

CONTRIBUTION DE LA TELEDETECTION DANS L'ETUDE ET L'EVOLUTION SPATIOTEMPORELLE DU COUVERT VEGETAL : CAS DU COULOIR DE TAOURIRT – EL AOUN ET SES BORDURES MONTAGNEUSES (MAROC ORIENTAL)

Abdelkader SBAI*, Hicham LASGAA** et Mohamed SABRI*

* Université Mohammed 1^{er}, FLSH. Oujda, Département de géographie

sbai_abdelkader@yahoo.fr ; med.hamidsab@gmail.com

**Université Moulay Ismail, Meknès, département de géographie Hichamlasgaa@yahoo.fr

Résumé: Le couloir de Taourirt-El Aoun se caractérise par un climat sec et aride. Les précipitations sont souvent inférieures à la moyenne annuelle et la température est très élevée notamment en été. De ce fait, les formations végétales denses se localisent surtout dans les zones de montagnes et aux bords des cours d'eaux, tandis que les formations faibles se trouvent au centre du couloir. En revanche, le reste de la région est dépourvu de végétation durant presque toute l'année.

Le but de cette étude est de développer des indicateurs environnementaux à partir des images Land-Sat. Cependant, nous allons nous baser sur les possibilités et les atouts de la télédétection pour cartographier les groupements végétaux du couloir et ses bordures montagneuses à partir des classifications supervisées des différentes formations. Ainsi, nous avons pensé qu'il est judicieux de faire une distinction entre les différents indices de végétations qui vont engendrer une différenciation au sein de la couverture végétale de la région allant des formations denses au sol nu. Ensuite, cette approche sera complétée par l'étude de l'indice de végétation normalisé étendu (NDVI).

Mots clés: Image; télédétection; NDVI; classification, végétation; couloir de Taourirt – El Aoun; Maroc oriental.

Summary: The Taourirt-El Aoun basin is characterized by a dry and arid climate. Rainfall is often below the annual average and the temperature is very high, especially in summer. As a result, dense plant formations are located mainly in mountain areas and at the edges of streams, while weak formations are in the center of the basin. In contrast, the rest of the region is devoid of vegetation for most of the year.

The purpose of this study is to develop environmental indicators based on Land-Sat images. However, we will use the possibilities and advantages of remote sensing to map the vegetation groups of the basin and its mountainous borders from the supervised classifications of the different formations. Thus, we thought that it is wise to distinguish between the different vegetation indices that will generate a differentiation within the vegetation cover of the region from dense formations to bare soil. Then, this approach will be complemented by the study of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI).

Keywords: Image; remote sensing; NDVI; classification, vegetation; basin of Taourirt - El Aoun; Eastern Morocco.

1. Introduction

Depuis son apparition, l'image satellite occupe une place très importante notamment dans l'observation et le suivi des phénomènes naturels et humains. Dans ce cadre, les analyses des images Landsat de 1988 jusqu'à 2009 nous ont permis de suivre l'évolution des formations végétales naturelles dans le couloir de Taourirt-El Aoun. L'objectif est de mettre en évidence les changements spatio-temporels des groupements végétaux dans le couloir.

2. Contexte géographique de la zone d'étude

Situé au milieu de la région de l'Oriental, le couloir de Taourirt-El Aïoun est limité au nord par la chaîne montagneuse des Beni Znassène, au sud par les monts de Jerada et les hauts plateaux, à l'est par la plaine des Angad et à l'ouest par la plaine de Guercif (fig.1).

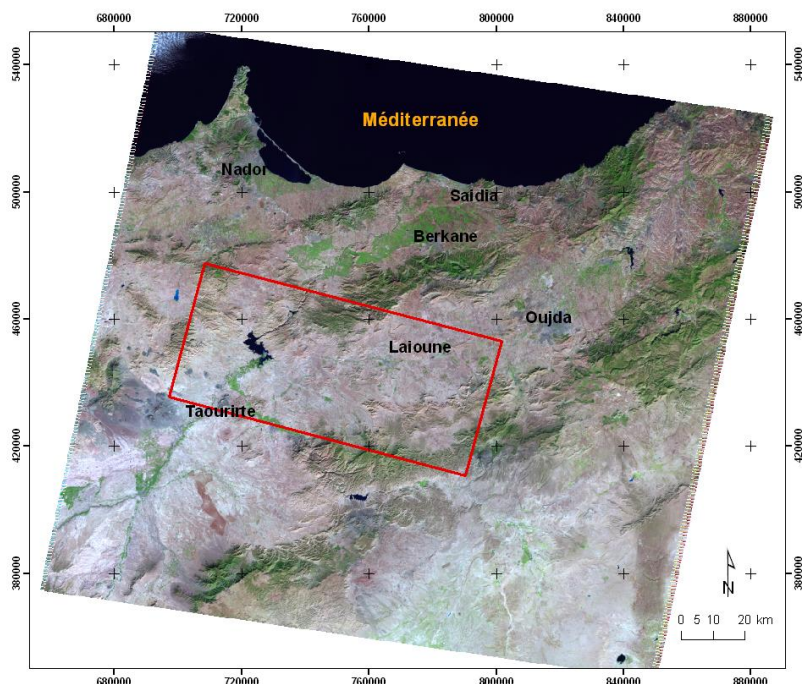


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

2.1. Caractéristiques géologiques et géomorphologiques

Le couloir d'El Aïoun-Taourirt correspond à un bassin enclavé entre deux chaînes de montagnes: les Beni Snassène au Nord et la chaîne de Jerada au Sud (Fig.1). Le paysage est composé de plusieurs unités: pointements jurassiques, glacis disséqués, terrasses... L'orientation de l'ensemble est WSW-ENE, conforme à celle des chaînes de montagne.

2.2. Un climat marqué par l'aridité

Le climat du couloir de Taourirt-El Aïoun est marqué par la sécheresse. Les précipitations annuelles sont généralement faibles: 183 mm à Melg-el-Ouidane et 236 mm à Mechraa-Hammadi. Elles montrent des variations importantes: à El Aïoun, par exemple, il est tombé 70 mm d'eau en 1983 et 478 mm en 1963. Les parties montagneuses sont plus favorisées et bénéficient d'un apport plus consistant. La température est élevée en été et basse en hiver. Le mois le plus froid est janvier avec 3,9°C comme moyenne. Les mois les plus chauds sont juillet et août avec des moyennes mensuelles maximales de 33,7°C. Ces caractéristiques thermiques entravent nettement la croissance de la végétation.

2.3. Les formations végétales

Les formations végétales dominantes dans le couloir sont ; *Noaea mucronata*, *stipa retorta*, alfa, asphodèle (Baslat Eddib), *anabasis aphylla*, armoise blanche, harmel, jujubier, *thymelaea microphylla*. Dans le domaine forestier montagneux, on trouve surtout le thuya de barbarie, le pin d'Alep, le chêne vert, l'arbousier, le caroubier, l'oléastre...

Ces plantes peuvent être groupées en trois formations principales (Sbai et al., 2002) :

- Formations forestières et matorrals (chaînes des Beni Snassen et de Jerada).
- Formations à steppes graminéennes dominées par l'alfa (*stipa tenacissima*).
- Formations à steppes chamaephytiques dominées par l'armoise (*Artemisia herba alba*).

3. Méthodologie

Nous disposons de trois images satellitales Landsat de 1988, 2002 et 2009 pour suivre l'évolution spatio-temporelle de la couverture végétale naturelle dans le couloir de Taourirt-El Aïoun. La méthodologie adoptée consiste à géoréférencer les images, combiner les bandes spectrales, classer les groupements végétaux et à reconnaître les activités chlorophylliennes de la végétation. Il y a plusieurs indices pour étudier l'évolution de l'activité chlorophyllienne. Le NDVI est le plus utilisé pour cartographier les environnements végétaux. Mis au point par Rouse *et al.* (1973), il reflète les différentes réflectances de la végétation. Le résultat d'un NDVI prend la forme d'une nouvelle image, la valeur de chaque pixel étant comprise entre 0 (sol nu) et 1 (couvert végétal maximal) (Yvon-Carmen *et al.* 2004). Il consiste à soustraire à la

bande infrarouge la bande rouge et il est exprimé par la relation :

$$NDVI = \frac{PIR - R}{PIR + R}$$

4. Résultat et discussion

Après l'identification des différentes classes retenues, il est nécessaire de mettre en évidence les signatures spectrales des principales classes étudiées en fonction des principales bandes spectrales exploitées. Cependant, chaque classe possède des caractéristiques radiométriques différentes. Les résultats sont reportés dans les figures suivantes :

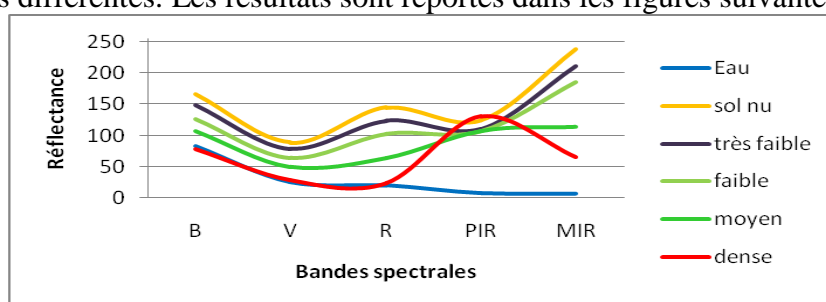


Figure 2: Réflectance radiométrique des classes végétales en 1980

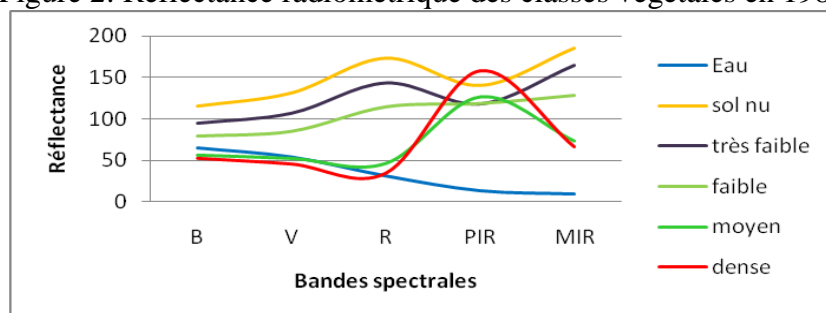


Figure 3: Réflectance radiométrique des classes végétales en 2002

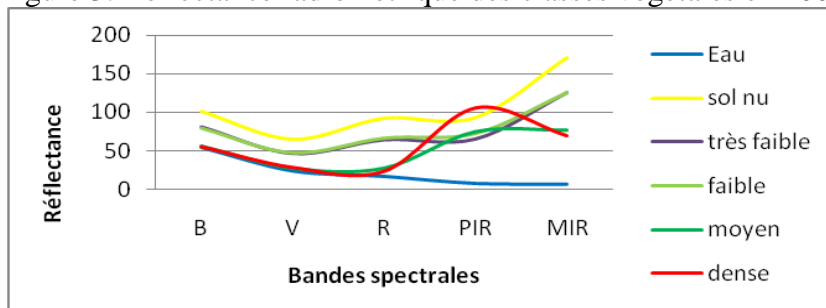


Figure 4: Réflectance radiométrique des classes végétales en 2009

Les courbes des figures 2, 3 et 4 montrent une variabilité radiométrique de la réflectance du sol, de l'eau et de la végétation (faible, moyen et dense) en relation avec les domaines spectraux (bleu, vert, rouge, proche infrarouge).

Les classifications dirigées des images satellitaires Landsat par le logiciel ERDAS Imagine nous permettent de cartographier la répartition spatiale des divers types végétaux (Fig.5, Tabl.1).

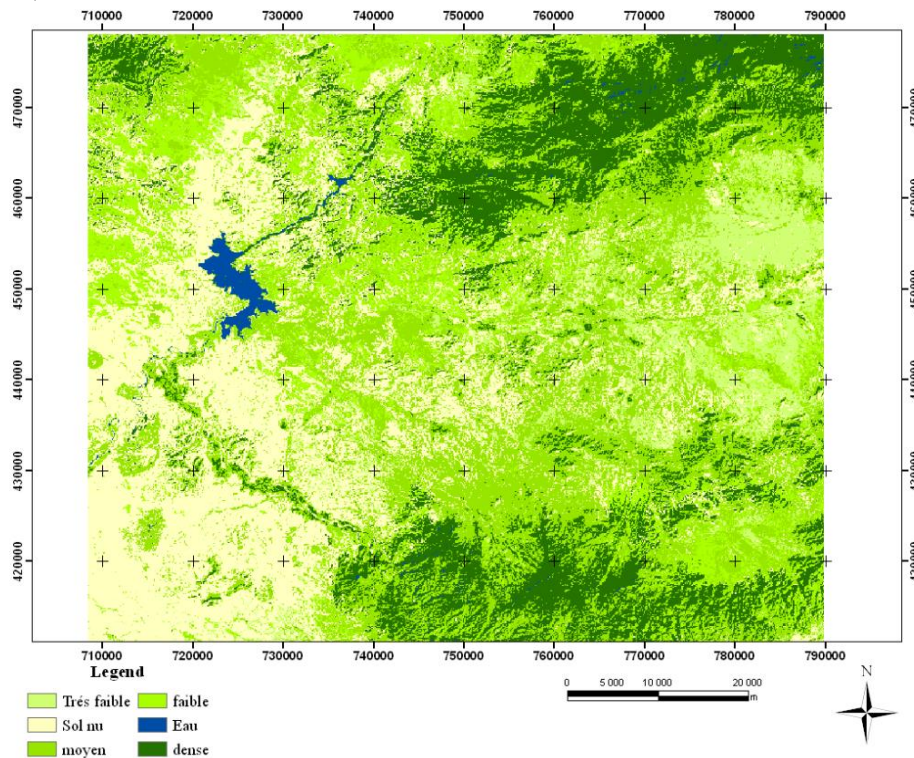


Figure 5: Classification supervisée de 1988

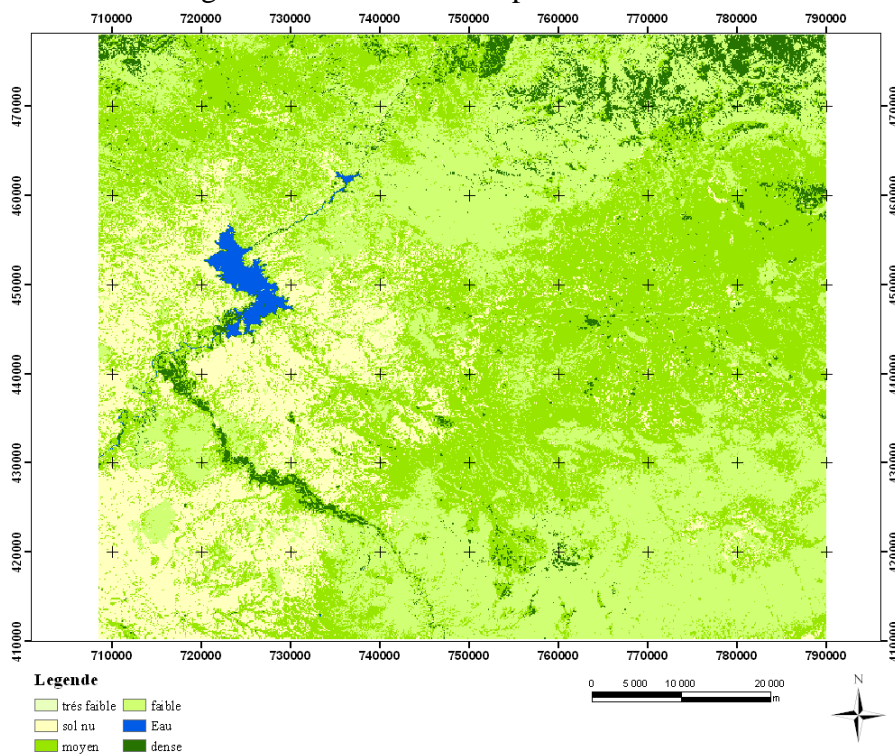


Figure 6: Classification supervisée de 2002

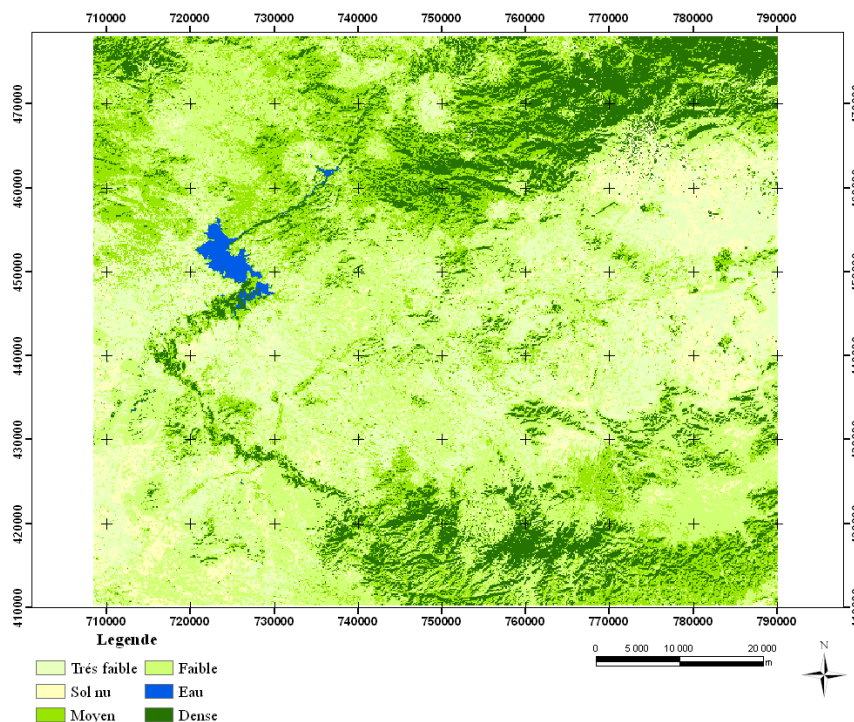


Figure 7: Classification supervisée de 2009

	1988		2002		2009	
	(ha)	%	(ha)	%	(ha)	%
Couvert végétal dense	99792	18	25278.2	4.6	84680.6	15.3
Couvert végétal moyenne	185956	34	227650	41.2	107956	19.5
Couvert végétal faible	68941.6	12	195362	35.4	203128	36.6
Couvert végétal très faible	41810.2	8	0.0	0.0	3177.47	0.6
Sol nu	151268	27	100105	18.1	48713.9	8.8
Surfaces d'eau	4555.02	1	4220.08	0.8	106934	19.3

Tabl.1. Changement du couvert végétal en 1988, 2002 et 2009

4.1. Evolution de l'occupation du sol

L'analyse de l'évolution de l'occupation du sol nous permet de distinguer les zones de végétation dense, moyenne, faible et les espaces dépourvus de végétation (fig. 8).

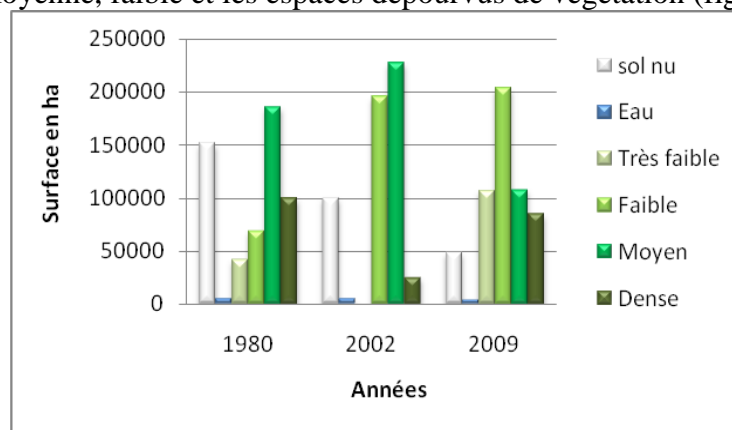


Figure 8: Evolution de la superficie des formations végétales

Le sol nu a connu un recul très important. Les surfaces de végétation très faibles ont progressé de plus de 65123,8 ha. Les surfaces de faible végétation ont évolué rapidement notamment entre 1988 et 2002 de plus de 126420,4 ha. Les formations moyennes ont reculé de -119694 ha et les surfaces de végétation dense ont reculé de -74513,7 ha.

D'une manière générale, le couvert végétal a connu un recul considérable en 2009 (fig.8). On note surtout la progression des surfaces faibles et le recul des espaces moyens et denses. Cette évolution est justifiée par les vagues de sécheresse qui ont touchée le Maroc oriental.

4.2. Evolution de l'indice de végétation normalisée (NDVI)

La comparaison des valeurs de l'indice de végétation montre peu de variation dans l'activité chlorophyllienne entre 1988, 2002 et 2009 (fig. 9). En outre, il existe une forte différence entre les valeurs minimales et les valeurs maximales pour chaque période étudiée. Cependant, les valeurs minimales sont très proches l'une de l'autre et chacune parmi elles indique que le couvert végétal minimal est plus ou moins stable. Il est formé principalement par des plantes naturelles comme l'armoise, l'alfa... Ces espèces résistent mieux à la sécheresse.

