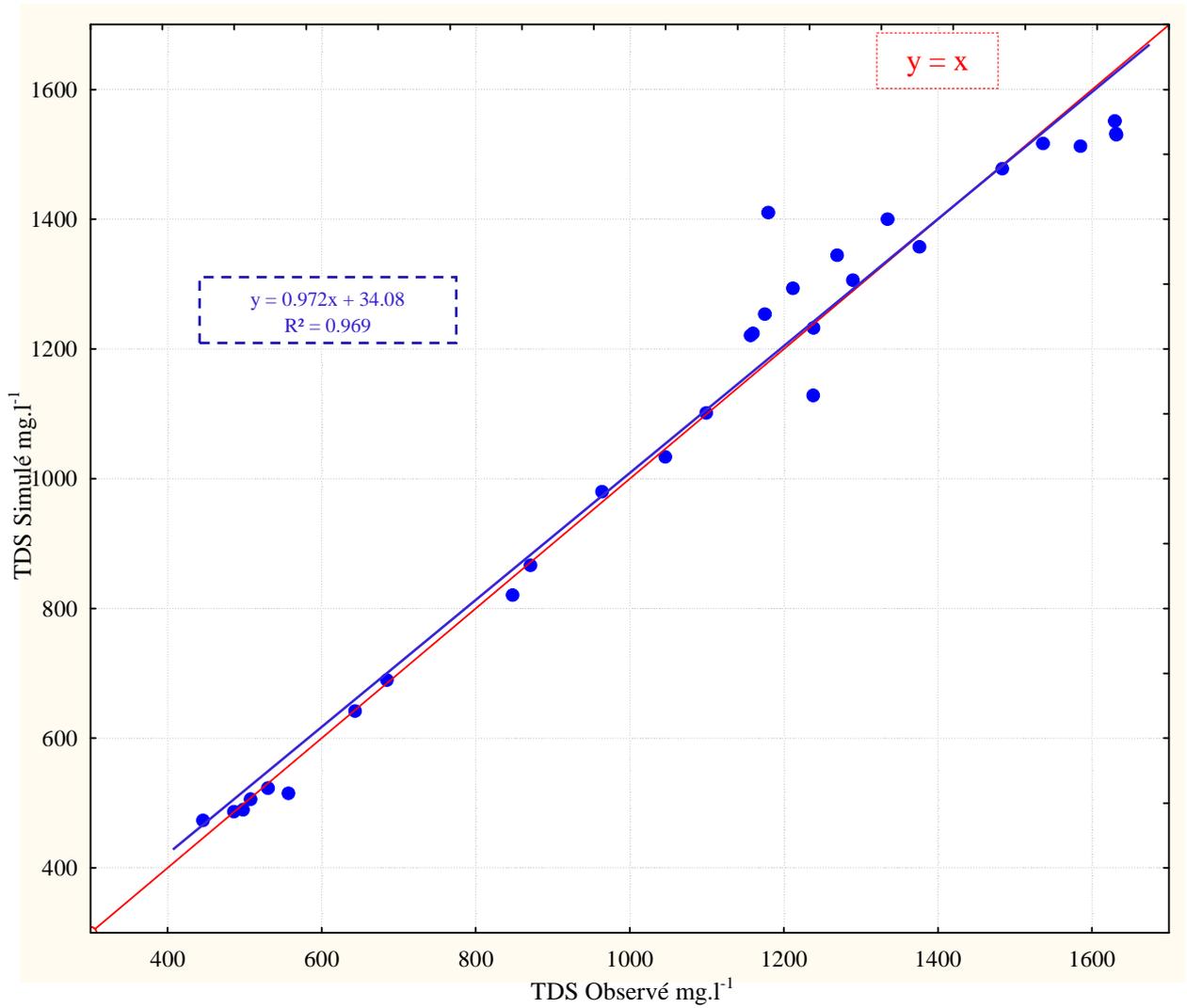


Figure 6.11 Le TDS observé en fonction du TDS simulé

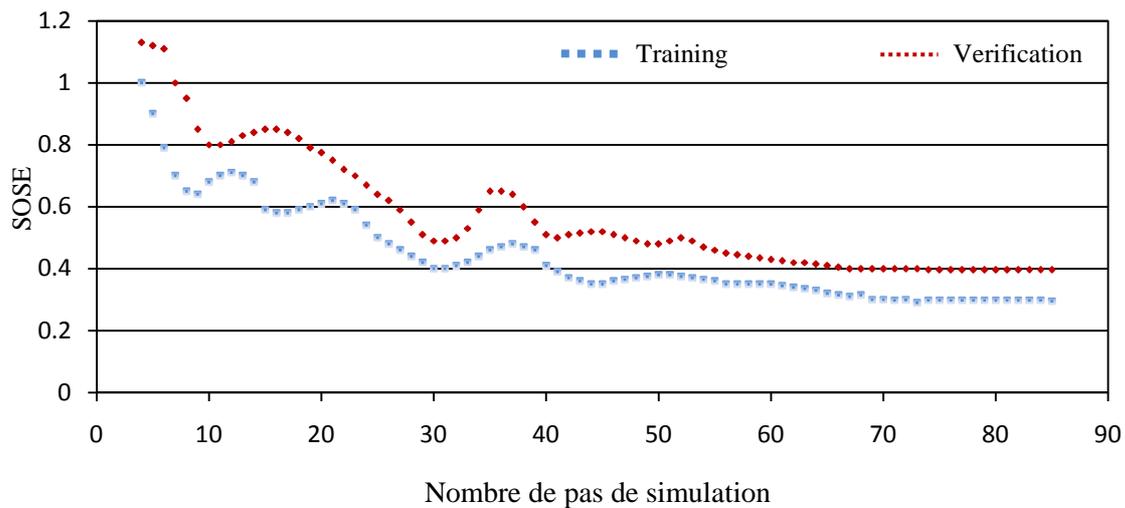


Figure 6.12 Graphique de l'Erreur à l'apprentissage et à la validation

6.1.4 Les variables d'Impact

Les données de la variable dépendante mobilisation de la ressource en eau (MRE) et celles des variables indépendantes d'impact ont été appliquées dans la création du modèle neuronal. Les variables indépendantes d'Impact sont : les maladies à transmission hydrique (MaladTrHy), la Perte de Productivité Agricole (PertePAg) et la Perte des Zones Humides (PerteZnHu). Les variables indépendantes représentant la catégorie d'Impact ont été considérées comme variables Entrées, alors que la Sortie est la variable dépendante mobilisation de la ressource en eau (MRE). Le réseau MLP (Multilayer Perceptron) peut être représenté par la formule suivante :

$$\{MRE\} = ANN [MaladTrHy, PertePAg, PerteZnHu].$$

Résultats et Discussion

Les types des réseaux neuronaux utilisés sont les suivantes : le Perceptron Multicouche MLP avec deux algorithmes de rétro-propagation (BFGS Quasi-Newton et le Gradient Conjugué SGC) et le RBF. Au cours de l'analyse, plusieurs réseaux ont été testés. Le meilleur réseau neuronal trouvé est le MLP à trois (3) couches avec huit (08) nœuds cachés (Figure 6.13) et un minimum de SOSE (Sum Of Square Error) de 0.5831 par rapport aux autres types des RNA (Tableau 10). La performance du modèle est bonne dans la phase d'apprentissage avec un écart-type de 365.50 et la SOSE des trois phases (l'apprentissage, la validation et le test) est petite et indique que les données des variables

appartenant à la même population (Tableau 6.14). En plus, le coefficient de corrélation est supérieur à 85% pour la phase d'apprentissage, de validation et de test, ce qui montre un accord assez bon entre le total des solides dissous (TDS) observé et simulé (Figure 15). Le graphique de la figure 6.16 montre la SOSE en fonction du nombre de pas de simulation indique que la gamme de l'Erreur lors de l'apprentissage et de la validation est petite.

Tableau 6.13 La SOSE pour les divers ANN des variables d'Impact

ANN	Architecture	SOSE
RBF	3-5-1	0.9226
MLP (CG 90)	3-6-1	0.6133
MLP (BFGS 68)	3-8-1	0,5831

Tableau 6.14 Les Paramètres statistiques de Régression de la Sortie (MRE) pour la catégorie I

	Training	Vérification	Testing
Moyenne	1111.4	1246.0	1071.0
Écart-type	356.5	289.6	380.0
SOSE	0,4515	0,5831	0,2561
Corrélation	0.852	0.980	0.910

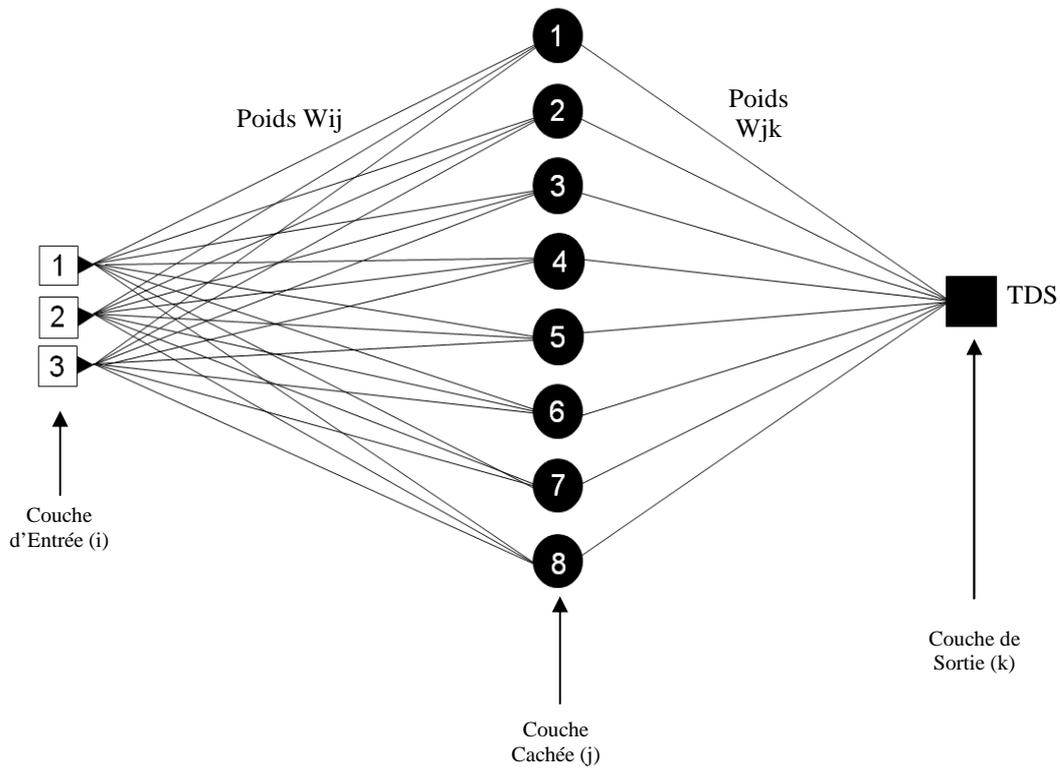


Figure 6.13 Le réseau MLP à trois couches pour les variables d'Impact (I)

Légende:

TDS: le Total des Solides Dissous (mg.l^{-1})

1: Les maladies à transmission hydrique (MaladTrHy)

2: La Perte de Productivité Agricole (PertePAg)

3: La Perte des Zones Humides (PerteZnHu)

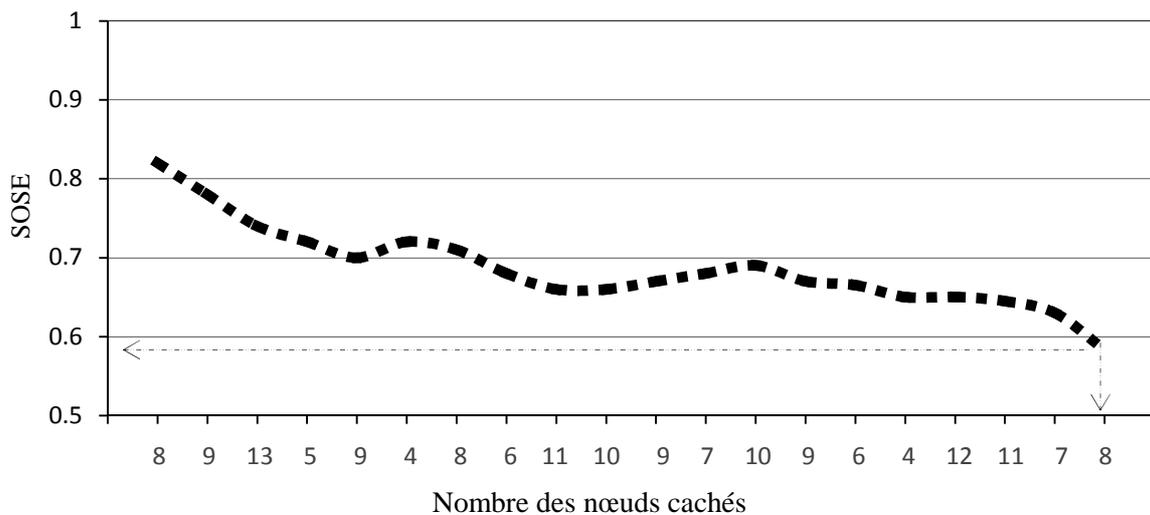


Figure 6.14 La SOSE en fonction des nœuds cachés (Catégorie S)

L'analyse de la sensibilité du modèle neuronal aux variables d'Impact dans la phase de vérification (validation) indique que les maladies à transmission hydrique (MaladTrHy), la perte de productivité agricole (PertePAg) sont les deux variables d'impact influencées par le changement de l'état qualitatif et quantitatif de la ressources en eau suivie par la perte des zones humides (PerteZnHu). Les résultats obtenus par le modèle ANN et les avis des experts (Tableau 6.16) sont semblables.

Tableau 6.15 L'Analyse de la Sensibilité de l'ANN des variables I

	MaladTrHy	PertePAg	PerteZnHu
Rang	1.4218	1.4814	0.9956
Ratio	2	1	3
<u>Rang</u>	<u>0.9581</u>	<u>0.9127</u>	<u>0.7953</u>
<u>Ratio</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>

Tableau 6.16 Classement des variables Entrées de la catégorie I via les avis des experts

	MaladTrHy	PertePAg	PerteZnHu
<u>Rang</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>

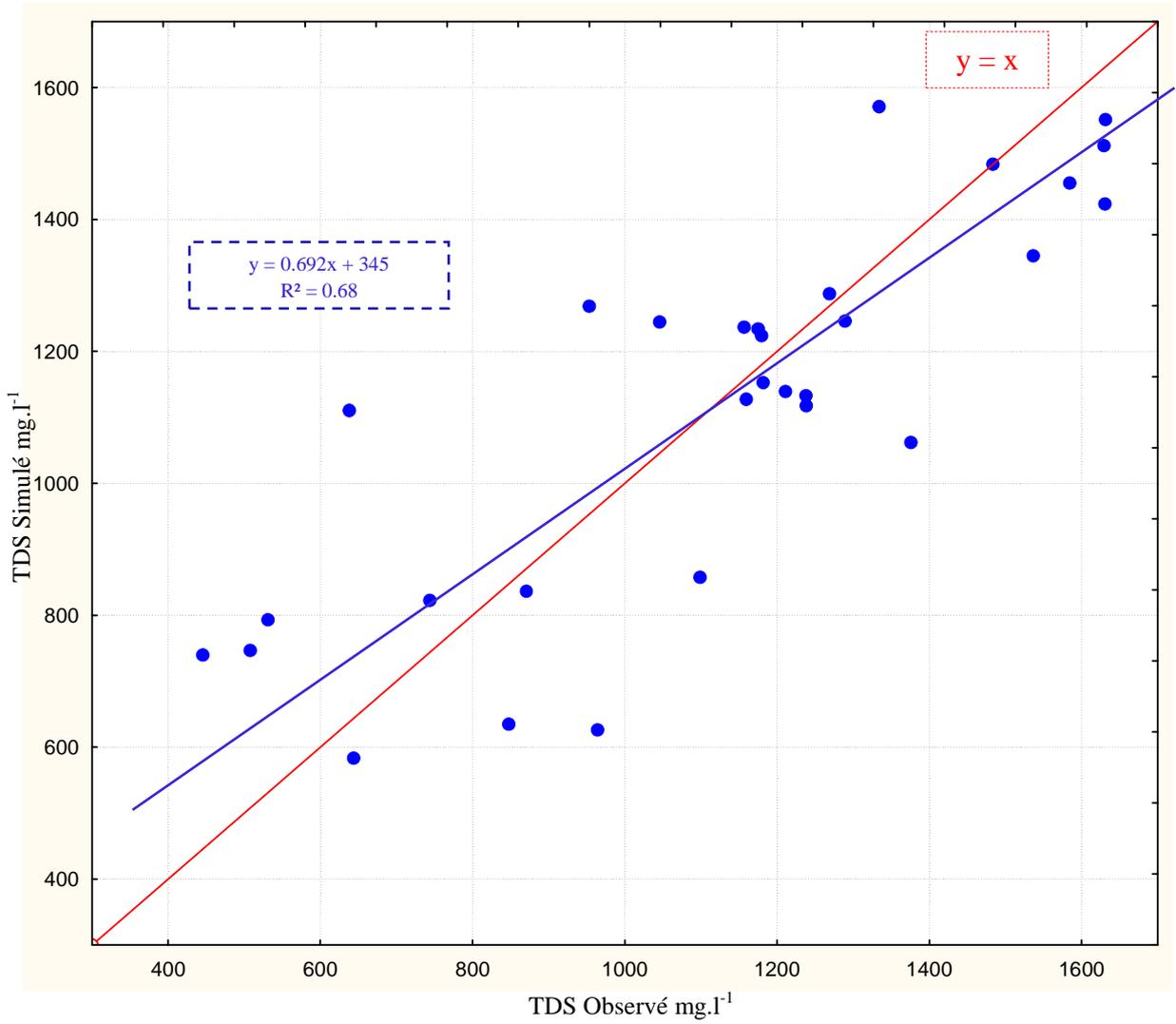


Figure 6.15 Le TDS observé en fonction du TDS simulé

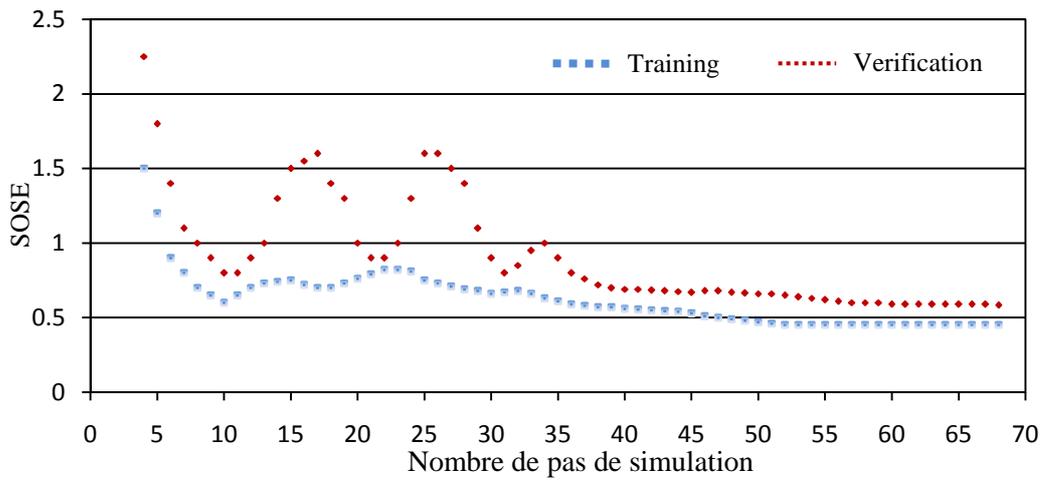


Figure 6.16 Graphique de l'Erreur à l'apprentissage et à la validation

6.1.5 Les variables de Réponse

Les données de la variable dépendante mobilisation de la ressource en eau (MRE) et celles des variables indépendantes de Réponse ont été appliquées dans la création du modèle neuronal RNA. Les variables indépendantes de la catégorie R sont : le stockage des eaux pluviales (StoEPluv), l'importation de l'eau (ImportE), l'efficacité dans l'eau d'irrigation (EfEIrrig), l'efficacité des systèmes d'information (EfSyInf), la sensibilisation sur l'eau (SensibE), le dessalement de l'eau de Mer (DEM) et l'efficacité de l'alimentation en eau potable (EffAIEP). Les variables indépendantes représentant la catégorie de Réponse ont été considérées comme variables Entrées, alors que la Sortie est la variable dépendante mobilisation de la ressource en eau. Le réseau MLP peut être représenté par la formule suivante :

$$\{MRE\} = ANN [StoEPluv, ImportE, EfEIrrig, EfSyInf, SensibE, DEM, EffAIEP].$$

Un diagramme schématique de ce réseau MLP est donné dans la figure 6.17

Résultats et Discussion

Les types des réseaux neuronaux utilisés sont les suivantes : le Perceptron Multicouche MLP avec deux algorithmes de rétro-propagation (BFGS Quasi-Newton et le Gradient Conjugué SGC) et le RBF. Au cours de l'analyse, plusieurs réseaux ont été testés. Le meilleur ANN trouvé est le MLP à trois (3) couches et à seize (16) nœuds cachés (Figure 6.17) et un minimum de SOSE (Sum Of Square Error) de 0.014325 par rapport aux autres types d'ANN (Tableau 6.17). Le modèle a une très bonne performance dans la phase d'apprentissage avec un écart-type de 2.0237, et la SOSE des trois phases (l'apprentissage, la validation et le test) est petite et indique que les données des variables appartenant à la même population (tableau 6.18). En outre, le coefficient de corrélation est supérieur à 96% pour la phase d'apprentissage, de validation et de test, ce qui montre un excellent accord entre la Mobilisation de la Ressource en Eau (MRE) observée et simulée (Figure 6.19). La figure 6.20 montre la SOSE en fonction du nombre de pas de simulation indique que la gamme de l'Erreur lors de l'apprentissage et de la validation est très petite.

