



## Analyse multicritère et caractérisation du modèle de gestion intégrée des ressources en eau dans la région d'Annaba

Azzedine Hani<sup>1</sup>, Samir Hani<sup>1</sup>, Nabil Bougherira<sup>1</sup>, Isam Shahrour<sup>2</sup>, Larbi Djabri<sup>1</sup> and Hicham Chaffai<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Water Resources and Sustainable Development Laboratory, Badji Mokhtar Annaba University, Annaba, Algeria.

<sup>2</sup>Laboratoire de Génie Civil et géo-Environnement (LGCgE), Université des Sciences et Technologies de Lille, Villeneuve d'Ascq, France.

### Résumé

La rareté des ressources en eaux conventionnelles, constitue un défi majeur pour le vingt-et-unième siècle et représente pour les pays à climat méditerranéen un souci majeur et une importante préoccupation qui affecte négativement le bien-être des citoyens et menacent l'avenir des générations futures. L'Algérie est classée dans la catégorie « pays en pénurie d'eau ». La gestion intégrée des ressources en eau dans la région d'Annaba, objet de cette recherche, vise à assurer le développement et la gestion coordonnée de l'eau, des territoires et des ressources qui s'y rapportent afin de maximiser le bien-être économique et social de manière équitable et sans toutefois compromettre la pérennité des écosystèmes vitaux. Le modèle DPSIR (Forces motrices, Pressions, États, Impacts, Réponses) a été sélectionné pour répartir les variables en 5 catégories : socio-économiques ; pressions de pollution ; qualité de l'eau ; impacts écologique et sur la santé de l'homme et la réponse des gestionnaires. Les variables les plus influentes ont été caractérisées et hiérarchisées à l'aide des réseaux de neurones artificiels et des techniques d'évaluation des risques. Les variables sélectionnées ont été classées à l'aide des techniques multivariées, de l'analyse factorielle, des composantes principales et de l'analyse de classification. Ainsi, il a été démontré qu'une combinaison de mesures pratiques est nécessaire pour assurer la gestion durable de l'eau. Cette démarche peut être utilisée pour étudier d'autres systèmes hydrogéologiques du bassin méditerranéen où la ressource en eau subit une pression anthropique inquiétante.

**Mots clés :** Réseaux de neurones artificiels ; Gestion intégrée de l'eau; Socio-économiques; Annaba.

## Multi-criteria analysis and characterization of the integrated water resources management model in the Annaba region

### Abstract

The scarcity of conventional water resources is a major challenge for the twenty-first century, and for countries with a Mediterranean climate it represents a major concern that adversely affects the well-being of citizens and threatens the future of generations to come. Algeria is classified as a "water-scarce country". The integrated management of water resources in the Annaba region, the subject of this research, aims to ensure the coordinated development and management of water, territories and related resources in order to maximize economic and social well-being in an equitable manner, without compromising the sustainability of vital ecosystems. The DPSIR model (Driving Forces, Pressures, States, Impacts, Responses) was selected to divide the variables into 5 categories: socio-economic; pollution pressures; water quality; ecological and human health impacts; and management response. The most influential variables were characterized and prioritized using artificial neural networks and risk assessment techniques. Selected variables were classified using multivariate techniques, factor analysis, principal component analysis and classification analysis. In this way, it was demonstrated that a combination of practical measures is needed to ensure sustainable water management. This approach can be used to study other hydrogeological systems in the Mediterranean basin where water resources are under worrying anthropogenic pressure

**Key Words:** Artificial neural networks; Integrated water management; Socio-economic; Annaba.

<sup>1</sup> Corresponding author: [haniazzedine@yahoo.fr](mailto:haniazzedine@yahoo.fr)