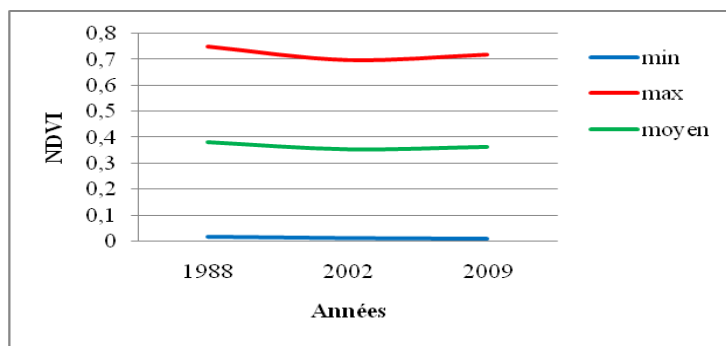


Figure 9: Evolution de NDVI

Conclusion

Le couvert végétal dense se localise essentiellement aux bords des oueds Moulouya, Za et les chaînes montagneuses. Ce type de couvert végétal plus ou moins permanent est formé souvent par des arbres et des arbustes. Par ailleurs, le couvert végétal moyen se localise également sur les rives des oueds et les piémonts. Il est formé essentiellement par des arbustes, des plantes sauvages et des terrains cultivés. La végétation faible et très faible se localise souvent au centre du couloir. Elle varie d'une saison à l'autre et elle est formée par des plantes spontanées en relation avec l'abondance des précipitations. Le sol nu montre l'absence totale de la couverture végétale. Il se situe au sud et au sud ouest du couloir.

La classification choisie a permis de mettre en exergue les différents changements spatio-temporels du couvert végétal entre 1988, 2002 et 2009. Durant cette période, les surfaces denses ont régressé en faveur des surfaces moyennes et faibles. Ce recul est dû essentiellement au climat sec caractérisé par des précipitations faibles et irrégulières.

Par ailleurs, l'étude de l'activité chlorophyllienne des plantes à travers le NDVI montre aussi un changement de l'état florissant des plantes. Il a subi un recul surtout entre 1988 et 2002. Il existe aussi une grande différence entre les valeurs maximales et minimales, ce qui signifie qu'il y a une large superficie qui est formée par des plantes très dégradées dont les valeurs NDVI s'approchent beaucoup de celles du sol nu.

Bibliographie

- Carmen Hountondji Yvon, Ozer Pierre et Nicolas Jacques, 2004. Mise en évidence des zones touchées par la désertification par télédétection à basse résolution au Niger. *Cybergeo: European Journal of Geography, Environnement, Nature, Paysage*, 291: 19.
- Sbai A., Ghzal M et Belrhiti H., 2003. Mutations de l'espace pastoral et dégradation du milieu physique : cas du couloir d'El Aïoun – Taourirt (Maroc nord-est). 4^{ème} Rencontre Nationale des Géographes Ruralistes Marocains « Dynamique des espaces agricoles au Maroc », Rabat, 6-8 mars. P. 11-36.

L'EVOLUTION DE L'UPWELLING COTIER MAROCO-MAURITANIEN DANS LE CONTEXTE DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES CONTEMPORAINS

Laila AMRAOUI, Université Ibn Zohr, l.amraoui@uiz.ac.ma, lailaamraoui@yahoo.com

RESUME: Depuis les années 1990, plusieurs spécialistes ont affirmé que les systèmes d'upwelling dans le monde connaîtront une intensification parallèlement aux changements climatiques en cours (Bakun, 1990). Cette thèse s'appuie sur le fait que la différence de réchauffement, plus fort sur le continent qu'au niveau de l'océan, renforcerait les alizés, étant le moteur aérologique des remontées froides. Le but de cette étude est de suivre l'évolution spatio-temporelle du phénomène de l'upwelling côtier et des alizés au niveau de la côte atlantique maroco-mauritanienne et de vérifier par la même occasion cette hypothèse. Les données exploitées sont issues du radiomètre AVHRR pour l'upwelling et les températures de surface marine (TSM), et les Réanalyses -1 du NCEP/NCAR pour les vents de surface.

Les résultats obtenus ne vont pas tous dans le sens d'une intensification de l'upwelling côtier. Ils indiquent, en ce qui concerne le vent, une baisse de sa vitesse, et une rotation de la rose des vents du nord vers le nord-est pour les alizés maritimes. En même temps, l'upwelling montre une intensification entre 1964 et 1988 excepté au niveau de la côte saharienne marocaine et au niveau de la Mauritanie. Ultérieurement à cette date, une légère augmentation de l'activité de l'upwelling est observée au nord du Maroc, tandis qu'elle continue de s'affaiblir sur le reste de la côte maroco-mauritanienne.

Mots-clés : upwelling – Maroc – Mauritanie – télédétection – Alizés – changement climatique.

ABSTRACT: Since the 1990s, several experts have argued that upwelling systems around the world will intensify in step with ongoing climate change (Bakun, 1990). This thesis is based on the fact that the difference in warming, stronger on the continent than at the ocean, would strengthen the trade winds being the aerological engine of the upwellings.

The aim of this study is to follow the spatio-temporal evolution of the phenomenon of coastal upwelling and trade winds along the Moroccan-Mauritanian Atlantic coast and to verify at the same time this hypothesis.

The exploited data come from the AVHRR radiometer for upwelling and marine surface temperatures (TSM), and the NCEP / NCAR Reanalysis -1 for surface winds.

The results obtained are not all in the direction of an intensification of coastal upwelling. They indicate, with regard to the wind, a decrease of its speed, and a rotation of the wind rose from north to north-east for the maritime trade winds. At the same time, upwelling shows an intensification between 1964 and 1988 except at the coasts of the moroccan sahara and Mauritania. Since the end of this period, a slight increase in upwelling activity is observed in northern Morocco, while it continues to weaken on the rest of the Moroccan-Mauritanian coast.

Keywords: upwelling – Morocco – Mauritania – remote sensing – trade winds – climate change.

Introduction

Le Maroc, avec ses 2934 kilomètres de côte atlantique, est la première puissance halieutique en Afrique et dans le monde arabe. L'exploitation des ressources halieutiques contribue d'une manière significative à la richesse nationale et à l'équilibre de la balance commerciale. Tout comme pour le Maroc, la pêche côtière est à l'origine du rôle socio-économique capital du littoral mauritanien. Avec ses 720 kilomètres de façade maritime de Nouadhibou à N'diogo, et sa Zone Economique Exclusive (ZEE) de 234 000 km², la Mauritanie dispose d'un formidable potentiel halieutique, qui la classe en deuxième puissance halieutique en Afrique et dans le monde arabe, directement après le Maroc (Delafon, 2005).

Cette richesse halieutique est due principalement au phénomène de l'upwelling, qui permet la remontée avec les courants froids de sels minéraux, favorisant ainsi le développement de la faune maritime.

Dans le contexte des changements climatiques contemporains, certains scientifiques ont fait valoir que l'activité de l'upwelling s'intensifierait à l'échelle mondiale (Bakun, 1990). Un des objectifs de ce

papier est de vérifier la véracité de cette hypothèse en suivant l'évolution spatio-temporelle de ce phénomène clé de la dynamique océano-atmosphérique dans les deux pays pendant les six dernières décennies. Dans un deuxième temps, ce travail vise à vérifier l'avènement d'une rupture climatique touchant l'upwelling et la dynamique aérologique, parallèlement au tournant climatique des années 1970, démontré par plusieurs travaux au niveau de l'hémisphère Nord (Amraoui, 2010; Favre, 2007; Pommier, 2005).

1. Les données utilisées : la base Pathfinder des Températures de Surface Marine (TSM) et les données NCEP/NCAR pour les vents.

Les données exploitées sont les images thermiques issues du radiomètre AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer). Seuls les produits mensuels (obtenus à partir des images quotidiennes) qui représentent les TSM couvrant la période 1985-2002, sont utilisés. Ils sont caractérisés par une résolution spatiale de l'ordre de 9 km et une résolution thermique de 0,125°C, très compatibles avec la détection et le suivi du phénomène de l'upwelling.

Notons que l'exploitation des données Pathfinder est entachée par la présence systématique de nuages. Ceux-ci étant généralement plus froids que la surface de la mer, la valeur de la température de brillance enregistrée par le capteur est souvent inférieure et peut être confondue avec les eaux d'upwelling, plus froides. Une étape préliminaire à l'exploitation de ces données qui consiste à remplacer ces données considérées comme erronées ou manquantes s'est imposée. Pour ce fait, une interpolation linéaire a été appliquée afin de pallier le problème des données manquantes.

Pour l'analyse de l'évolution des vents favorables au déclenchement de l'upwelling, nous avons utilisé les fichiers des vents méridiens et ceux des vents zonaux extraits des Réanalyses 1 du NCEP/NCAR¹ (Kalnay et al, 1996). Ces données sont caractérisées par une résolution spatiale de 1,87° * 1,87° latitude et longitude et couvrent la période 1950-2008. Les traitements statistiques visant à préparer ces données pour l'étude d'une part, et à réaliser le suivi chronologique d'autre part ne seront pas évoqués dans ce papier mais font l'objet d'un exposé détaillé dans Amraoui, 2013.

2. Etablissement d'un indice de l'upwelling (ITNU).

Afin de quantifier l'évolution spatio-temporelle de l'upwelling en termes d'intensité, nous avons établi un Indice Thermique Normalisé de l'Upwelling noté (ITNU), adapté de Demarcq et Faure (2000). Il est basé sur la différence de température entre les eaux côtières et les eaux du large en utilisant comme seule variable les données de TSM. L'ITNU est calculé selon la formule suivante :

$$\frac{TSM_{\max} - TSM_{\text{ind}}}{TSM_{\max} - TSM_{\text{up}}}$$

Où :

TSM max est la température maximale repérée sur chaque radiale ;

TSM ind est la valeur thermique de chaque point composant la radiale ;

TSM up est la température de l'upwelling qui est le minimum des moyennes annuelles de tous les points de la radiale considérée.

Nous avons fixé un seuil de différence de température de 3°C pour affirmer la présence ou l'absence des résurgences des eaux froides près de la côte (Wooster, 1976). L'intensité de l'ITNU est donc la valeur maximale de l'indice calculée pour chaque radiale. Elle est exprimée en degrés centigrades.

3. L'évolution spatio-temporelle de l'upwelling côtier maroco-mauritanien

Les analyses statistiques (1985- 2002) sont complétées par une compilation bibliographique qui permet de rendre compte de l'évolution de l'upwelling côtier au Maroc et en Mauritanie avant l'année 1985 en intégrant les années 1970, période charnière sur le plan climatique dans la région. Cette compilation intègre aussi l'évolution de ce phénomène après 2002.

3.1. Synthèse de l'évolution de l'upwelling avant 1985 : des changements sensibles à partir des années 1970.

¹ National Center for Environment Prediction / National Center for Atmospheric Research

L'objectif principal de cette synthèse fondée sur des travaux qui ont retracé l'évolution de l'environnement côtier au Maroc et en Mauritanie avant 1985 voire avant les années 1970, est d'apporter un éclairage sur une éventuelle transition climatique pendant les années 1970 (Amraoui, 2010 ; Favre, 2007).

Parmi ces travaux, celui d'Agoumi et Orbi (1992) s'est intéressé à l'évolution de l'upwelling dans la région d'Essaouira (31°N) en s'appuyant sur l'indice de l'upwelling calculé à partir des données de vent relatives à la période 1952-1988. L'évolution interannuelle de l'indice de l'upwelling montre dans cette région, un changement de phase à partir de l'année 1975. Entre 1952 et 1975, l'indice de l'upwelling se caractérise par une variabilité interannuelle faible tout en se situant majoritairement au-dessus de la moyenne. Entre 1976 et 1984, l'activité de l'upwelling se réduit considérablement. « Après cette chute, l'upwelling a repris en 1985-1986 pour connaître une nouvelle baisse en 1988 » (Agoumi et Orbi, 1992). Roy (1992) a procédé à un découpage du littoral nord-ouest africain en 8 zones dans l'objectif d'analyser les fluctuations interannuelles de l'upwelling de chacune d'entre elles. Parmi ces 8 zones, 6 font partie de notre domaine étudié. Sur la période 1964-1988, les séries chronologiques de l'indice de l'upwelling côtier (IUC), selon cette étude, montre un accroissement au Maroc nord et sud malgré une baisse entre 1980 et 1984. Entre 25°N et 16°N (zone qui inclut la côte saharienne et mauritanienne), l'IUC atteint des valeurs maximales pendant la décennie 1970 pour décroître jusqu'à la fin des années 1980.

L'intensification de l'upwelling pendant les années 1970 semble répondre à une intensification des alizés pendant cette même période (Roy, 1992).

3.2. Evolution interannuelle de l'upwelling (intensité de l'ITNU) au Maroc et en Mauritanie en 1985-2002.

Les séries de l'ITNU qui couvrent la période 1985-2002 ont fait l'objet d'une analyse des tendances basée sur la régression linéaire. La figure 1 qui représente la pente des tendances linéaires de l'intensité de l'ITNU montre pour l'hiver² des tendances nettement marquées qui opposent le nord au sud pendant le début de l'hiver (novembre et décembre). Ces tendances sont moins marquées en avril (figure 1).

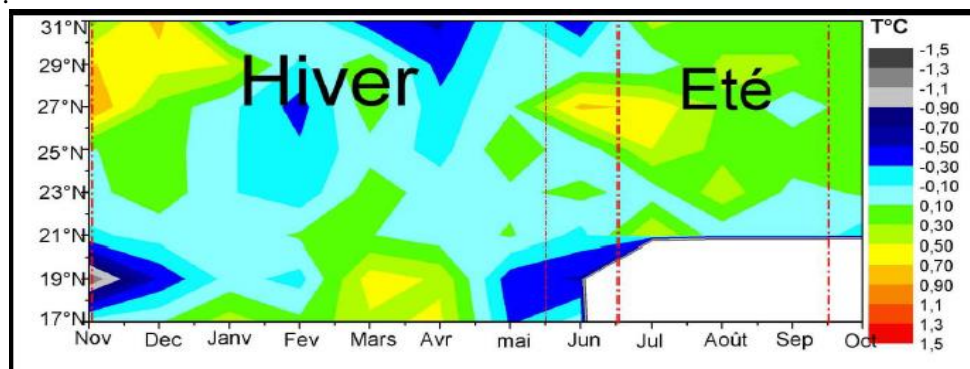


Figure 1. Indice thermique de l'upwelling ITNU : Régression linéaire 1985-2002 (les couleurs foncées correspondent à des valeurs négatives).

En effet, des baisses de l'intensité de l'ITNU de l'ordre de -1,2°C et de -0,4°C sont constatées à la latitude du cap Timiris (17°N) respectivement en novembre et en décembre (Figure 1). Simultanément, la zone comprise entre les parallèles 27°N (Tarfaya et cap Juby) et 31°N (nord du cap Ghir) connaît quant à elle, une évolution positive de l'intensité de l'ITNU qui persiste jusqu'en janvier tout en montrant des nuances entre les trois mois de novembre, décembre et janvier et entre les latitudes 27, 29 et 31°N (Figure 1). Ainsi, le mois de novembre enregistre une augmentation de l'ITNU de l'ordre de 0,8°C dans la région de Tarfaya et cap Juby (27°N) qui continue d'augmenter mais moins fortement, vers le nord jusqu'au cap Ghir (31°N) pendant les trois mois précités.

² L'hiver pour cette étude comprend toute la période entre novembre et mai en conformité avec le découpage saisonnier des TSM et de l'upwelling obtenu à la suite de l'application d'une ACP (Analyse en Composantes Principales) (Amraoui, 2013).

Une légère intensification de l'upwelling pendant les deux mois de mars et avril au sud de la Mauritanie s'oppose à un affaiblissement de l'intensité de l'ITNU dans la zone septentrionale comprise entre Lāayoune et cap Ghir (29°N-31°N) (Figure 1). La zone de l'upwelling permanent (entre 21°N et 27°N) connaît, contrairement aux deux zones où l'upwelling est saisonnier, une variabilité temporelle très faible voire une stabilité durant la période étudiée (1985-2002).

Pendant la saison estivale, la manifestation de l'upwelling concerne en plus de la zone de l'upwelling permanent, la zone située au nord du cap Blanc. L'évolution interannuelle estivale de l'upwelling durant la période 1985-2002 se caractérise de manière générale par une faible tendance à la hausse voire par une stabilité (Figure 1). Les seules tendances significatives sont observées en juillet dans deux secteurs qui se situent dans la zone de l'upwelling permanent. La première est observée à la latitude 27°N (sud du cap Juby) avec une augmentation de 0,64°C (Figure 1). La seconde est observée au cap Blanc avec une intensification de 0,52°C (Figure 1).

Alors qu'aucune tendance significative n'est observée pendant le mois d'octobre, en juin l'ITNU se renforce dans la limite nord de la zone où l'upwelling est permanent (27°N). Cette intensification est de l'ordre de 0,76 °C (Figure 1). Parallèlement, un affaiblissement de - 0,52 °C de l'intensité de l'ITNU est enregistré au 31°N où l'upwelling est plutôt estival (Figure 1).

5.3. Evolution plus récente de l'upwelling maroco-mauritanien : ultérieurement à 2002.

Les travaux de Demarcq (2009) montrent entre 1985 et 2007, une nette tendance au réchauffement des TSM dans le domaine océanique compris entre 50°N et 50°S et entre 140°O et 30°E (+0,31 °C par décennie). Le bassin atlantique tropical oriental est la zone océanique qui se réchauffe le plus. Ceci est d'autant plus vrai pour la zone comprise entre 10°N et 20°N (sud du système canarien) où l'augmentation des TSM atteint 0,5°C par décennie (Demarcq, 2009). Cette même étude fait état d'un réchauffement moindre dans les zones côtières d'upwelling ouest africain (+0,42 °C par décennie) en comparaison aux autres marges continentales des océans (+0,56 °C par décennie).

Ce résultat aurait pu conforter les analyses de Bakun (1990) dans la mesure où un renforcement de l'activité de l'upwelling pourrait être à l'origine de l'atténuation du réchauffement dans les zones de l'upwelling. Mais ceci n'est pas vérifié dans toutes les zones lorsque d'autres paramètres environnementaux spécifiques aux zones de l'upwelling sont pris en considération. Dans ce cadre, la même étude met en évidence des tendances opposées des vents favorables aux résurgences des eaux froides entre le nord et le sud du système des Canaries. Au moment où ces vents gagnent 0,26 m/s par décennie au nord entre 1998 et 2007, ils perdent 0,26 m/s par décennie au sud. La baisse de l'intensité des vents au sud du système des Canaries est accompagnée d'une baisse de la biomasse représentée par la chlorophylle a qui enregistre la baisse la plus importante de tous les systèmes de l'upwelling, soit -0,6 mg Chl-a m⁻³ par décennie durant la même période. Cette tendance négative touche toute la zone comprise entre 10°N et 31°N avec une forte extension vers le large qui dépasse le plateau continental et dont le maximum d'extension situé entre 15°N et 20°N est de 1000 km (Demarcq, 2009).

Cette analyse corrobore celle d'Ould Taleb Ould Sidi (2005), qui indique que l'indice de l'upwelling mauritanien établi par l'IMROP³ enregistre une décroissance linéaire entre 1958 et 2003 avec un minimum d'activité enregistré en 1997 et un maximum daté de 1959.

4. L'évolution des conditions aérologiques favorables au déclenchement de l'upwelling (vents de direction N et leur vitesse) en 1950-2008.

A l'échelle annuelle, la vitesse moyenne des vents montre une décroissance entre 1950 et 2008 aussi bien au Maroc qu'en Mauritanie avec des foyers plus sensibles aux niveaux de la côte centrale marocaine, des Iles Canaries et de la totalité de la côte mauritanienne (figure 2).

³L'Institut Mauritanien de Recherches Océanographiques et des Pêches.

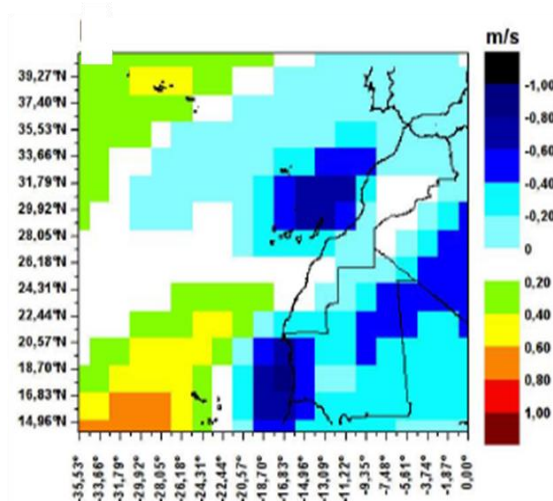


Figure 2. Pente de la courbe de régression linéaire des Moyennes annuelles de la vitesse du vent en m/s pendant la période 1950-2008.

Parallèlement, un basculement du régime éolien est constaté pendant cette période. En effet, sur les côtes saharienne et mauritanienne, les alizés maritimes (al.m) de direction nord (Figure 3-a) voient leur fréquence diminuer (jusqu'à - 17%), contrairement à celle des al.m de direction nord-est qui augmente (+ 15%) (Figures 3-b). La baisse de la vitesse du vent peut donc s'expliquer par la baisse de la fréquence de l'al.m naissant (direction N), caractérisé par un grand dynamisme que lui confère la force des pulsations successives des Anticyclones mobiles intégrant l'Anticyclone des Açores. La décélération moyenne annuelle observée des al.m le long de la côte maroco-mauritanienne mais notamment dans la zone des Canaries et sur la côte mauritanienne est très représentative de la tendance à la baisse de la vitesse des al.m constatée à l'échelle mensuelle.