Tableau 6.17 La SOSE pour les divers ANN des variables de Réponse

ANN	Architecture	SOSE
RBF	7-5-1	0,047840
MLP (CG 110)	7-14-1	0,015892
MLP (BFGS 107)	7-16-1	<u>0,014325</u>

Tableau 6.18 Les Paramètres statistiques de Régression de la Sortie (MRE)

	Training	Verification	Testing
Moyenne	1,665625	<u>3,695714</u>	1,494286
Écart-type	2,023736	<u>3,487257</u>	2,116490
SOSE	0,000318	<u>0,014325</u>	0,004663
Corrélation	0,997379	<u>0,960188</u>	0,970863

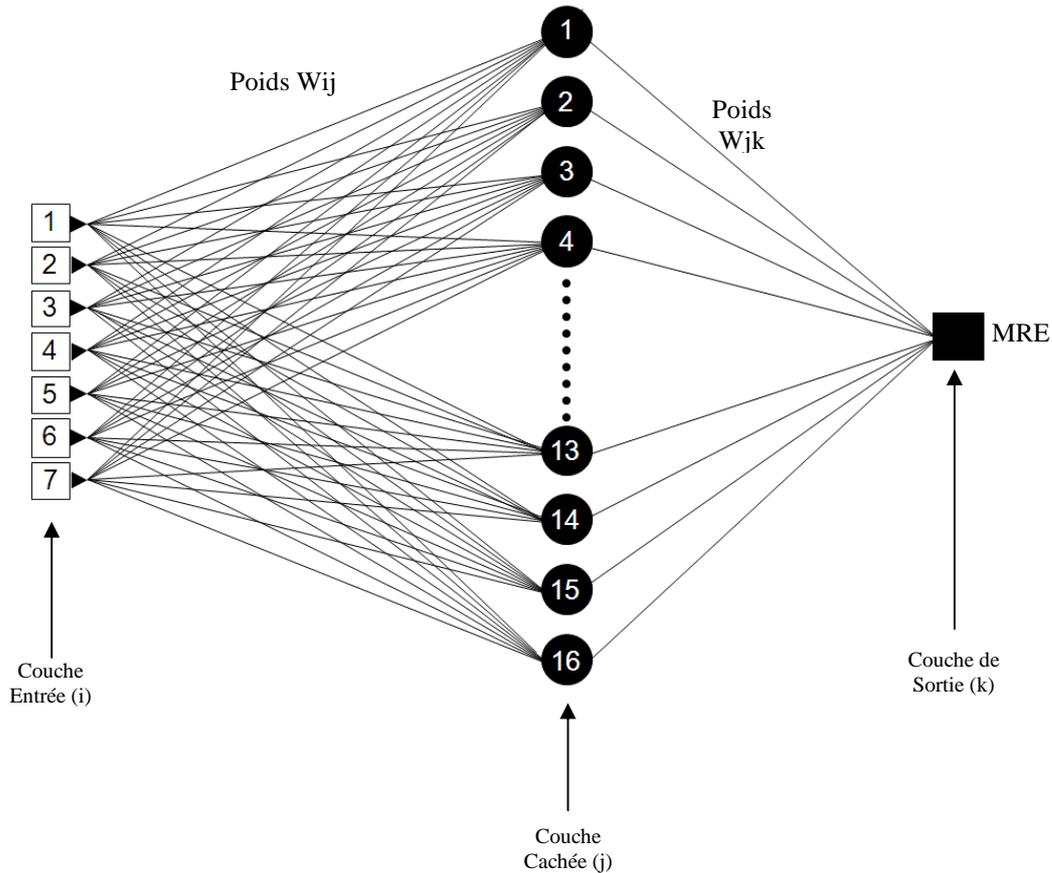


Figure 6.17 Le réseau MLP à trois couches pour les variables de la catégorie R

Légende:

MRE: la Mobilisation de la Ressource en Eau en $\text{hm}^3 \cdot \text{an}^{-1}$

- 1: Le Stockage des Eaux Pluviales (StoEPluv)
- 2: L'Importation de l'Eau (ImportE)
- 3: L'Efficacité dans l'Eau d'Irrigation (EfEIrrig)
- 4: L'Efficacité des Systèmes d'Information (EfSyInf)
- 5: La Sensibilisation sur l'Eau (SensibE)
- 6: Le Dessalement de l'Eau de Mer (DEM)
- 7: L'Efficacité de l'Alimentation en Eau Potable (EffAlEP)

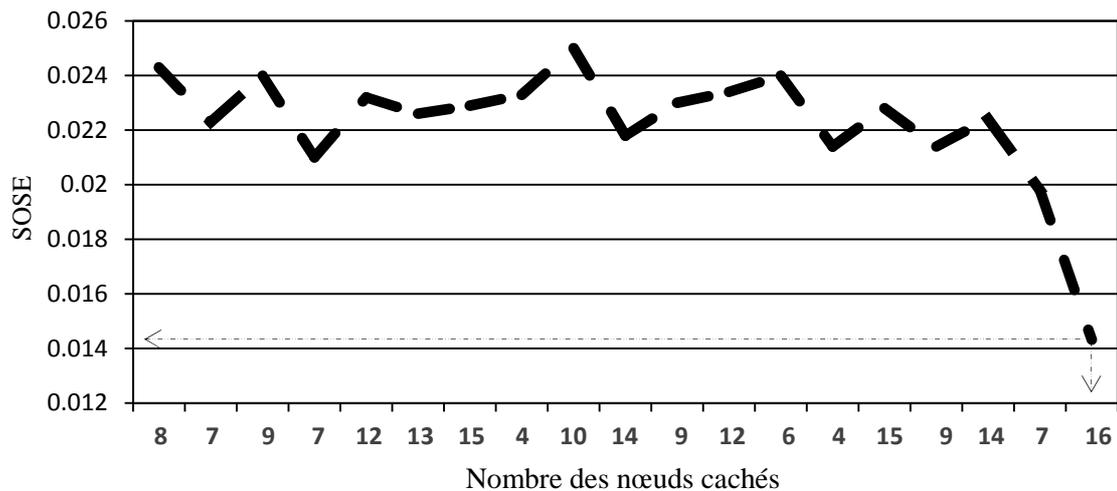


Figure 6.18 La SOSE en fonction des nœuds cachés (Catégorie R)

L'analyse de la sensibilité de l'ANN pour les variables indépendantes de réponse dans les deux phases de training et de vérification (Tableau 6.19) indique que l'importation de l'eau (ImportE) est l'intervention la plus influente dans la catégorie de Réponse sur la MRE suivie par l'efficacité dans l'eau d'irrigation (EfEIrrig), la sensibilisation sur l'eau (SensibE), l'efficacité dans l'alimentation en eau potable (EffAIEP), l'efficacité dans le système d'information (EfSyInf), le stockage des eaux pluviales (StoEPluv), et le dessalement de l'eau de mer (DEM).

Les résultats obtenus par le modèle ANN et les avis des experts (Tableau 6.20) sont semblables seulement dans le septième et le neuvième rang qui sont le prix de l'eau et les taxes sur l'eau, alors qu'ils diffèrent dans le classement des variables restantes.

Tableau 6.19 L'Analyse de la Sensibilité de l'ANN des variables R

	StoEPluv	ImportE	EfEIrrig	EffAIEP	EfSyInf	SensibE	DEM
<u>Rang</u>	4	1	5	2	3	7	6
<u>Ratio</u>	5.492940	123.2325	4.049400	12.13247	10.41647	2.454929	3.726960
<u>Rang</u>	<u>6</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>3</u>	<u>7</u>
<u>Ratio</u>	<u>1.002058</u>	<u>9.983079</u>	<u>1.355602</u>	<u>1.108712</u>	<u>1.073650</u>	<u>1.285875</u>	<u>1.001495</u>

Tableau 6.20 Classement des variables Entrées de la catégorie R via les avis des experts

	StoEPluv	ImportE	EfEIrrig	EffAIEP	EfSyInf	SensibE	DEM
<u>Rang</u>	<u>4</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>5</u>	<u>6</u>	<u>7</u>

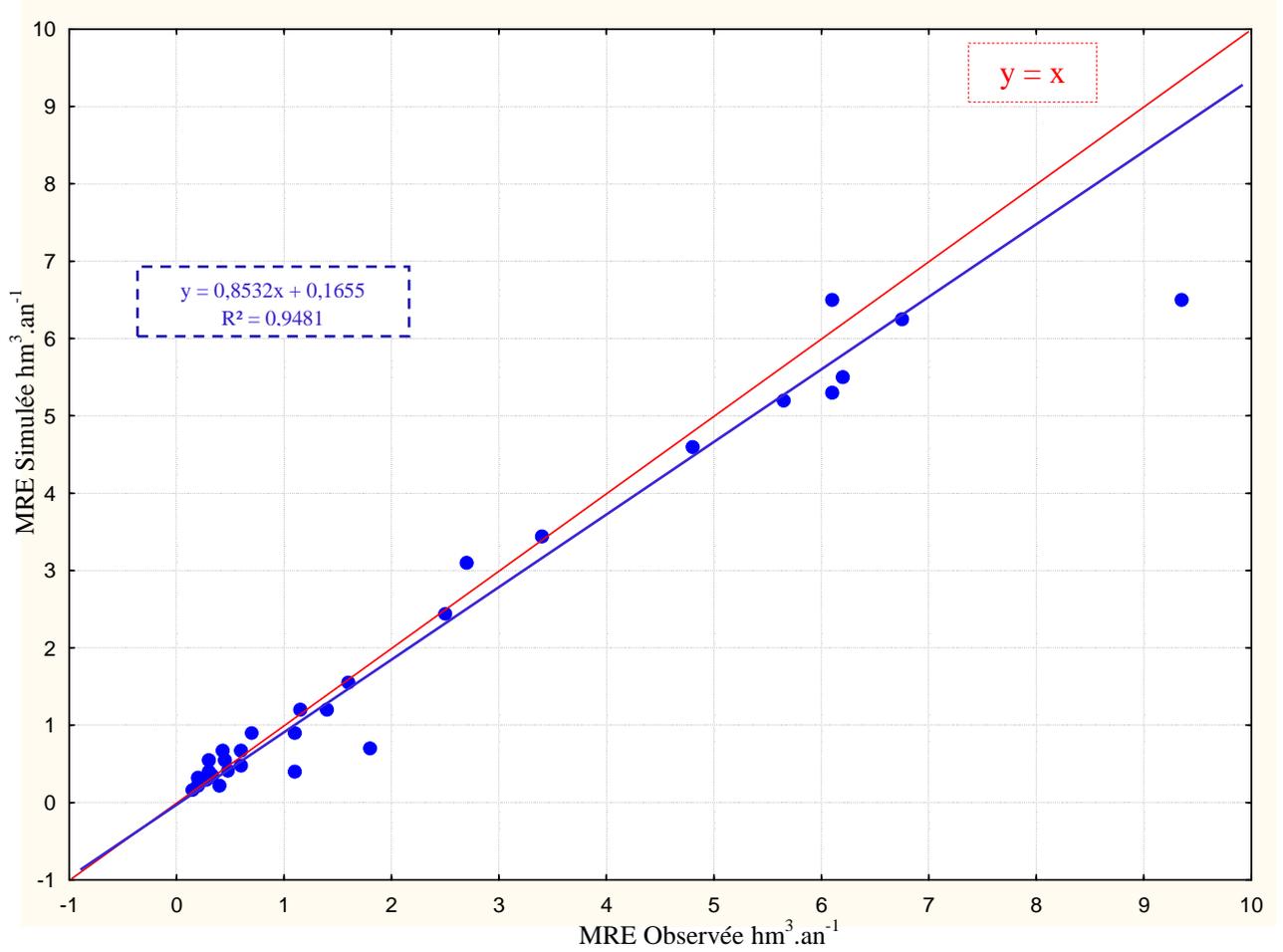


Figure 6.19 La MRE observée en fonction de la MRE simulée

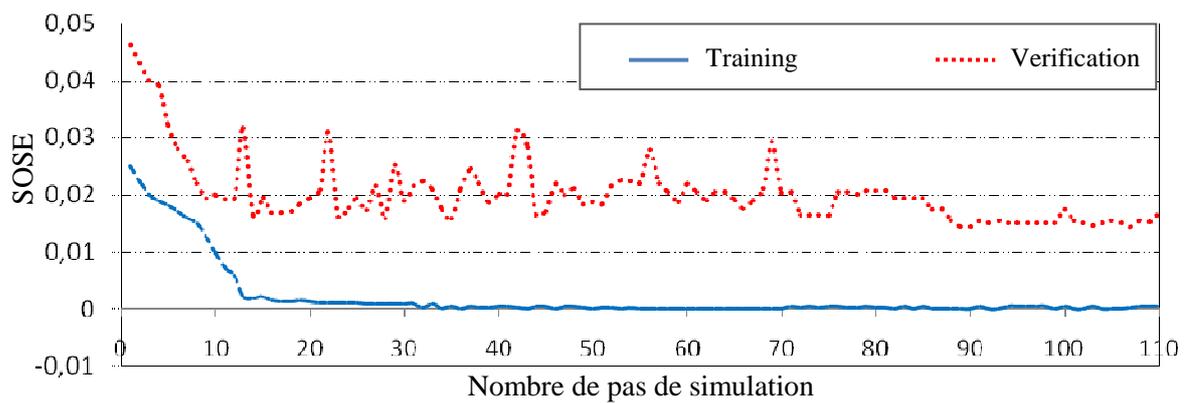


Figure 6.20 Graphique de l'Erreur à l'apprentissage et à la validation

6.2 Les Matrices de Corrélation

L'analyse de la matrice de corrélation a été faite pour étudier la direction et la liaison entre deux variables dans la même catégorie, les coefficients indiquant l'influence que les variables ont les unes sur les autres. Il est nécessaire de transformer les variables qui se caractérisent par une distribution non normale (Figure 6.21). Par exemple, la variable de l'occupation du sol montrée dans la figure 6.21 est transformée en $\log [\text{OccupS} (\%)]$ présentant une distribution normale (Figure 6.22). L'analyse de la matrice de corrélation est effectuée pour la catégorie des forces motrices, de pression, de l'état de la qualité de l'eau et les variables de la réponse.

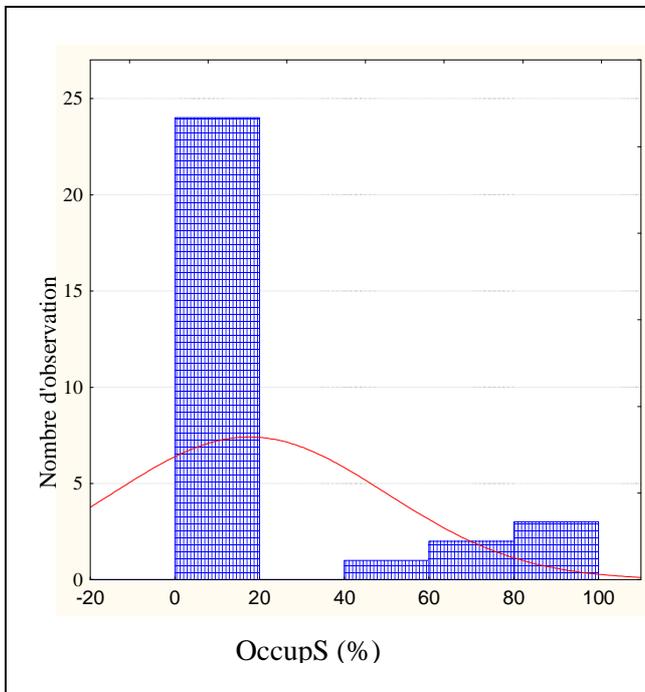


Figure 6.21 Histogramme de l'Occupation du Sol

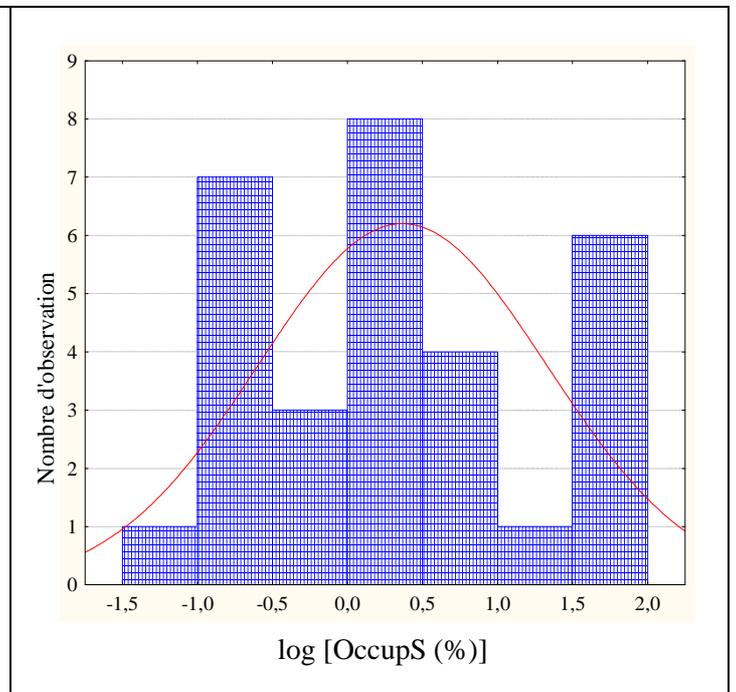


Figure 6.22 Histogramme log (Occupation du Sol)

6.2.1 Les variables forces motrices D

Les variables indépendantes de la force motrice analysées sont : la population, les revenus par employant, le tourisme, l'occupation du sol, le taux de raccordement à l'eau potable, le taux de raccordement aux réseaux des eaux usées, la dotation journalière de l'eau potable, l'évacuation des eaux pluviales, le prix de l'eau, la taxation sur l'eau, la consommation de l'eau d'agriculture, l'intégration des femmes, les pertes d'eau et la variable dépendante la mobilisation de la ressource en eau MRE.

Résultats et Discussion

Le tableau 6.21 montre que la variable $\log[\text{population}]$ a une corrélation linéaire significative avec : $\log[\text{occupation du sol}]$, le taux de raccordement au réseau de l'eau potable, le taux de raccordement au réseau des eaux usées, l'évacuation des eaux pluviales ; le $\log[\text{intégration des femmes}]$ et la mobilisation de la ressource en eau MRE. Les revenus par employant est corrélé avec : $\log[\text{occupation du sol}]$, le taux de raccordement au réseau de l'eau potable, l'évacuation des eaux pluviales et la dotation journalière en eau potable. La variable $\log[\text{tourisme}]$ est corrélé avec : $\log[\text{occupation du sol}]$ et la dotation journalière en eau potable. Le $\log[\text{occupation du sol}]$ a une relation linéaire avec : le taux de raccordement au réseau de l'eau potable, le taux de raccordement au réseau des eaux usées, l'évacuation des eaux pluviales, et la dotation journalière en eau potable et le $\log[\text{intégration des femmes}]$. La variable du taux de raccordement au réseau de l'eau potable est corrélé positivement avec : le taux de raccordement au réseau des eaux usées, la dotation journalière en eau potable et le $\log[\text{intégration des femmes}]$. La variable du taux de raccordement au réseau des eaux usées a une relation linéaire croissante avec : la dotation journalière en eau potable et le $\log[\text{intégration des femmes}]$. L'évacuation des eaux pluviales est corrélée positivement avec la dotation journalière en eau potable. Le prix de l'eau a une relation croissante avec la dotation journalière en eau potable et la taxation sur l'eau.

L'augmentation de la population, de la dotation journalière de l'eau potable, de la consommation en eau d'agriculture et le taux de raccordement au réseau de l'eau potable sont des facteurs très importants qui influent sur la mobilisation de la ressource en eau.

Tableau 6.21 La matrice de corrélation pour les variables forces motrices

	log Pop	REmp	log Tourism	log OccupS	TxEp	TxEU	EvEPluv	DotEP	PrixE	TaxE	log ConEAg	log IntégFem	PerteE	MRE
log Pop	1,000													
REmp	0,224	1,000												
log Tourism	0,412	0,312	1,000											
log OccupS	<u>0,682</u>	<u>0,699</u>	<u>0,682</u>	1,000										
TxEp	<u>0,697</u>	<u>0,646</u>	0,348	<u>0,785</u>	1,000									
TxEU	<u>0,708</u>	0,445	0,404	<u>0,679</u>	<u>0,732</u>	1,000								
EvEPluv	<u>0,645</u>	<u>0,681</u>	0,595	<u>0,921</u>	0,643	0,620	1,000							
DotEP	0,521	<u>0,701</u>	<u>0,712</u>	<u>0,817</u>	<u>0,724</u>	<u>0,673</u>	<u>0,857</u>	1,000						
PrixE	0,245	0,555	0,420	0,595	0,458	0,477	0,633	<u>0,699</u>	1,000					
TaxE	0,312	0,422	0,212	0,453	0,474	0,445	0,584	0,569	<u>0,794</u>	1,000				
log ConEAg	0,086	-0,286	-0,520	-0,441	-0,140	-0,233	-0,515	-0,310	-0,566	-0,288	1,000			
log IntégFem	<u>0,764</u>	0,500	0,448	<u>0,777</u>	<u>0,698</u>	<u>0,763</u>	0,619	0,679	0,393	0,358	-0,086	1,000		
PerteE	-0,088	-0,050	-0,185	-0,061	-0,003	0,117	-0,019	-0,200	0,067	-0,025	0,054	-0,097	1,000	
MRE	<u>0,715</u>	0,542	0,269	0,528	<u>0,710</u>	0,419	0,459	0,524	0,239	0,196	<u>0,681</u>	0,574	-0,120	1,000

6.2.2 Les variables de Pression

Les variables indépendantes de pression analysées sont : les déchets solides sauvages, la génération des eaux usées domestiques, les pesticides, les engrais chimiques, les engrais organiques, les stations du carburant, les eaux usées industrielles et le dioxyde de carbone. En plus de la variable indépendante TDS (le total des solides dissous).

Résultats et Discussion

Le tableau 6.22 montre que le total des sels dissous (TDS) est corrélé positivement avec: le dioxyde de carbone et le log[des eaux usées industrielles] , le log[des déchets solides] a une relation linéaire croissante avec log[des eaux usées domestiques]. La variable pesticide est corrélée positivement avec les engrais chimiques et organiques. L'abondance des stations des carburant fait croître les concentration du dioxyde de carbone dans l'atmosphère qui présente une relation linéaire avec le log[des eaux usées industrielles].

