





## Résumé :

Les eaux souterraines représentent environ 98% des eaux douces potentiellement disponibles pour l'homme sur notre planète, en faisant donc une ressource fondamentale de nos sociétés. Du fait du changement climatique et du fort lien existant entre le climat et le cycle de l'eau et donc les ressources en eau, l'identification de la sensibilité des eaux souterraines aux variations climatiques est devenue primordiale, spécialement quand il s'agit d'une nappe phréatique de type tectono-karstique complexe, exposée à toute sorte de pollution et d'épuisement. Or, le climat est un système hautement complexe dont les changements contrôlés par de nombreux facteurs à la fois naturels et anthropiques, s'effectuent sur toutes échelles de temps. Suite aux changements climatiques et aux activités humaines, le Moyen Atlas, nommé « château d'eau du Maroc » est ainsi confronté à de nombreux problèmes hydrologiques. Afin d'élaborer le problème, il était impératif d'étudier l'allongement et l'alignement des formes karstiques et la néotectonique par méthode d'extraction des linéaments, ainsi chercher le lien entre les deux qui pourrait influencer ou guider les différents mouvements des eaux souterraines. Le réseau de fractures résultant est orienté NE-SO, N-S, et NO-SE avec une prédominance de la direction NE-SO, montrant une bonne corrélation entre la distribution et l'orientation des linéaments et les alignements et allongements des formes karstiques. Ce qui explique l'origine tectonique des formes karstiques de surface et l'influence de la tectonique et de la karstification sur la distribution et la fonction du système hydrologique du Moyen Atlas central. En outre, les nouveaux modèles HAND et AHP intégrés ont prouvé leur efficacité vis-à-vis la cartographie des zones potentielles d'infiltration des eaux souterraines. Seuls 3,88% de la zone d'étude présente un très bon potentiel de recharge aquifère, 17,22% montre un bon potentiel, 20,20% avec un potentiel modéré, 29,89% représente un potentiel faible, 18,60% avec un potentiel d'eaux souterraines très faible tandis que 10,49% représente un potentiel nul. La cartographie de la sécheresse par indice SPI a permis de calculer les étendues spatiales de la sécheresse météorologique et de définir, en fonction de sa sévérité le pouvoir de fournir au responsables les niveaux de risque de sécheresse au niveau des stations du Moyen Atlas Central. L'étude des changements spatio-temporels des occupations des sols ainsi les variations des températures, précipitations et les niveaux piézométrique de la nappe phréatique se manifestent dans la dégradation de la forêt, l'extension de l'agriculture et l'arboriculture, la sédentarisation, la croissance démographique et la réduction du niveau d'eau des lacs. Les résultats finaux illustrent nettement l'impact des changements climatiques, conjuguée aux facteurs anthropiques sur le fonctionnement hydrologique du Moyen Atlas central.

**Mots clés :** Linéaments structurales, karst, eaux souterraines, indice de sécheresse, changements climatiques, potentiel de recharge aquifère, HAND, AHP, Occupation des sols, Moyen Atlas, Maroc.



## Mapping of aquifer recharge potential and impacts of climate and anthropogenic changes on the hydrological functioning of complex tectono-karstic zones: the case of the central Middle Atlas, Morocco.

### Abstract :

Groundwater resources represent approximately 98% of global freshwater resources available for humans on our planet; therefore, groundwater is a fundamental resource for our societies. Due to climate change and the strong link between climate and the water cycle and so groundwater resources, an understandable concern has appeared about the potential impacts of climate change on water resources. The assessment of groundwater sensibility to climate variations has become essential. Especially when it comes to a complex tectono-karstic water table, exposed to all types of pollution and depletion. Climate is a highly complex system with variations driven by many factors, both natural and anthropogenic, occurring on all time scales. As a result of climate change and human activities, the Middle Atlas, known as the "water tower of Morocco", is faced with numerous hydrological issues. In order to elaborate the problem, it was imperative to study the elongation and alignment of karstic forms and neotectonics by lineament extraction method, and to look for the link between both that could influence or guide the different groundwater movements. The resulting fracture network is oriented NE-SW, N-S, and NW-SE with a predominance of the NE-SW direction, showing a good correlation between the distribution and orientation of the lineaments and the alignments and elongations of the karst forms. Which explains the tectonic origin of the surface karst forms and the influence of tectonics and karstification on the distribution and function of the hydrological system of the central Middle Atlas. The new integrated HAND and AHP models have proven their efficiency in mapping potential groundwater recharge areas. only 3.88% of the study area had very good groundwater potential and 17.22% had a good potential, in addition to 20.20% with moderate potential, whereas in the most part of the region, 29.89% is within poor groundwater potential, and 18.60% are within very poor groundwater potential and 10.49% with non-potential. Drought mapping by the SPI index has allowed us to calculate the spatial extent of meteorological drought and to define, according to its severity, the power to provide the managers with the drought risk levels at the level of the stations of the Central Middle Atlas. The study of Spatio-temporal changes in land use and variations in temperature, precipitation, and groundwater levels are reflected in the forest degradation, expansion of agriculture and arboriculture, population growth, and the reduction of lake levels. The results obtained from the analysis of the evolution of climatic data and piezometric levels of the groundwater table clearly illustrate the impact of rainfall variability, combined with anthropogenic factors, on the groundwater table of the central Middle Atlas.

**Key Words :** Structural lineaments, karst, groundwater, drought index, climate change, groundwater potential, HAND, AHP, land use/cover, Middle Atlas, Morocco.