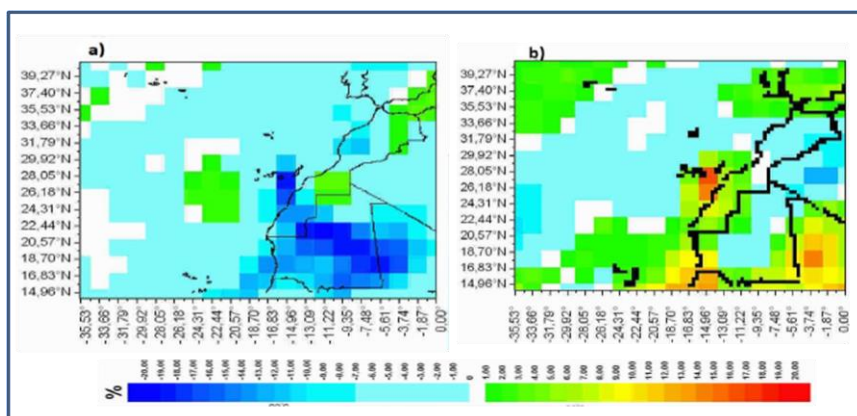


Figure 3. Pente de la courbe de régression linéaire des moyennes annuelles de la fréquence relative des directions N (a) et NE (b) du vent en % pendant la période 1950-2008

En effet, à l'exception du mois de mars pendant lequel la vitesse des al.m enregistre une faible tendance à la hausse dans la zone des Canaries, tous les mois de l'année se caractérisent par une tendance à la baisse de la vitesse du vent sur la côte atlantique. Cette tendance à la baisse s'accroît pendant l'été (JJA) et le début de l'automne (septembre) (Non illustré).

A l'image de l'évolution enregistrée par l'upwelling pendant les années 1970, à leurs tours, la fréquence de la composante nord de l'al.m et sa vitesse ont connu un tournant lors de cette période. Il est légèrement plus précoce puisqu'il s'est produit plus précisément entre les années 1960 et 1970 (Amraoui ; 2010). Ce tournant s'est traduit par des ruptures de stationnarité qui ont accompagné la baisse de la vitesse du vent ainsi que la fréquence des al.m de direction nord. Nous notons enfin que la saison hivernale qui se démarque des autres saisons par une tendance à la hausse de la vitesse du vent, n'a pas enregistré la même rupture la veille de la décennie 1970, en ce qui concerne ce paramètre. Bien

que les changements directionnels principaux s'y soient produits, à l'image des autres saisons, entre 1966 et les années 1970, les ruptures concernant l'augmentation de la vitesse du vent en hiver, se sont produites entre la fin des années 1970 et le milieu de la décennie 1990.

Conclusion

Entre 1964 et 1988, l'upwelling montre une intensification continue au Maroc, mais une baisse au Sahara marocain et en Mauritanie à partir des années 1970. Ce contraste entre la côte marocaine et la côte mauritanienne caractérise aussi l'évolution de l'upwelling entre 1985 et 2002. A l'échelle annuelle, l'évolution de l'indice thermique de l'upwelling traduit une baisse au niveau de la côte mauritanienne, alors qu'au niveau de la côte marocaine, une légère augmentation de son intensité est constatée. De 2002 à 2007, les analyses traduisent des évolutions qui ont été favorables à une intensification de l'upwelling au nord du système canarien (au nord de la latitude 31°N) entre 1985 et 2007, et à son affaiblissement au sud de cette latitude 31°N.

Parallèlement à la baisse de l'activité de l'upwelling qui touche donc plus particulièrement la côte mauritanienne, la dynamique aérologique pendant les six dernières décennies (1950-2008) évolue dans le sens d'un affaiblissement de la vitesse des al.m, et de leur direction N, qui est la plus favorable au déclenchement des résurgences côtières froides. Si ce constat s'applique à toute la côte maroco-mauritanienne, il est plus significatif sur la côte mauritanienne et le secteur des Canaries.

Bibliographie

- Agoumi A et Orbi A., 1992 - Evolution météorologique et upwelling le long de la côte atlantique marocaine. *Hydroécol. Appl*, tome 4, vol 2, pp.149-158.
- Amraoui L., 2013 – Variabilités climatiques régionales et changement global : cas de l'évolution climatique récente au Maroc, en Mauritanie et sur leur proche océan.- Thèse de Doctorat en Géographie-Aménagement. Université Jean Moulin/ Lyon 3 (France), 313 p.
- Amraoui L., 2010 – Caractérisation du tournant climatique des années 1970 en Afrique du nord-ouest. IAHS Publ, Global Change: Facing Risks and Threats to water Ressources, FRIEND conference, Fès, Maroc, octobre 2010, pp. 513-520.
- Bakun A., 1990 - Global climate change and intensification of coastal ocean upwelling. *Science*, vol. 247, pp. 198-201.
- Demarcq H et Faure V., 2000 - Coastal upwelling indexes and associated indices derived from satellite SST : Application to Octopus vulgaris recruitment. *Oceanologica Acta*, vol. 23, pp. 391-408.
- Demarcq H., 2009 – Trends in primary production, sea surface temperature and wind in upwelling systems (1998-2007). *Progress in Oceanography*, vol. 83, pp. 376-385.
- Favre A., 2007 – L'activité dépressionnaire et anticyclonique hivernale des moyennes latitudes du pacifique nord 1950-2100. Thèse de doctorat en Géographie. Université de Bourgogne, 234 p.
- Kalnay E., Kamamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Woollen J., Zhu Y., Chelliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J.M.K., Ropelewski C., Wang J., Leetma A., Reynolds R., Jenne R. et Joseph D., 1996 - The NCEP-NCAR 40-years Reanalysis project. *Bull. Am. Met. Soc.* Vol. 77-3, pp. 437-471.
- Orbi A., 2011 - Sub-Regional review of climate change and ecosystem based approach to fisheries and marine aquaculture for Mauritania and Morocco. Groupe de travail Changement climatique CCLME May 2011. Saly, Sénégal.
- Ould Taieb Ould Sidi M-M., 2005 - Les ressources de petits pélagiques en Mauritanie et dans la zone nord-ouest africaine : variabilité spatiale et temporelle, dynamique et diagnostic. Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure agronomique de Rennes, 276 p.
- Roy C., 1992 - Réponse des stocks de poissons à la dynamique des upwellings en Afrique de l'ouest : analyse et modélisation. Thèse de doctorat, Université de Brest, 146 p.
- Wooster W.S., Akun E.A., et Mc Lain D.R., 1976 - The seasonal upwelling cycle along the eastern boundary of North Atlantic. *J. Mar. Res.*, vol. 2/2, pp. 131 - 141.

APPORT DE LA TELEDETECTION SPATIALE A L'ETUDE DIACHRONIQUE DE LA DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION DU SOL DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED EL ABID (HAUT ATLAS CENTRAL, MAROC)

Rachid BISSOUR, Yahia El KHALKI, Aiman HILI

Laboratoire Dynamique des Paysages, Risques et Patrimoine
Faculté de Lettres et Sciences Humaines, Béni Mellal

bissour@usms.ma

Résumé

Cette communication vise à faire une caractérisation de la dynamique de l'occupation du sol sur bassin versant de l'oued l Abid amont barrage Bin El Ouidane (BVOEA). Ce dernier est l'un des plus grands affluents du cours d'eau de l'Oum Er Rbia. Le bassin versant étudié est situé dans le Haut Atlas Central, couvrant une superficie d'ordre 6522 km².

L'étude de l'évolution spatio-temporelle de l'occupation du sol dans le BVOEA par télédétection spatiale s'est basée sur des images satellitaires (LandSat 5 TM et LandSat 8 OLI/TIRS) sur une période de 30 ans (1984-2014). Pour évaluer l'impact de cette dynamique sur les écoulements des eaux, un indice représentant la capacité de rétention en eau au niveau de chaque classe d'occupation du sol a été étudié. L'étude des images satellitaires a été réalisée en adoptant la méthode de la classification supervisée, et la validation de cette classification a été faite en utilisant l'indice de kappa en se basant sur des images de hautes résolutions et la connaissance de terrain. Les précisions globales obtenues pour les images classifiées sont de 87,50% (1984) et de 97,41% (2014). Les indices de Kappa sont de 70,00% (1984) et 92,54% (2014). L'étude de la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol de 1984 à 2014 fait apparaître des taux moyens annuels calculés de régression pour les Forêts denses de -1,46 et les Forêts claires ou dégradés de -1,71. On observe parallèlement une progression des Sols nus ou dégradés (1,85) et des Plan d'eau (2,74). Les coefficients de rétention Cr calculés sont faibles, 130,9 (1984) et 79,7 (2014). En conséquence, cette étude montre que le bassin versant est marqué par une forte dégradation du milieu suite à une importante activité anthropique (Déforestation, surpâturage, etc.).

Mots clés : *Télédétection Spatiale, Occupation du Sol, Indice de Kappa, Oued El Abid, Haut Atlas Central*

Introduction

L'étude de la dynamique de l'occupation des terres peut être basée sur plusieurs approches qui peuvent varier en fonction des champs de recherche et des échelles spatiales d'analyse. En tant que géographes, et vu que l'échelle spatiale de notre étude est plus grande, nous étudions les changements de l'occupation des sols à partir des observations directes en utilisant des techniques de la télédétection spatiale et des systèmes d'information géographique (SIG). L'utilisation de ces techniques dans l'évaluation de la dynamique de l'occupation des terres ne sera utile que si elle est répartit dans le temps et dans l'espace. Plusieurs études (Bigot et al, 2005, Cecchi et al., 2009, Tanina et al., 2013) ont montré que la dynamique de l'occupation du sol est très liée à plusieurs facteurs, que ce soit climatiques (type du climat, température, l'humidité...), topographiques (altitudes, pentes, exposition des versants...), la nature des sols et enfin l'action anthropique.

2. Présentation de la zone d'étude

Le bassin versant de l'oued El Abid objet de cette étude est situé dans le Haut Atlas Central Calcaire, entre les latitudes 31°43'N et 32°36'N et les longitudes 5°13'W et 6°33'W (Figure 1) couvre ainsi une superficie d'environ 6522 km². Au plan géomorphologique, le bassin versant est caractérisé par la dominance des hauts plateaux (Couvreur, 1987) entourés par des monts et des crêtes plus élevés qui culminent au jbel Azourki (Sud-Ouest) à 3677 m (Leveque, 1952).

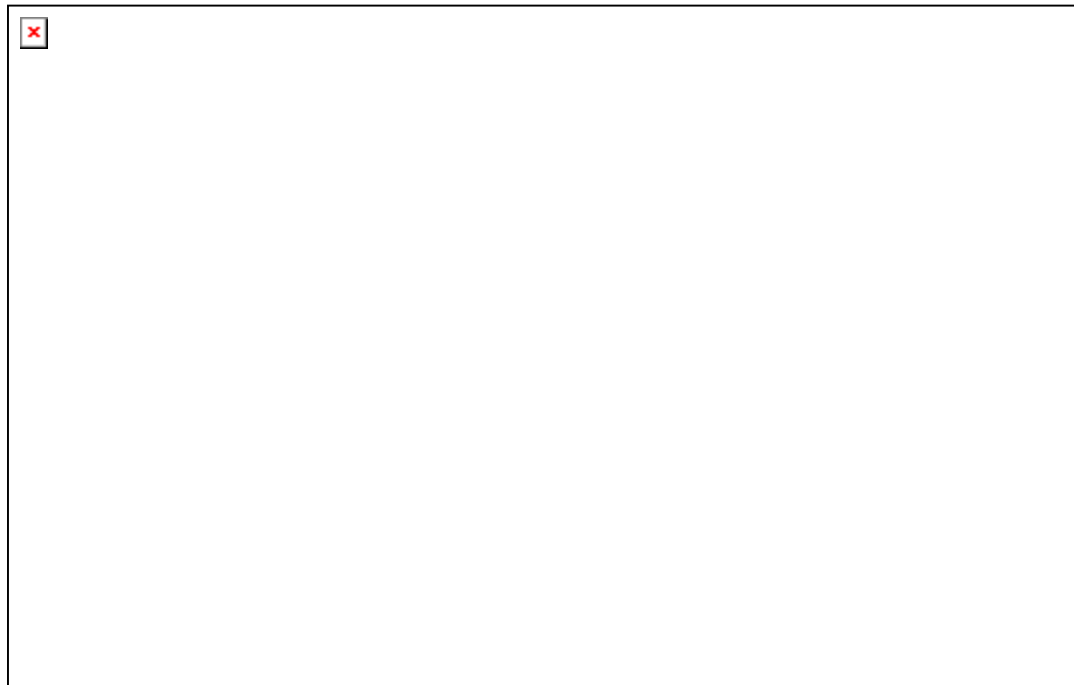


Figure 1 : carte de situation géographique du bassin versant de l'oued El Abid

Méthodologie

L'étude de l'évolution spatio-temporelle de l'occupation du sol dans le bassin versant par télédétection spatiale s'est basée sur l'utilisation des images satellitaires (images LandSat 5 TM : 18 Aout 1984 et LandSat 8 OLI/TIRS : 20 Juillet 2014).

Le processus d'interprétation des images satellites a été le suivant :

- l'identification visuelle des classes d'occupation des sol par classification supervisée en se servant du « maximum de vraisemblance » (Soro et al., 2014), les classe retenues sont : forêt dense, forêt claire ou dégradée, cultures, Plan d'eau, sols nus ou dégradés.
- la précision de la classification a été validé par la connaissance de terrain et à l'aide des images de Google Earth en calculant l'indice de kappa.
- la dynamique de l'occupation des terres a été évaluée à partir du calcul du taux moyen annuel d'expansion spatiale (T). La formule utilisée est l'une des formules appliquées par Bernier (1992) cité par Oloukoi et al. (2006) dont la variable considérée est la superficie (S). La formule de calcul de cet indice est :

$$T = \frac{[\ln(S2) - \ln(S1)]}{t * \ln(e)} * 100$$

Où : \ln est le logarithme népérien, $S1$ et $S2$ correspondant respectivement à la superficie d'une catégorie d'occupation du sol à la date t1 et t2, t est le nombre d'années d'évolution, e est la base des logarithmes népériens ($e = 2,71828$).

- l'évaluation de l'impact de la dynamique de l'occupation du sol sur l'écoulement de surface d'eau a été faite en calculant l'indice Cr qui représente la capacité de rétention en eau au niveau de chaque classe d'occupation du sol. La formule de calcul de Cr est :

$$Cr = \sum P_i * a_i$$

Où : P_i est le pourcentage en superficie de la zone d'étude occupée par la classe d'occupation du sol i , a_i un coefficient de pondération représentant la capacité de rétention en eau effective

Les a_i ont été définis pour chaque classe entre 0 (rétentions nulle) et 2 (rétentions maximale) (tableau 1). Cette définition signifie que le coefficient Cr est compris entre 0 et 200. Si Cr est supérieur à 100, cela signifie que le bassin est encore sauvage et dotés d'une importante couverture végétale, et peu propices à l'intensification des écoulements. Par contre, s'il est inférieur à 100, le bassins est très dégradé et propices à d'importants écoulements (Cecchi et al., 2009).

Tableau 1 : Coefficients de capacité de rétention pour chacune des classes d'occupation des sols

Classe d'occupation des sols	a_i
Sols nus ou dégradés	0
Forêt dégradée	1
Forêts	2
Cultures irriguées	2

Résultats

L'indice de validation de la classification

L'analyse des images de LandSat par télédétection spatiale nous permet d'identifier cinq classes d'occupation du sol. La validation de cette classification a été vérifiée par l'indice de Kappa. Les résultats de cette validation sont consignés dans le (Tableaux 2). Les deux matrices montrent que les deux images présentent des précisions globales très satisfaisantes.

Ainsi, la classification effectuée à partir des images TM (1984) montre une précision globale de **87.50%** avec un indice de Kappa d'ordre **69,51%**, et pour la classification de l'image OLI8 (2014) la précision est de **97.41 %** avec un Kappa de **92,54 %**. D'après ces deux matrices de confusion, on note que l'image OLI8 (2014) sont mieux classifiées que celles de l'image TM.

Tableau 2 : Matrice de confusion de la classification des images LandSat (1984 et 2014)

		Pixels de vérification (1984)					Pixels de vérification (2014)				
		Sn	Fc	C	Eau	Fd	Sn	Fc	C	Eau	Fd
Pixels affectés (classification)	Sn	86.86	22.02	6.47	19.41	0.00	98,22	4,78	0	5,3	0
	Fc	0.47	53.57	0.65	0.00	0.00	1,78	95,22	15,52	0	1,26
	C	12.66	24.40	92.48	0.11	3.32	0	0	84,48	0	4,87
	Eau	0.00	0.00	0.00	80.48	0.00	0	0	0	94,7	0
	Fd	0.00	0.00	0.40	0.00	96.68	0	0	0	0	93,87
	Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Sn : Sol nu, Fc : Forêt claire, C : Culture, Fd : Forêt dense

La dynamique de l'occupation du sol

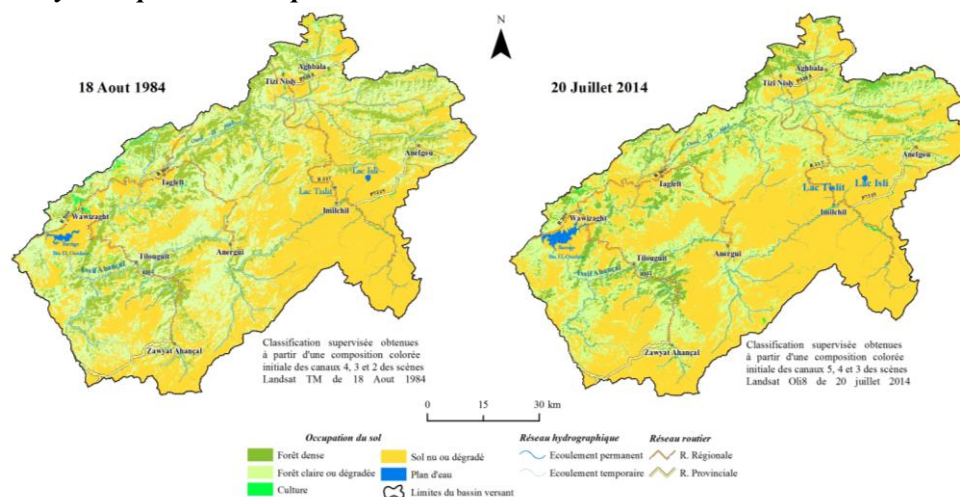


Figure 2. Évolution de l'occupation du sol entre Aout 1984 et Juillet 2014.

L'étude de la dynamique de l'occupation du sol passe par la présentation de la carte de 1984 et celle de 2014 (Figures 2). Les changements spatio-temporels qui ont lieu entre les deux images s'observent clairement.

Tableau 3 : Évolution des zones d'occupation du sol au niveau du bassin versant entre 1984 et 2014

Classes d'occupation du sol	Année 1984		Année 2014		Variation (%)	Taux d'expansion spatiale moyen annuel (%)
	Superficie (km ²)	Proportion (%)	Superficie (km ²)	Proportion (%)		
Forêt dense	888,9	13,6	573,1	8,8	-4,8	-1,46
Forêt claire ou dégradée	3317,8	50,8	1988,3	30,4	-20,4	-1,71
Agriculture	67,0	1,0	41,4	0,6	-0,4	-1,60
Plan d'eau	12,9	0,2	29,4	0,5	0,3	2,74
Sol nu	2241,8	34,3	3900,0	59,7	25,4	1,85

L

a figure 2 montre la disparition des forêts denses au profit des forêts claires ou dégradées et des sols nus. Cette dynamique a été évaluée quantitativement par les variations des superficies et des Taux d'expansion spatiale moyens annuels (T).

Le tableau (3) montre que les superficies des sols nus ont évoluées de 25,4 %. En revanche, les superficies des espaces végétales ont enregistré respectivement une baisse d'occupation d'ordre -25,6% entre 1984 et 2014.

Le (T) montre une variation très contrastée entre les différentes classes d'occupation des sols. Pour les classes des forêts denses et forêts claires, les valeurs de (T) sont d'ordre -1,46 et -1,71, alors que les sols nus, présente un T de 1,85.

L'impact de la dynamique de l'occupation sur les écoulements de l'eau

L'impact de la dégradation du couvert végétal sur les écoulements de surface à l'échelle du bassin versant étudié a été quantifié par les coefficients de rétention (Cr). Les résultats de cette quantification sont consignés dans le tableau 4.

Tableau 4 : Evolution du coefficient de rétention (Cr) dans le bassin versant entre 1984 et janvier 2014

Classes d'occupation du sol	Cr (1984)	Cr (2014)
Forêt dense	27,2	17,5
Agriculture	2,1	1,3
Forêt claire ou dégradé	101,6	60,9

D'après ce Tableau, on constate que les valeurs de Cr sont inférieures à 100 sauf la classe des Forêts claires ou dégradées. Le bassin versant est donc un milieu propice aux écoulements de surface. Ces faibles valeurs rendent compte d'une forte dégradation du milieu, et ceci peut aboutir à une expansion très intense du phénomène de l'érosion.