Tableau 6.22 La matrice de corrélation pour les variables de Pression

	log DécSauv	log EUDom	Pesticid	EngrCh	EngrOrg	StCarb	log EUInd	CO ₂	TDS
log DécSauv	1,000								
log EUDom	<u>0,959</u>	1,000							
Pesticid	0,295	0,224	1,000						
EngrCh	0,301	0,219	<u>0,920</u>	1,000					
EngrOrg	0,329	0,232	<u>0,758</u>	<u>0,772</u>	1,000				
StCarb	0,395	0,456	0,199	0,137	-0,032	1,000			
log EUInd	0,116	0,112	-0,067	-0,072	-0,017	0,268	1,000		
CO ₂	0,226	0,263	0,097	0,136	0,059	<u>0,691</u>	0,721	1,000	
TDS	0,049	0,130	-0,058	-0,117	-0,061	0,361	<u>0,681</u>	<u>0,665</u>	1,000

6.2.3 Les variables de l'état de la qualité de l'eau (State)

Les variables indépendantes de l'état de la qualité de l'eau analysées sont : les Nitrates (NO₃⁻), les Chlorures (Cl⁻), le Sodium (Na⁺), le Calcium (Ca²⁺), le Magnésium (Mg²⁺), le Potassium (K⁺), les Sulfates (SO₄²⁻), les Bicarbonates (HCO₃⁻), la Demande Biochimique en Oxygène (DBO₅), la Demande Chimique en Oxygène (DCO) et la variable dépendante TDS.

Résultats et Discussion

Le tableau 6.23 présente que le TDS a une relation linéaire croissante avec le log[Sodium], le calcium, le magnésium, les chlorures, les sulfates, les bicarbonates et la demande chimique en oxygène. Le log[Sodium] est corrélé positivement avec le calcium, le potassium et les chlorures. Le calcium est corrélé avec les variables appartenant de minéralisation, qui sont le magnésium, les sulfates et les bicarbonates (corrélation positive). Le magnésium est corrélé positivement avec le potassium, les nitrates, les sulfates et les bicarbonates. Le potassium est associé qu’avec les chlorures. Alors que les nitrates est associés avec les indicateurs de pollution anthropique qui sont les chlorures, la demande biochimique en oxygène et la demande chimique en oxygène. Cette dernière est corrélée positivement avec les sulfates et les bicarbonates. Et enfin, la demande biochimique en oxygène est associé avec la demande chique en oxygène.

Tableau 6.23 La matrice de corrélation pour les variables de la qualité de l'eau

	log Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	DBO ₅	DCO	TDS
log Na ⁺	1,000										
Ca ²⁺	<u>0,865</u>	1,000									
Mg ²⁺	0,641	<u>0,940</u>	1,000								
K ⁺	<u>0,695</u>	0,612	<u>0,753</u>	1,000							
NO ₃ ⁻	0,605	0,644	<u>0,895</u>	0,630	1,000						
Cl ⁻	<u>0,927</u>	0,539	0,639	<u>0,764</u>	<u>0,853</u>	1,000					
SO ₄ ²⁻	0,639	<u>0,792</u>	<u>0,805</u>	0,647	0,638	<u>0,725</u>	1,000				
HCO ₃ ⁻	0,660	<u>0,869</u>	<u>0,834</u>	0,568	0,589	<u>0,776</u>	0,626	1,000			
DBO ₅	0,561	0,602	0,595	0,403	<u>0,802</u>	0,544	0,679	0,596	1,000		
DCO	0,638	0,587	0,649	0,478	<u>0,867</u>	0,659	<u>0,724</u>	<u>0,726</u>	<u>0,959</u>	1,000	
TDS	<u>0,898</u>	<u>0,980</u>	<u>0,970</u>	0,648	0,592	<u>0,961</u>	<u>0,828</u>	<u>0,882</u>	0,623	<u>0,803</u>	1,000

6.2.4 Les variables d’Impact

Les variables indépendantes d’impact analysées sont : les maladies à transmission hydrique (MaladTrHy), la Perte de Productivité Agricole (PertePAg), la Perte des Zones Humides (PerteZnHu) et la variable dépendante TDS.

Résultats et Discussion

Le tableau 6.24 montre que le total des sels dissous (TDS) a une relation linéaire positive avec le log[de la perte dans la productivité agricole] et les maladies à transmission hydrique.

Tableau 6.24 La matrice de corrélation pour les variables d’Impact

	log PertePAg	log PerteZnHu	MaladTrHy	TDS
log PertePAg	1,000			
log PerteZnHu	0,379	1,000		
MaladTrHy	0,554	0,243	1,000	
TDS	0,333	<u>0,695</u>	<u>0,737</u>	1,000

6.2.5 Les variables de Réponse

Les variables indépendantes de Réponse analysées sont : le stockage des eaux pluviales (StoEPluv), l'importation de l'eau (ImportE), l'efficacité dans l'eau d'irrigation (EfEIrrig), l'efficacité des systèmes d'information (EfSyInf), la sensibilisation sur l'eau (SensibE), le dessalement de l'eau de Mer (DEM), l'efficacité de l'alimentation en eau potable (EffAIEP) et la variable dépendante MRE.

Résultats et Discussion

Le tableau 6.25 montre que la variable dépendante MRE (mobilisation de la ressource en eau) est corrélée positivement avec le log[du dessalement de l'eau de mer], le log[du stockage des eaux pluviales] et l'efficacité dans le système d'information. La variable log[du stockage des eaux pluviales] a une relation linéaire positive avec l'importation de l'eau et l'efficacité dans l'eau d'irrigation. La variable de l'importation de l'eau est corrélée avec la sensibilisation sur l'eau et l'efficacité dans l'alimentation de l'eau potable.

Tableau 6.25 La matrice de corrélation pour les variables de Réponse

	log DEM	log StoEPluv	ImportE	EfEIrrig	SensibE	EfSyInf	EffAIEP	MRE
log DEM	1,000							
log StoEPluv	0,045	1,000						
ImportE	0,200	<u>0,682</u>	1,000					
EfEIrrig	0,041	<u>0,728</u>	-0,009	1,000				
SensibE	-0,142	-0,141	<u>0,685</u>	-0,586	1,000			
EfSyInf	-0,286	0,001	0,249	-0,065	0,191	1,000		
EffAIEP	0,107	0,055	<u>0,918</u>	-0,123	0,496	0,272	1,000	
MRE	<u>0,851</u>	<u>0,745</u>	0,200	0,041	-0,142	<u>0,686</u>	0,107	1,000

6.3 L'Analyse en Composantes Principales (ACP)

L'objectif d'application de l'analyse en composantes principales (ACP) est de réduire le nombre des variables en un petit nombre de dimension (facteurs), de classer les variables et de regrouper les observations (municipalités) ayant des caractéristiques similaires. En outre, les variables enlevées par les réseaux de neurones ont été représentées dans ces facteurs en tant que variables supplémentaires.

L'ACP est effectuée pour les variables des cinq catégories du modèle DPSIR (Force motrice D, Pression P, l'état de la qualité de l'eau de surface S, Impact I et de Réponse R).

6.3.1 Les variables forces motrices D

Les variables indépendantes de la force motrice analysées par l'ACP sont : la population, les revenus par employant, le tourisme, l'occupation du sol, le taux de raccordement à l'eau potable, le taux de raccordement aux réseaux des eaux usées, la dotation journalière de l'eau potable, l'évacuation des eaux pluviales, le prix de l'eau, la taxation sur l'eau, la consommation de l'eau d'agriculture, l'intégration des femmes, les pertes d'eau et la variable dépendante la mobilisation de la ressource en eau MRE.

Résultats et Discussion

On compte 14 variables dans l'analyse, i.e. la somme de toutes les valeurs propres est égal à 14 (Tableau 6.26). À l'aide du critère test des éboulis (Scree test), effectué visuellement à partir du graphique des valeurs propres successives (Figure 6.22). Alors, toutes les valeurs propres qui forment à peu près une ligne droite lorsqu'on commence par la fin peuvent être considérées comme correspondant à des dimensions des données qui ne comportent que du bruit (ou erreur de mesure) et on peut les exclure. Par conséquent, trois facteurs ont été choisis pour l'analyse d'une variance totale de 73,774% de la variance cumulée.

Le tableau 6.27 présente les variances des facteurs et de leurs corrélations avec les variables. Le premier facteur correspond à la plus grande valeur propre (7.113) et représente environ 50,81% de la variance cumulée. C'est le plus corrélé avec les variables: la population, le revenu par employant, l'occupation du sol, le taux de raccordement à l'eau potable, le taux de raccordement à l'eau usée, l'évacuation des eaux pluviales, la dotation journalière en eau potable par habitant, le prix de l'eau et de l'intégration des femmes (corrélations positives). Le deuxième facteur correspondant à la deuxième valeur propre (1.974) qui représente 14,101% de la variance cumulée. Il est en corrélation avec la consommation en eau d'agriculture (corrélation positive). Le troisième facteur correspondant à la valeur propre 1.240 représentant 8,863% de la variance cumulée. Il est fortement corrélé avec la variable perte de l'eau (corrélation positive).

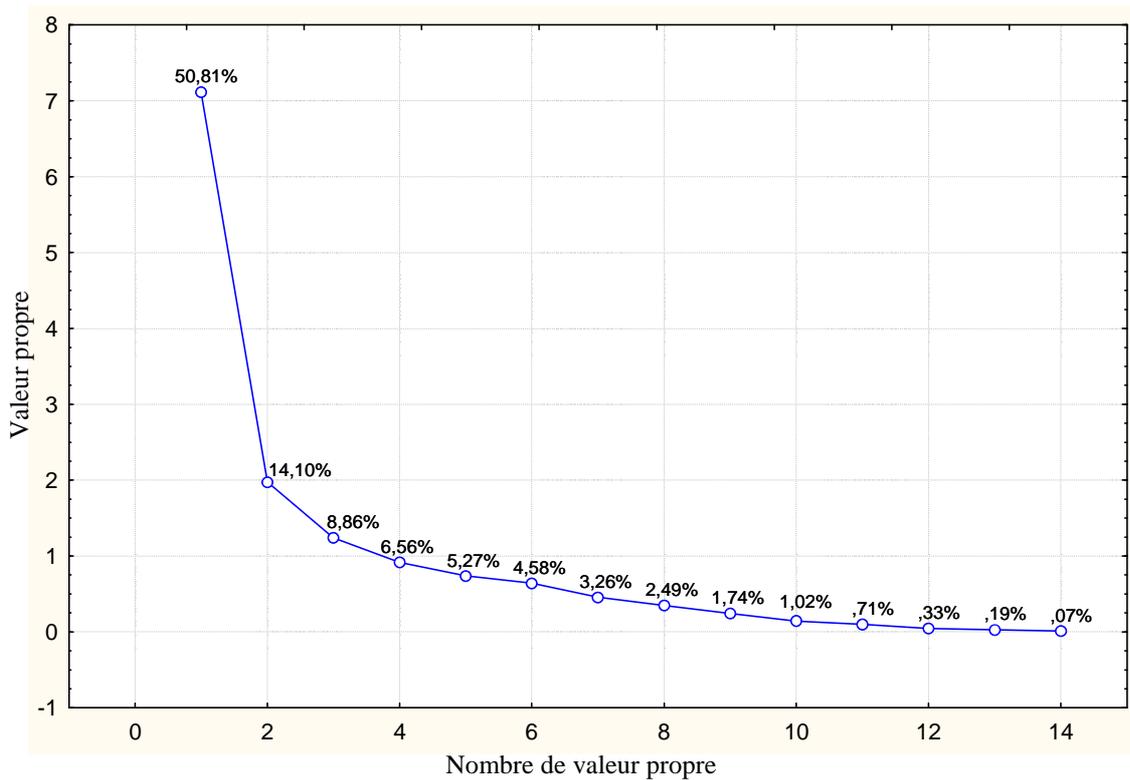


Figure 6.23 Les valeurs propres de la matrice de corrélation pour les variables D

Tableau 6.26 Les valeurs propres de la matrice de corrélation des variables D

	Valeurs propres	Variance Totale %	Valeur propre Cumulée	Variance Cumulée %
1	7,113	50,810	7,113	50,810
2	1,974	14,101	9,087	64,911
3	1,240	8,863	10,328	73,774
4	0,917	6,557	11,246	80,331
5	0,738	5,271	11,984	85,603
6	0,641	4,581	12,625	90,184
7	0,456	3,259	13,082	93,443
8	0,349	2,494	13,431	95,938
9	0,243	1,738	13,674	97,672
10	0,142	1,019	13,817	98,697
11	0,099	0,710	13,917	99,408
12	0,046	0,332	13,963	99,740
13	0,026	0,191	13,990	99,932
14	0,009	0,067	14,000	100,000

Table 6.27 Les Corrélations Facteurs-variables (Catégorie D)

	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Pop	<u>0,749</u>	0,413	-0,131
REmp	<u>0,713</u>	-0,062	0,052
Tourism	0,481	-0,261	-0,474
OccupS	<u>0,835</u>	-0,124	-0,277
TxEp	<u>0,811</u>	0,193	0,256
TxEU	<u>0,755</u>	0,015	0,222
EvEPluv	<u>0,917</u>	-0,180	0,074
DotEP	<u>0,888</u>	-0,022	0,007
PrixE	<u>0,757</u>	-0,487	0,161
TaxE	0,637	-0,407	0,210
ConEAg	-0,051	<u>0,876</u>	0,155
IntégFem	<u>0,910</u>	0,254	-0,057
PerteE	-0,114	-0,080	<u>0,836</u>
MRE	0,649	0,634	-0,047

La figure 6.24a,b représente les coordonnées de ces trois facteurs. Le graphique montre un cercle unité avec des variables qui ont été utilisées dans ce calcul factoriel. Le cercle peut fournir une indication visuelle d'une façon que chaque variable est représentée par cet ensemble de facteurs. Sur la base des valeurs des coordonnées factorielles des variables dans l'analyse, le premier facteur peut être marqué par les variables: la dotation journalière en eau par habitant, le taux de raccordement à l'eau potable et l'évacuation des eaux pluviales.

Le second facteur peut être marqué par la consommation en eau d'agriculture et le troisième facteur peut être nommé comme perte de l'eau.

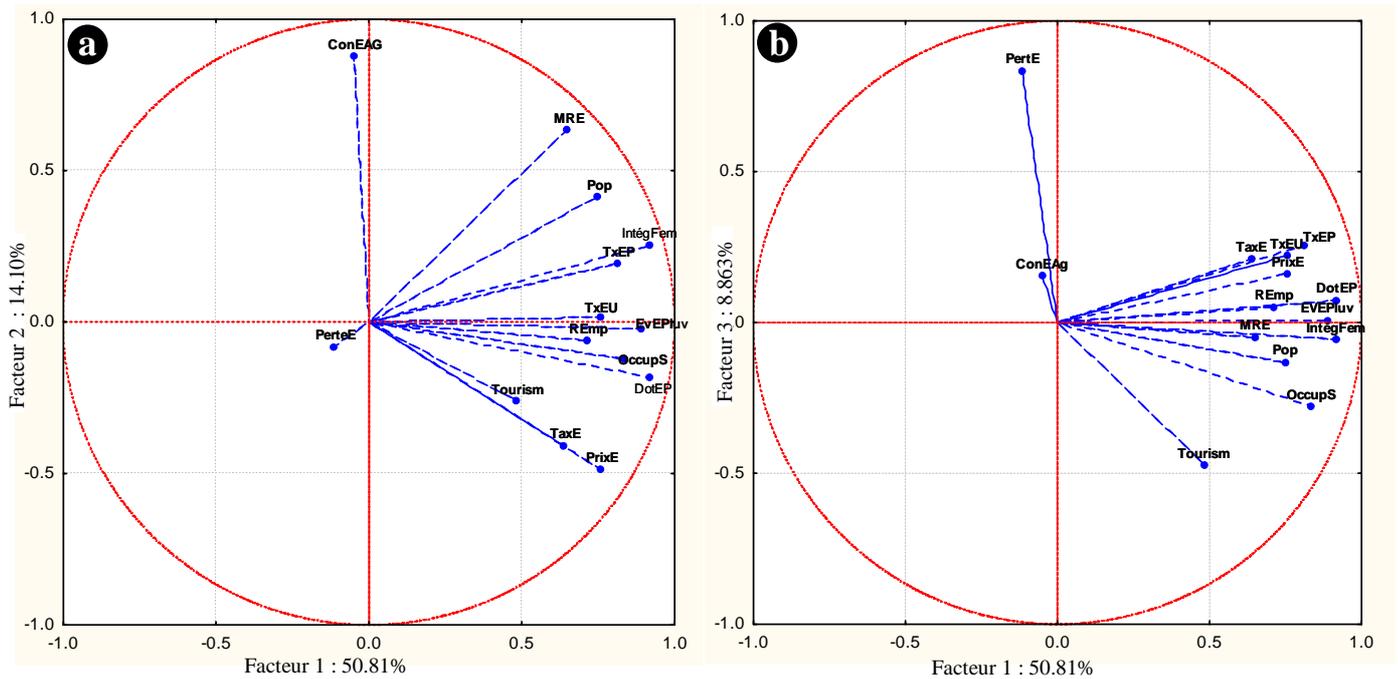
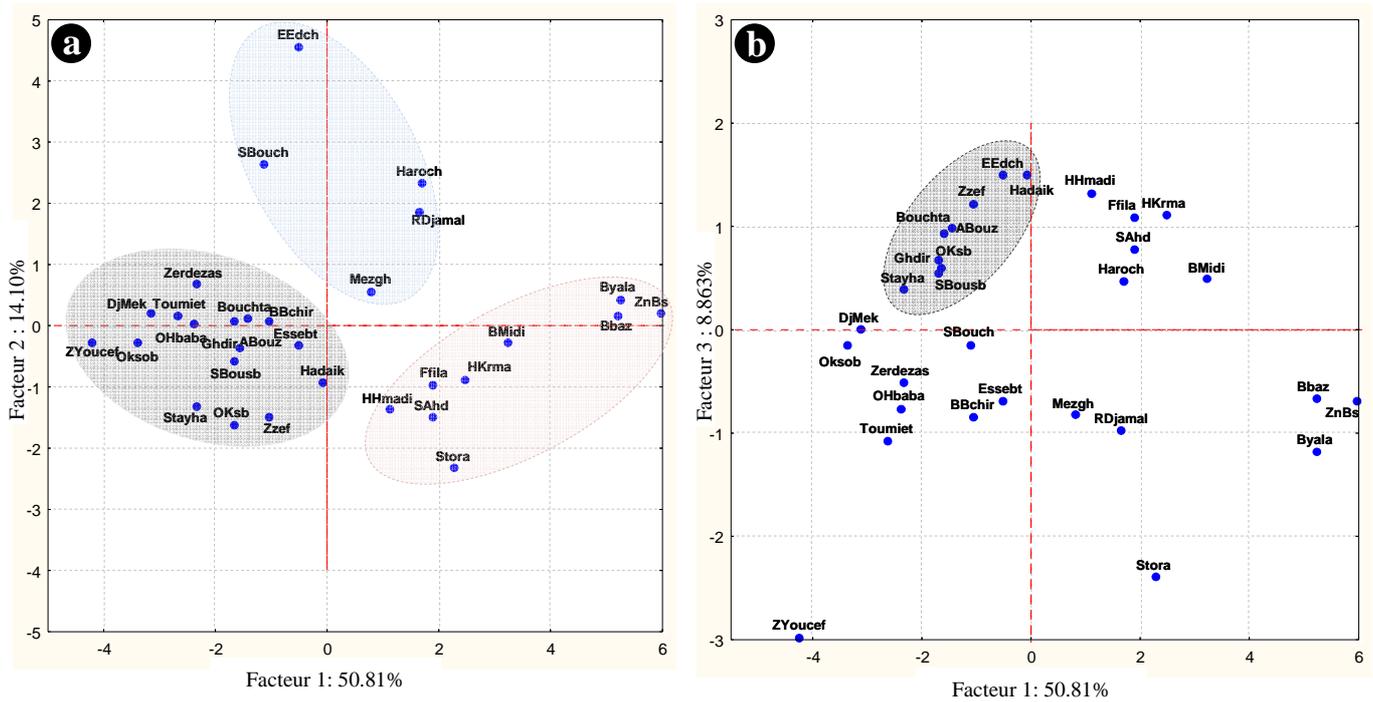


Figure 6.24a,b La projection des variables D sur les plans factoriels, a (1x2) et b (1x3)

La figure 6.25a,b présente la projection des municipalités sur les plan factoriels (1x2) et (1x3), elle montre que les municipalités de Bouyaâla, Zone Basse, Bouâbaz, Ben Mhidi, Hamadi Krouma, Filfila, Hamrouch hamadi, Sidi Ahmed et Stora (municipalités urbaines de partie aval du bassin) sont similaires en termes de population, des revenus par employant, de l'occupation du sol, du taux de raccordement à l'eau potable et à l'eau usée, d'évacuation des eaux pluviales, de dotation en eau potable, du prix de l'eau et de l'intégration des femmes. C'est peut être classifié comme groupe des municipalités urbaines face aux autres rurales telles que : Zerdezas, Djebel Mekcen, Toumiettes, Bouchtata, Beni Bchir, Zighoud Youcef, Ouled Hbaba, Oued Ksub, El Ghdir, Ain Bouziane, Essebt, Said Bousbaa, Hadaik, Stayha, Zef Zef-, OKSB. Les municipalités de : Emjez Edchich, Salah Bouchaour, Mezghich, Ramdane Djamel et Harrouch sont analogues en termes de consommation en eau d'agriculture (les municipalités de la partie centre du bassin). En plus de cela, les municipalités de : Emjez Edchich, Hadaik, Zef Zef-, Bouchtata, Ain Bouziane, Oued Laksab, El Ghdir, Stayha et Said Bousbaa se distinguent par la variable perte de l'eau.