## 1-INTRODUCTION

Un nouveau modèle conceptuel de gestion intégrée de l'eau est proposé pour la gestion de l'eau de la région d'Annaba. Les variables pertinentes de la gestion de l'eau sont caractérisées et les zones géographiques en situation de pénurie d'eau sont définies [1], [2], [3]. Le but est de savoir comment établir les relations de cause à effet à utiliser comme outils d'aide à la décision. Le modèle adopté intègre à la fois des données socio-économiques (population, revenu, occupation du sol, tourisme taux de raccordement, fuites, ...), des données relatives aux pressions de pollution (déchets solides, génération des eaux usées domestiques, pesticides, fertilisants Chimiques, stations-service, ...), à la qualité de l'eau (Nitrates, Chlorures, nitrites, ...), à la santé publique, aux impacts écologiques (mortalité, perte de productivité, ...) et aux réponses des décideurs (dessalement de l'eau de mer, stockage des eaux pluviales, traitement de l'eau, ...). Il implique le passage d'une approche par l'offre à une approche par la demande pour la gestion des ressources en eau. Les approches intégrées, préventives et éco systémiques ont été introduites. Nous appliquons le développement de la méthodologie de recherche et la validation du modèle adopté à la gestion durable des ressources en eau. Nous analysons les méthodes de l'opinion des experts pour le développement et la validation du modèle et des variables et nous les comparons avec des modèles de gestion bien établis.

## 2. MATERIELS ET METHODES

Les variables pertinentes ont été caractérisées en utilisant les réseaux de neurones artificiels (RNA), l'évaluation du risque sur la santé humaine et de l'opinion des experts. Les variables choisies seront classées en utilisant l'analyse statistique multivariée, l'analyse factorielle et l'analyse en composantes principales ainsi que la classification hiérarchique. Sur la base des résultats de cette recherche de nouvelles recommandations seront élaborées pour assurer la gestion durable de l'eau et maximiser le bien-être économique et social de manière équitable et sans toutefois compromettre la pérennité des écosystèmes vitaux. Dans cette recherche, un modèle de gestion intégrée de l'eau basé sur la relation de cause à effet abordant le cycle entier de l'eau est utilisé. Des variables hydrologiques ont été développées et classées en 5 catégories qui sont d'ordre socio-économique, des contraintes de pollution, de qualité de l'eau, de l'opinion des experts, d'impact de l'activité humaine, l'évaluation du risque sur la santé humaine [2]. Les variables pertinentes ont été caractérisées en utilisant les Réseaux de Neurones Artificiels. Les variables choisies seront classées en utilisant l'analyse statistique multivariée, l'analyse factorielle et l'analyse en composantes principales ainsi que la classification hiérarchique. La région d'Annaba, située au Nord Est de l'Algérie, est confrontée à une grave pénurie d'approvisionnement en eau de bonne qualité. Les prélèvements d'eau actuels sont très loin de satisfaire la demande en termes de quantité et de qualité : l'approvisionnement en eau domestique est à seulement 100 litres/habitant/jour, comparativement aux 150 l/h/j recommandé par [4]. La surexploitation de l'aquifère a conduit à la baisse des niveaux de l'eau et à la détérioration de la qualité de l'eau en raison de l'intrusion saline. Les teneurs en Chlorures et en Nitrates sont très élevées. Le système aquifère couvre une superficie totale de 760 km<sup>2</sup>. Dans cette recherche, la zone d'étude a été divisée en 21 agglomérations.



Figure 1. Situation géographique la région d'Annaba.

### 3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

**Les réseaux neuronaux artificiels (RNA) :** les variables socio-économiques : population, revenu par habitant, occupation des sols, tourisme, accès à l'eau potable, le système des eaux usées, la couverture des eaux pluviales, la consommation d'eau par habitant, le prix de l'eau, l'efficacité dans la collecte des recettes, la consommation d'eau pour l'agriculture, l'emploi des femmes, la sensibilisation sont considérés comme des variables d'entrée possible et le captage de l'eau comme variable de sortie. Le meilleur modèle optimal trouvé est un perceptron multicouche MLP (3 couches) avec 7 nœuds cachés et une erreur minimale de 0,089. Le modèle présente de très bonnes performances en termes de vérification, avec un ratio SD de 0,045. Les erreurs quadratiques moyennes (RMSE) pour l'apprentissage, la vérification et la validation sont faibles. En outre, le coefficient de corrélation est supérieur à 99% pour l'apprentissage, la vérification et de test, ce qui indique un excellent accord entre les prélèvements d'eau observés et calculés. L'analyse de la sensibilité dans la phase de vérification indique que le revenu par habitant est le facteur socio-économique le plus pertinent, suivi par le tourisme. Les facteurs les plus influents sont dans l'ordre : la consommation d'eau pour l'agriculture, la consommation d'eau par habitant, la population, l'occupation des postes par les femmes, l'approvisionnement en eau, la couverture des eaux usées, le prix de l'eau, la couverture des eaux pluviales, eau non comptabilisée et l'occupation des sols. Le modèle RNA rejette la variable efficacité du recouvrement des recettes. Les résultats des RNA et des avis des experts sont identiques pour la variable approvisionnement en eau et ils diffèrent dans le classement des variables restantes.