Discussion

Vu que les étude de l'occupation du sol ne peut être validée que si l'indice de Kappa est compris entre 50 et 75% (Pontius, 2000 cité par Oloukoi et al., 2006), les valeurs de précision globale obtenues (86,51 % et 86,57 %) de même que celles des coefficients de Kappa (0,82 et 0,84) respectivement pour l'image de 1984 et 2014 témoignent de la validité des cartes d'occupation du sol générées.

L'apport de la télédétection spatiale peut être résumé dans la mise en évidence de la tendance générale de la dynamique de l'occupation des sols. Cette tendance révèle une forte régression des forêts denses et des forêts claires ou dégradées aux profits des sols nus et dégradées. Cette dégradation notable des vastes forêts de la zone d'étude a pour origine le surpâturage, l'exploitation abusive du bois pour le chauffage et la cuisine, ainsi que l'apparition des terrains agroforestiers.

La forêt agit sur le cycle de l'eau, aussi bien sur le plan du bilan hydrologique général que sur l'alimentation hydrique des sols forestiers (AUSSENAC, 1969). Les modifications affectant la couverture végétale d'un territoire donné, qu'elles soient d'origine anthropique ou naturelle, ont une influence plus ou moins directe sur la relation existant entre les précipitations et les écoulements de surface (Grégoire et Ferrari, 1990, cité par Kouassi, 2007).

L'ampleur de l'effet anthropique sur les écoulements des eaux de surfaces à l'échelle du bassin versant a été abordée en calculant l'indice de rétention. Les valeurs obtenues de cet indice sont en totalité inférieure à 100, ce qui veut dire que le bassin versant connaît une forte dégradation. Dans ce cas, le BVOEA est dotés d'une faible capacité de rétention. Par conséquent, l'écoulement de surface est important et les phénomènes d'érosion hydrique auront tendance à se développer.

Conclusion

Cette étude met en exergue l'apport de la télédétection spatiale dans le suivi de l'évolution de l'occupation du sol et de son impact sur les ressources en eau à l'échelle du bassin versant de l'Oued El Abid. L'étude diachronique de la dynamique de l'occupation du sol par télédétection spatiale, en utilisant des images Landsat TM et Oli8/Tirs, sur une période de 30 ans de 1984 à 2014, a montré des changements notables des occupations des sols dont les impacts sur les écoulements de surface sont très remarquables. La méthode de classification supervisée a permis d'identifier cinq classes d'occupation, qui sont ; les forêts denses, les forêts claires ou dégradées, les cultures, sol nu ou dégradé et les plans d'eau. La validation de la classification a été vérifiée à l'aide des images Google Earth et la connaissance de terrain, en calculant l'indice de Kappa. Les valeurs des précisions globales et des indices de Kappa obtenues sont très satisfaisantes pour l'étude de l'occupation du sol. Les cartes produites pour les deux années 1984 et 2014 ont mis en évidence une évolution spatiotemporelle de l'occupation du sol à l'échelle du bassin versant. L'indice adopté pour la quantification du taux d'évolution des classes d'occupation est le taux d'expansion spatiale. Les valeurs moyennes annuelles calculées de cet indice montrent une régression des forêts denses (-1,46) et forêts claires ou dégradées (1,71). En revanche, la classe des sols nus ou dégradés connaît une tendance à l'évolution (1,85). L'impact de cette évolution des sols nus aux dépens des espaces végétalisés a été quantifié par le coefficient de rétention. Les valeurs de cet indice obtenues montrent des valeurs inférieures à 100 (sauf pour la classe forêt claire de l'année 1984). En effet, le bassin versant de l'Oued El Abid est marqué par une forte dégradation du couvert végétal, des sols et des conditions pluviométriques.

Références bibliographiques

- G. Aussenac, Influences du couvert forestier sur les précipitations, R . F. F. XXI - 7-1969.
- G. Couvreur, 1988 : Essai sur l'évolution morphologique du Haut Atlas central calcaire (Maroc)». Notes et Mémoires du service géologique N°318. Rabat. 391 pages.
- G. Soro, E. K.Ahoussi, E. K. Kouadio, T. D. Soro, S. Oulare, M. B. Saley, N. Soro et J. Biemi, Apport de la télédétection à la cartographie de l'évolution spatio-temporelle de la dynamique de l'occupation du sol dans la région des Lacs (Centre de la Côte d'Ivoire), Afrique SCIENCE, 2014 10(3) p : 146 - 160
- J. OLOUKOI, Vincent Joseph MAMA et Fulbert Bernadin AGBO, 2006, modélisation de la dynamique de l'occupation des terres dans le département des collines au Bénin, Télédétection, 2006, vol. 6, n° 4, p. 305-323
- M. Kouassi Caractérisation d'une modification éventuelle de la relation pluie-débit et ses impacts sur les ressources en eau en Afrique de l'Ouest : cas du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat de l'Université de Cocody, Côte d'Ivoire, (2007), 210 p.
- P. Cecchi, F. Gourdin, S. Koné, D. Corbin, J. Etienne, A. Casenave, 2009, Les petits barrages du nord de la Côte d'Ivoire : inventaire et potentialités hydrologiques, Sécheresse 20 (1) : 112-22
- P. Leveque, 1952 : Géologie appliquée aux grands travaux du Maroc (Zone française). Fascicule I. Les aménagements de l'Oued el Abid. Notes et mémoire du Service géologique N°98. Rabat. 165 pages
- S. Bigot, T. Yao Brou, J. Oszwald, A. Diedhiou, 2005, Facteurs de la variabilité pluviométrique en Côte d'Ivoire et relations avec certaines modifications environnementales, Sécheresse, 16 (1) : 5-13
- T. Drissa Soro, B. Djè Kouakou, E. Ahoussi Kouassi, G. Soro, A. Michel Kouassi, K. E. Kouadio, Marie-Solange Oga Yéi et Nagnin Soro, « Hydroclimatologie et dynamique de l'occupation du sol du bassin versant du Haut Bandama à Tortiya (Nord de la Côte d'Ivoire) », Vertigo - revue électronique, Volume 13 Numéro 3 | décembre 2013, mis en ligne le 30 décembre 2013, consulté le 16 mars 2016. URL : <http://vertigo.revues.org/14468> ; DOI : 10.4000/vertigo.14468

CARTOGRAPHIE PAR IMAGERIE SATELLITALE ET DISCRIMINATION LITHOLOGIQUE DU COMPLEXE MAGMATIQUE D'ANNA (EGLAB, DORSALE REGUIBAT, SUD-OUEST ALGERIEN)

TABELIOUNA Mohammed^{1*}, KADDOUR Hakim², ZEROUAL Ibrahim³

¹ : laboratoire Géoresources, Environnement et Risques Naturels (GEOREN), Faculté S.T.U. Université Oran2, tabeliouna@yahoo.fr

² : département de génie civil, centre universitaire d'Aïn Témouchent,

³ : département des sciences de la terre centre universitaire de Tindouf

Résumé : Cet article propose une synthèse cartographique de la structure annulaire d'Anna (Eglab, Dorsale Reguibat, SW Algérien), sur le thème des méthodes non supervisées utilisées en télédétection. La quantification et le problème connexe de la classification par la méthode des centres mobiles, aussi connue sous le nom de méthode des k-means, nous oriente vers la recherche de méthodes comme outils de généralisation de ces traitements. Contrairement à la classification supervisée, il n'existe pas de classes déterminées à l'avance ou d'étiquettes. En effectuant une étape de clustering, on tire des données certaines informations, en dégager des caractéristiques et y repérer des phénomènes sous-jacents. L'étude effectuée nous a permis de tester l'utilisation de traitements d'images Landsat 8 OLI pour la cartographie de la structure annulaire d'Anna. Les résultats obtenus ont été confrontés aux données de terrain. Les différentes approches pour accéder aux résultats escomptés sont abordées dans ce travail, ainsi un système d'analyse et d'interprétation sémantique d'images de télédétection le plus automatique possible est présenté. Sachant que la méthode k-means correspond à la formulation probabiliste du problème de classification, la finalité étant, d'une part la caractérisation des faciès géologiques de la structure annulaire d'Anna, et d'autre part mettre en place une cartographie numérique œuvrant dans le sens de la reconnaissance géologique. Le résultat de cette approche nous a permis de reconnaître cinq faciès magmatiques qui s'emboîtent pour former le complexe annulaire d'Anna.

Mots clés : structure annulaire, Eglab, Dorsale Reguibat, non supervisée, faciès, k-means

Abstract: This article provides a map of the Anna magmatic ring complex (Eglab, Dorsale Reguibat, Algerian SW), on the theme of methods not supervised used in remote sensing. The quantification and the related problem of the classification by the method of mobile centers, also known under the name of method of k-means, directs us toward the search for methods as tools of generalization of these treatments. Unlike the supervised classification, there are no classes determined in advance. By performing a step of clustering, it draws data some information, identify the characteristics and identifying underlying phenomena. The study carried out has allowed us to test the use of treatments of Landsat images 8 OLI for the mapping of Anna magmatic ring complex. The results obtained have been confronted with field data. The different approaches to access the expected results are addressed in this work, as well a system of analysis and semantic interpretation of remote sensing images as automatic as possible is presented. Knowing that the k-means method corresponds to the probabilistic formulation of the problem of classification, the purpose being, on the one hand the characterization of geological facies of the Anna magmatic ring complex, and on the other hand to put in place a digital mapping working in the direction of the geological reconnaissance. The result of this approach has allowed us to recognize five magmatic facies thus forming the magmatic complex of Anna.

Key words: magmatic, ring complex, Eglab, Dorsale Reguibat, non-supervised, k-means

1. Introduction

La télédétection est utilisée de manière croissante dans le domaine des sciences de la terre. Les traitements standards consistent à des traitements d'amélioration d'image et sont appliqués systématiquement à toute donnée image de la région d'étude. La classification d'image est effectuée pour l'extraction de l'information sur le site géologique. La cartographie est ainsi passée de son aspect classique basé uniquement sur des missions de terrain et les photos aériennes, ce qui s'avère être un travail long et complexe; à un nouvel aspect (images optimisées par l'application de tous les traitements numériques, fondée sur leur sélection en mode interactif, la numérisation...). Les méthodes supervisée et non supervisée sont utilisées dans cette étude afin de produire des méthodes combinées exploitables en géologie. 1) La classification supervisée est utilisée comme technique de détection assistée par ordinateur, permettant l'interprétation de données de l'image, 2) La classification non supervisée ou clustering, est utilisée comme technique de détection assistée par ordinateur pour déterminer automatiquement des ensembles typiques de pixels en se basant sur leur réflectance. Ces ensembles sont ensuite identifiés par un contrôle sur le terrain de certains sites.

La structure annulaire d'Anna, sujet de notre étude, est située dans la partie occidentale du massif des Eglab (Dorsale Reguibat, Sud Ouest Algérien). Cette région désertique et isolée n'a bénéficiée que de peu d'études géologiques. En 1958 Pierre Gevin publia deux cartes au 1/500000 de Tindouf et des Eglab. Une carte plus détaillée fut publiée par (Buffiere et al. 1960). Cette cartographie basée sur l'image optique présente quelques lacunes dans l'interprétation géologique. Le socle précambrien n'est pas aussi détaillé que la couverture a part les travaux de Sabaté P. 1973, 1975, 1978 et 1979. Enfin, l'intérêt porté aux structures annulaires des Eglab à commencé avec un travail sur la structure annulaire du Sud de Gara Djibilet (Tabeliouna et al., 2008). Ensuite, une deuxième structure annulaire plus importante fut étudiée dans la région de Bled M'Dena (Tabeliouna et al., 2015) et enfin la structure annulaire d'Anna (travaux en cours) dont nous essayons de dresser une cartographie dans cet article.

2. Cadre géologique et présentation de la région d'étude :

La dorsale Reguibat est située dans la partie nord du craton ouest africain (WAC). Elle est en grande partie située dans le territoire Mauritanien (Fig.1), Elle est disposée selon un axe SW-NE étiré sur plus de 1500 Km. Elle est limitée au nord par le bassin paléozoïque de Tindouf, au sud par le bassin de Taoudeni à l'est par Erg Chech et par la chaîne hercynienne des Mauritanides à l'Ouest. L'extrémité orientale de la dorsale présente deux domaines distincts : le domaine Yetti à l'ouest et le domaine Eglab à l'est (Fig.1), séparés par une zone de fractures appelé la Jointure Yetti Eglab (Sabaté, 1973).

La structure annulaire d'Anna, est située dans la partie occidentale du domaine d'Eglab., elle est limitée au Nord et à l'Ouest par Erg Eguidi, à l'Est par Deleat Jnoun et au Sud par la série de Chegga.

3. Traitements élaborés

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) effectue une analyse en composantes principales d'une série d'images et en produit de nouvelles. Celles-ci contiennent les composantes principales, qui représentent des variables non-corrélées qui expliquent progressivement le degré de corrélation existant entre ces images d'entrée. Cette technique est souvent utilisée pour réaliser une compression des données, car les deux ou trois premières composantes principales expriment généralement 90 à 99% de la variance des images d'entrée. Dans ce cas, il est possible de négliger les autres composantes qui n'expriment qu'une toute petite partie de la variance totale. Cette technique est

également très utile lors de l'analyse de données présentées sous forme de séries temporelles. Deux techniques sont proposées : l'analyse en composantes principales et l'analyse en composantes principales normalisées.

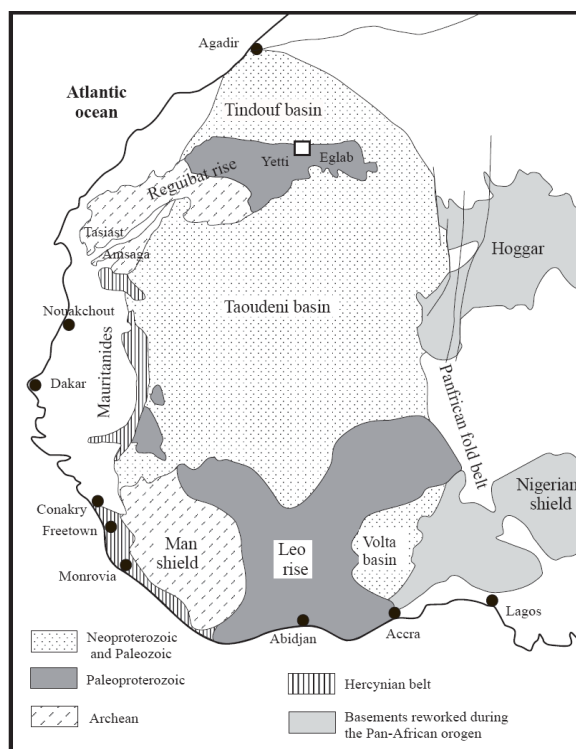


Fig.1: schéma géologique du craton ouest africain (COA), le carré blanc marque la situation du secteur d'étude au niveau de la jointure Yetti-Eglab.

Dans ce cas, le calcul se fait à l'aide de la matrice de corrélation plutôt qu'à l'aide de la traditionnelle variance covariance.

En partant d'une composition colorée d'images on applique le principe de la méthode cluster (Richards, J.A., et_X. Jia, 1999) qui présente un algorithme de classification non supervisée (automatique) d'une image composite.

Les étapes de l'algorithme, se résument donc ainsi (Levrard 2013):

- ✓ Initialisation : Choix des centres et détermination de la partition de Voronoi associée.
- ✓ Etape espérance conditionnelle : Calcul des nouveaux centres.
- ✓ Etape de projection: Détermination de la nouvelle partition de Voronoi.
- ✓ Critère d'arrêt : Convergence (vers un minimum local).

Il faut placer les faciès certifiés et ceux douteux ($Pr \leq 0.1$). Les images vont permettre de comparer les résultats avec l'image initiale par extraction d'un indice de corrélation. Ainsi le résultat du classement par clustering par couche (verte, rouge et bleu), va aboutir à l'établissement des images traitées des trois compositions (fig.2). Les éléments issues de cette extraction sont définis en terme de coordonnées avec une valeur qui peut représenter la radiométrie, on écrit donc $W=f(x, y, v)$.

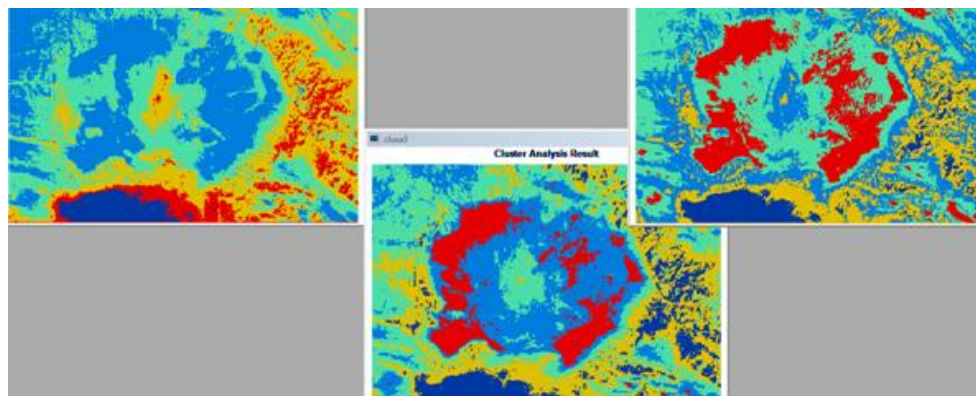


Fig.2 : Les images traitées des trois compositions (RGB)

Ce travail est basé sur des étapes de l'algorithme. La première remarque est relative à l'étape de projection où chaque observation est affectée à l'un des ensembles. On constate une grande similitude entre cette étape de projection et celle qui a lieu en quantification, puisque la partition définie ici rappelle celle de Voronoi. La spécificité réside dans le fait qu'elle est construite à la fois par rapport aux sommets et aux limites. Dans l'étape d'optimisation, le critère à minimiser pour déterminer la nouvelle localisation du sommet est une moyenne définie dans l'espace euclidien (Linde, Y. et al., 1980, Linde, Y. 2002).

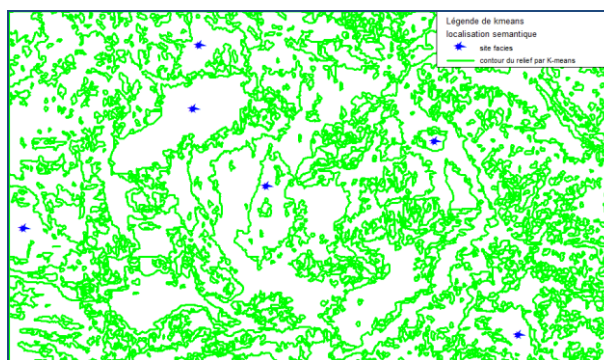


Fig. 3 : Résultat de la méthode K-means et localisation des sites-facies

Le lien avec l'analyse en composantes principales permet de certifier la distribution spatiale des facies (fig.3). Afin de spécifier plusieurs régions où le facies est présent et l'utilisation de modèles d'analyse, il convient d'enseigner le programme afin d'identifier d'autres régions ayant des caractéristiques semblables. Donc, il faut d'abord définir un tableau d'enseignement. Il s'agit d'une table contenant les objets de la région utilisée comme vérité de terrain. Chaque type de classe dans le tableau de l'enseignement permet d'améliorer la qualité du traitement. Les composantes principales sont des points critiques de la distance au carré entre les observations et leurs projections. L'Analyse spatiale recherche une méthode de classification intelligente et examine les caractéristiques statistiques de plusieurs grilles d'entrée. Les éléments trouvés dans une zone donnée « formation » et localise ensuite les autres zones présentant des propriétés similaires (Levine, E. et Domany, E. 2002). L'ACP et la corrélation géologique ont permis de certifier les traitements de cette étude. Les images traitées sont comparées à une référence pour produire une matrice de confusion et offrir un pourcentage de précision.

4. synthèse des résultats et conclusion : La confrontation de la carte télé-analytique avec les données de terrains après une analyse en composantes principales (ACP) et le traitement k-means, nous dévoile (fig.4) la correspondance de la forme de la structure annulaire composée par l'emboîtement des différents faciès avec l'image analysée. En effet les compositions colorées des images analysées correspondent approximativement aux limites entre le granite de Chegga formant l'encaissant et les différents anneaux magmatiques emboîtés les uns dans les autres. A l'échelle locale on a interprété l'image satellitale Landsat 8 en se calant sur le schéma géologique (fig.5), les formes et les limites de différentes lithologies dont on a étudiés les relations avec les discontinuités-images.