6.3.2 Les variables de Pression

Les variables indépendantes de pression analysées par l'ACP sont : les déchets solides sauvages, la génération des eaux usées domestiques, les pesticides, les engrais chimiques, les engrais organiques, les stations du carburant, les eaux usées industrielles et le dioxyde de carbone. En plus de la variable indépendante TDS (le total des solides dissous).

Résultats et Discussion

Le tableau 6.23 présente que la variance cumulée (100%) est répartie selon neuf (9) valeurs propres. D'où 9 variables dans l'analyse, i.e. la somme de toutes les valeurs propres est égale à 9. À l'aide du critère test des éboulis (Scree test), effectué visuellement à partir du graphique des valeurs propres successives (Figure 6.25). Alors, toutes les valeurs propres qui forment à peu près une ligne droite lorsqu'on commence par la fin peuvent être considérées comme correspondant à des dimensions des données qui ne comportent que du bruit (ou erreur de mesure) et on peut les exclure. Par conséquent, trois facteurs ont été choisis pour l'analyse d'une variance totale de 77.31% de la variance cumulée.

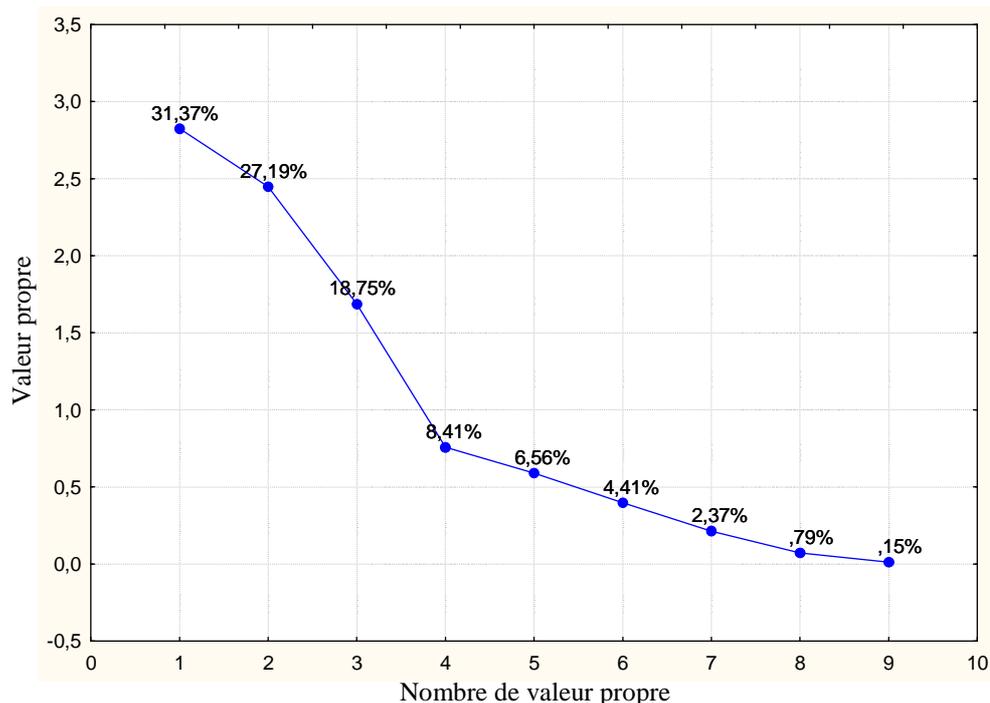


Figure 6.26 Les valeurs propres de la matrice de corrélation pour les variables D

Le tableau 6.29 présente les variances des facteurs et de leurs corrélations avec les variables. Le premier facteur correspond à la plus grande valeur propre (2.823) et représente environ 31.37% de la variance cumulée (Figure 6.26). C'est le plus corrélé avec les pesticides, les engrais chimiques et organiques (corrélations positives). Le deuxième facteur correspondant à la deuxième valeur propre (2.447) qui représente 27.188% de la variance cumulée. Il est en corrélation avec les déchets solides et la génération des eaux usées domestiques (corrélations positives). Le troisième facteur correspondant à la valeur propre 1.687 représentant 18.749% de la variance cumulée. Il est négativement corrélé avec la variable des eaux usées industrielles.

Tableau 6.28 Les valeurs propres de la matrice de corrélation des variables P

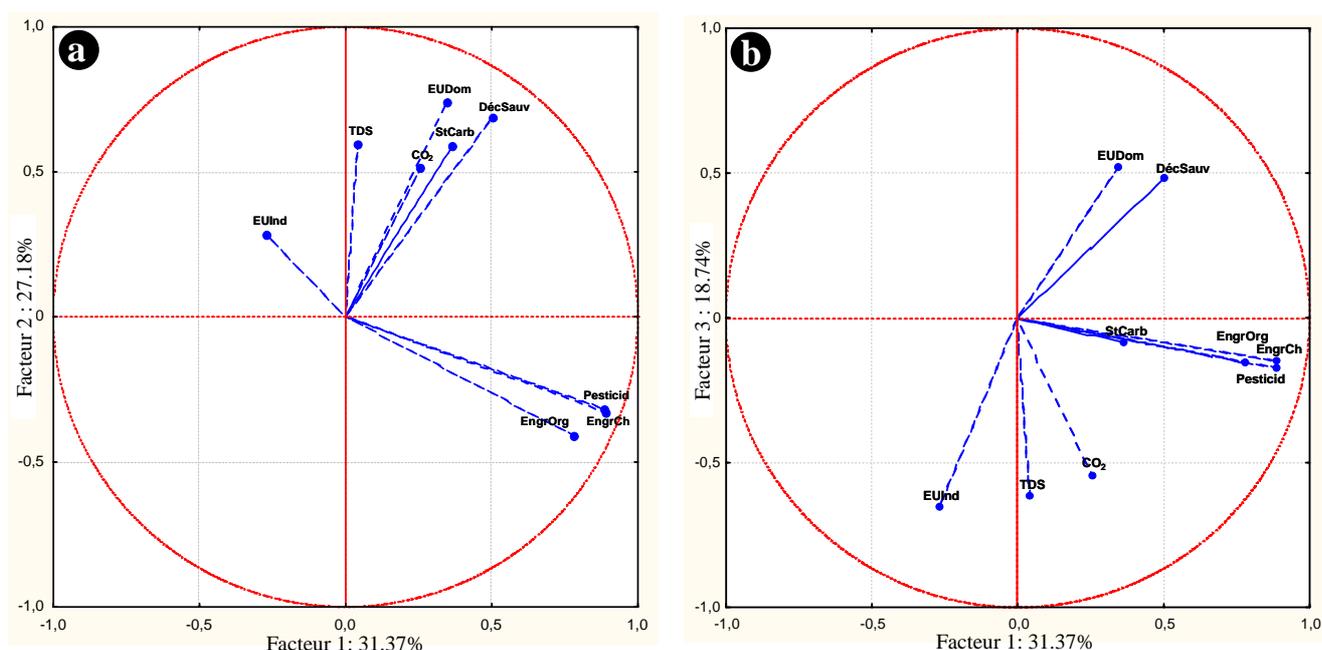
	Valeur propre	Variance Totale %	Valeur propre Cumulée	Variance Cumulée %
1	2,823	31,373	2,823	31,373
2	2,447	27,188	5,270	58,561
3	1,687	18,749	6,957	77,310
4	0,757	8,412	7,715	85,723
5	0,591	6,560	8,305	92,283
6	0,397	4,409	8,702	96,692
7	0,213	2,370	8,915	99,062
8	0,071	0,791	8,986	99,853
9	0,013	0,146	9,000	100,000

Tableau 6.29 Les Corrélations Facteurs-variables (Catégorie P)

	Factor 1	Factor 2	Factor 3
DécSauv	0,501	<u>0,696</u>	0,482
EUDom	0,345	<u>0,740</u>	0,522
Pesticid	<u>0,883</u>	-0,315	-0,175
EngrCh	<u>0,889</u>	-0,331	-0,146
EngrOrg	<u>0,782</u>	-0,410	-0,153
StCarb	0,364	0,592	-0,084
EUInd	-0,268	0,285	<u>-0,692</u>
CO ₂	0,254	0,515	-0,544
TDS	0,039	0,595	-0,615

La figure 6.27a,b représente les coordonnées des trois facteurs. Le graphique montre un cercle unité avec des variables qui ont été utilisées dans ce calcul factoriel. Le cercle peut fournir une indication visuelle d'une façon que chaque variable est représentée par cet ensemble de facteurs. Sur la base des valeurs des coordonnées factorielles des variables dans l'analyse, le premier facteur peut être marqué par des indicateurs de pollution d'origine agricole (les pesticides, les engrais chimiques et les engrais organiques).

Le second facteur peut être marqué par des indicateurs de pollution d'origine domestique (les déchets solides et la génération des eaux usées domestiques). Alors que le troisième facteur peut être marqué par un indicateur de pollution d'origine industrielle (la génération des eaux usées industrielle).



La figure 6.28a,b présente la projection des municipalités sur les plan factoriels (1x2) et (1x3), elle montre que les agglomérations urbaines de la partie aval du bassin (chef lieu de la wilaya) qui sont : Zone Basse, Bouyaâla, , Bouâbaz, Ben Mhidi, Hamadi Krouma, Filfila, Hamrouch hamadi, Sidi Ahmed, Stora et Ben Mhidi sont semblables en termes de déchets solides et des eaux usées domestiques (forte corrélation), et en terme de station de carbure, dioxyde de carbone et TDS (faible corrélation). C’est peut être classifié comme groupe des municipalités urbaines caractérisées par des indicateurs de pollution domestique face aux autres à vocation agricole caractérisées par des indicateurs de pollution agricole telles que : Edchich, Salah Bouchaour, Mezghich, Ramdane Djamel et Harrouch, Hadaik. Un troisième groupe des agglomérations de type rural montagnoux (Zerdezas, Djebel Mekcen, Toumiettes, Bouchtata, Beni Bchir, Zighoud Youcef, Ouled Hbaba, Oued Ksoub, El Ghdir, Ain Bouziane, Essebt, Said Bousbaa, Stayha) où le nombre de population est faible, et l’activité agricole est traditionnelle. Le dernier groupe est celui représenté par Ben Mhidi (la zone industrielle pétrochimique) qui se distingue par la forte génération des eaux usées industrielles.

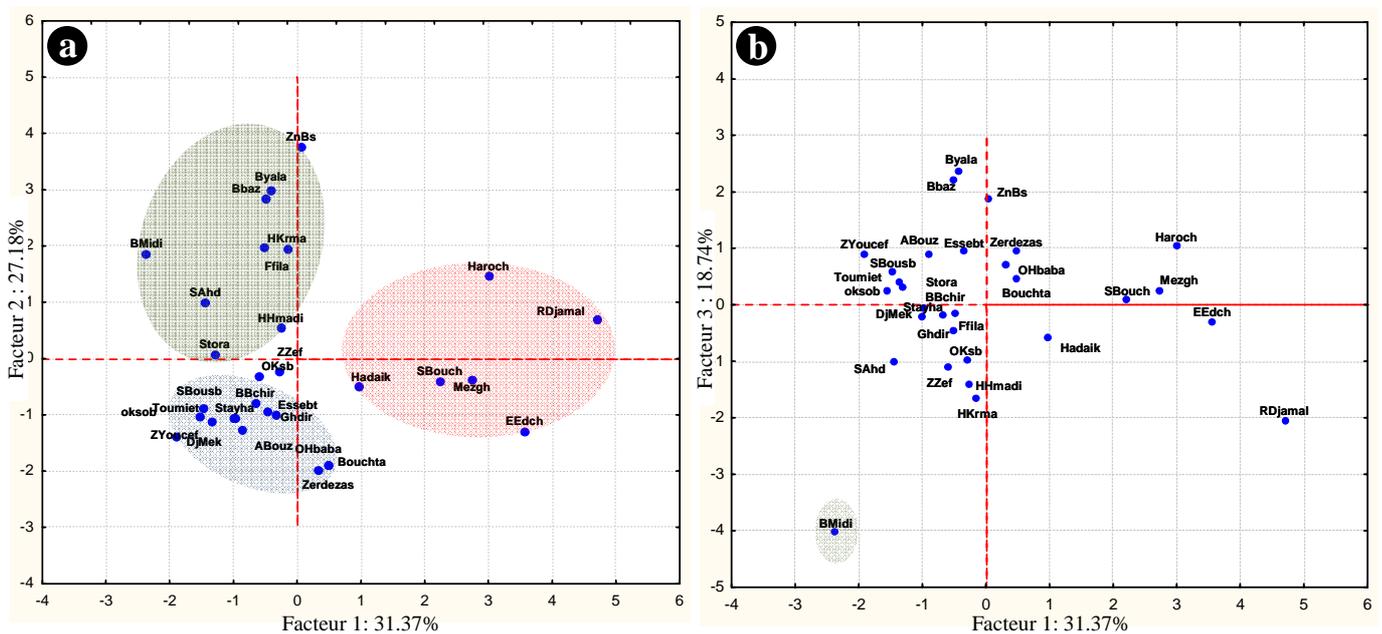


Figure 6.28a,b La projection des municipalités sur les plans factoriels, a (1x2) et b (1x3)

6.3.3 Les variables de l'état de la qualité de l'eau de surface (State)

Les variables indépendantes de l'état de la qualité de l'eau de surface analysées par l'ACP sont : les Nitrates (NO_3^-), les Chlorures (Cl^-), le Sodium (Na^+), le Calcium (Ca^{2+}), le Magnésium (Mg^{2+}), le Potassium (K^+), les Sulfates (SO_4^{2-}), les Bicarbonates (HCO_3^-), la Demande Biochimique en Oxygène (DBO_5), la Demande Chimique en Oxygène (DCO) et la variable dépendante TDS. Les variables enlevées par les réseaux de neurones qui sont : la Conductivité Électrique (CE), la Température (T) et le potentiel en Hydrogène (pH) sont considérées comme variables supplémentaires.

Résultats et Discussion

Sur la base des valeurs propres de la matrice de corrélation pour les variables actives de l'état de la qualité de l'eau, et à l'aide du critère test des éboulis (Scree test), effectué visuellement à partir du graphique des valeurs propres successives (Figure 6.29). Alors, toutes les valeurs propres qui forment à peu près une ligne droite lorsqu'on commence par la fin peuvent être considérées comme correspondant à des dimensions des données qui ne comportent que du bruit (ou erreur de mesure) et on peut les exclure. Par conséquent, un seul facteur a été choisi pour l'analyse d'une variance totale de 81.12% de la variance cumulée.

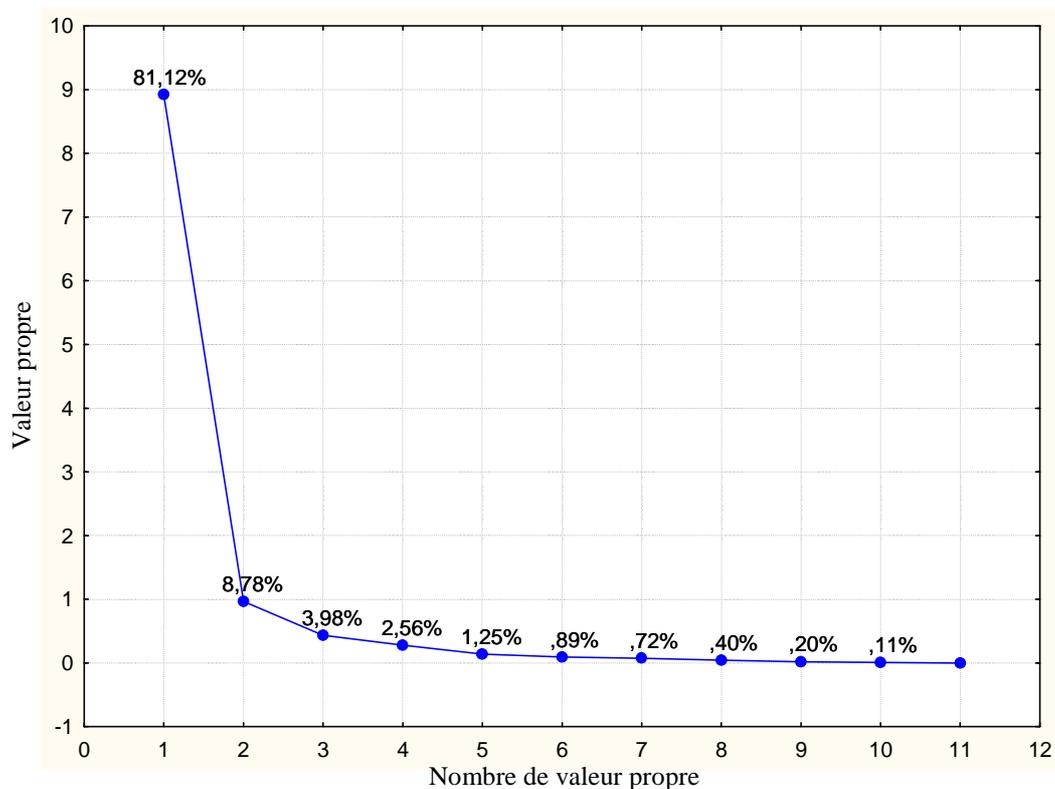


Figure 6.29 Les valeurs propres de la matrice de corrélation pour les variables S

Tableau 6.30 Les valeurs propres de la matrice de corrélation des variables S

	Valeur propre	Variance Totale %	Valeur propre Cumulée	Variance Cumulée %
1	8,923	81,117	8,923	81,117
2	0,966	8,784	9,889	89,902
3	0,437	3,977	10,326	93,878
4	0,281	2,559	10,608	96,438
5	0,138	1,252	10,746	97,690
6	0,097	0,885	10,843	98,575
7	0,079	0,717	10,922	99,293
8	0,044	0,403	10,966	99,696
9	0,022	0,197	10,988	99,893
10	0,012	0,107	11,000	100,000

Le tableau 6.31 présente les variances des facteurs et de leurs corrélations avec les variables de la catégorie S. Le seul facteur qui correspond à une valeur propre (8.923) et représente environ 81.117% de la variance cumulée (Figure 6.29). Il est corrélé négativement avec toutes variables actives (NO_3^- , Cl^- , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , SO_4^{2-} , HCO_3^- , DBO_5 , DCO et le TDS) et positivement avec la variable supplémentaire (la température T).

Tableau 6.31 Les Corrélations Facteurs-variables (Catégorie S)

	Factor 1	Factor 2
Na^+	<u>-0,92120</u>	0,215381
Ca^{2+}	<u>-0,96920</u>	0,088332
Mg^{2+}	<u>-0,96603</u>	0,104725
K^+	<u>-0,74738</u>	0,470772
NO_3^-	<u>-0,95084</u>	-0,119418
Cl^-	<u>-0,92702</u>	0,313115
SO_4^{2-}	<u>-0,83660</u>	-0,006178
HCO_3^-	<u>-0,89752</u>	-0,192245
DBO_5	<u>-0,80046</u>	-0,561189
DCO	<u>-0,86822</u>	-0,451632
TDS	<u>-0,98979</u>	0,106375
*CE	-1,07786	0,062315
*T	<u>0,88910</u>	0,357324
*pH	0,21477	0,092202

* variable supplémentaire

La superposition de la figure 6.30 et celle 6.31 explique que les municipalités de la partie aval du bassin (Zone Basse, Bouyaâla, Bouâbaz, Ben Mhidi, Hamadi Krouma, Hamrouch hamadi, Sidi Ahmed, Zefzef et Ben Mhidi) sont similaire en terme de la demande biochimique en oxygène, la demande chimique en oxygène, des nitrates (paramètres de la pollution) et des bicarbonates. Alors que les municipalités de la partie centrale du bassin (EEdchich, Salah Bouchaour, Fil-fila, Mezghich, Ramdane Djamel, Harrouch, Hadaik, El Ghdir, Toumiettes, Djebel Mekcene t Beni Bchir) sont semblables en termes de variable active : le potassium, les chlorures, le sodium, le calcium, le magnésium et le TDS (paramètres de la minéralisation). Le dernier groupe des municipalités situées à l'amont du bassin qui se caractérise par une faible minéralisation des eaux qui sont mois polluées.

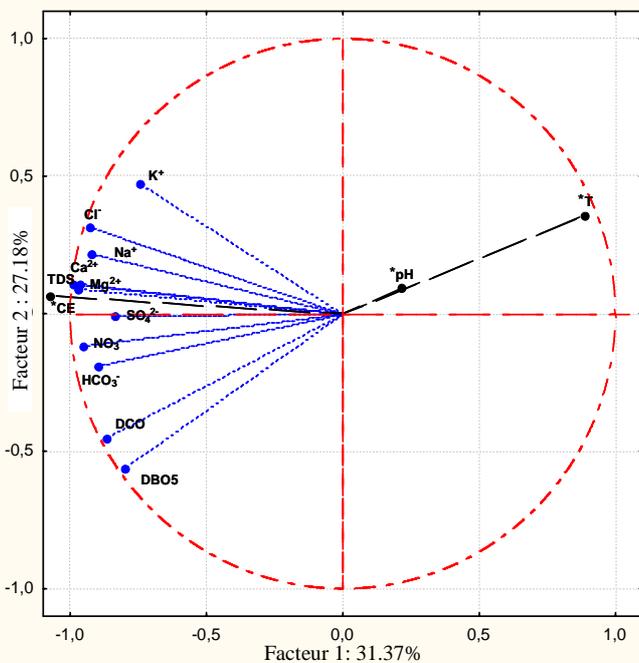


Figure 6.30 La projection des variables S sur le plan factoriel 1x2

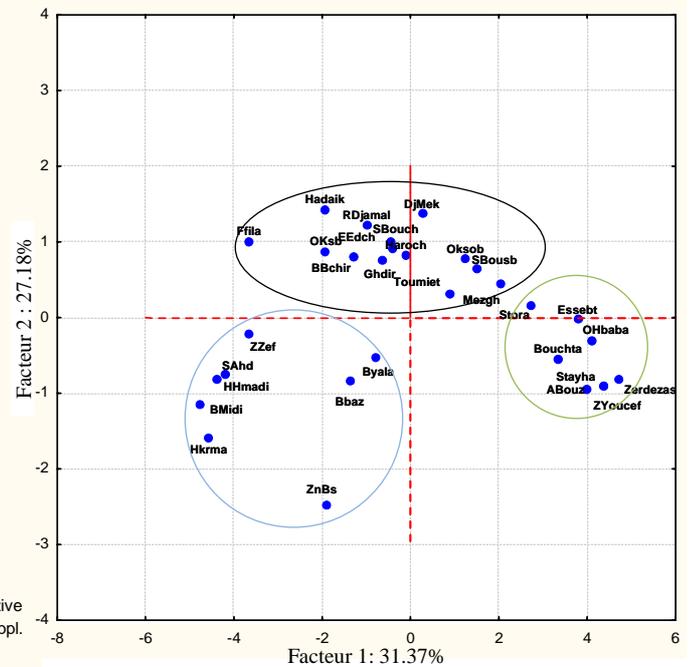


Figure 6.31 La projection des municipalités sur le plan factoriel 1x2

6.3.4 Les variables d'Impact

Les variables indépendantes d'impact analysées par l'ACP sont : les maladies à transmission hydrique (MaladTrHy), la Perte de Productivité Agricole (PertePAG), la Perte des Zones Humides (PerteZnHu) et la variable dépendante TDS.