**La matrice de corrélation :** elle montre que le log népérien de l'abstraction de l'eau présente une relation linéaire significative positive avec le ln (couverture des eaux pluviales), le revenu par habitant, ln (consommation d'eau pour l'agriculture), ln (population), ln (eau non comptabilisées) et ln (tourisme). La corrélation positive est plus grande entre les captages et les eaux pluviales, et la plus basse avec le tourisme. L'augmentation du revenu par habitant, l'intensification de la consommation d'eau pour l'agriculture, la croissance de la population et la hausse du nombre de touristes sont des facteurs importants qui influencent la demande en eau. Les prélèvements d'eau augmentent avec les quantités d'eau non comptabilisé. Le ln (captage d'eau) a également une relation linéaire négative avec la sécurité d'accès à l'approvisionnement en eau. Si les prélèvements d'eau augmentent alors que la salinité augmente ceci réduit les possibilités pour les utilisateurs d'accéder à une eau de qualité. Il existe une relation linéaire positive entre ln (population) et ln (tourisme), ln (couverture des eaux pluviales), le revenu par habitant, ln (eau non comptabilisées) et ln (occupation des sols). Le revenu par habitant présente des relations linéaires positives avec ln (couverture des eaux pluviales), ln (tourisme), ln (consommation d'eau pour l'agriculture) et ln (eau non comptabilisée). Le ln (utilisation des terres) présente des relations linéaires positives significatives avec le ln (couverture des eaux usées) et le ln (tourisme), et une relation linéaire négative avec ln (consommation d'eau pour l'agriculture). Le ln (tourisme) présente des relations linéaires positives avec ln (couverture des eaux pluviales), ln (eau non comptabilisées) et ln (couverture eaux usées). L'accès à l'eau potable présente une relation linéaire négative avec ln (eau non comptabilisée). Le ln (système de couverture en eaux pluviales) présente une relation linéaire positive avec ln (consommation d'eau pour l'agriculture) et le ln (eau non comptabilisée). La consommation d'eau par habitant présente une corrélation négative avec le prix de l'eau. Le ln (consommation d'eau pour l'agriculture) présente une relation linéaire positive avec le ln (eau non comptabilisée).

**Les analyses multivariées :** l'analyse du Cluster a été choisi pour classer les observations et les variables dans la même catégorie de l'ensemble de données, en groupes plus significatifs afin que chaque groupe soit plus ou moins homogènes et distinct des autres clusters. L'analyse montre deux groupes distincts de variables. Le 1<sup>er</sup> comprend le revenu par habitant, la couverture en eau pluviale, le captage d'eau, la population, le tourisme, l'eau non comptabilisée, la consommation d'eau pour l'agriculture et la consommation d'eau par habitant. Il peut être étiqueté comme le captage d'eau. Le 2<sup>ème</sup> groupe est l'occupation des sols, la couverture des eaux usées, l'emploi des femmes, l'accès à l'eau potable et le prix de l'eau. Il peut être labélisé *occupation des sols*. Le 1<sup>er</sup> groupe de communes est caractérisé par l'occupation des sols et le 2<sup>ème</sup> groupe est étiqueté par le captage des eaux souterraines.