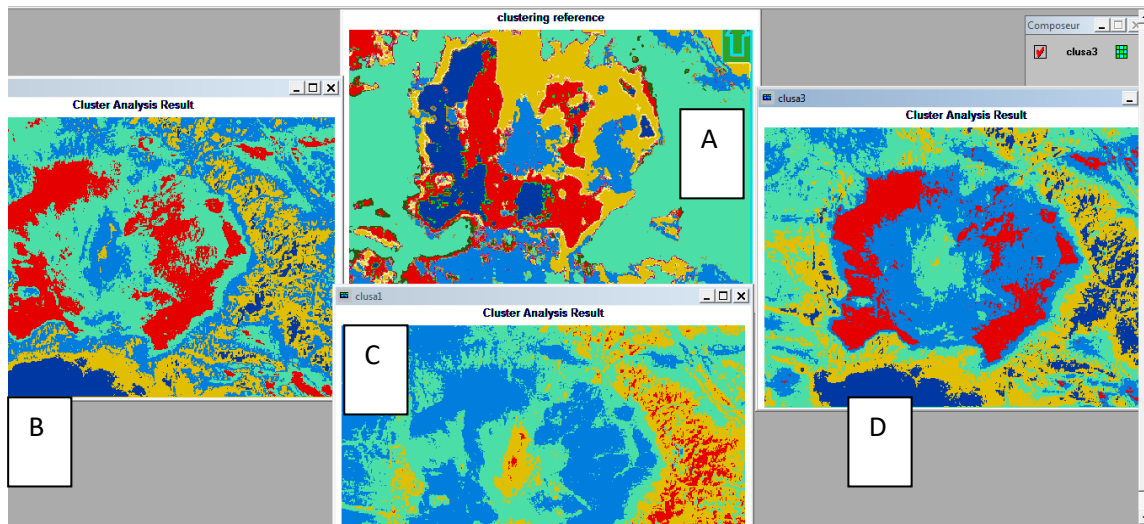


Fig.4 : images de référence (A) et images traitées (B,C,D)

Même si les résultats d'une telle comparaison dépendent beaucoup de l'échelle d'étude, on constate l'existence d'une relation géométrique des différents faciès ce qui corrobore les observations faites sur le terrain.

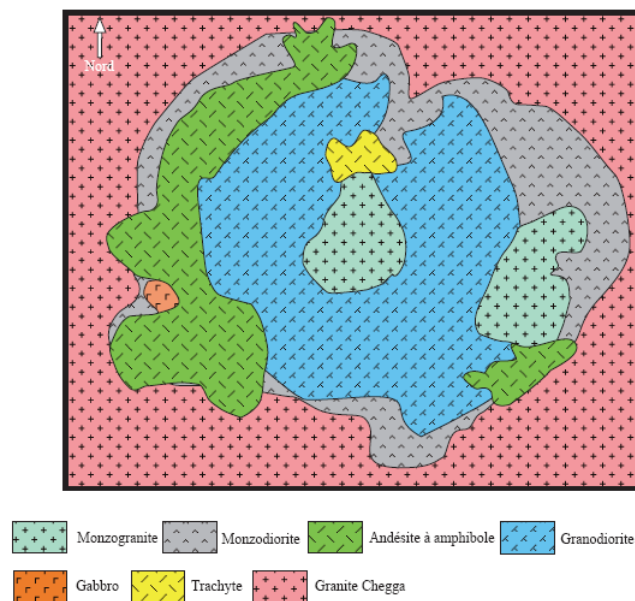


Fig. 5 : schéma géologique de la structure annulaire d'Anna établi sur la base de coupes géologiques réalisées sur le terrain, les contours et les limites lithologiques sont corrigés suite à la synthèse des images satellitales Landsat 8 OLI

Références bibliographiques

- Buffière J.M. Fathy J.C et Petey J. (1965). Carte géologique au 1/500000e de la région des Eglab et du bordure nord de Yetti. Organisme technique mise en valeur des recharges du sous-sol saharien .Paris.
- Gevin P., (1958). Cartes au 1/ 500 000 Eglab et Tindouf. Serv. Carte Géol. Algérie.
- Levine, E. and Domany, E. (2002). Resampling method for unsupervised estimation of cluster validity. *Journal of Neural Computation*, 13 :2573–2593.
- Levrard, C. (2013). Fast rates for empirical vector quantization. *Electronic Journal of Statistics*, 7 :1716–1746.
- Linde, Y., Buzo, A., and Gray, R. M. (1980). An algorithm for vector quantizer design. *IEEE Transactions on Communication*, 28 :801–804.
- Linder, T. (2002). Learning-theoretic methods in vector quantization. In Györfi, L., editor, *Principles of Nonparametric Learning*. Springer-Verlag, Wien.
- Richards J.A et Jia X (1999) *Remote sensing digital image analysis: an introduction*, 3rd edition. Springer Verlag Berlin
- Sabaté P., (1973). La jointure Yetti-Eglab dans la dorsale précambrienne de pays Reguibat (Sahara occidental algérien).C.R. Acad. SCI, Paris (D), 276, pp.2237-2240.
- Sabaté P., (1979). Les volcanites Eglab: données radiométriques de la dernière expression magmatique calco-alcaline du cycle orogénique Eglab (Sahara occidentale), revue de géologie dynamique et géographie physique vol.21, fasc.5.P.326-329, Paris.
- Sabaté, P., 1978. Données géochimiques et radiométriques sur les volcanites calco-alcalines précambriennes de l'Eglab (Sahara occidentale algérienne). Esquisse de leur évolution géotectonique. *Bulletin Société Géologique de France*, 1, 81-90.
- Sabaté, P., Lomax K., 1975. Données stratigraphiques et paléomagnétiques de la région Yetti-Eglab (Sahara occidental algérien). *Bulletin de Bureau Recherche Géologique et Minière*, 4, 293-311.
- Tabeliouna M., Cottin J-Y, Kolli O. et Zerka M. (2008): les clinopyroxénites et les gabbros associés d'un complexe magmatique annulaire (Sud de Gara Djebilet, Eglab, dorsal Réguibat, SW algérien), *Bulletin du Service Géologique National*, Vol. 19, n°3, pp. 1-21, 2008
- Tabeliouna M., Cottin J-Y., Boden P., Renac C., (2015) Petrogenesis of the post-collisional Bled M'Dena volcanic ring complex in Reguibat Rise (western Eglab shield, Algeria), *Journal of African Earth Sciences* in press, online 16 avril 2015

APPORT DE LA TELEDETECTION DANS LA DETECTION DE CHANGEMENT DANS L'OCCUPATION DES SOLS, CAS DU BASSIN VERSANT DE RDAT (HAUT ATLAS OCCIDENTAL)

Amal KHAFAOUI¹, Miloud CHAKER¹, Mohamed SABIR²

¹ Université Mohamed 5 Rabat, Département de géographie khafaoui.amal@gmail.com,
chaker.m@gmail.com

² ENFI (Ecole Nationale Forestière des Ingénieurs), Rabat. miloudsaadia@hotmail.com

RÉSUMÉ :

La télédétection est considérée comme étant la descendante moderne de la photo-interprétation, cette dernière a depuis toujours été une documentation fondamentale pour l'étude des sites montagnes et prévoir leur aménagement, néanmoins, dans ces milieux, les contraintes liées à cette technique sont nombreuses ; la haute altitude, le choix de l'échelle, la focale, etc. Ainsi l'information obtenue est considérable, mais la réalité de terrain conduit à tempérer cet optimisme (P. Rey, 1977)

Le bassin versant de Rdat étant un affluent de l'oued Tansift, a connu plusieurs changements dans le temps, notamment la déforestation, l'enlèvement de la végétation naturelle au profit des zones de culture, le surpâturage, à quoi il faut ajouter la survenue de catastrophes naturelles ; les sécheresses et inondations couplés à des scènes spectaculaires d'érosion. Le suivi de changements de géo-formes à la surface de la terre donne une information très précieuse et utile pour l'étude de la dynamique du milieu naturel, néanmoins leur mise en évidence nécessitent des années conséquentes de recherches, d'où l'intérêt d'utiliser la télédétection comme outil d'analyse, qui permet, avec sa vue générale et verticale, de modéliser nos habitudes et notre savoir-faire d'inventaire, de cartographie et de surveillance des ressources naturelles depuis très longtemps. Elle intègre les développements les plus récents de la recherche spatiale, de l'informatique et de la physique pour constituer aujourd'hui un outil des plus puissants et des plus flexibles pour la gestion du milieu, la planification et le développement économique (Ferdinand et Guy, 1992).

Ainsi on a pu faire un suivi spatio-temporel dans les changements d'occupation des terres dans le bassin versant et commenter cette évolution.

Mots-clés : Télédétection, changement d'occupation des terres, SIG, Bassin versant

CONTRIBUTION OF REMOTE SENSING IN CHANGE DETECTION IN LAND USE, CASE OF RDAT WATERSHED (WESTERN HIGH ATLAS)

Abstract:

Remote sensing is considered as the modern descendant of the photo-interpretation, it has always been a fundamental documentation for the mountain studies and a key of their development planning, however, in these environments, constraints of this technique are many ; the high altitude, the choice of scale, focal length, etc. For that reason, the information obtained is considerable, but the land reality leads to temper this optimism (P. Rey, 1977)

The RDAT Watershed, being a tributary of the Tansift basin, has undergone several changes over time, including deforestation, removal of natural vegetation for the benefit of growing

areas, overgrazing, to which must be added the occurrence of natural disasters; droughts and floods coupled with spectacular scenes of erosion.

Monitoring changes in geo-forms on the surface of the earth gives a very valuable and useful information for the study of the dynamics of the natural environment, yet they highlight require substantial years of research, hence the interest to use remote sensing as an analytical tool, which, with its general and vertical view, to shape our habits and skills inventory, mapping and monitoring of natural resources for a long time. It incorporates the most recent developments in space research, computer science and physics today to be a more powerful tool and more flexible to manage the environment, planning and economic development (Ferdinand and Guy , 1992).

So we could make a space-time monitoring in land use changes in the watershed and comment its development.

Keywords : Remote sensing, change of land use, GIS, Watershed

1. INTRODUCTION

Dans un contexte où les changements socio-économiques prennent le dessus, l'équilibre environnemental se trouve menacé, s'ajoute à cela un contexte naturel, siège de plusieurs dynamiques, dans les zones les plus isolées du Maroc ; la montagne, qui subit des contraintes et des enjeux multiples qui ont la particularité de favoriser sa vulnérabilité.

Bien comprendre ces sites montagneux, leurs propriétés, potentialités et menaces qui les entourent, permettront de mieux prévoir leur évolution, et de participer positivement à leur régulation.

Le cas étudié est le bassin versant de Rdat, (sous bassin du Tansift), en se basant sur la télédétection et la technique de détection des changements, associant l'analyse de données bibliographiques, les observations de terrain, les images satellitaires, et moyennant l'élaboration de plusieurs cartes thématiques, faites à l'aide de logiciels de SIG, pour tenter de déceler l'évolution de ce milieu.

Selon Lagabrielle *et al.* (2007), la détection des changements est un processus d'identification des différences d'état d'une zone donnée, en l'observant à des dates différentes, afin de comprendre au sens large, l'évolution temporelle de cette zone.

L'étude du changement de l'occupation des sols par la télédétection se base sur l'hypothèse que ces changements se traduisent par la variation de la luminance et que cette variation soit plus importante que celle causée par d'autres facteurs (humidité du sol, conditions atmosphériques, inclinaison solaire, etc.) (Mas, 2000). Elle comprend de nombreuses méthodes dont le but est d'identifier, de décrire et de quantifier, les différences entre images d'une même scène (même endroit) prises à différents moments ou dans des conditions semblables.

Situation géographique de la zone d'étude :

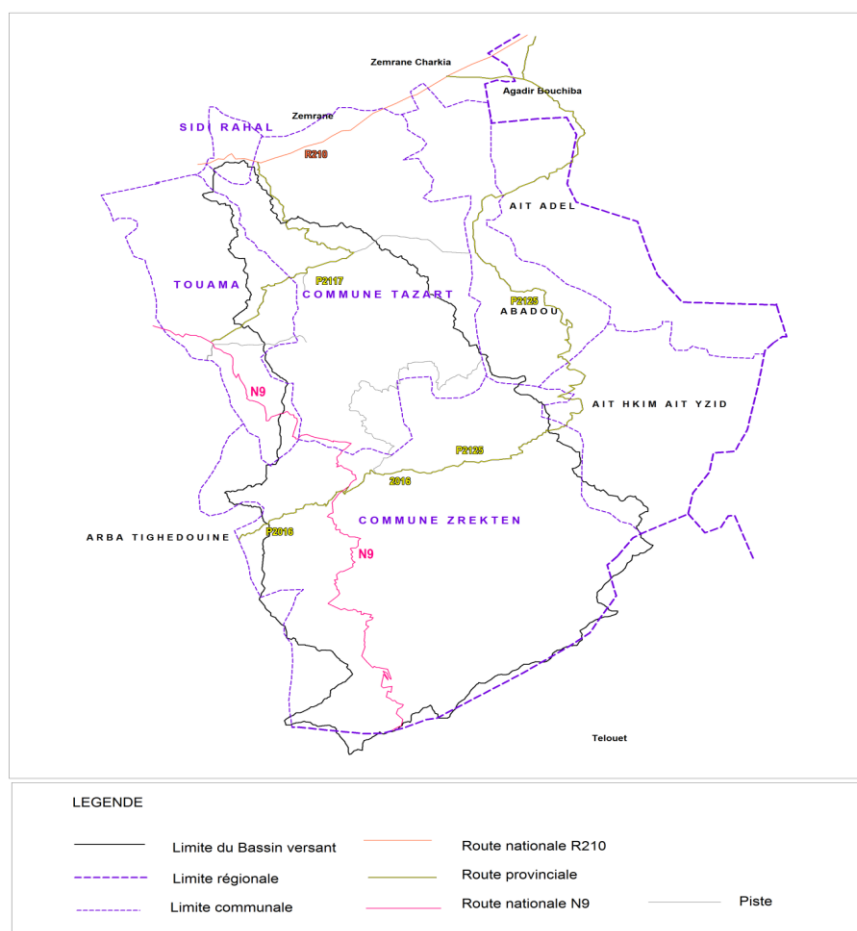


Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Matériel

- Cartes topographiques (Agence de la Conservation Foncière et des Travaux topographiques, Division de la carte, Rabat) ;
- Carte Telouat 1/100000, (1973).
- Carte Had zrakten 1/50000, (1977).
- Carte Sidi Rahal 1/50000, (1922).
- Carte des types de peuplement Glaoua Nord 1/25000, (1999) ; *(Réalisée par le Haut commissariat des Eaux et Forêts et de la Lutte contre la désertification de Marrakech)* ;
- Image Aster qui a servi de DEM (le site);
- Cinq images satellitaires Landsat de résolution : 30m (voir tableau n° 1)
- Données hydrologiques recueillie de l'agence du bassin hydraulique de Marrakech;
- Données climatiques de la zone d'étude.

Tableau n°1 :Caractéristique des images Landsat

Identifiant d'image	Date d'acquisition	Satellite	Capteur
1	85-08-1984	4-5	TM
2	20-05-1995	4-5	TM
3	27-06-2003	4-5	TM
4	15-08-2015	8	OLI

2.2. Logiciels et outils

- ENVI 4.7 pour les prétraitements des images (correction géométrique, correction radiométrique, correction atmosphérique, normalisation des images), la classification et élaboration de la carte thématique;
- ArcGis 10.1 pour l'élaboration des shapfiles.
- GPS (Trimble JUNO SB) pour utilisation sur le terrain afin de localiser les points diagnostiqués sur le terrain;
- Microsoft Office Excel 2010 pour le traitement des données et calculs statistiques.

2.3. Méthodologie d'élaboration des cartes d'occupation du sol

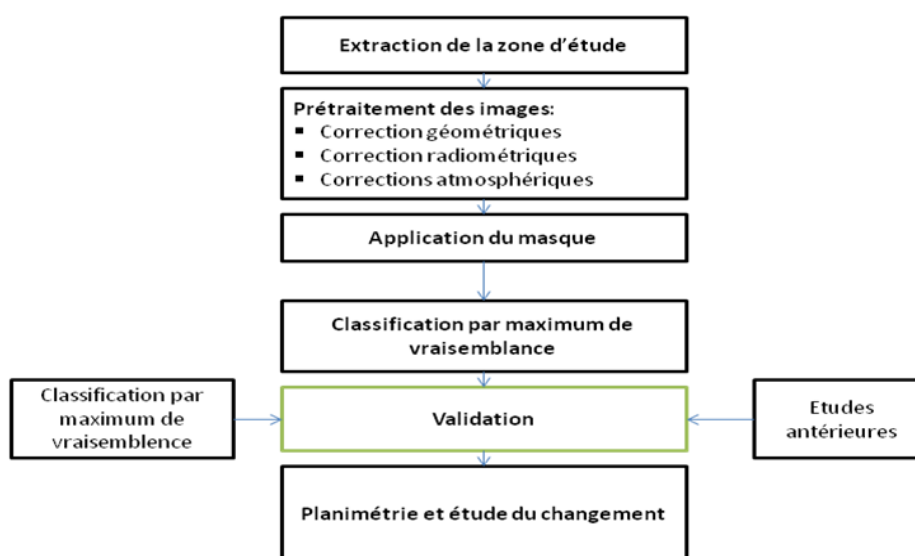


Figure 2 : Méthodologie d'élaboration des cartes d'occupation des terres

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Dans le but de suivre l'évolution de l'occupation des sols du bassin versant Rdat, on a procédé à la comparaison post classificatoire de cinq cartes d'occupation des sols deux à deux. La production de ces cartes a été faite à travers la classification par maximum de vraisemblance de cinq images satellitaires prises en : 1984, 1995, 2003, 2007 et 2015.

Quatre unités cartographiques d'une manière grossière :

- **Forêt dense à moyennement dense (FDM):** correspondant à la forêt dense et comprend les formations végétales à base de chêne vert, genévriers, et des reboisements de pin d'Alep,

- **Forêt claire à dégradée (FCD):** représentant les stades de dégradation de la forêt naturelle dont le recouvrement de la strate arbustive est compris entre 20 et 50 %, allant du matorral bas et clair issu de la dégradation de l'ancienne chênaie et de l'ancienne junipiraie, jusqu'à l'erme;
- **Terres cultivées en irrigué (TCI) :** comprend les terrains occupés par les cultures et mis en jachère.
- **Parcours non forestiers (PNF) :** regroupe les affleurements rocheux et les espaces bétonnés (agglomérations, usines et carrières).

Comme c'était évoqué dans la partie de la méthodologie, les sites d'entraînement nécessaires à la classification ont été choisis de manière visuelle en se basant sur la composition colorée de chaque image et sur les données de vérité terrain. Toutefois, la validation a été faite par des études antérieures et les sorties de terrain.

Trois matrices de transformations ont été élaborées, avec leurs cartes correspondantes :

- **Matrice du changement entre 1984 et 1995**
- **Matrice du changement entre 1995 et 2003**
- **Matrice du changement entre 2003 et 2015**

Synthèse des résultats :

Tableau n°2 : Planimétrie de l'occupation des sols du bassin versant Rdat entre 1984 et 2015.

Année	Végétation dense à moyennement dense		Végétation claire à dégradée		Terre cultivée en irrigué		Parcours	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
1984	46,20	8,09	149,93	26,26	24,93	4,37	319,90	56,02
1995	9,60	1,68	159,55	27,94	47,04	8,24	324,75	56,87
2003	24,00	4,20	200,12	35,05	20,23	3,54	296,59	51,94
2015	34,07	5,97	195,49	34,24	28,52	4,99	282,88	49,54

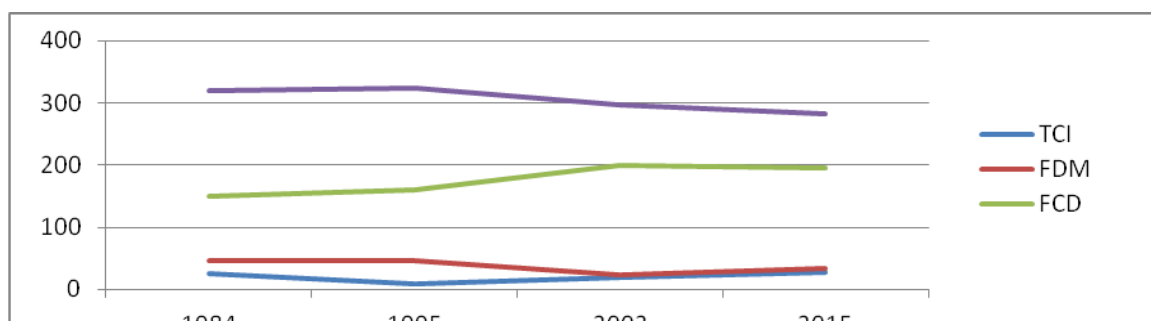


Figure 3 : Synthèse du changement en occupation des terres de l'année 1984 à 2015

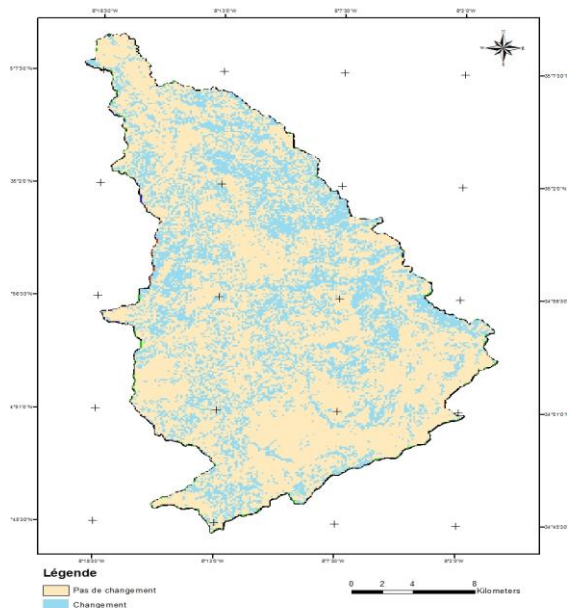


Figure 4 : Carte de changement sur la période 1984 - 2015

CONCLUSION

D'après les résultats obtenus on peut conclure que le bassin versant de Rdat a connu plusieurs phases de changements dispersés dans le temps, confirmées par le passage de la forêt dense à moyennement dense à la forêt dégradée et/ou matorral, quant à l'agriculture son expression n'a pas beaucoup changé, contrairement à l'activité pastorale qui gagne du terrain, ceci est confirmé par les sorties du terrain qui montre que le milieu devient répulsif, la population locale est en exode vers les centre urbains les plus près, ce qui pose des question sur la relation entre l'homme et son environnement.