Résultats et Discussion

Le tableau 6.32 présente que la variance cumulée (100%) est répartie selon quatre (4) valeurs propres. D'où 4 variables dans l'analyse, i.e. la somme de toutes les valeurs propres est égale à 4. À l'aide du critère test des éboulis (Scree test), effectué visuellement à partir du graphique des valeurs propres successives (Figure 6.32). Alors, toutes les valeurs propres inférieures à 1 peuvent être considérées comme correspondant à des dimensions des données qui ne comportent que du bruit (ou erreur de mesure) et on peut les exclure. Par conséquent, deux facteurs ont été choisis pour l'analyse d'une variance totale de 79.34% de la variance cumulée.

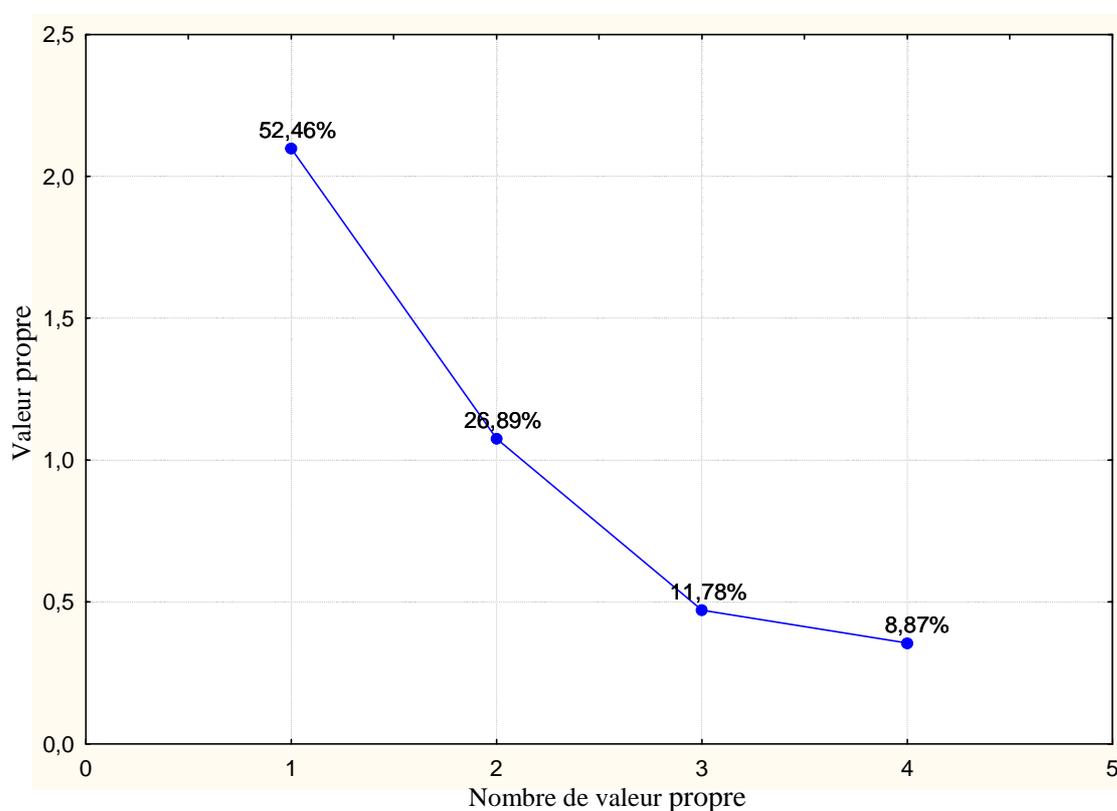


Figure 6.32 Les valeurs propres de la matrice de corrélation pour les variables I

Tableau 6.32 Les valeurs propres de la matrice de corrélation des variables I

	Valeur propre	Variance Totale %	Valeur propre Cumulée	Variance Cumulée %
1	2,098	52,457	2,098	52,45
2	1,075	26,886	3,173	79,34
3	0,471	11,783	3,645	91,12
4	0,355	8,874	4,000	100,00

Le tableau 6.33 présente les variances des facteurs et de leurs corrélations avec les variables d'impact I. Le premier facteur qui correspond à une valeur propre (2.098) et représente environ 52.46% de la variance cumulée (Figure 6.32). Il est corrélé négativement avec toutes variables d'impact (la perte de la productivité agricole, la perte des zones humides et le nombre des maladies à transmission hydrique) et le TDS.

Tableau 6.33 Les Corrélations Facteurs-variables (Catégorie I)

	Factor 1	Factor 2
PertePAg	<u>-0,717</u>	0,500
PerteZnHu	<u>-0,707</u>	-0,570
MaladTrHy	<u>-0,700</u>	0,553
TDS	<u>-0,774</u>	-0,439

La superposition de la figure 6.33 et celle 6.34 explique que les municipalités traversées par l'oued Saf-Saf considéré comme zone humide à l'aval du bassin (Ben Mhidi, Hamadi Krouma, Hamrouch Hamadi, Sidi Ahmed, et Zefzef) sont similaire en terme de perte des zones humides, et de la minéralisation. Alors que les municipalités à vocation agricole de la partie centrale du bassin (EEdchich, Salah Bouchaour, Fil-fila, Mezghich, Ramdane Djamel, Harrouch, Hadaik, Béni Bchir et Oued Ksob) sont semblables en termes de perte de la productivité agricole et de maladies à transmission hydrique. Le dernier groupe englobe les petites municipalités et agglomérations situées à l'amont du bassin qui se caractérisent par une faible minéralisation des eaux et l'absence totale des zones humides.

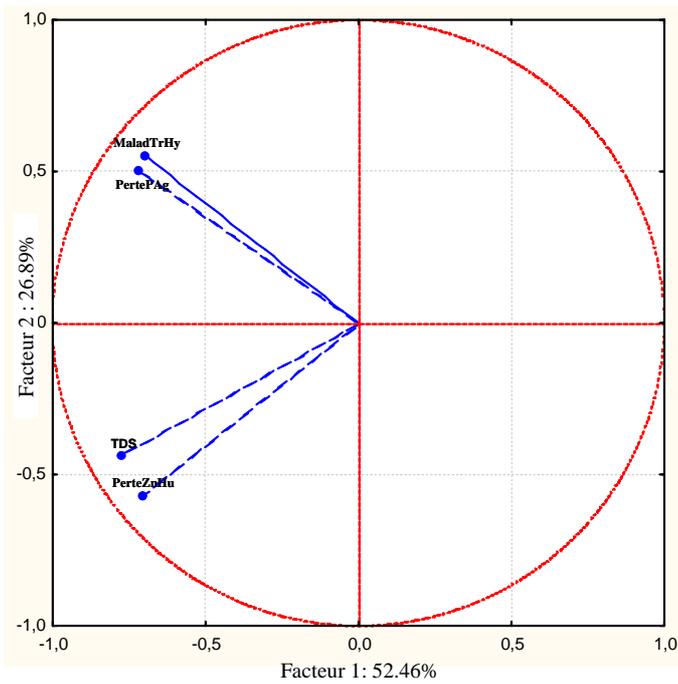


Figure 6.33 La projection des variables I sur le plan factoriel 1x2

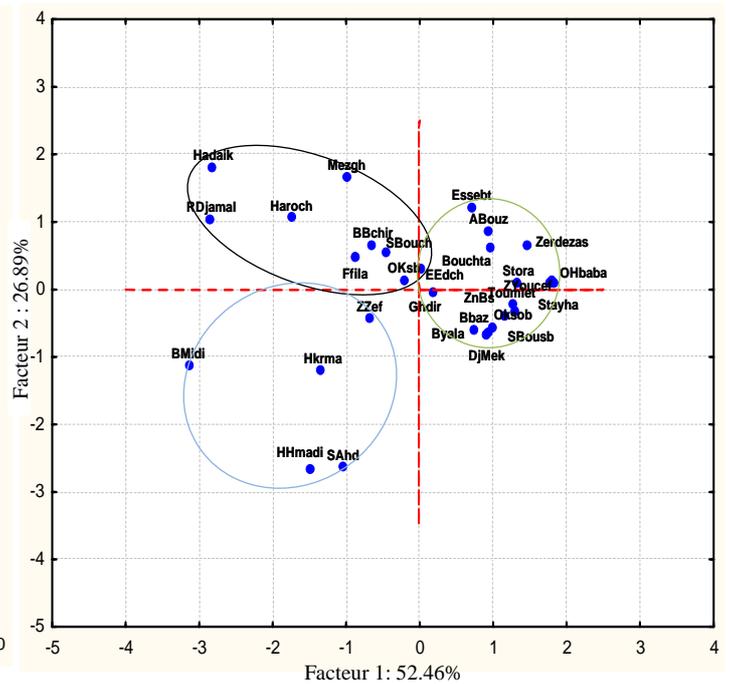


Figure 6.34 La projection des municipalités sur le plan factoriel 1x2

6.3.5 Les variables de Réponse

Les variables indépendantes de Réponse analysées par l'ACP sont : le stockage des eaux pluviales (StoEPluv), l'importation de l'eau (ImportE), l'efficacité dans l'eau d'irrigation (EfEIrrig), l'efficacité des systèmes d'information (EfSyInf), la sensibilisation sur l'eau (SensibE), le dessalement de l'eau de Mer (DEM), l'efficacité de l'alimentation en eau potable (EffAIEP) et la variable dépendante MRE.

Résultats et Discussion

On compte huit (8) variables dans l'analyse, i.e. la somme de toutes les valeurs propres est égal à 08 (Tableau 6.34). À l'aide du critère test des éboulis (Scree test), effectué visuellement à partir du graphique des valeurs propres successives (Figure 6.35). Alors, toutes les valeurs propres qui forment à peu près une ligne droite lorsqu'on commence par la fin peuvent être considérées comme correspondant à des dimensions des données qui ne comportent que du bruit (ou erreur de mesure) et on peut les exclure. Par conséquent, trois facteurs ont été choisis pour l'analyse d'une variance totale de 73,30% de la variance cumulée.

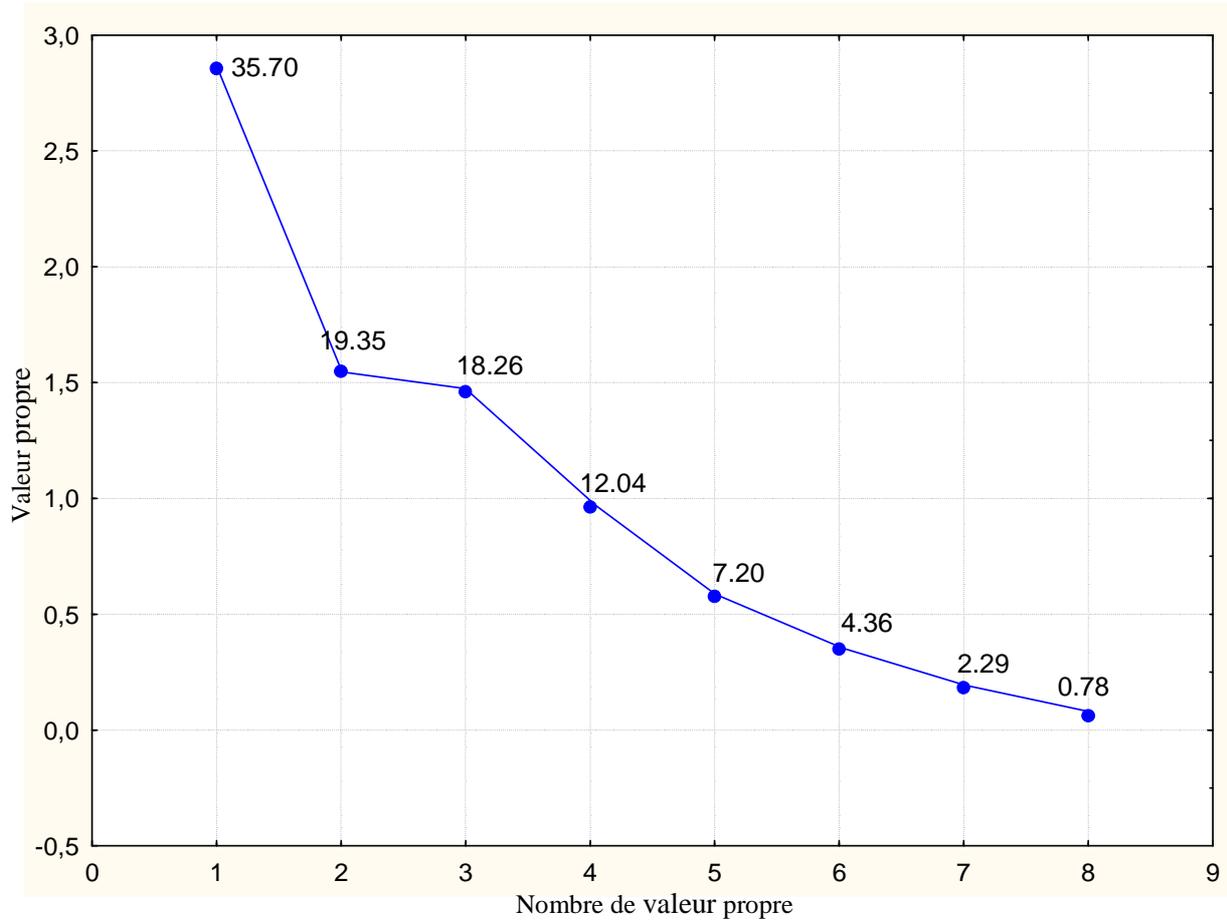


Figure 6.35 Les valeurs propres de la matrice de corrélation pour les variables R

Le tableau 6.35 présente les variances des facteurs et de leurs corrélations avec les variables. Le premier facteur correspond à la plus grande valeur propre (2.855) et représente environ 35.70% de la variance cumulée. C’est le plus corrélé avec l’importation de l’eau, la sensibilisation sur l’eau et la mobilisation de la ressource en eau (corrélations négatives). Le deuxième facteur correspondant à la deuxième valeur propre (1.55) qui représente 19.35% de la variance cumulée, mais n’est corrélé avec aucune variable. Le troisième facteur correspondant à la valeur propre 1.46 représentant 18,26% de la variance cumulée. Il est négativement corrélé avec le stockage des eaux pluviales et l’efficacité dans le système d’information.

Tableau 6.34 Les valeurs propres de la matrice de corrélation des variables R

	Valeur propre	Variance Totale %	Valeur propre Cumulée	Variance Cumulée %
1	2.855	35.692	2.855	35.69
2	1.548	19.352	4.403	55.04
3	1.461	18.262	5.864	73.30
4	0.963	12.043	6.827	85.35
5	0.576	7.205	7.404	92.55
6	0.349	4.368	7.754	96.92
7	0.183	2.290	7.937	99.21
8	0.062	0.785	8.000	100.0

Tableau 6.35 Les Corrélations Facteurs-variables (Catégorie R)

	Factor 1	Factor 2	Factor 3
DEM	-0.301	0.519	0.222
StoEPluv	0.102	-0.179	<u>-0.812</u>
ImportE	<u>-0.782</u>	0.560	-0.107
EfElrig	0.515	0.655	-0.278
SensibE	<u>-0.763</u>	-0.422	0.0434
EfSyInf	-0.371	-0.152	<u>-0.778</u>
EffAIEP	-0.686	-0.354	0.203
MRE	<u>-0.829</u>	0.418	-0.113

La superposition de la projection des variables et des municipalités dans un plan de facteurs (1x3) montre que les municipalités de Bouabaz, Zone Basse, Bouyala, Ben Mhidi, Harrouch, Emjez Edchich et Ramadan Djamal sont semblables en termes de mobilisation de la ressource en eau, de l'importation de l'eau, de la sensibilisation sur l'eau. La municipalité de Filfila est distinguée par le dessalement de l'eau de mer. Zerdezas se distingue par le stockage des eaux pluviales et l'efficacité dans le système d'information. Alors que les agglomérations rurales comme Zighoud Youcef, El Ghdir, Essebt, Ain Bouziane, oued Ksob, Dj Mekcene, Stayha, Toumiettes, Bouchtata et Ouled Hbaba peuvent être face aux zones urbaines, c'est à dire qu'elles sont caractérisées par une très faible mobilisation de la ressources en eau.

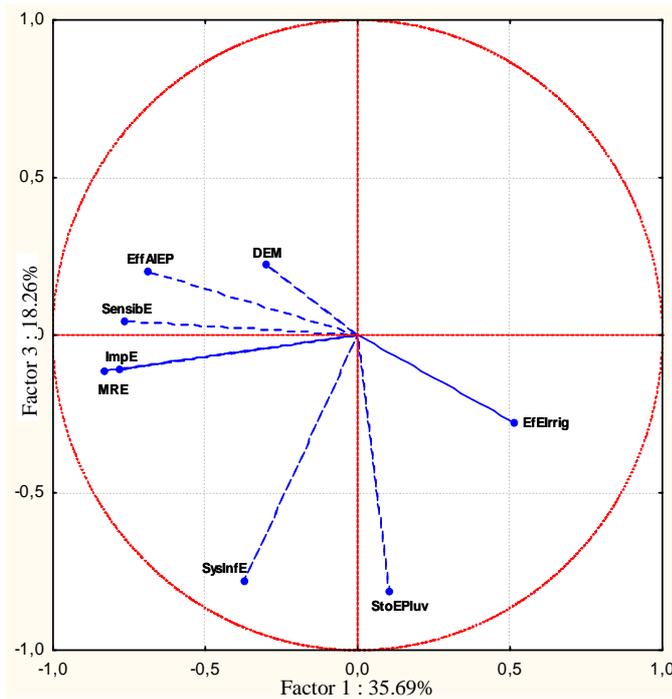


Figure 6.36 La projection des variables R sur le plan factoriel 1x3

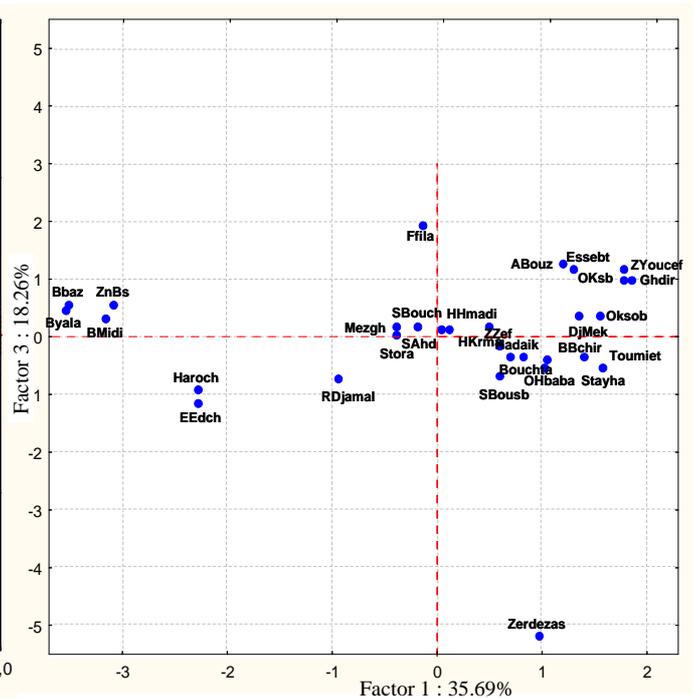


Figure 6.37 La projection des municipalités sur le plan factoriel 1x3

6.4 L'Analyse des Facteurs (AF)

Le nombre de facteurs significatifs résultant par l'analyse en composante principale ACP pour les cinq catégories du modèle DPSIR (Partie 6.3), ont été utilisées dans l'analyse des facteurs. La stratégie de la rotation varimax normalisée a été adoptée pour trouver une rotation qui maximise la variance sur les nouveaux axes (facteurs) ; en d'autres termes, nous cherchons à obtenir une structure des poids pour chaque facteur qui soit aussi différente que possible, permettant une interprétation aussi facile que possible. L'analyse factorielle a été réalisée pour les catégories des forces motrices D, de pression P, de l'état de la qualité de l'eau (S), d'impact I et réponses P.

6.4.1 Les variables forces motrices D

Les variables de la force motrice classifiées par l'analyse des facteurs sont : la population, les revenus par employant, le tourisme, l'occupation du sol, le taux de raccordement à l'eau potable, le taux de raccordement aux réseaux des eaux usées, la dotation journalière de l'eau potable, l'évacuation des eau pluviales, le prix de l'eau, la taxation sur l'eau, la consommation de l'eau d'agriculture, l'intégration des femmes, les pertes d'eau et la variable dépendante la mobilisation de la ressource en eau MRE.