**Analyse en Composantes Principales (ACP) :** elle a été effectuée pour les 5 catégories citées précédemment. L'analyse des facteurs de corrélation entre variables montre que le 1<sup>er</sup> facteur représente environ 42,24% de la variance totale. Il est fortement corrélé avec le captage d'eau, la récupération des eaux pluviales, la population, le revenu par habitant, le tourisme et les fuites d'eau (corrélation négative). Le 2<sup>ème</sup> facteur, représentant 16,2% de la variance, est fortement corrélé à la couverture des eaux usées, l'occupation des sols (corrélation négative) et le prix

de l'eau (corrélation positive). Le 3<sup>ème</sup> facteur, avec 13%, est corrélé significativement avec les prix de l'eau (corrélation négative) et la consommation d'eau par habitant (corrélation positive). Le Prix de l'eau présente une forte opposition avec la consommation en eau par habitant. Sur la base des ordres de grandeur du facteur de coordonnées pour les variables dans l'analyse, le 1<sup>er</sup> facteur représente *le captage d'eau*. Le facteur 2 serait caractéristique de *l'occupation des sols* et le facteur 3 de *la relation consommation d'eau / prix de l'eau*. Les résultats de l'ACP et de l'analyse des clusters présentent des similitudes et des différences entre les 5 catégories de variables. Toutefois, l'ACP donne plus de détails sur les groupes de variables (facteurs), l'association des individus (secteurs) et les variables correspondantes. Par conséquent, les résultats de l'ACP peuvent être appliqués à la formulation de la stratégie des programmes prioritaires pour gérer le problème de l'eau dans des zones géographiques identifiées. Par ailleurs, l'analyse du cluster peut être utilisée comme un outil à l'amont pour enquêter sur la hiérarchie et les formes des groupes possibles de communes et les variables correspondantes. L'Analyse des facteurs a été utilisée à des fins de comparaison avec les résultats de l'ACP. Le nombre de facteurs importants résultant de l'ACP pour les cinq catégories de variables, ont été utilisés pour l'analyse factorielle. Cette dernière a été réalisée pour les catégories socio-économiques, pression de pollution, état de qualité de l'eau, impact et réponses des gestionnaires. Les saturations des variables socio-économiques montrent que le 1<sup>er</sup> facteur, avec 38,9% de la variance totale, représente *le captage des eaux dans l'aquifère côtier*. Le 2<sup>ème</sup> facteur, avec 18,5%, peut être étiqueté « *occupation des sols* ». Le 3<sup>ème</sup> facteur, 13,7%, montre que *le prix de l'eau* est un paramètre déterminant dans la consommation de l'eau par habitant. L'analyse factorielle révèle un nouvel indicateur important dans le captage des eaux, il s'agit de *la consommation d'eau pour l'agriculture*. Par contre, elle réduit le rôle de la variable tourisme.

## CONCLUSION

Dans cette recherche, un nouveau modèle conceptuel a été élaboré en fonction de relations de cause à effet. Il met en évidence les éléments les plus importants et les techniques pour les caractériser, et indique que le développement de la gestion des ressources en eau doit tenir compte des aspects écologiques et de la protection des ressources disponibles. Les variables pertinentes ont été caractérisées et hiérarchisées en utilisant les RNA, les techniques d'évaluation des risques et l'opinion des experts. Les variables retenues ont été classées à l'aide des techniques d'analyse multivariée du cluster, l'ACP et l'analyse factorielle.

## Références

- [1] Plan Bleu, (2003) Commission Méditerranéenne du Développement Durable, résultats du Forum de Fiuggi sur les "Avancées de la gestion de la demande en eau en Méditerranée" Constats et Propositions.
- [2] PNUE/PAM-Plan Bleu, (2009) Etat de l'environnement et du développement en Méditerranée. PNUE/PAM-Plan Bleu, Athènes.
- [3] Rivm, (1995) A General Strategy for Integrated Environmental Assessment at the European Environment.
- [4] World Health Organization (2004) *Guidelines for Drinking-Water Quality*, third edn. Vol. 1, Recommendations. WHO, Geneva, Switzerland.