Références bibliographiques

- Boudhar, A. (2009). Télédétection du manteau neigeux et modélisation de la contribution des eaux de fonte des neiges aux débits des oueds du haut atlas de Marrakech. Thèse, Marrakech, Université Cadi Ayyad.
- Boulli, A. (1994) : Diversité de la végétation et conditions écologiques dans le bassin versant de l'Oued Rdat (Haut Atlas de Marrakech, Maroc).
- Chaker, M. (1993).- La dégradation du couvert végétal dans le massif de Bou Khouli. Processus et impact sur l'équilibre du milieu. Maroc oriental. Actes du 2e Cong.
- Lillesand, T., Kiefer, R.W, and Chipman, J (2008). Remote Sensing and Image Interpretation, 6th edn. John Wiley & Sons, New York.
- Sabir M, Merzouk A, Berkat O, Roose E. Effet du pâturage sur l'état de surface, l'infiltrabilité et la détachabilité du sol dans un milieu pastoral aride (Aarid, Haute Moulouya, Maroc). XIIIe Congrès international du génie rural, 2-6 février 1998, ANAFID, Rabat. Bull Réseau Erosion 1994 ; 14 : 444-62.

Apport de la Télédétection et du SIG pour le suivi spatio-temporel de l'occupation du sol dans le bassin versant de l'oued Tarmast

Khalid ARARI¹, Abdellatif TRIBAK¹, Zakariae AMHANI¹, Mohamed ABAHROUR¹, Abdelkader EL GAROUANI².

1 - LAGEA-DD, FLSH - Sais, Route d'Imouzzer, BP.59, Fès, Maroc., Université Sidi Mohamed ben Abdellah Fès, Maroc. Tel : 212 0535618226

2 - Faculté des Sciences et Techniques de Fès, Route d'Imouzzer, BP. 2202, Fès, Maroc.

Email : Khalid.arari.geo@gmail.com khalid.arari@usmba.ac.ma

Résumé : Les études sur le changement de l'utilisation du sol sont d'une grande importance car ils permettent de connaître les tendances actuelles dans les processus de déforestation, dégradation, désertification et perte de la biodiversité d'une région déterminée. Le présent travail expose les résultats de notre étude concernant la cartographie de l'évolution spatio-temporelle de l'occupation du sol à partir de la classification des images satellitaires Landsat-5 TM et Landsat-7 ETM+ (entre 1987 et 2014). Puis nous avons géoréférencé les images en utilisant le système de projection Merchich-Nord. Ainsi, on a réalisé un découpage des images en sélectionnant les parties qui correspondent à la même portion de l'espace à partir des coordonnées géographiques de notre zone d'étude. L'analyse de données satellitaires a permis d'identifier quatre principaux types d'occupation du sol (Forêts et reboisement, Arboriculture fruitière, culture annuelle, terrains incultes) dans le bassin versant de l'Oued Tarmast situé au nord-est du Maroc.

Mots Clés : occupation du sol, SIG, Télédétection, Oued Tarmast, Maroc

Abstract: The studies on the change of occupation and use of soil are very important. Because, it lets us know the current trends in the processes of deforestation, degradation, desertification and loss of biodiversity in a particular region. The recent work shows the results of our study concerning the cartography of space-time evolution of soil occupation from the satellited images classification Landsat-5 TM and Landsat-7 ETM+ (between 1987 and 2014). Moreover ; we have georeferenced the images using the projection system Merchich-North in addition to that we had divided the images by selecting parts corresponding the same portion's space from the geographical coordinates of our study zone. The analysis of satellited data let us identify four principal types of soil occupation (Forestry and reforestation, Fruit Trees, annual crop, uncultivated) in the watershed of l'Oued Tarmast situated on north-est of Morocco.

I- Introduction

Les modes de l'utilisation de l'espace sont influencés par de nombreux facteurs, dont les structures agraires, les caractéristiques du milieu physique, ainsi que les interventions anthropique sur le milieu restent les plus importants. Les structures foncières, ébranlées par divers événements historiques, introduisent des variétés d'occupation dont certaines sont incompatibles avec les données du milieu physique. Les tailles des exploitations, très diverses, influencent de leur côté les modes de faire valoir existantes ainsi que les rapports entre les paysans et la terre qu'ils mettent en valeur (Tribak,2000).

Le bassin versant d'étude est situé dans l'Orientale de la chaîne rifaine ; il se trouve entre le Rif Occidental humide et les basses plaines sèches de la Moulouya. Il s'étend sur une superficie de 69.6 km² avec une topographie accidentée dont les altitudes varient de 560 m au niveau de l'exutoire à 1330 m au point le plus élevé (Fig. 1). Les formations géologiques sont constituées des terrains marneux tertiaires dans une structure marquée par des charriages (Leblanc 1979). Le climat local est caractérisé par de forts contrastes saisonniers avec des pluies brutales et concentrées. La densité humaine dans la région est importante (65 h/km²) et la plupart des versants sont totalement dénudés et mis en culture ce qui a aggravé les problèmes d'érosion.

Dans cette étude, Trois images des satellites Landsat TM et ETM⁺ ont été traitées et analysées dans un SIG pour une période de 27 ans (1987, 2000, 2014). Le but de cette étude était d'illustrer la possibilité de déterminer le changement de l'occupation et de l'utilisation du sol dans le bassin versant de l'oued Tarmast.

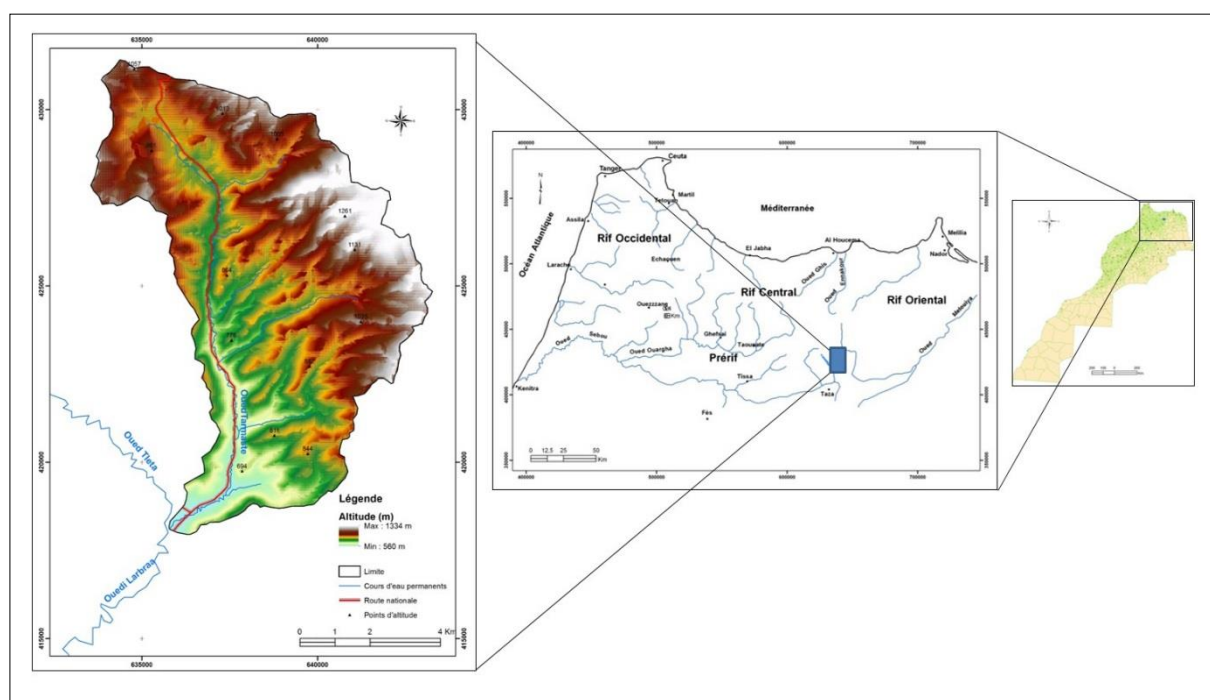


Figure 1. Situation géographique de la région d'étude

II- Cartographie de l'occupation du sol dans le bassin versant de l'oued Tarmast

2.1. Méthodologie

Notre démarche repose sur l'utilisation des données de la télédétection pour une connaissance de l'évolution et le changement des types d'occupation du sol aux niveaux de bassin versant de l'oued Tarmast. Les images satellites optiques utilisées proviennent des capteurs TM (Thematic Mapper) et ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) de Landsat. Les images ont la même résolution spatiale c'est-à-dire 30 m. La période de prise de vues se situe en 7 octobre 1987 et 7 octobre 2000 et 7 octobre 2014.

Le traitement des images multi-sources est complexe en général. Leur analyse implique des procédures techniques et des choix spécifiques adaptés. En effet, les corrections géométriques

et radiométriques font partie de ces opérations de traitements d'images qui permettent la mise en forme des données ainsi que la diminution des perturbations radiométriques liées aux conditions environnementales. On dispose ainsi de nombreux procédés pour la réalisation de ces opérations, d'où le choix d'une méthode appropriée afin d'obtenir des résultats de qualité. La méthode utilisée dans cette étude comprend le traitement et l'analyse des images satellitaires à partir de l'étape suivantes :

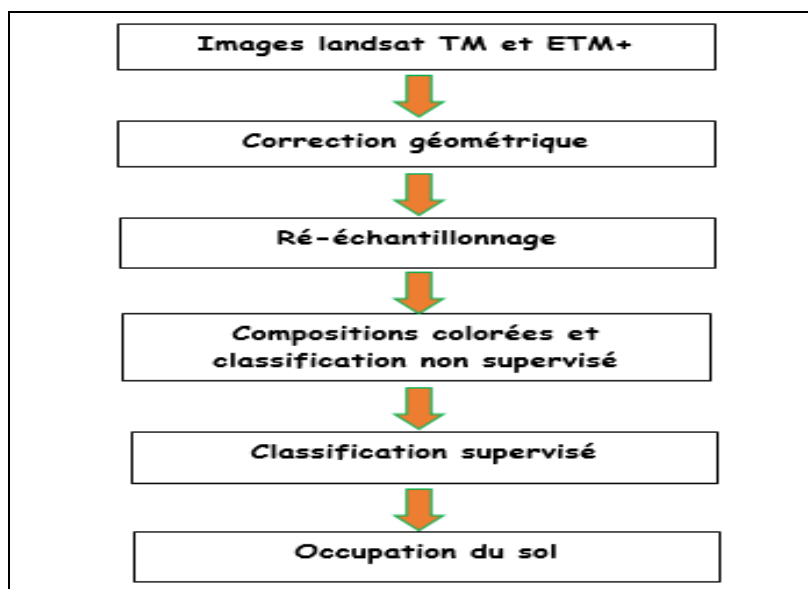


Figure 2. Schéma des étapes des traitements des images en télédétection.

Le traitement de l'image LANDSAT TM et ETM+ est réalisé avec le logiciel Erdas Imagine et Arc Gis 10.1. La phase préliminaire était de définir les limites du bassin versant de l'Oued Tarmast et de procéder au découpage des bandes spectrales qui sont au nombre de 7 (1, 2, 3, 4, 5, 7 et 8). Le canal 6 n'a pas été retenu puisque ses propriétés se focalisent sur le thermique. La bande 8 représente la bande panchromatique de 15 m de résolution spatiale.

La méthode de classification supervisée sur le logiciel de traitement des images satellite (ERDAS) basée sur les étapes suivantes :

- création des zones d'apprentissage sur l'image satellite (échantillon).
- Numérisation de ces zones en attribuant un identificateur unique à chaque catégorie d'objet,
- Création des fichiers contenant des signatures spectrales de chaque catégorie après analyse de chaque zone,
- Classification de l'image entière en comparant chaque pixel aux différentes signatures spectrales définies précédemment.

2.2. Résultats

Cette partie a été destinée à l'analyse diachronique de l'utilisation des terres pour estimer l'ampleur des modifications du paysage en raison de la dégradation des ressources naturelles et de mettre en évidence les principaux changements de l'environnement dans le bassin versant de l'oued Tarmast. Nous avons procédé à l'analyse et l'interprétation des images Landsat TM et ETM⁺ pendant 27 ans (1987, 2000, 2014) pour développer l'utilisation du sol et détecter son évolution dans le temps et dans l'espace. Les résultats de cette analyse nous a permis d'identifier quatre classes types d'occupation du sol : forêts et reboisement, arboricultures fruitière, culture annuelle et terrain incultes.

L'étude diachronique de l'occupation du sol révèle une modification de l'espace naturel avec un accroissement des zones d'arbori-culture fruitière (+ 44,69 %), une extension des sols fortement érodés (badlands et terrains incultes) (+22,43 %) et une réduction de zones de Forêts et reboisement (-31,12) et culture annuelle(-26,78) (Tableau 1). (Figures 3 et 4).

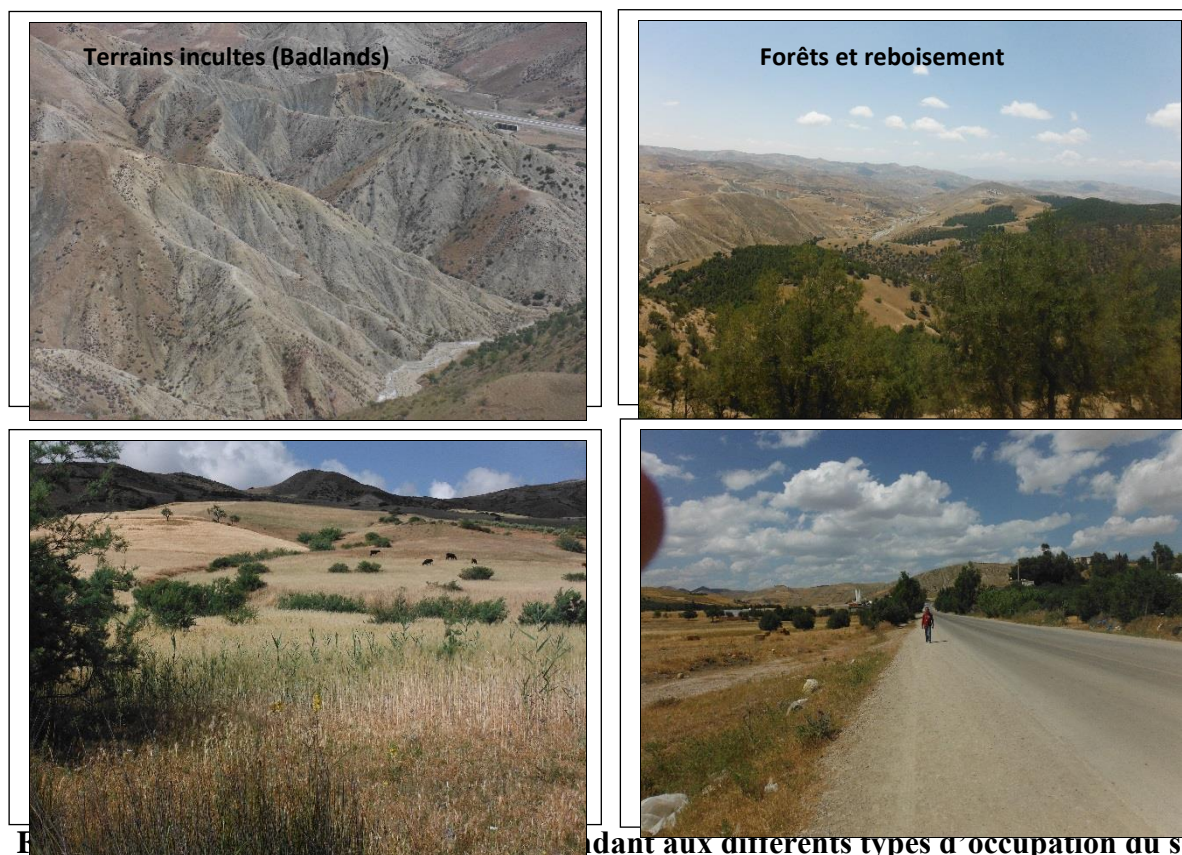


Figure 3. Répondant aux différents types d'occupation du sol identifiés dans la région d'étude

Tableau 1. Variation de l'occupation du sol en fonction du temps.

Type d'occupation du sol	1987			2000			2014			indice de variation en %
	Si en km2	Si en ha	Si en %	Si en km2	Si en ha	Si en %	Si en km2	Si en ha	Si en %	
Forêts et reboisement	2,86	286	4,11	2,1	210	3,02	1,97	197	2,83	-31,12
Arboriculture fruitière	9,33	933	13,41	8	800	11,49	13,5	1350	19,4	44,69
Culture annuelle	32,82	3282	47,17	31,54	3154	45,32	24,03	2403	34,54	-26,78
Terrains incultes	24,57	2457	35,31	27,9	2790	40,09	30,08	3008	43,23	22,43
Total	69,6	6960	100	69,6	6960	100	69,6	6960	100	

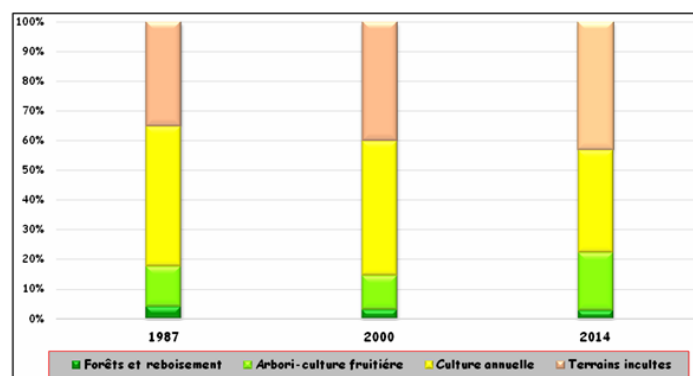


Figure 4. L'évolution des types d'occupation du sol dans le bv de l'oued Tarmast.

La matrice des changements générée par le croisement des cartes d'occupation du sol de 1987 et de 2014 de la région du Bassin Versant de l'oued Tarmast montre une évolution au niveau des différentes unités d'occupation du sol, car le décroissement des forêts indique que la population locale pratiqué la notion du défrichement sur les versants et le surpâturage, par contre la réduction des zones de cultures annuelle se explique par l'accroissement des zones de terrain incultes.

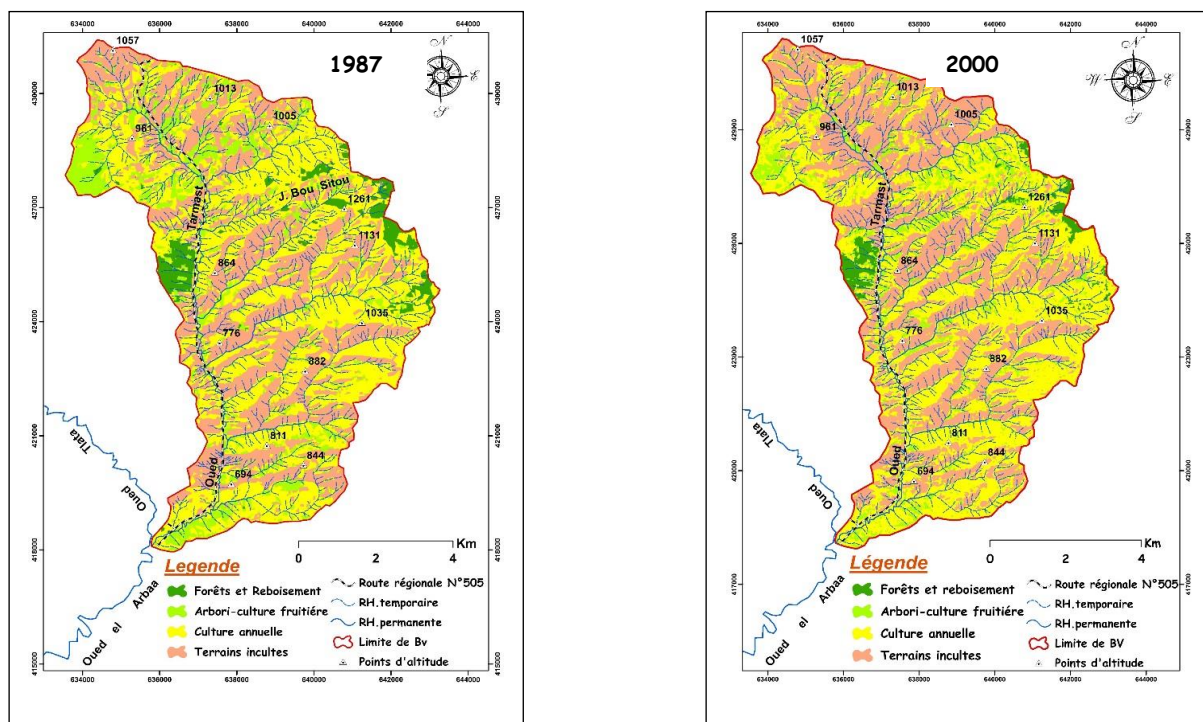


Figure 5. cartes d'occupation du sol de bassin versant de l'oued Tarmast (1987,2000).