Résultats et Discussion

Le tableau 6.36 et la figure 6.38 présente la solution des trois facteurs avec rotation et les poids de leurs variables classées. Le premier facteur représente 50.81% de la variance totale. Il contient des inter-corrélations des variables observées qui sont: les revenus par employant, l'occupation du sol, le taux de raccordement à l'eau potable et aux eaux usées, l'évacuation des eaux pluviales, la dotation en eau, le prix de l'eau et les taxes sur l'eau. Ce facteur explique les déterminants des infrastructures hydrauliques et le niveau de vie de la population. Le deuxième facteur représente 14.10% de la variance totale et possède une seule variable qui est la population et la consommation en eau d'agriculture. Ce facteur latent représente l'utilisation des terres agricoles en tant que pilote pour améliorer le secteur agricole. Le troisième facteur a 8.86% de la variance totale et comprend la variable de la perte d'eau dans le réseau AEP qui se réfère en tant que facteur déterminant dans la consommation en eau par habitant.

En comparaison avec les résultats de l'ACP pour les variables forces motrices (Tableau 6.27), l'analyse factorielle a introduit un nouveau déterminant important de captage de l'eau qui est la consommation d'eau a diminué l'agriculture et le tourisme. Les autres variables sont semblables, mais ils ont des saturations différentes.

Tableau 6.36 Les Poids Factoriels (Varimax normalisé) (Catégorie D)

	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Pop	0,449	<u>0,694</u>	0,279
Remp	<u>0,692</u>	0,242	0,133
Tourism	0,402	-0,050	0,599
OccupS	<u>0,706</u>	0,228	0,487
TxEp	<u>0,696</u>	0,522	-0,059
TxEU	<u>0,711</u>	0,335	-0,025
EvEPluv	<u>0,894</u>	0,221	0,173
DotEP	<u>0,786</u>	0,351	0,217
PrixE	<u>0,903</u>	-0,121	0,075
TaxE	<u>0,778</u>	-0,097	-0,008
ConEAg	-0,363	<u>0,778</u>	-0,236
IntégFem	0,670	0,612	0,263
PerteE	0,153	-0,096	<u>-0,828</u>
MRE	0,294	<u>0,845</u>	0,154
Variance explicative	6,0415	2,880	1,616
% Variance totale	0,417	0,205	0,115

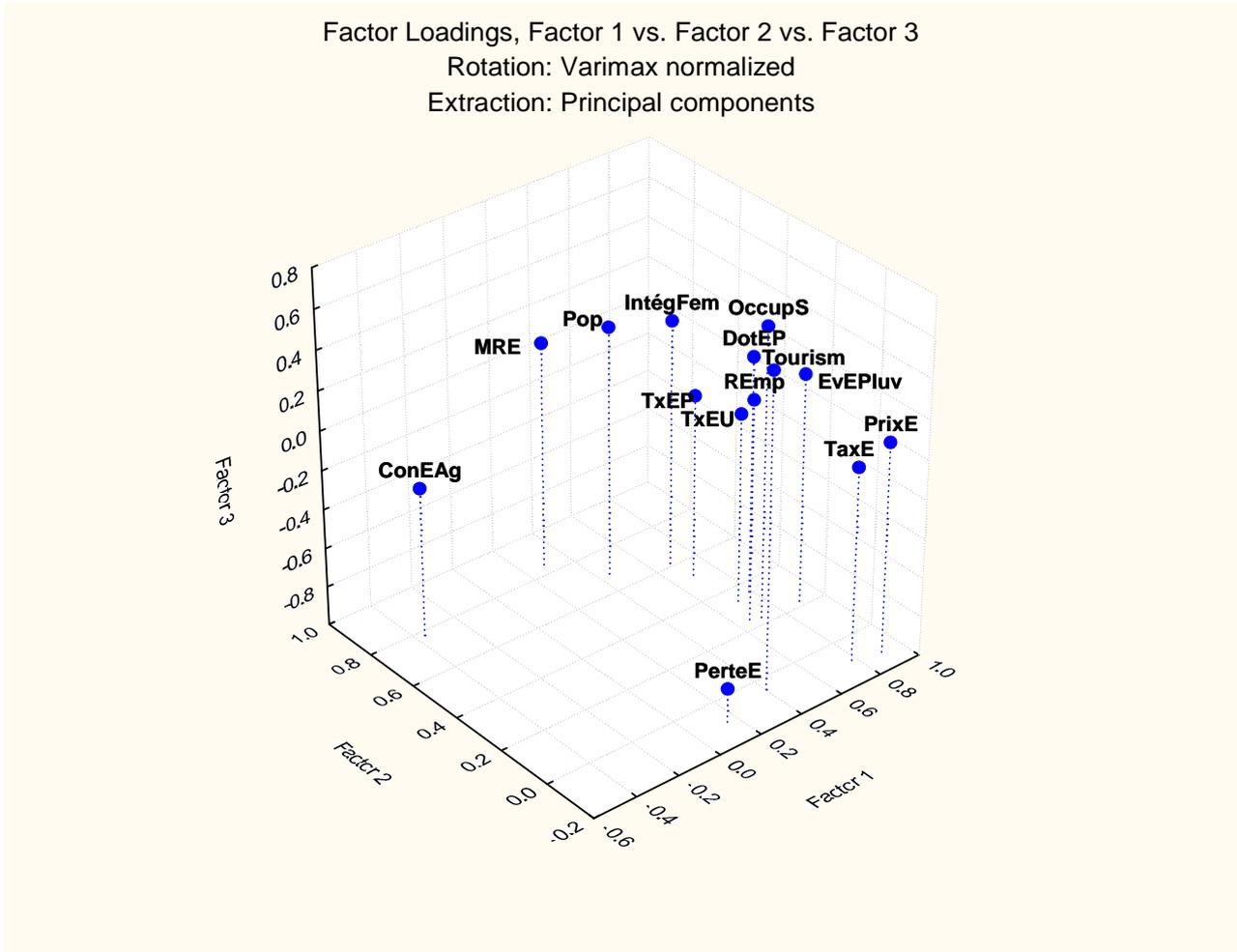


Figure 6.38 Projection des poids factoriels des variables D (Varimax normalisé)

6.4.2 Les variables de Pression

Les variables indépendantes de pression utilisées dans l'analyse des facteurs sont : les déchets solides sauvages, la génération des eaux usées domestiques, les pesticides, les engrais chimiques, les engrais organiques, les stations du carburant, les eaux usées industrielles et le dioxyde de carbone. En plus de la variable indépendante TDS (le total des solides dissous).

Résultats et Discussion

Le tableau 6.37 et la figure 6.39 montrent que le premier facteur représente 31.37% de la variance totale et contient la variable des pesticides, des engrais chimique et organique. Ce facteur représente la pollution en milieu rural en raison de l'utilisation excessive des engrais dans l'agriculture. Le deuxième facteur a 27.18% de la variance totale et comprend deux inter-corrélations des variables qui sont les déchets solides et les eaux usées domestiques. Il reflète la pollution domestique. Le troisième facteur a 18.74% de la variance totale et contient deux variables qui sont les eaux usées industrielles, le dioxyde de carbone CO₂ et le total des solides dissous TDS. Ce facteur représente la pollution en milieu à vocation industrielle.

En comparant le résultat de l'Analyse Factorielle avec celui de l'ACP pour les variables de pression (Tableau 6.29), deux variables ont été introduites pour tenir compte des saturations 3 avec plus de 0,7. Les variables sont le dioxyde de carbone CO₂ et le total des solides dissous TDS.

Tableau 6.37 Les Poids Factoriels (Varimax normalisé) (Catégorie P)

	Factor 1	Factor 2	Factor 3
DécSauv	0,084	<u>0,972</u>	0,007
EUDom	-0,084	<u>0,960</u>	-0,001
Pesticid	<u>0,952</u>	0,063	0,011
EngrCh	<u>0,956</u>	0,069	-0,021
EngrOrg	<u>0,892</u>	-0,039	-0,064
StCarb	0,116	0,550	0,417
EUInd	-0,216	-0,246	<u>0,687</u>
CO ₂	0,143	0,205	<u>0,750</u>
TDS	-0,066	0,134	<u>0,844</u>
Variance explicative	2,717	2,313	1,926
% Variance totale	0,301	0,257	0,214

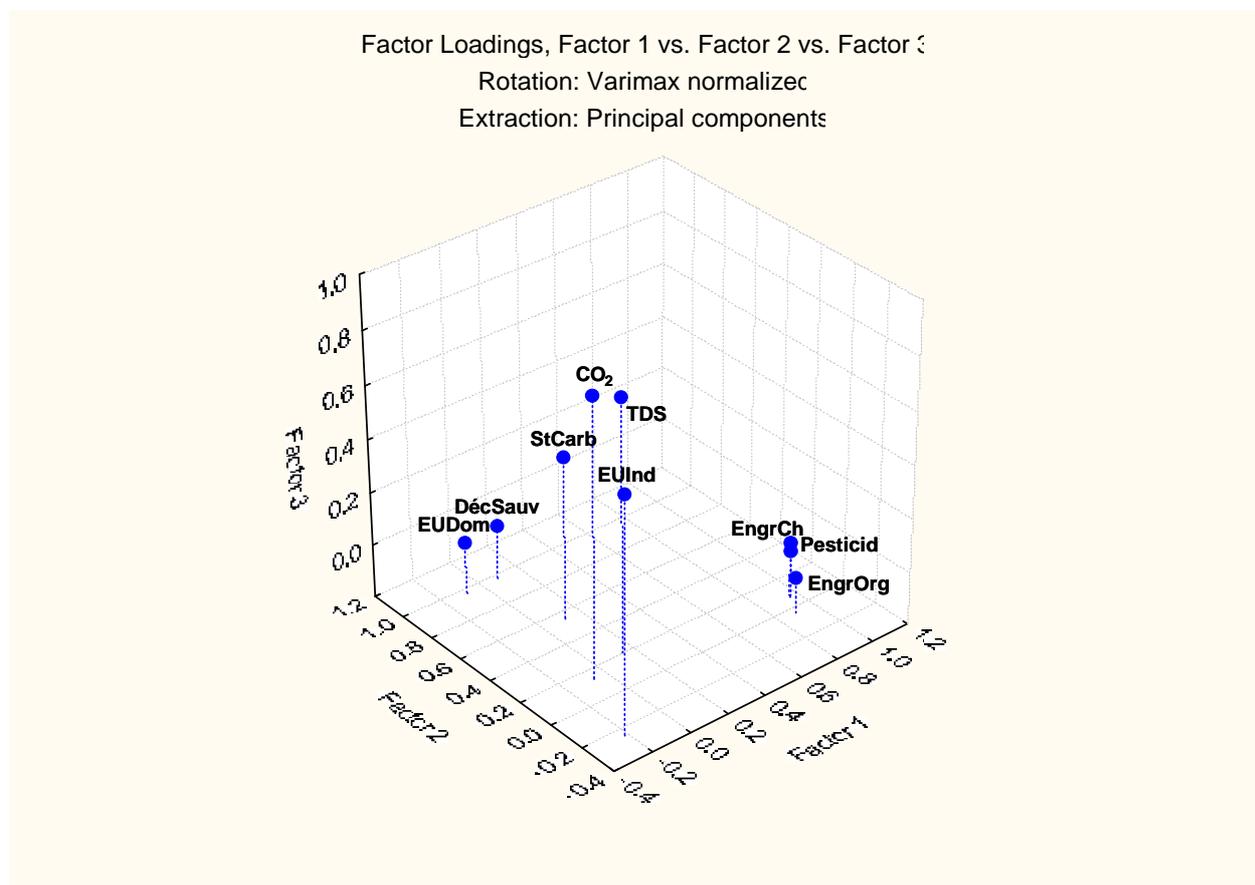


Figure 6.39 Projection des poids factoriels des variables P (Varimax normalisé)

6.4.3 Les variables de l'état de la qualité de l'eau de surface (State)

Les variables indépendantes de l'état de la qualité de l'eau de surface utilisées dans l'analyse des facteurs sont : les Nitrates (NO_3^-), les Chlorures (Cl^-), le Sodium (Na^+), le Calcium (Ca^{2+}), le Magnésium (Mg^{2+}), le Potassium (K^+), les Sulfates (SO_4^{2-}), les Bicarbonates (HCO_3^-), la Demande Biochimique en Oxygène (DBO_5), la Demande Chimique en Oxygène (DCO) et la variable dépendante TDS.

Résultats et Discussion

Le tableau 6.38 montre que toutes les variables observées sont réduites dans seul facteur latent. Ce facteur représente 81.11% de la variance totale et inclue les variables suivant : Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , NO_3^- , HCO_3^- , DBO_5 , DCO et le TDS.

Les résultats de l'Analyse Factorielle et de l'ACP pour les variables de l'état de la qualité de l'eau sont semblables, mais ils ont des saturations différentes.

Tableau 6.38 Les Poids Factoriels (Varimax normalisé) (Catégorie S)

	Factor 1
Na^+	-0,921
Ca^{2+}	-0,969
Mg^{2+}	-0,966
K^+	-0,747
NO_3^-	-0,950
Cl^-	-0,927
SO_4^{2-}	-0,836
HCO_3^-	-0,897
DBO_5	-0,800
DCO	-0,868
TDS	-0,989
Variance explicative	8,923
% Variance totale	0,811

6.4.4 Les variables d'Impact

Les variables indépendantes d'impact classifiées par l'analyse des facteurs sont : les maladies à transmission hydrique (MaladTrHy), la Perte de Productivité Agricole (PertePAg), la Perte des Zones Humides (PerteZnHu) et la variable dépendante TDS.

Résultats et Discussion

Le tableau 6.39 et la figure 6.40 présente la solution de deux facteurs avec rotation et les poids de leurs variables classées. Le premier facteur représente 52.45% de la variance totale. Il contient des inter-corrélations des variables observées qui sont : la perte des zones humides et le TDS, ce

facteur reflète la détérioration de la qualité des eaux de surface (i.e. l'impact écologique). Le second facteur a 26.88% de la variance totale et contient deux variables, la perte de productivité agricole et les maladies à transmission hydrique, ce facteur peut représenter les conséquences de la détérioration de la qualité des eaux sur la santé humaine.

Les résultats de l'analyse factorielle pour les variables écologiques et impact sur la santé publique sont différents aux résultats de l'ACP, deux variables ont été introduites dans le second facteur avec un poids de facteur supérieur à 0.7.

Tableau 6.39 Les Poids Factoriels (Varimax normalisé) (Catégorie I)

	Factor 1	Factor 2
PertePAg	0,169777	<u>0,857880</u>
PerteZnHu	<u>0,904988</u>	0,079904
MaladTrHy	0,116456	<u>0,881336</u>
TDS	<u>0,862853</u>	0,220734
Variance explicative	1,605904	1,567820
% Variance totale	0,401476	0,391955

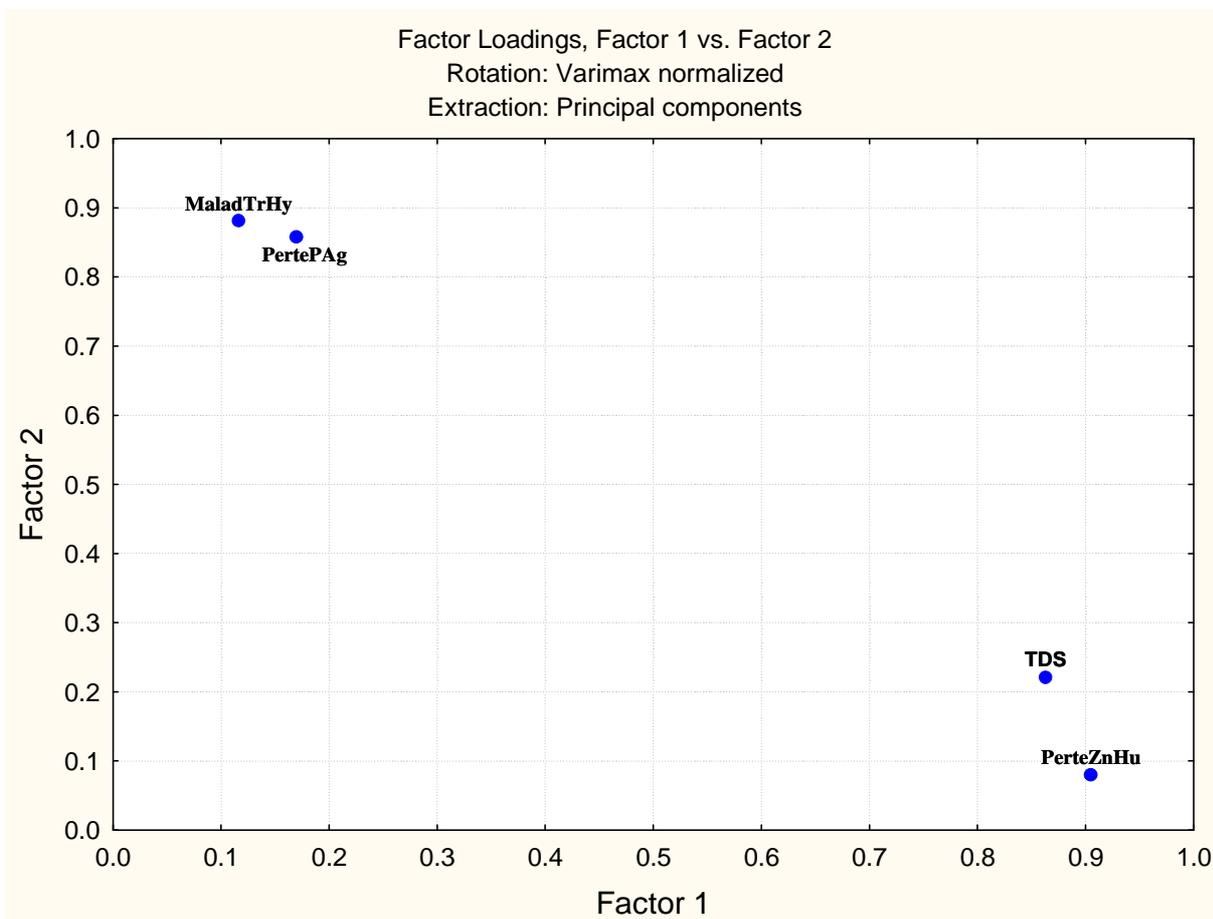


Figure 6.40 Projection des poids factoriels des variables I (Varimax normalisé)

6.4.5 Les variables de Réponse

Les variables indépendantes de Réponse analysées par l'AF sont : le stockage des eaux pluviales (StoEPluv), l'importation de l'eau (ImportE), l'efficacité dans l'eau d'irrigation (EfEIrrig), l'efficacité des systèmes d'information (EfSyInf), la sensibilisation sur l'eau (SensibE), le dessalement de l'eau de Mer (DEM), l'efficacité de l'alimentation en eau potable (EffAIEP) et la variable dépendante MRE.

Résultats et Discussion

Le tableau 6.40 et la figure 6.41 présente la solution à trois facteurs avec rotation et les poids de leurs variables classées.

Le premier facteur représente 35.69% de la variance totale et contient des variables observées et leur différent poids. Il est principalement lié à l'efficacité dans l'eau d'irrigation (corrélation négative), la sensibilisation sur l'eau et l'efficacité de l'alimentation en eau potable (corrélation positive). Le deuxième facteur représente 19.35% de la variance totale et contient deux inter-corrélations des variables qui sont l'importation de l'eau et la mobilisation de la ressource en eau. Ce facteur latent reflète la nécessité des ressources en eau supplémentaires pour combler l'offre et la demande en eau. Le troisième facteur a 18.26% de la variance totale, il est associé avec l'efficacité dans le système d'information et le stockage des eaux pluviales. Ce facteur reflète les infrastructures hydrauliques.

En comparaison avec les résultats de l'ACP pour les variables de Réponse (Tableau 6.35), l'analyse factorielle a introduit deux variables dans le second facteur avec des poids supérieures à 0,7 (l'ImportE et MRE). En outre, les signes des variables significatives dans le deuxième et le troisième facteur ont été changés, ce qui indique un changement dans la projection de ces variables sur le plan factoriel (1x2) et (1x3).