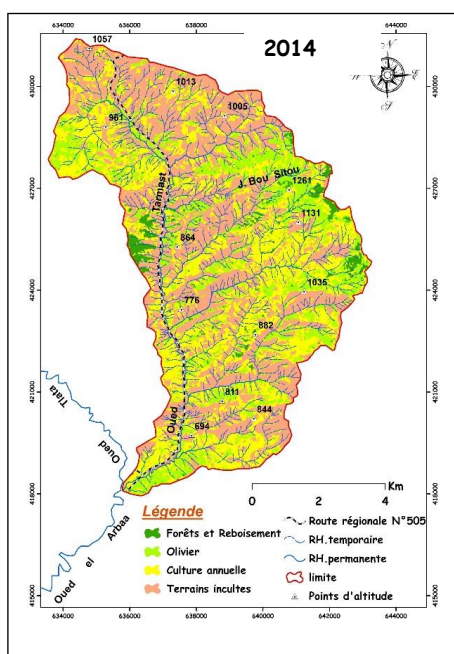


Figure 6. Carte l'occupation du sol dans la région de l'oued Tarmast (2014).

L'extension actuelle de la surface des terres incultes et des badlands dans le bassin, s'explique par l'abandon de certains secteurs, qui constitue un phénomène récent lié aux mouvements migratoires au sein de la région qui laisse le sol sans protection. L'absence d'actions de protection et d'aménagement, fait que les parcelles abandonnées deviennent un lieu de prédilection pour les processus de ravinements et par conséquent, l'apparition de réseaux denses d'incisions qui laisse la surface plus dégradée et par conséquent l'apparition et l'augmentation des zones en badlands.

III-Conclusion

La cartographie de l'occupation du sol entre 1987 et 2014 dans le bassin versant de l'oued Tarmast a révélé quelques modifications de l'espace naturel avec :

- une extension des zones de badlands et de terrains incultes (+22,43 %),
- un accroissement des zones d'arboriculture fruitière (+53 %),
- une réduction des zones de culture annuelle (-26,78 %),
- une réduction des zones forêts et reboisement (-31,12%)

Références bibliographiques

- El Aroussi, O. 2011 Predicting the potential annual soil loss using the revised universal soil loss equation (RUSLE) in the Wadi el Malleh catchment (Prerif, Morocco), *Present Environment and Sustainable Development.*, 5:2, 5 – 15.
- El Garouani A., H. CHEN., L. LEWIS., A. TRIBAK., M. ABAHROUR. Apport de la Télédétection et du SIG pour le suivi spatio-temporel de l'occupation du sol et de l'érosion nette dans le bassin de l'Oued Tlata (Maroc)
- Leblanc, D. 1979. *Etude géologique du Rif externe oriental au Nord de Taza (Maroc)*», Notes et Mémoires, Service Géologique Marocain, 281, Rabat, 250p.
- Tribak, A., Arari, K., Abahrour, M., Elgarouani, A., Amhani, Z. 2016. Quantitative Assessment of the hydric erosion and the deposition in a marly catchment of the eastern rif (case of wadi Tarmast-Marocco). *Tome 15/2015 Issues 2: 101-24.*

Modèles Numériques de Surface et Visualisation des Données Géographiques en 3 Dimensions

Abdelkader EL GAROUANI¹, Abdalla ALOBEID² et Said EL GAROUANI³

¹ Laboratoire de Géosciences et Environnement, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Route d'Imouzzer, B.P. 2202, Fès, 30060, Maroc, e-mail: el_garouani@yahoo.fr

² Institute of Photogrammetry and GeoInformation, Leibniz University, Hannover, Germany, e-mail: Alobeid@ipi.uni-hannover.de

³ Département d'Informatique, Faculté des Sciences de Tétouan, Université Abdelmalek Essaadi, B.P. 2121, Tétouan, 93002, Maroc, e-mail: saidelgarouani@yahoo.fr

Résumé : L'objectif principal de ce travail est le développement de recherches en modélisation 3D du bâti. La géovisualisation est une manière de communiquer l'information géographique qui exploite les possibilités de l'informatique pour aller au delà des cartes statiques traditionnelles. Ces modèles de ville 3D sont couramment utilisés pour la modélisation des projets urbains et des phénomènes physiques dans la ville et pour des besoins d'information touristique. La région d'étude concerne la ville de Fès qui est l'un des plus importants sites touristiques au Maroc et se situe dans la partie Nord du Royaume. Dans ce travail, nous discutons la construction d'un Modèle Numérique de Surface (MNS) en se basant sur les images aériennes stéréoscopiques en utilisant la méthode de corrélation automatique et l'utilisation de ce MNS pour la visualisation des bâtiments en 3D. L'utilisation des terrains en 3D donne une idée précise sur le zonage de constructions, leur utilisation et leur densité. Ces informations sont les principaux outils définissant l'image d'une ville et met en lumière le modèle des meilleures pratiques de la réhabilitation et de la conservation des sites historiques par exemple.

1. Introduction

Après les SIG à 2D, arrivent maintenant des outils à 3D non pas pour gérer un objet urbain comme un bâtiment isolé, mais pour la gestion d'une ville complète. En parallèle avec l'évolution des nouveaux besoins exprimés par les utilisateurs, cette évolution a été rendue possible par l'arrivée de nouvelles technologies. Parmi ces technologies, la photogrammétrie numérique et le balayage Laser tiennent une place importante (Kraus et al. 1998 et Tuan, 2013). L'objectif principal de ce travail est le développement de recherches en modélisation 3D des constructions. Le modèle 3D d'une ville est généralement construit à partir des données satellites ou aériennes pour générer la hauteur des bâtiments, croisées éventuellement avec une carte vectorielle pour les contours au sol des bâtiments. La géovisualisation tridimensionnelle est une manière de communiquer l'information géographique qui exploite les possibilités de l'informatique pour aller au delà des cartes statiques traditionnelles (Suveg, 2000). Ces modèles de ville 3D sont couramment utilisés pour la modélisation des projets urbains et des phénomènes physiques dans la ville et pour des besoins d'information touristique.

La région d'étude concerne la ville de Fès qui est l'un des plus importants sites touristiques au Maroc et se situe dans la partie Nord du Royaume. Dans ce travail, nous traitons la construction d'un Modèle Numérique de Surface (MNS) en se basant sur les photographies aériennes stéréoscopiques en appliquant la méthode de corrélation automatique et l'utilisation de ce MNS pour la visualisation des bâtiments en 3D (Alobeid, 2010 et El Garouani et al. 2014).

Plusieurs disciplines comme la planification urbaine, l'architecture, les télécommunications, le tourisme, la protection de l'environnement et bien d'autres ont une demande croissante pour le renforcement de la visualisation 3D, afin d'utiliser ces données complexes pour la planification, l'analyse, la visualisation et la simulation dans des différentes applications.

2. Région d'étude et les données utilisées

Notre étude porte sur la ville de Fès, qui est l'un des plus importants sites touristiques au Maroc. Il est situé sur la partie nord du Maroc (Fig. 1). La communauté urbaine de Fès représente un million d'habitants et la ville s'étend sur d'environ 105 km² (El Garouani et al. 2012).

Le modèle 3D de la ville de Fès peut être utilisé pour de nombreuses applications :

- La visualisation de la ville à des fins diverses (tourisme, visites virtuelles, etc.) ;
- L'aménagement urbain,
- Les systèmes de navigation et de visite,
- Les systèmes de transport intelligents ;
- La modélisation des risques urbains ;
- La visualisation architecturale ;
- Les télécoms - positionnement des émetteurs de téléphonie mobile ;
- la cartographie des risques d'inondation.

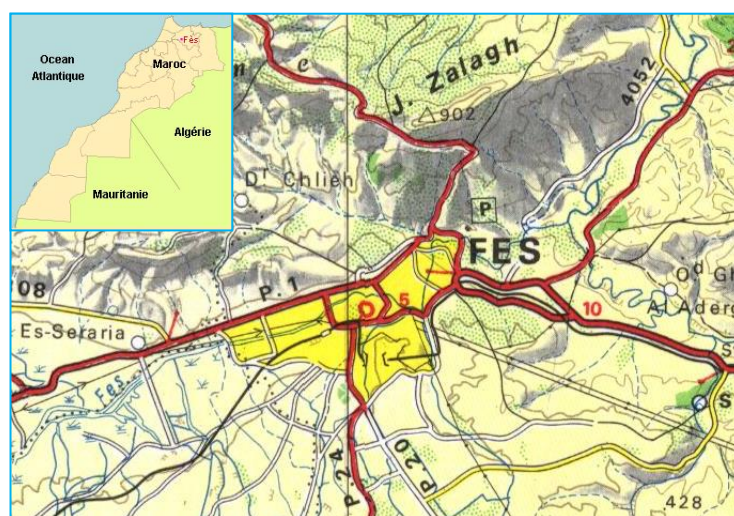


Figure 1. Localisation de la zone d'étude

Les données utilisées sont des photographies aériennes (à l'échelle :1/4000) acquises en 2007 et d'autres données cartographiques sur la ville de Fès.

Dans ce travail, nous discutons la construction d'un modèle numérique de surface (MNS) en se basant sur les images aériennes stéréoscopiques en utilisant la méthode de corrélation automatique et l'utilisation de ce MNS pour la visualisation des bâtiments en 3D. En effet, un SIG 3D est une application utilisée pour visualiser l'état actuel de la ville et de réaliser des simulations de plan de développement futur.

Le SIG 3D s'aligne sur la définition générale d'un SIG et permet de résoudre des problèmes de gestion des données spatiales en prenant en compte une nouvelle dimension spatiale des

objets et/ou de l'espace dans lequel ils se trouvent. Ainsi, le SIG 3D est vu comme une nouvelle génération de SIG qui prend en charge les différents aspects de modélisation, d'analyse, de traitement et de représentation de l'information géographique tridimensionnelle à travers des structures géométriques 3D.

Dans cette première étape du travail, nous avons commencé avec une zone d'essai couverte par deux paires de photos aériennes.

3. Résultats et discussion

3.1. Réalisation du MNS

Diverses approches ont été proposées pour la réalisation du MNS à partir des images aériennes. Etant donné que le traitement manuel 3D des photos aériennes prend du temps, le développement de techniques automatiques ou semi-automatiques devient nécessaire.

Dans ce travail nous avons étudié la technique de la corrélation automatique pour la réalisation du MNS à l'aide de l'imagerie acquise par des capteurs aériens ou spatiaux. Il y a une variété d'algorithmes qui ont été développés pour la réalisation du MNS à partir d'images satellites et de photographies aériennes (Kwok et al. 2004 ; Toutin and gray 2000 et Zhang et al. 2002). Une des méthodes consiste à utiliser deux images à la fois pour la reconstruction d'un modèle en trois dimensions dans lesquels l'information altimétrique peut être extraite.

La figure 2 montre les principales étapes pour développer un MNS à partir des photos aériennes stéréoscopiques et autres informations supplémentaires en entrée et produira un modèle de surface souhaitée en sortie.

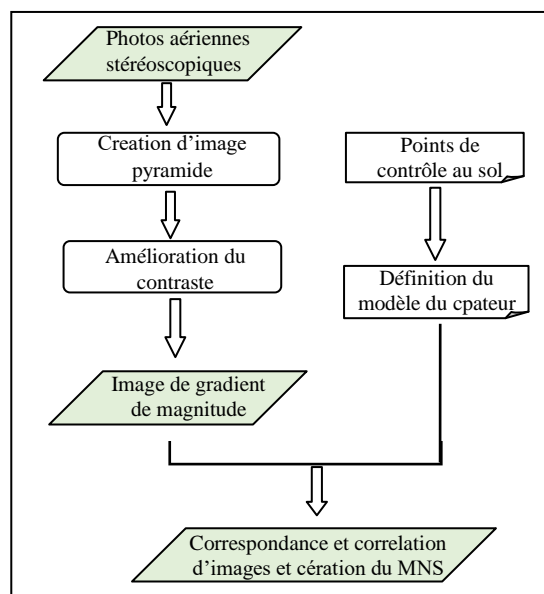


Figure 2. Processus de la réalisation de MNS

La qualité des MNS est mesurée par la précision de l'élévation au niveau de chaque pixel et avec quelle précision la morphologie est présentée. Plusieurs facteurs interviennent dans la qualité des MNS :

- La rugosité de relief.
- La densité d'échantillonnage (Méthode de collecte d'élévation).
- La résolution de la grille ou taille de pixel.

- L'algorithme d'interpolation.
- La résolution verticale.
- L'algorithme d'analyse du terrain.

3.2. Bâtiment 3D

La modélisation en 3D pour les représentations de l'espace réel est utile pour de nombreuses applications urbaines telles que la planification, la construction et la représentation des paysages urbains. Les bâtiments, routes, arbres et relief sont considérés comme des objets les plus importants dans la production d'un modèle de ville en 3D en particulier pour la création d'environnements virtuels.

Dans ce travail on considère des étapes importantes impliquées dans la création de modèles de villes en 3D, qui comprend la reconstruction des bâtiments, de paysages et des milieux urbains. La capacité manuelle et semi-automatique d'extraction de caractéristiques fournit une bonne base pour des applications de modélisation 3D de la ville. Les étapes suivantes ont été suivies pour la réalisation du modèle 3D de la ville de Fès :

- Conversion des formes 2D en 3D basée sur une surface d'élévation.
- Créer des scènes urbaines 3D basées sur les données du SIG standard.
- L'extraction semi-automatique et manuelle de structures 3D.
- Création des textures et façades.
- Finalisation urbaine en 3D et mis à jour de la Géodatabase.

Le logiciel CityEngine offre une gamme complète d'outils pour agréger des données géospatiales, générer et modifier les bâtiments et la mise en œuvre des réseaux routiers.

L'information sur le plan de situation des constructions en 2D contenue dans les couches SIG est utilisée pour délimiter les bâtiments dans une image. L'orthophoto et la carte topographique sont utilisées pour déterminer l'empreinte de construction (Fig. 3). L'étape suivante concerne le processus de drapage d'une représentation 2D des caractéristiques topographiques, par exemple, les routes, les rivières, l'occupation du sol et toutes les informations extraites à partir des orthophotos sur un MNS. Les empreintes des bâtiments sur la carte sont extrudées en fonction de la hauteur dérivée de MNS pour produire le modèle initial. Le modèle de constructions est créé à l'aide des primitives simples de constructions de la géométrie solide comme des boîtes, des toits, et des rectangles.

Le processus final dans le développement du modèle consiste à intégrer à la fois le modèle initial de ville avec les modèles de construction photo-réalistes en ajoutant les façades et les accessoires supplémentaires (objets paysage) tels que les arbres, les lampadaires, les panneaux de signe, etc. (Fig. 3).



Figure 3 : Empreinte de construction 2D (à gauche). Exemple de modèle final de construction 3D (à droite)

Le MNS réalisé a aidé pour la création de modèle de ville et la visualisation de l'espace urbain en trois dimensions. Les modèles 3D peuvent être utilisés comme une interface conviviale pour interroger l'environnement urbain comme un SIG pour la consultation des informations sur le Web, pour visualiser les résultats des modèles, et pour accéder à des modèles de simulation fonctionnels.

Les modèles virtuels de villes en 3D ont contribué à l'amélioration de la pratique de la planification et de la conception de l'environnement urbain. Les capacités d'affichages visuels illustrés dans ce travail permettent l'explication des plans de développement par les décideurs et par le public. L'intérêt pour le public et la compréhension d'un projet qui peut être soulevée en utilisant des graphiques et des images en 3 D qui montrent la relation entre le projet proposé et les propriétés individuelles, les quartiers, les services communautaires, et d'autres caractéristiques du site.

4. Conclusion

Dans cette étape du projet, on a généré un modèle numérique de surface basé sur des photographies aériennes stéréoscopiques en utilisant la méthode photogrammétrique de correspondance. Les méthodes pour générer les structures de la ville en 3D ont été étudiées et des solutions possibles sont testées et discutées. Les caractéristiques et les modèles 3D extraits de ces données peuvent offrir plus d'informations dans diverses applications SIG, où la représentation et la visualisation des bâtiments en trois dimensions sont nécessaires. Par exemple, les objets de surface en 3D peuvent représenter une couche importante dans les bases de données SIG pour la simulation des catastrophes naturelles, les planifications de télécommunications, etc.

Bibliographie

- Alobeid, A., Jacobsen, K. & Heipke, C., (2010) - Comparison of Matching Algorithms for DSM Generation in Urban Areas from Ikonos Imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 76(9). pp. 1041-1050.
- El Garouani A., **Alobeid** A. & El Garouani S. (2015) - A model from aerial/terrestrial imagery and topographic maps: 3D Modelling of Fez. *GIM-INTERNATIONAL, The Global Magazine for Geomatics*, Vol. 29, January, 2015
- El Garouani A., **Alobeid** A. & El Garouani S. (2014) - Digital surface model based on aerial image stereo pairs for 3D building. *International Journal of Sustainable Built Environment (ELSEVIER, ScienceDirect)*, N°3, pp. 119–126.
- El Garouani A., Barry R. A., El Garouani S., & Lahrach A., (2012) - Geospatial database template for urban management in Fez (Morocco). *Journal of Geographic Information System*, Vol. 4, N° 4, 2012, pp. 335 - 340
- Kwoh, L.K, Liew, S.C. & Xiong, Z., (2004) - Automatic DEM generation from satellite image. The 25th Asian Conference & 1th Asian Space Conference on Remote Sensing November 22 - 26, 2004, Thailand.
- Suveg, I. and Vosselman, G., (2000) - 3D reconstruction of building models. *IAPRS*, Vol. XXXIII, Amsterdam, 2000, The Netherlands
- Toutin T. & Gray, L., (2000) - State-of-the-art of elevation extraction from satellite SAR Data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 55, No 1, pp. 13-33
- Tuan, A. N. G., (2013) - Overview of Three-Dimensional GIS Data Models. *International Journal of Future Computer and Communication*, 2(3), 270–274
- Yin, X., Wonka, P., Razdan, A., (2009) - Generating 3D Building Models from Architectural Drawings: a survey. *Computer Graphics and Applications*, 9(1). 20-30

Zhang, L., Pateraki, M. & Baltsavias, E., (2002) - Matching of IKONOS Stereo and Multitemporal Images for DSM Generation. Proc. Map Asia 2002, Asian Conf. on GIS, GPS Aerial Photography and Remote Sensing, 7–9 August, Bangkok, Thailand. (on CD ROM).

ÉTUDE DE LA DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION DU SOL DE LA PLAINE CÔTIÈRE DE SAÏDIA (LITTORAL MÉDITERRANÉEN DU NORD-EST DU MAROC) DURANT LA PÉRIODE 2001-2009

Mounia Mouzouri ^a, Zoulikha Irzi, Afaf Brahim

a. Laboratoire d'Hydrobiologie et d'Écologie Générale, Université Mohammed Premier, Faculté des Sciences. Boulevard Sidi Maafa, BP 524, 60000 Oujda, Maroc. mouzouri_mounia@yahoo.fr

RÉSUMÉ : Cette étude basée sur l'analyse des données satellitaires multitemporelles et multibandes a été réalisée en vue d'évaluer la dynamique de l'occupation du sol dans la plaine côtière de Saïdia située sur le littoral méditerranéen du Nord Est du Maroc. Des images GeoEye-1 d'avril 2009 et d'Aster de mars 2001 ont été utilisées pour cette analyse.

Deux cartes d'occupation du sol ont été générées au moyen d'une classification supervisée par le maximum de vraisemblance. L'évaluation qualitative de la précision de l'interprétation a été réalisée à l'aide de l'indice de Kappa déterminé à partir d'une matrice de confusion. Les résultats de l'analyse de fiabilité des deux cartes donnent une précision variant de 90 % à 75,56 % et des valeurs d'indices Kappa de presque parfait à substantiel. Les classes marais, Oueds, plans d'eau et surfaces urbanisées obtiennent d'excellents taux de précision. La majorité des confusions est associée aux classes sols nus et broussailles.

L'étude de la dynamique intervenue dans l'occupation du sol de 2001 à 2009 fait apparaître que l'espace bâti est marqué par une forte extension spatiale de l'ordre de 8,87 % au détriment du couvert forestier et des broussailles.

Mots-clés : littoral méditerranéen ; Maroc ; occupation du sol ; classification supervisée ; GeoEye-1 ; Aster.

STUDY OF LAND COVER DYNAMICS OF THE SAÏDIA COASTAL PLAIN (MEDITERRANEAN COAST OF NORTHEASTERN MOROCCO) DURING THE PERIOD 2001-2009

ABSTRACT: A study based on satellite multitemporal and multispectral image data analysis was undertaken in order to assess the land cover change dynamics in the coastal plain of Saïdia on the Mediterranean coast located northeastern of Morocco. GeoEye-1 and Aster images acquired respectively in April 2009 and March 2001 were used for this analysis.

Two cards of land cover were generated by means of a supervised classification by the maximum of likelihood. Qualitative assessment was performed using Kappa index through a confusion matrix. The results of the precision analysis for both maps give an accuracy varying from 90 % to 75,56 % and Kappa indexes from almost perfect to substantial. Excellent accuracy rates were obtained for swamps, Wadis, plans of water and urban surface classes. The main confusions are associated with the bare soil and bushes classes. The study of land cover dynamics from 2001 to 2009 has shown that The built-up area has known an expansion of 8,87 % at the expense of forest areas and bushes.