Tableau 6.40 Les Poids Factoriels (Varimax normalisé) (Catégorie R)

	Factor 1	Factor 2	Factor 3
DEM	-0,080416	0,572294	-0,274582
StoEPluv	-0,148442	-0,166049	<u>0,808255</u>
ImportE	0,151215	<u>0,949792</u>	0,106794
EfEIrrig	<u>-0,867611</u>	0,125358	0,065531
SensibE	<u>0,829850</u>	0,224466	0,152414
EfSyInf	0,175005	0,180914	<u>0,838909</u>
EffAIEP	<u>0,769219</u>	0,213310	-0,027580
MRE	0,278087	<u>0,881248</u>	0,147717
Variance explicative	2,192425	2,178125	1,493951
% Variance totale	0,274053	0,272266	0,186744

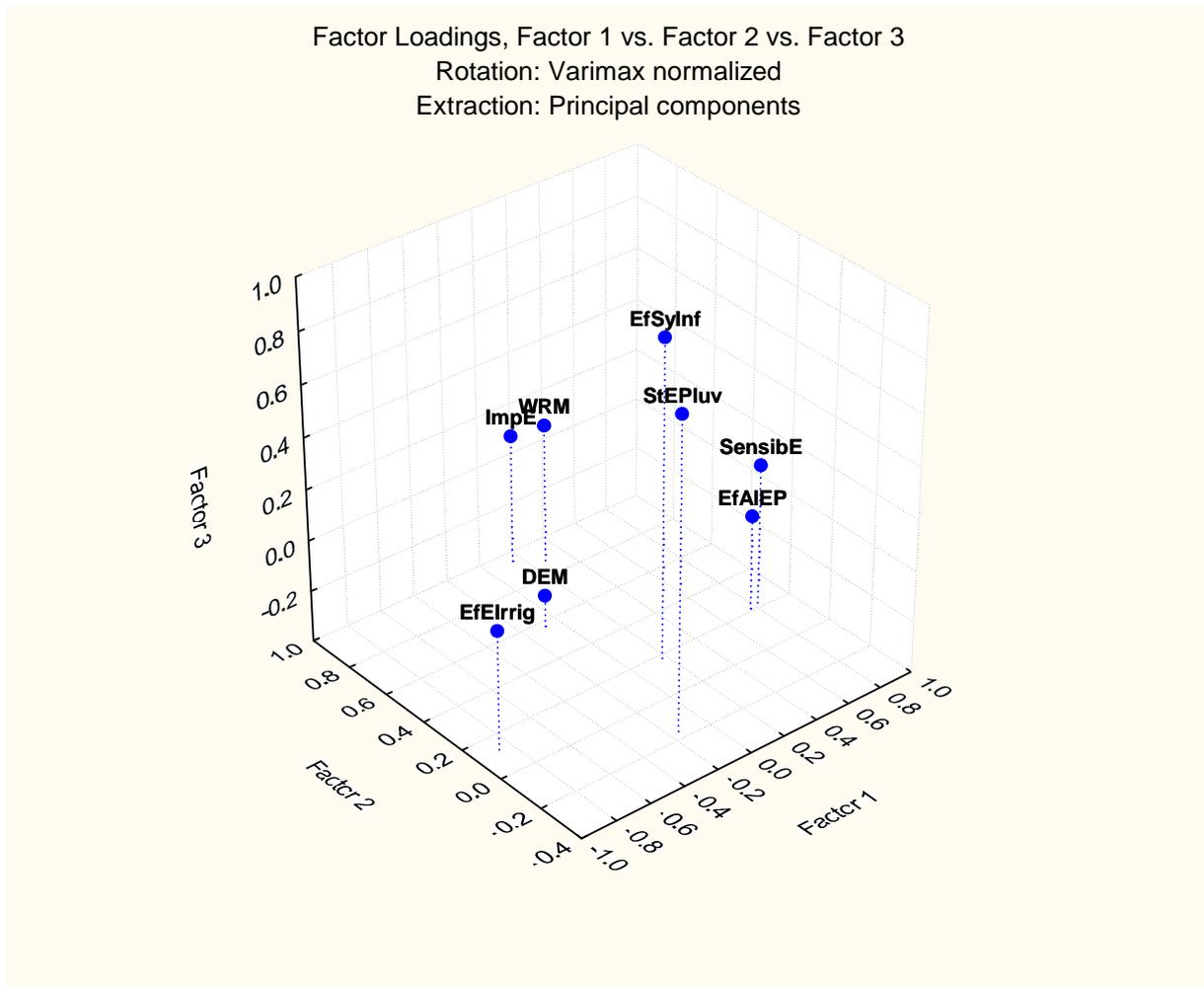


Figure 6.41 Projection des poids factoriels des variables R (Varimax normalisé)

6.5 L’Evaluation du Risque sur la Santé Humaine

Les eaux usées industrielles et les déchets solides des usines et de la base pétrolière qui se localisent sans la partie aval du bassin Saf-Saf (Hammadi Krouma, Hamrouch Hammadi, Filfila,...) sont rejetés dans l’oued Saf-Saf ou bien dans des effluents, ainsi que dans la mer. Les déchets solides sont déchargés en plein air. Les métaux lourds combinés avec les eaux usées et les déchets sont le Chrome III, Cuivre, le Plomb et le mercure qui sont disponibles et utilisés dans cette étude. Les voies d’exposition sont : l’ingestion, l’inhalation, et le contact cutané avec les eaux souterraines et de surfaces. Deux scénarios de récepteurs possibles qui sont :

1. Le résident enfant.
2. Le résident adulte.

Résultats et discussion

La figure 6.42 montre que le total de l'indice de risque résultant des différents métaux lourds (le Chrome III, le Cuivre, le Plomb et le mercure) pour les deux scénarios est trop grand et le cas les enfants est plus important que celui des adultes.

Le total de l'indice de risque est plus important pour les enfants que les adultes dans le cas de l'ingestion des eaux souterraines et le cas du contact cutané avec les eaux souterraines dans les sanitaires. Alors que l'indice de risque pour les adultes est plus important que celui des enfants dans le l'ingestion des eaux souterraines, ainsi que le contact cutané avec les eaux souterraines dans les sanitaires (Figure 6.43).

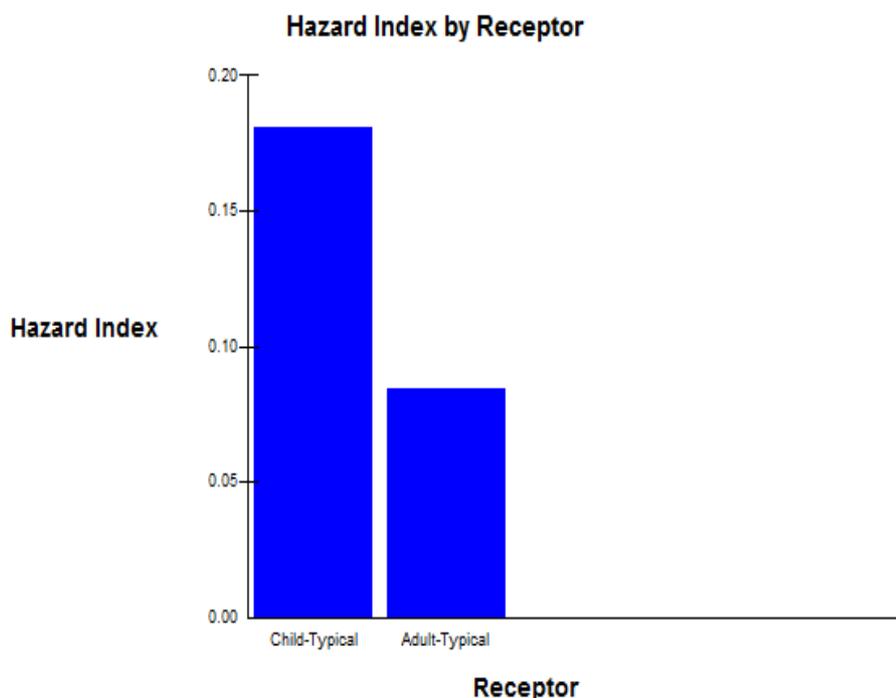


Figure 6.42 L'indice de risque pour les deux récepteurs

Tableau 6.41 L'indice de risque pour les enfants dans les eaux souterraines

	Ingestion	Contact cutané dans la douche	Ingestion de l'E d'arrosage	Inhalation de l'E d'Irrigation	Contact c. avec l'E d'Irrigation	Ingest. des légumes	Total
Chrome III	6.4E-04	1.4E-06	3.7E-07	0.0E+00	3.2E-07	3.0E-03	3.6E-03
Cuivre (Cooper)	1.7E-02	2.7E-05	9.6E-06	0.0E+00	6.5E-06	5.3E-05	1.7E-02
Plomb (Lead)	1.6E-01	0.0E+00	9.1E-05	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	1.6E-01
Mercure	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	1.6E-05	0.0E+00	0.0E+00	1.6E-05
Total	1.8E-01	2.9E-05	1.0E-04	1.6E-05	6.8E-06	3.1E-03	1.8E-01

Tableau 6.42 L'indice de risque pour les adultes dans les eaux souterraines

	Ingestion	Contact C. dans la douche	Ingestion de l'E d'arrosage	Inhalation de l'E d'Irrigation	Contact C. avec l'E d'Irrigation	Ingestion des légumes	Total
Chrome III	3.0E-04	7.9E-04	7.8E-08	0.0E+00	1.9E-08	1.3E-03	1.6E-03
Cuivre (Cooper)	7.9E-03	1.6E-05	2.1E-06	0.0E+00	3.8E-07	2.3E-05	8.0E-03
Plomb (Lead)	7.5E-02	0.0E+00	2.0E-05	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	7.5E-02
Mercure	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	3.4E-06	0.0E+00	0.0E+00	3.4E-06
Total	8.4E-02	1.7E-05	2.2E-05	3.4E-06	4.0E-07	1.3E-03	8.5E-02

Tableau 6.43 L'indice de risque pour les enfants dans les eaux de surfaces

	Ingestion	Contact cutané	Total
Chrome III	3.3E-07	2.9E-07	6.3E-07
Cuivre (Cooper)	1.2E-05	8.1E-06	2.0E-05
Plomb (Lead)	1.3E-04	0.0E+00	1.3E-04
Mercure	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Total	1.4E-04	8.4E-06	1.5E-04

Tableau 6.44 L'indice de risque pour les adultes dans les eaux de surfaces

	Ingestion	Contact cutané	Total
Chrome III	2.8E-07	6.8E-07	9.7E-07
Cuivre (Cooper)	1.0E-05	1.9E-05	2.9E-05
Plomb (Lead)	1.1E-04	0.0E+00	1.1E-04
Mercure	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Total	1.2E-04	1.9E-05	1.4E-04

Le Plomb (Lead) a l'indice de risque le plus élevé, suivi par le Cuivre et le Chrome III (Figure 6.44). Le mercure a l'indice de risque le plus faible pour les résidents adultes et enfants.

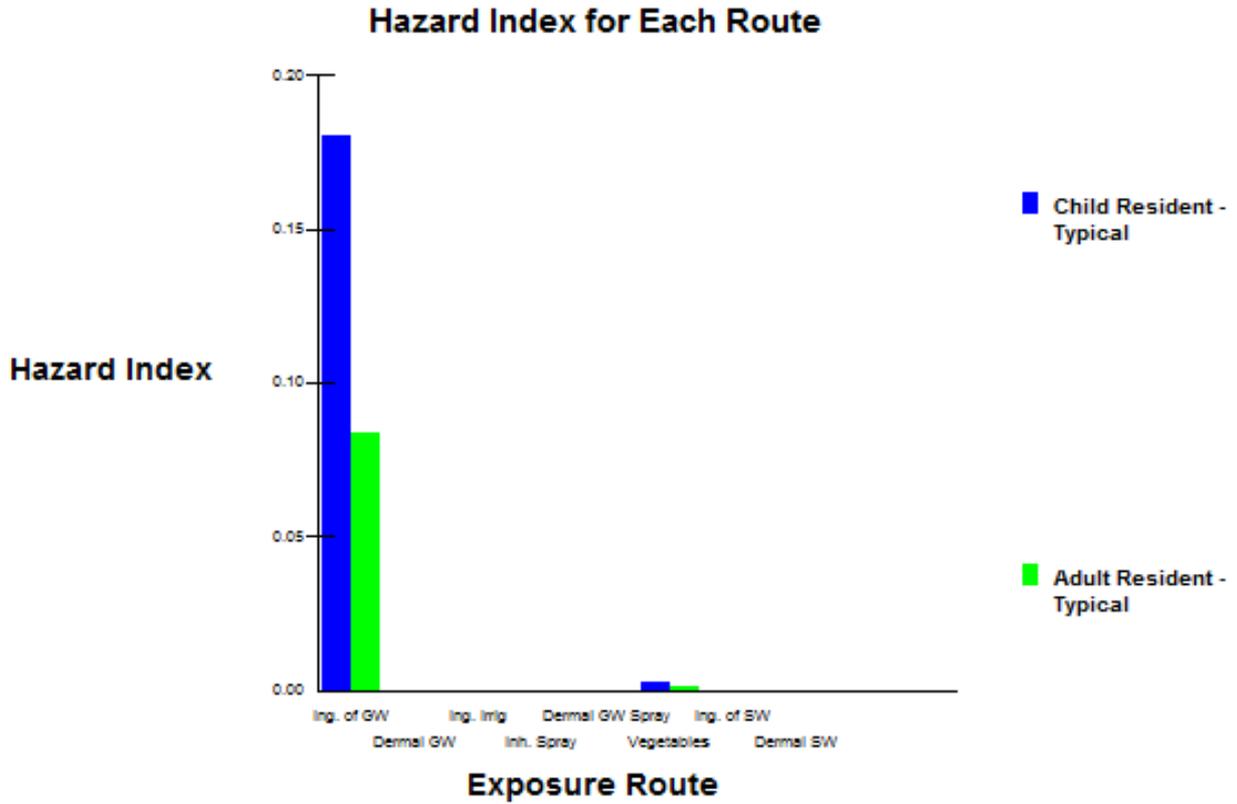


Figure 6.43 L'indice de risque pour toutes les voies d'expositions

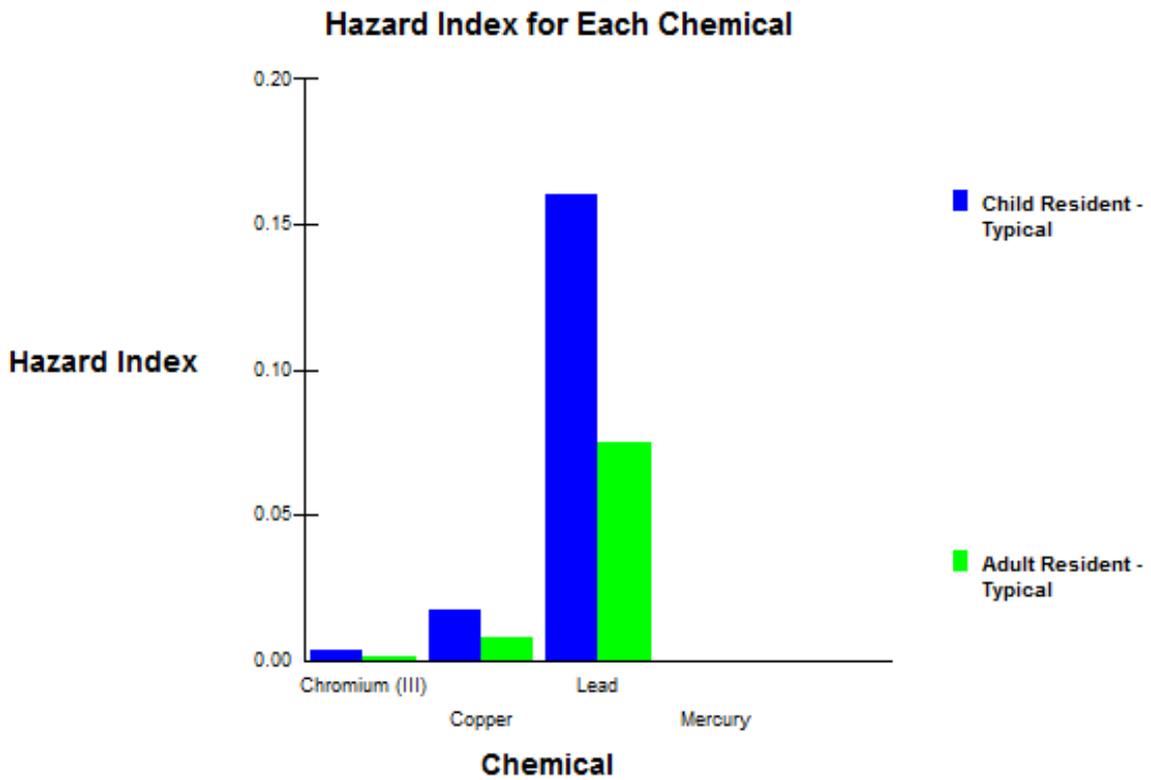


Figure 6.44 L'indice de risque pour tous les métaux lourds

Remarques et Conclusions

Les remarques et les conclusions tirées de l'analyse des données en utilisant les RNA, les techniques exploratoires multivariées (ACP et AF), les avis et les jugements des experts et l'évaluation des risques sur santé humaine peuvent être résumées comme suit:

- Les résultats obtenus dans l'analyse ANN indiquent que le Perceptron Multicouche MLP avec l'algorithme de rétro-propagation BFGS (Broyden Fletcher Goldfarb Shano) est avéré être la meilleure structure ANN pour modéliser et simuler la relation entre la mobilisation de la ressource en eau et les indicateurs indépendantes de la catégorie D et celle R d'une part, et la relation entre le TDS et les indicateurs indépendantes de la catégorie P, S et I d'autre part. En outre, les réseaux MLP permettent de caractériser et de hiérarchiser les variables efficaces dans chaque catégorie.
- Les modèles RNA peuvent être utilisés pour des jeux de données indépendants en sciences de l'eau et de l'environnement.
- Il existe des différences significatives entre les résultats de l'analyse par l'ANN et les avis des experts en matière de classement et de hiérarchisation des catégories : Forces motrices D, de Pression, de l'état de la qualité de l'eau de surface et de réponse. Ces résultats sont cohérents pour la catégorie d'Impact. Par conséquent, la production de la recherche aide les décideurs et les gestionnaires de l'eau pour obtenir une meilleure compréhension sur les réels problèmes touchant le secteur de l'eau.
- Le modèle ANN caractérise les indicateurs efficaces selon leurs priorités (poids), la consommation en eau d'agriculture (ConEAg) est la variable la plus effective dans la catégorie force motrice, la génération des eaux usées domestiques (EUDom) est la variable source de pollution la plus pressante sur la qualité de l'eau dans la catégorie de Pression, les Chlorures (Cl⁻) et les Nitrates (NO₃⁻) sont les deux principaux paramètres qui influencent sur la qualité des eaux de surface, les maladies à transmission hydrique (MaladTrHy) et la perte de productivité agricole (PertePAg) sont les deux variables d'impact influencées par le changement de l'état qualitatif et quantitatif de la ressource en eau, et l'importation de l'eau (ImportE) est la première intervention dans la catégorie de Réponse
- L'analyse exploratoire multivariée (ACP et AF) permet de classer d'une manière générale les trente (30) municipalités en trois groupes distincts qui sont : le premier groupe des municipalités situées dans la partie aval du bassin, le second groupe englobe les municipalités de la partie centrale du bassin et le dernier groupe des municipalités de la partie amont du bassin.
- Le Plomb est le métal lourd qui présente un risque plus important pour les deux récepteurs (les résidents enfants et adultes), suivi par le Cuivre et le chrome III.

Conclusion Générale & Recommandations

Dans ce travail de recherche, un modèle conceptuel intégré de la gestion des eaux a été élaboré sur la base de la relation de cause-effet. Le nouveau modèle décrit les éléments et les sciences relatives à l'eau les plus importants et indiquent que le développement et la gestion des ressources en eau doivent être dans les limites écologiques. Le nouveau modèle conceptuel intégré de la gestion des eaux a été appliquée au cycle de vie de la gestion des ressources en eau dans le bassin versant de Saf-Saf.

Principales Caractéristiques de l'Analyse

Les variables efficaces ont été caractérisées et classifiées en utilisant l'analyse multicritères par l'ANN et les avis des experts, l'analyse multivariée et les techniques d'évaluation des risques. Les variables retenues ont été organisées et groupées en utilisant les techniques multivariées qui sont l'analyse en composantes principales et l'analyse factorielle. Les principales conclusions de ces techniques d'analyse sont les suivants:

- La consommation en eau d'agriculture est la variable force motrice la plus effective dans la catégorie « D » suivie par l'occupation du sol. Le reste des variables effectives en fonction de leurs classements dans la phase de vérification sont les suivantes : l'évacuation des eaux pluviales, les revenus par employant, le taux de raccordement des eaux usées, le prix de l'eau, le taux de raccordement aux réseaux de l'eau potable, la population, les pertes d'eau, les taxes sur l'eau, l'intégration des femmes et le tourisme.
- La génération des eaux usées domestiques est la variable source de pollution la plus pressante sur la qualité des l'eau dans la catégorie de Pression suivie par les eaux usées industrielle. Le reste des variables en fonction de leurs rangs dans la phase de vérification sont les suivantes : les déchets sauvages, les engrais chimiques, le CO₂, les pesticides, les engrais organiques et les stations de carburants.
- Les Chlorures et les Nitrates sont les deux principaux paramètres qui influencent sur la qualité des eaux de surface suivis par le Magnésium, la DBO₅, le Sodium, le Potassium, le Calcium, les Sulfates, les Bicarbonates et la DCO. Le modèle ANN a enlevé trois (03) variables d'Entrée en raison de leur faible sensibilité, ces variables sont : la Conductivité Électrique, la Température et le pH.
- Les maladies à transmission hydrique et la perte de productivité agricole (PertePAg) sont les deux variables d'impact influencées par le changement de l'état qualitatif et quantitatif de la ressource en eau suivie par la perte des zones humides.

- L'importation de l'eau est l'intervention la plus influente dans la catégorie de Réponse sur la MRE suivie par l'efficacité dans l'eau d'irrigation, la sensibilisation sur l'eau, l'efficacité dans l'alimentation en eau potable, l'efficacité dans le système d'information, le stockage des eaux pluviales, et le dessalement de l'eau de mer.
- L'application de l'évaluation des risques pour la santé humaine a indiqué que l'indice de risque résultant des différents métaux lourds pour les deux scénarios est trop grand et le cas les enfants est plus important que celui des adultes. Le Plomb (Lead) a l'indice de risque le plus élevé, suivi par le Cuivre et le Chrome III. Le mercure a l'indice de risque le plus faible pour les résidents adultes et enfants.

Les produits livrables de ce travail de recherche

Les produits livrables par ce travail de recherche sont les suivants:

1. Un nouveau modèle conceptuel intégrée pour la gestion de l'eau, y compris cinq catégories qui sont : la catégorie force motrice, de pression, de l'état de la qualité de l'eau, d'impact et de réponses. Les variables efficaces dans ces catégories ont été caractérisées et classifiées en groupes ;
2. Un modèle de prévision de la relation entre la mobilisation de la ressource en eau et les indicateurs forces motrices ;
3. Un modèle de prévision de la relation entre la mobilisation de la ressource en eau et les paramètres de qualité de l'eau de surface ;
4. Un modèle de prévision de la relation entre le Total des Solides Dissous et les indicateurs de pression ;
5. Un modèle de prévision de la relation entre le Total des Solides Dissous et les indicateurs d'impact ;
6. Un modèle de prévision de la relation entre la mobilisation de la ressource en eau et les interventions des gestionnaires (indicateurs de réponse).
7. L'évaluation détaillée du risque EDR sur la santé humaine causé par les rejets industriels chargés de plusieurs métaux lourds (le cuivre, le plomb, le chrome, le mercure...etc.).
8. La classification des municipalités (observations) et des variables (indicateurs) liées à l'eau pour que les problèmes réels de l'eau et leurs emplacements soient bien identifiés.

L'importance de ce travail

Le but de ce travail est de contribuer à l'avancement de la gestion des ressources en eau à travers le développement de nouveaux modèles de gestion intégrée conceptuel basé sur une approche systématique et multidisciplinaire. Le nouveau modèle conceptuel de gestion intégrée des ressources en eau peut être appliqué dans la région méditerranéenne. Ce travail de recherche a abordé la grande image de la GIRE, y compris les concepts de durabilité. En outre, il a été basé sur des approches intégrées en vue d'optimiser la gestion des ressources en eau, tout en soutenant les limites écologiques et la capacité de la mobilisation des ressources en eau.

Ce travail de recherche définit pour la première fois, les critères multi paramètres efficaces pour l'analyse et la surveillance du secteur de l'eau et des zones géographiques sous stress d'eau sur une base scientifique objective. Il conclut également les interventions potentielles nécessaires pour assurer la disponibilité de l'eau et l'équilibre offre-demande. Le nouveau modèle a adressé un objectif clé sur les niveaux de la région méditerranéenne en général et en particulier le bassin versant de Saf-Saf pour parvenir à une utilisation et une gestion durable des ressources naturelles en eau et la protection efficace de l'environnement.

Impacts des résultats de la recherche sur la gestion des ressources en eau

Compte tenu de la différence entre les résultats obtenus par l'ANN et l'avis des experts sur l'importance et la priorité des variables liées à l'eau dans les différentes catégories, le produit de la recherche aide les décideurs de l'eau et des planificateurs d'acquiescer une meilleure connaissance et compréhension des conditions de base réelles qui assurent le succès d'entreprendre des mesures d'intervention de gestion.

Cette étude intervient alors que la première tentative de renforcer l'approche intégrée à travers l'étude du cycle de vie de la gestion des ressources en eau. Il a rapproché les trois composantes du développement durable qui sont : sociale, économique et environnementale. En outre, il a pris en considération les avis des experts. Par conséquent, le nouveau modèle conceptuel de la gestion intégrée de l'eau peut être la base d'un plan national de l'eau durable. En plus, les variables sélectionnées et classifiées sont très utiles pour l'analyse et la surveillance du secteur de l'eau.

La caractérisation et la classification des forces motrices efficaces aident les gestionnaires de l'eau de concevoir des mesures de gestion de la demande en eau dans le but de combler l'écart entre le présent et l'avenir concernant l'offre et la demande. Cela appuie l'interaction entre les indicateurs socioéconomiques et la gestion des ressources en eau telles que les eaux souterraines et de surface deviennent une partie de la société. Mettant en relief les indicateurs d'accès à l'eau

potable, le traitement des eaux usées, le revenu par habitant et le prix de l'eau va renforcer le concept de l'équité sociale. L'importance des variables de l'utilisation des terres nécessite l'adaptation de l'aménagement du territoire prévoit de faire partie de la planification et de la gestion globale des eaux. L'indicateur perte de l'eau démontre la nécessité de gérer les connexions illégales, de détecter les fuites et la réhabilitation des réseaux d'eau.

La définition et la caractérisation des indicateurs de pression sur de la qualité des eaux de surface peut aider les gestionnaires de l'eau de concevoir les mesures de la lutte appropriée contre la pollution de l'eau avec l'objectif de protéger l'aquifère côtier. Cela renforce l'approche préventive et d'intégrer la durabilité environnementale dans la gestion des ressources en eau.

La caractérisation des paramètres de la qualité de l'eau permet de choisir les techniques appropriées pour le traitement des eaux de surface.

La description des interventions importantes de la politique de l'eau aident les décideurs à améliorer la formulation des politiques dans le contexte des ressources en eau. L'accent devrait être donné à l'importation de l'eau et l'efficacité dans l'eau d'irrigation.

Limitations du travail de recherche

L'application de l'ANN et d'autres techniques statistiques classiques dans ce travail de recherche comporte certaines limites en raison des données limitées disponibles fixe (30 municipalités et agglomérations). Par conséquent, la vérification a été utilisée dans l'ANN comme un critère d'arrêt pour déterminer le nombre optimal de nœuds de la couche cachée, tout en évitant le risque d'un surapprentissage.

Les valeurs nulles de variables pour certains cas, peuvent affecter les résultats obtenus par les méthodes statistiques ainsi que l'analyse par l'ANN.

Le manque de données sur la qualité des eaux souterraines en raison de l'absence d'équipements de tests peuvent sous-estimer la pollution de la nappe profonde côtière.

Recommandations pour l'amélioration de la gestion du secteur de l'eau

1. La Gestion des ressources en eau devrait être basée sur des approches intégrées de prévention, et de l'écosystème.
2. Le modèle conceptuel existant de gestion des ressources en eau en Algérie (Figure 3.5) devrait être élaboré pour tenir compte les composantes de l'environnement.
3. Toutes les politiques, plans et programmes eau devraient subir une évaluation environnementale stratégique (EES), qui est un outil important vitale pour soutenir l'approche intégrée de la gestion des ressources en eau et pour assurer la durabilité de l'eau.

4. Le plan national de l'eau devrait être reformulé pour tenir compte des problèmes prioritaires de l'eau et les zones géographiques sous stress d'eau.
5. L'utilisation de l'eau sur l'écosystème et les exigences de la demande doivent être pris en compte lors du calcul de la demande globale de l'eau.
6. La protection de la qualité de l'eau de mer contre la pollution terrestre, parce que l'eau de mer est devenue une ressource stratégique pour l'eau dessalée.
7. L'évaluation et la sélection des technologies les plus appropriées pour le dessalement de l'eau de mer. Les technologies possibles à prendre en considération sont: l'osmose inverse, la distillation multi-effet, l'électrodialyse etc.....
8. La planification et la gestion des ressources en eau doivent être adaptées au changement climatique.

Références Bibliographiques

1. Abdel Kader Ould Mohamed-Sadeck (2010) L'Évaluation Environnementale Stratégique (ÉES) du Secteur de l'Hydraulique en Mauritanie.
2. Ast JA (1999) Trends towards Interactive Water Management; Developments in International River Basin Management. *Physics and Chemistry of the Earth* 25, 597-602.
3. Bishop C (1995) *Neural Networks for Pattern Recognition*. Oxford: University Press.
4. Bockstaller C, Girardin P (2003) How to validate indicators. *Agricultural Systems* 76, 639-653.
5. Bonfatti F, Monari PD (1995) Towards a general- purpose approach to object-oriented analysis. In proceedings of the International Symposium of Object oriented Methodologies and Systems, Palermo, Italy.
6. Borgida A (1991) Knowledge representation, semantic modeling: similarities and differences. In: Kangasalo, H. (Ed.), *Entity Relationship Approach: The Core of Conceptual Modeling*. Elsevier Science Publishers.
7. Bowen RE, Riley C (2003) Socio-economic indicators and integrated coastal management. *Ocean & Coastal Management* 56, 299-312.
8. Braddock RD, Kremmer ML, Sanzogni L (1997) Feed-forward artificial neural network model for forecasting rainfall run-off. *Proceedings of the International Congress on Modelling and Simulation (Modsim 97)*, The Modelling and Simulation Society of Australia Inc., Hobart, Australia, pp. 1653–1658.
9. Brang P, Coubaud B, Fischer A, Kissling-Naf I, Pettenella D, Schonenberger W, Spork J, Grimm V (2002) Developing indicators for the sustainable management of mountain forests using modeling approach. *Forest Policy and Economics* 5, 113-123.
10. Burden FR, Brereton RG, Walsh PT (1997) Cross-validatory selection of test and validation sets in multivariate calibration and neural networks as applied to spectroscopy. *Analyst* 122(10):1015–1022. doi:10.1039/A703565I.
11. Chaffai H, Laouar R, Djabri L, et Hani A (2006) Etude de la vulnérabilité à la pollution des eaux de la nappe alluviale de Skikda : Application de la méthode DRASTIC. *Bulletin du Service Géologique National Vol 17, n°1, (2006) 63-74*.
12. Chang LC, Chang FJ, Chiang YM (2003) A two-step-ahead recurrent neural network for stream-flow forecasting. *Hydrol Process* 18:81–92. doi:10.1002/hyp.1313.

13. Coulibaly P, Anctil F, Bobée B (2000) Daily reservoir inflow forecasting using artificial neural networks with stopped training approach. *J Hydrol* 230:244–257. doi:10.1016/S0022-1694(00)00214-6.
14. Davis AM (1993) *Software Requirements: Objects, Functions and States*. Prentic-Hall International.
15. Dieste O, Genero M, Juristo N, Mate J, Moreno A (2003) A conceptual model completely independent of the implementation paradigm. *Systems and Software*, Article in Press.
16. Motschnig-Pitrik R (1993) The semantics of parts versus aggregates in data/knowledge modeling. In: *Proceedings of the CAiSE'93*. In: *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 685. Springer-Verlag, Paris, France.
17. Feitelson E, Chenoweth J (2002) Water Poverty; towards a meaningful indicator. *Water Policy* 5, 263-281.
18. Freedman DF, Weinberg GM (1982) *Handbook of Walkthroughs, Inspections, and Technical Reviews: Evaluating Programs, Projects, and Products*, Dorest House Publishing, New York.
19. Froger G, Mainguy O, Brot J, Gerardin H (2005) *Quels acteurs pour quel développement ?* Paris, GEMDEV – Karthala.
20. GIRARDIN P, BOCKSTALLER C, VAN DER WERF HMG (1999) Indicators: Tools to Evaluate the Environmental Impacts of Farming systems. *Journal of Sustainable Agriculture*, 13, p. 5-21.
21. GIWA Global International Waters Assessment (2001) European Environment Agency (EEA); Copenhagen.
22. Haddad M, Lindner K (2001) Sustainable water demand management versus developing new and additional water in the Middle East: a critical review. *Water Policy* 3, 153-163.
23. Hagan MT, Demuth HB, Beale MH (1996) *Neural Network Design*. 1st Edn., PWS Publishing Co., Boston, MA, USA., ISBN: 0-53494332-2.
24. Hani A, Lallahem S, Mania J, Djabri L (2006) On the use of finitedifference and neural network models to evaluate the impact of underground water overexploitation. *Hydrol Process* 20:4381– 4390. doi:10.1002/hyp.6173.
25. Haumer P, Jarke M, Pohl K, Weidenhaupt K (2000) Improving reviews of conceptual models by extended traceability to captured system usage. *Interacting with computers* 13, 77-95.

26. Hess U, Blairy S, Philippot P (1999) Facial mimicry. In: Philippot, P., Feldman, R., Coats, E. Eds., *The Social Context of Nonverbal Behavior*. Cambridge University Press, New York, NY, pp. 213-241.
27. Hornik K, Stinchcombe M, White H (1989) Multilayer feed forward networks are universal approximators. *Int J Neural Networks* 2:359–366. doi:10.1016/0893-6080(89)90020-8.
28. Hoydalsvik GM, Sindre G (1993) On the purpose of object oriented analysis. In: *Proceedings of the Conference on Object Oriented programming, Systems, Language and Applications*, New York, USA.
29. Hvistendahl M (2008) China's Three Gorges Dam: An environmental catastrophe? *Scientific American* [online]. Retrieved September 20, 2008, from www.sciam.com/article.cfm.
30. IAHS (2003) International Association of Hydrological Sciences. *International Hydrology Today*, UK.
31. IIDD (1995) Promouvoir le Développement Durable auprès des décideurs. Rapport annuel.
32. Jackson, M.A., 1995. *Software Requirements and Specifications- A lexicon of Practice, Principles and Prejudices*, Addison-Wesely, Reading, MA.
33. Jalala S (2005) Characterizing the multi-criteria parameters of integrated water management model in the semi-arid Mediterranean region: application to Gaza Strip as a case study. PhD thesis, Université des Sciences et Technologies de Lille, 225 p.
34. Jalala S and Mania J (2011) Characterizing the Socio-Economic Driving Forces of Groundwater Abstraction with Artificial Neural Networks and Multivariate Techniques. *Water Resources Management* (2011) 25:2147–2175. Doi: 10.1007/s11269-011-9800-7.
35. Jeunesse IL, Rounsevell M, Vanclooster M. (2003) Delivering a decision support system tool to a river contract: a way to implement the participatory approach principle at the catchment scale? *Journal of physics and Chemistry of the Earth*, Article in Press.
36. Jonker Lewis (2002) *Integrated water resources management: theory, practice, cases*. *Physics and Chemistry of the Earth* 27 pp721-722.
37. Jordan (2002) *Strategic Environmental Assessment- Water Sector*. Hashemite Kingdom of Jordan.

38. Kaiser HF (1958) The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrical*, 23, 187-200.
39. Kamp I, Leidelmeijer K, Marsman G, Hollander A (2003) Urban environmental quality and human well-being towards a conceptual framework and demarcation of concepts; a literature study. *Landscape and Urban Planning* 985, 1-15.
40. Karageorgiou M (2005) Interannual variation of the Kalamas river shoreline. Graduate Thesis, Dept. of Geography, Harokopio Univ. Athens, Greece (in Greek).
41. Kessler JJ (1997) *Strategic Environmental Analysis*. AID Environment, Amsterdam and SNV Netherlands Development Organization, The Hague, Amsterdam, p. 120.
42. Khalfaoui F (2008) Ressources en eau et gestion intégrée dans le bassin versant du Saf-Saf (nord-est algérien). Mémoire de Magister, UBM Annaba.
43. Klohn WE, Appelgren BG (1998) Challenges in the field of water resources management in agriculture. United Nations Food and Agriculture Organization.
44. Labar S, Hani A, Cunningham C et Younsi A (2006) Environmental impact of an industrial zone on a coastal aquifer (Skikda, Algeria), JIRITE'2006, 17, 18 et 19 janvier 2006, Skikda, Algeria, (Abstract book).
45. Labar S, Hani A, Cunningham C et Younsi A (2007b) Pollution control of groundwater within an industrial zone (Skikda, Algeria), Watershed Management to Meet Water Quality Standards and TMDLS (Total Maximum Daily Load) proceedings of the Fourth Conference 10-14 March 2007 (San Antonio, Texas U.S.A), ISBN 1-892769-56-5, pp264-270.
46. Lachtermacher G, Fuller JD (1994) Backpropagation in hydrological time series forecasting. In: Hipel KW, McLeod AI, Panu US, Singh VP (eds) *Stochastic and Statistical Methods in Hydrology and Environmental engineering*. Kluwer, Dordrecht.
47. Lallahem S, Mania J (2003a) A nonlinear rainfall-runoff model using neural network technique: example in fractured porous media. *Math Comput Model* 37:1047-1061. doi:10.1016/S0895-7177 (03)00117-1.
48. Lallahem S, Mania J (2003b) Evaluation and forecasting of daily groundwater outflow in a small chalky watershed. *Hydrological Process* 17:1561-1577. doi:10.1002/hyp.1199.
49. Lallahem S, Mania J, Hani A, Najjar Y (2005) On the use of neural networks to evaluate groundwater levels in fractured media. *Journal of Hydrology*. 307:92-111. doi:10.1016/j.jhydrol.2004.10.005.

50. Lee N and Walsh F (1992) Strategic Environmental Assessment: an overview, *Project Appraisal*, 7 (3): 126-136.
51. Legates DR, McCabe GJ (1999) Evaluating the use of “goodness-of-fit” measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. *Water Resources*, volume 35(1):233–241. doi:10.1029/1998WR900018.
52. Lippmann RP (1987) An introduction to Computing with Neural Nets. *IEEE ASSP Magazine* pp 4–22.
53. Liu J, Savenije HHG, Xu J (2003) Forecast of water demand in Weinan City in China using WDF-ANN model. *Phys Chem Earth* 28:219–224. doi:10.1016/S1474-7065(03)00026-3.
54. Loi National de l’Eau (2005) – Le Gouvernement d’Algérie.
55. Loucopoulos P, Karakosta V (1995) *Systems Requirements Engineering*. McGraw-Hill, Berkshire.
56. Maier HR, Dandy GC (1996) The Use of Artificial Neural Networks for the Prediction of Water Quality Parameters. *Water Resour Res* 32(4):1013–1022. doi:10.1029/96WR03529.
57. Maier HR, Dandy GC (2000) Neural networks for the prediction and forecasting of water resources variables: a review of modeling issues and applications. *Environ Model Softw* 15:101–124. doi:10.1016/S1364-8152(99)00007-9.
58. Malta (2000) Fresh/Sea Water Quality and Wastewater Sustainability Indicators for Malta. Retrieved June 7, 2003 from <http://www.um.edu.mt/intoff/si-mo/Files/>.
59. Manoliadis OG (2002) Development of ecological indicators- a methodological framework using compromise programming. *Ecological Indicators* 2, 169-176.
60. Mayer DG and Bulter DG (1993) Statisfical validation. *Ecol. Model.*, 68, 21-32.
61. McGregor JD, Korson T (1990) Object oriented design. *Communications of the ACM* 33 (9).
62. Merlin-Brogniart C, Depret MH, LE MASNE P (2009) : Développement Durable et Responsabilité Sociale des Acteurs, L’Harmattan.
63. Minns AW, Hall MJ (1996) Artificial neural networks as rainfall–runoff models. *Hydrol Sci J* 41(3):399–417. doi:10.1080/02626669609491511.

64. Mitchell JFB, Johns TJ, Gregory JM and Tett SFB (1995) Transient climate response to Increasing sulphate aerosols and greenhouse gases. *Nature*, 376, 501-504.
65. Mylopoulos J, Borgida A, Yu E (1997) Representing software engineering knowledge. *Automated software Engineering* 5 (3).
66. Najjar YM, Basheer IA, Hajmeer MN (1997) Computational neural networks for predictive microbiology: I. methodology. *Int J Food Microbiol* 34:27–49. doi:10.1016/S0168-1605 (96)01168-3.
67. OCDE (1993) Organisation for Economic Cooperation and Development. Indicators for the Integration of Environmental Concerns into Energy Policies. OECD Environment Monographs No.79. (Monographies OCDE sur l'environnement).
68. Plan bleu (2005) La Méditerranée: les perspectives du Plan Bleu sur l'environnement et le développement durable.
69. Plan national de l'eau (2003) Rapport du ministère des ressources en eau.
70. Rajurkar MP, Kothyari UC, Chaube UC (2004) Modeling of the daily rainfall runoff relationship with artificial neural network. *Journal of Hydrology* 285:96–113. doi:10.1016/j.jhydrol.2003.08.011.
71. Requier-Desjardins Mélanie (2012) Enjeux et modes d'intégration de la dimension socio-économique dans la surveillance environnementale CIHEAM-IAMM, France, UMR MOISA / CSFD.
72. Riad S, Mania J, Bouchaou L, Najjar Y (2004) Predicting catchment flow in a semi-arid region via an artificial neural network technique. *Hydrol Process* 18:2387–2393. doi:10.1002/hyp.1469.
73. Rumelhart DE, Hinton GE, Williams RJ (1986) Learning internal representations by error propagation. In: Rumelhart DE, McClelland JL, the PDP Research Group (eds). *Paralleled distributed processing. Explorations in the microstructure of cognition. Volume 1: foundations*. The MIT Press, Cambridge, MA, pp 318–362.
74. Sakaa B, Chaffai H and Hani A (2012) The use of Artificial Neural Networks in the modeling of socioeconomic category of Integrated Water Resources Management (Case study: Saf-Saf River Basin, North East of Algeria). *Arabian Journal of Geosciences*. <http://dx.doi.org/10.1007/s12517-012-0654-y>.
75. Sakaa B, Chaffai H, Aoun Sebait B and Hani A (2013) The modeling of response indicators of integrated water resources management with artificial neural networks in the Saf-Saf river basin. *Rev. Sci. Technol., Synthèse* 26: 75 – 85.

76. Sanford J, Baumgardner J, Gibson P, Brewer W, & ReMine W (2008) Using numerical simulation to test the validity of neo-Darwinian theory. In A.A. Snelling (Ed.), *Proceedings of the sixth international conference on creationism* (pp. 165–175). Pittsburgh, Pennsylvania: Creation Science Fellowship and Dallas, Texas: Institute for Creation Research.
77. Smith OH., Petersen GW, Needleman BA (2000) Environmental Indicators of agro ecosystems. *Advances in Agronomy* 69, 75-97.
78. Spence LR, Waldon T (2001) Human Health Risk assessment Software for Contaminated Sites. RISC WorkBench User's Manual. Waterloo hydrologic.
79. Sullivan C (2002) Calculating a Water Poverty Index. *World Development* 30, pp 1195-1210.
80. Tellería José Luis (2009) Overlap between wind power plants and Griffon Vultures *Gyps fulvus* in Spain, *Bird Study*, 56:2, 268-271. Doi : 10.1080/00063650902792056.
81. Thierry R, Marie J V (2007) Les contradictions de la gestion intégrée des ressources en eau dans l'agriculture irriguée méditerranéenne. *Cahiers Agricultures* vol. 16, n°4. doi: 10.1684/agr.2007.0120.
82. Van der Werf HMG, Petit J (2002) Evaluation of the environmental impact of agriculture at the farm level: a comparison and analysis of 12 indicator-based methods. *Agric. Ecosyst. Environ.* 93, 131–145.
83. Van der Werf HMG, Sylvain Payraudeau (2005) Environmental impacts of farm scenarios according to five assessment methods. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 107, pp 1–19.
84. Van der Werf H, Zimmer C (1998) An indicator of pesticide environmental impact based on a fuzzy expert system, *Chemosphere*, 36:2225 – 49.
85. Van Passel S, Nevens F, Mathijs E, Van Huylenbroeck G (2007) Analysis: measuring farm sustainability and explaining differences in sustainable efficiency. *Ecol. Econ.* 62 (1), 149–161.
86. Water Supply and Sanitation Collaborative Council (WSSCC, 1998). Working Group on Water Supply and Sanitation Development in Africa. *Africa Sector Review*, volume1. Projet de rapport principal.
87. Wood C, Dejedour M (1992) Strategic Environmental Assessment: Environmental Assessment of policies, plans, and programmes. *Impact Assessment Bulletin*, England,

Volume. 10, p.3-22.

88. Worren NAM, Moore K, Collett P (2000) When Theories Become Tools: The Pragmatic Validity of Conceptual models. University of Oxford.
89. World Meteorological Organisation (1975) Inter-comparison of conceptual models used in operational hydrological forecasting, W.M.O, Technical series. Water Resources Research 27(9):2415–2450.
90. Xiao RR, Chandarasekar V (1997) Development of a neural network based algorithm for rainfall estimation from radar observations. IEEE Trans Geosci Remote Sens 35:160–171.