Keywords: Mediterranean Coast ; Morocco; land cover; supervised classification; GeoEye-1; ASTER.

INTRODUCTION

Le présent article constitue une contribution au suivi de la dynamique de l'occupation du sol de la plaine côtière de Saïdia. Cette dernière a connu au cours du demi-siècle dernier une évolution importante dans le couvert urbain et surtout dans le couvert végétal, due essentiellement aux changements socioéconomiques, voire politiques (Bouabdallah et Larue, 2009 ; Salmon et al., 2010 ; Mouzouri et Irzi, 2011 ; Mouzouri et al., 2013). L'évolution constatée nous pousse à chercher les causes et les conséquences du changement du couvert du sol afin de mettre en place une politique pour restaurer et préserver ce littoral.

L'objectif principal de la présente étude est de faire l'analyse diachronique de l'occupation du sol dans la plaine côtière de Saïdia, en vue de mesurer l'ampleur des modifications du paysage résultant de la dégradation des ressources naturelles entre 2001 et 2009 ; et ce à partir des données géospatiales de sources et de natures diverses.

1. MATERIEL ET METHODES

Le suivi de la dynamique d'occupation du sol dans la plaine côtière de Saïdia est basé sur l'exploitation de deux types d'images satellitaires de résolution différente, soit GeoEye-1 et ASTER couplées aux investigations de terrain. La classification multispectrale des deux images a été réalisée par maximum de vraisemblance

2. RÉSULTATS ET DISCUSSION

2.1. ANALYSE DES MATRICES DE CONFUSION

Les résultats de l'évaluation de la précision de la classification pour les deux images GeoEye et Aster sont présentés dans les Tableaux 1 et 2. Ces tableaux montrent, pour chacune des classes, le niveau de précision et les principales confusions observées.

Tab. 1 – Matrice de confusion correspondante à la classification de l'image GeoEye-1.

Classes	Sites de vérifications												Nombre de points classés	Précision réalisateur (%)	Précision utilisateur (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1 Surfaces urbanisées	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	100.00	100.00
2 Voiries	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	100.00	100.00
3 Cultures	0	0	9	1	0	0	2	0	0	0	0	0	11	100.00	75.00
4 Broussailles	0	0	0	8	0	0	2	0	0	0	0	0	10	57.14	66.67
5 Forêts	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	6	100.00	100.00
6 Sables	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	6	100.00	100.00
7 Sols nus	0	0	0	2	0	0	5	0	0	0	0	0	8	75.00	75.00
8 Oueds	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	8	100.00	100.00
9 Marais	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	6	100.00	100.00
10 Plans d'eau	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	5	100.00	100.00
11 Mer chargée	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	7	75.00	100.00
12 Mer profonde	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	11	12	100.00	87.50
Nombre de points choisis	6	5	10	11	6	6	8	8	6	5	8	11	90	90	

Dans le Tableau 1, l'analyse de la matrice révèle que la précision globale du traitement est de l'ordre de 90 %. La valeur de coefficient Kappa correspond à 0,88 signifiant que 88 % du résultat de la classification n'est pas dû au hasard et qu'il y a un accord presque parfait entre cette classification et la réalité de terrain. De manière générale la carte obtienne d'excellents

taux de précision pour l'ensemble des classes. Toutefois, on observe que des confusions apparaissent entre les classes sols nus et broussailles, et entre les classes mer chargée et mer profonde. Cette confusion résulte principalement de la proximité de la réponse spectrale de ces classes.

Tableau 2 – Matrice de confusion correspondante à la classification de l'image Aster.

Classes	Sites de vérifications												Nombre de points classés	Précision réalisateur (%)	Précision utilisateur (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1 Surfaces urbanisées	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	83,33	71,43
2 Voiries	1	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	55,56	83,33
3 Cultures	0	0	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	7	75,00	85,71
4 Broussailles	0	0	2	4	2	0	2	0	0	0	0	0	10	50,00	40,00
5 Forêts	0	0	0	1	4	0	0	0	0	0	0	0	5	66,67	80,00
6 Sables	0	0	0	0	0	6	2	0	0	0	0	0	8	75,00	75,00
7 Sols nus	0	2	0	2	0	2	4	0	0	0	0	0	10	50,00	40,00
8 Oueds	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	7	100,00	100,00
9 Marais	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	6	100,00	100,00
10 Plans d'eau	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	5	100,00	100,00
11 Mer chargée	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	1	6	71,43	83,33
12 Mer profonde	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	11	13	91,67	84,62
Nombre de points choisis	6	9	8	8	6	8	8	7	6	5	7	12	90	75,56	

En ce qui concerne le Tableau 2, l'analyse de cette matrice révèle une précision globale de 75,56 % et une valeur du Kappa de 73,68 %. Donc selon Chalifoux et al. (2006) cette classification présente un accord substantiel. Certaines classes sont classifiées avec plus de précision que d'autres. Le niveau d'exactitude le plus élevé est obtenu pour les classes marais, Oueds et plans d'eau, et le plus faible pour les classes sols nus et broussailles. Le niveau d'exactitude très élevé, atteint par les classes des plans d'eau des marais et des Oueds est dû à la réponse spectrale très basse de l'eau qui est très distincte des autres classes (Pham, 2012). Le niveau de confusion le plus élevé apparaît entre les classes sols nus et broussailles, d'une part et sols nus et cultures d'autre part. Cette confusion résulte probablement en raison de pixels mixtes composés des sols nus et des arbustes isolés, et des sols nus et d'agriculture. Donc l'approche méthodologique pour la classification des deux images par maximum de vraisemblance peut être considérée comme globalement acceptable même s'il y a des erreurs d'affectation de certains pixels. La précision globale du traitement, est révélatrice de la meilleure adéquation de ce type d'images à la classification de l'occupation du sol. De même, le coefficient Kappa montre la supériorité de l'image GeoEye par rapport à l'image ASTER.

2.2. ÉVALUATION DE LA DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION DU SOL DE 2001 A 2009

Dans cette étude deux cartes d'occupation du sol ont été produites pour une période de 8 ans (2001-2009) (fig. 1-2).

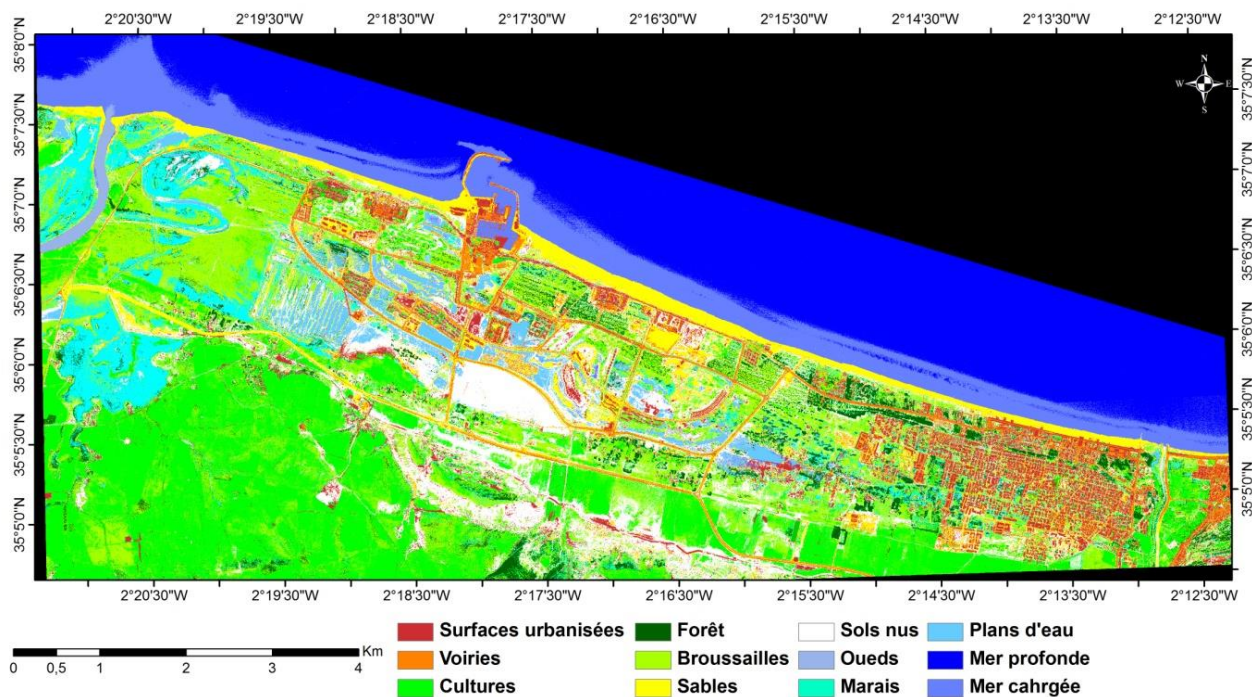


Figure 1. Classification supervisée de l'image GeoEye (2009) selon la méthode de «maximum de vraisemblance».

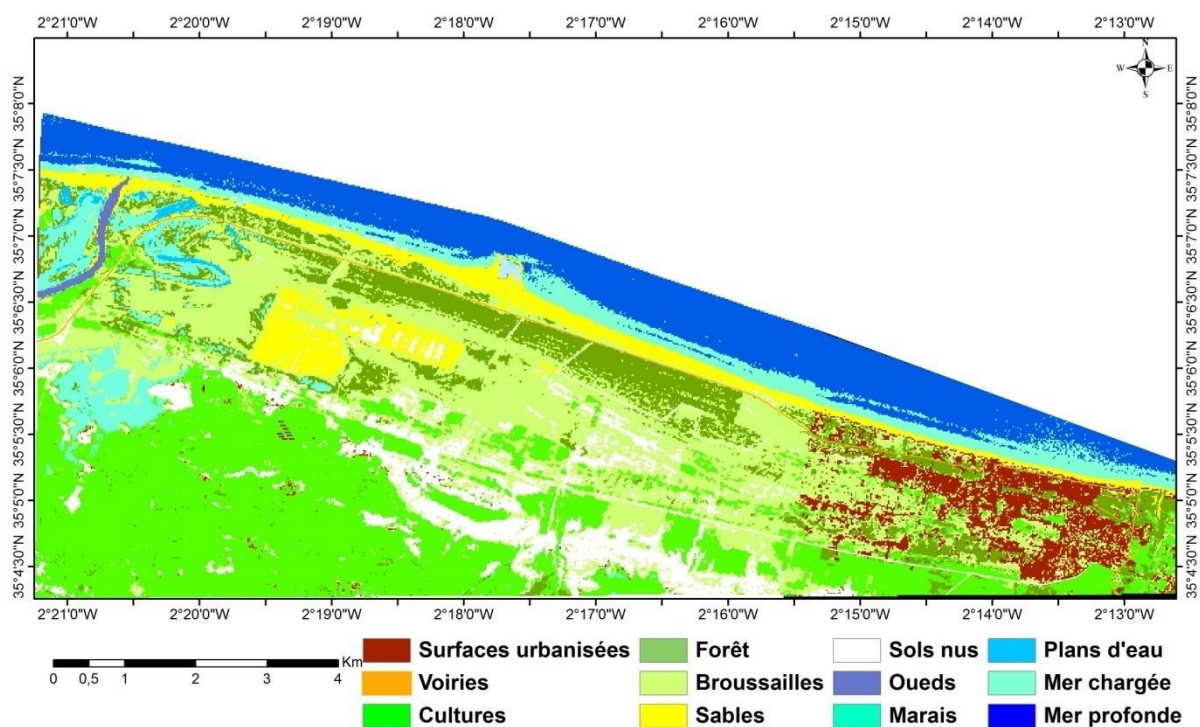


Figure 2. Classification supervisée de l'image Aster (2001) selon la méthode de «maximum de vraisemblance».

À l'issue de l'analyse des deux cartes d'occupation des sols durant la période 2001-2009, le Tableau 3 illustre l'évolution de l'ensemble des classes choisies.

Tableau 3 – Évolution de l'occupation du sol entre 2001 et 2009 dans la plaine côtière de Saïdia.

Classes	2001		2009		Variation (%) entre 2001 et 2009	Taux d'évolution annuel entre 2001 et 2009
	Superficie (ha)	Superficie (%)	Superficie (ha)	Superficie (%)		
Surfaces urbanisées	207	4,04	662	12,91	8,87	1,11
Voiries	50	0,98	188	3,67	2,69	0,34
Cultures	1477	28,80	1312	25,59	-3,22	-0,40
Sables	364	7,10	338	6,59	-0,51	-0,06
Sols nus	846	16,50	774	15	-1,40	-0,18
Forêts	554	10,80	245	4,78	-6,03	-0,75
Broussailles	1203	23,46	1074	20,94	-2,52	-0,31
Marais	376	7,33	372	7,25	-0,08	-0,01
Plans d'eau	23	0,45	139	2,71	2,26	0,28
Oueds	28	0,55	24	0,47	-0,08	-0,01

L'analyse de la dynamique de l'occupation du sol montre une évolution remarquable de l'espace bâti, de l'ordre de 8,87 % entre 2001 et 2009 pour les différentes agglomérations de la plaine. L'accroissement moyen annuel des espaces bâtis est de l'ordre de 1,11 %. Ce taux est le résultat d'une forte dynamique de l'urbanisation au sein de la plaine côtière. Le moteur principal de cette extension du bâti est le développement de l'économie résidentielle et surtout touristique dans le cadre de Plan Azur. Ce plan a pour objectif de créer 130 000 lits dans 6 stations balnéaires dans l'ensemble du Royaume.

Dans ce cadre, l'implantation de la nouvelle station balnéaire à Saïdia par le groupe "Fadesa Maroc" a augmenté le taux d'accroissement de l'espace bâti dans la plaine de Saïdia. Ce projet immobilier et touristique, s'étend sur une superficie de 713 ha et avec une extension de 156 ha sur des terrains domaniaux. Le développement de secteur de tourisme dans la région, a ouvert la porte à l'apparition de nouveaux lotissements dans le centre de Saïdia, et d'acquisition de résidences secondaires surtout par les marocains résidents à l'étranger. Les voiries n'occupent que 50 ha en 2001, contre 188 ha en 2009, soit un accroissement de 2,69 %. Ce taux est le résultat de développement de l'infrastructure routière dans le cadre de l'aménagement de la nouvelle station balnéaire.

Les formations forestières se situent aux périphéries du centre de Saïdia sont formées principalement des plantations d'Eucalyptus, la forêt de Tazegrarte contenant une Juniperaie à *Juniperus lycia* se trouve sur les dunes, et se présente généralement en bande de végétation assez dense parallèlement au trait de côte. Ce domaine forestier couvrait une superficie de 554 ha en 2001, soit 10,80 % de la superficie totale. Le taux de régression moyen annuel de cette unité est évalué à 0,75 %. Le domaine forestier a été réduit de près de la moitié en 2009, soit 245 ha. Cette forte régression serait en major partie le résultat du défrichement de la forêt pour l'implantation de la nouvelle station balnéaire. Actuellement, ce peuplement est fragmenté en plusieurs îlots distincts très dégradés. L'évolution de la classe broussaille rappelle celle de la classe forêts, avec une régression de 2,52 %.

Les terres agricoles, enregistrent une régression de 3,22 %. Cette évolution régressive est au profit des surfaces urbanisées et parfois, les champs délaissés par les agriculteurs se transforment en sols nus ou broussailles.

Les plans d'eau se limitaient en 2001 au niveau du bras mort de la Moulouya ainsi, que sur quelques sites des marais des Charba avec 23 ha. En 2009, on les retrouve étendus davantage sur plusieurs sites de la nouvelle station balnéaire et sur les bassins abandonnés par la société

aquacole de la Moulouya avec un taux de progression de 2,26 %. Cette progression des plans d'eau au détriment des champs et des broussailles est une conséquence de l'action de l'homme dans le processus de la dégradation et de la régression du couvert herbacé, l'extraction des sables des dunes littorales, et en particulier les aménagements réalisés à proximité des drains naturels orientés vers la mer Méditerranée, provoquant un déséquilibre dans l'écosystème côtier.

Les marais, les sables et les sols nus ne présentent pas des changements remarquables au cours de cette période.

CONCLUSION

Cette étude a permis de montrer que la classification multispectrale des images GeoEye et ASTER par maximum de vraisemblance permet une bonne identification des différentes classes avec une précision globale satisfaisante. De même, le coefficient Kappa montre la supériorité de l'image GeoEye par rapport à l'image ASTER.

L'analyse diachronique de l'occupation du sol montre que le couvert forestier et les broussailles ont connu une régression spatiale assez rapide et importante durant la période 2001-2009 au profit des aménagements touristiques envahissants. L'espace bâti est marqué par une forte extension spatiale de l'ordre de 8,87 % entre 2001 et 2009 au détriment des zones agricoles et broussailles. L'année 2009 a été caractérisée par l'accroissement des plans d'eau notamment au niveau de la nouvelle station balnéaire et sur les bassins abandonnés de la société aquacole de la Moulouya. Certainement, ces zones marécageuses seraient le résultat des interventions ayant modifié le paysage naturel ; en particulier les aménagements réalisés à proximité des drains naturels orientés vers la mer Méditerranée. Les résultats obtenus dans cet article constituent, un ensemble d'information scientifique de base pour une meilleure gestion des zones littorales et d'aménagement du territoire.

Références bibliographiques

- Bouabdallah M., Larue J-P. (2009) - Évolution du littoral de la baie de Saïdia : dynamique naturelle et impacts des aménagements (Maroc oriental). *Physio-Géo*, 3, 113–130.
- Chalifoux S., Nastev M., Lamontagne C., Latifovic R, Fernandes R. (2006) - Cartographie de l'occupation et de l'utilisation du sol par imagerie satellitaire landsat en hydrogéologie. *Téledétection*, 6 (1), 9-17.
- Mouzouri M., Irzi Z. (2011) - Évolution et morpho-dynamique de la plaine côtière de Saïdia (littoral méditerranéen du Nord-Est du Maroc) durant la période 1958-2006. *Bulletin de l'Institut Scientifique, section Sciences de la Terre*, 33, 67-78.
- Mouzouri M., Irzi Z., Essaddek A. (2013) - Utilisation d'image satellitaire et d'un modèle numérique d'altitude (MNA) pour la cartographie des zones à risque d'inondation sur le littoral méditerranéen de Saïdia (Nord-Est du Maroc). *Revue française de photogrammétrie et de télédétection*, 201, 49-63.
- Pham T. (2012) - Classification orientée objet d'une image Quickbird de la ville de Hanoi (Viêtnam) : étude empirique des paramètres de segmentation. *Revue Télédétection*, 11 (2), 287-305.
- Salmon M., Sbaï A., Boumeaza T., Benata M., Ozer A. (2010) - L'érosion des côtes meubles de l'extrême Nord-Est du Maroc. *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, 54, 97-106.

**EVALUATION QUANTITATIVE DE L'ÉROSION HYDRIQUE ET DE
DEPOSITION DANS LE PRIRIF ORIENTAL
(CAS DU BASSIN VERSANT DE L'OUED OUERTZA – MAROC)**

Zakariae AMHANI¹, Abdelatif Tribak¹, Khalid ARARI¹, Mohamed ABAHROUR¹ et Abdelkader EL GAROUANI²

1 - LAGEA-DD, FLSH - Sais, Route d'Imouzzer, BP.59, Fès, Maroc., Université Sidi Mohamed ben Abdellah Fès, Maroc. Tel : 212 628408633

E-mail : zakariae.amhani@usmba.ac.ma - tribakabdellatif@gmail.com

2 - Faculté des Sciences et Techniques de Fès, Route d'Imouzzer, BP. 2202, Fès, Maroc.

E-mail : el_garouani@yahoo.fr

RESUME : Le présent travail expose les résultats de notre étude concernant la cartographie de l'évolution spatio-temporelle de l'occupation du sol à partir des données de télédétection (images Landsat) sur une période de 27 ans (1987- 2014) d'une part, et la modélisation des processus d'érosion et de déposition d'autre part.. Dans le bassin versant de l'Oued Ouertza (73.47 km²) situé au nord-est du Maroc, l'analyse de données satellitaires a permis d'identifier quatre principaux types d'occupation du sol (Forêts/Reboisement, Arboriculture fruitières, culture annuelles et terrain incultes) Ensuite, les pertes de sol ont été estimées par le module RUSLE intégré dans le SIG Idrisi. Ces évaluations spatiales statiques des pertes de sol ont été alors utilisées dans un algorithme de sédimentation qui modélise le mouvement de ces pertes en sol vers l'exutoire et permet d'estimer l'érosion nette. Les résultats obtenus permettent l'identification des secteurs à l'échelle du bassin où les interventions sont nécessaires pour limiter les processus de dégradation des sols.

Mots-clés : Erosion, Déposition, Télédétection, Oued Ouertza, Maroc.

**QUANTITATIVE ASSESSMENT OF THE HYDRIC EROSION AND THE
DEPOSITION IN EASTERN RIF
(CASE OF WATERSHED WADI OUERTZA – MOROCCO)**

ABSTRACT: In this investigation, we utilize remote sensing data (four Landsat and Spot images were analyzed for a fifteen year period: 1987 - 2014) and a GIS for the quantitative evaluation as well as developing the spatial patterns of erosion and deposition within the Oued Ouertza basin (73.47 km²) located in north-east of Morocco. This contribution's primary objective is to integrate RUSLE's output data into a flow model (sedimentation) to access the net soil erosion and to identify priority areas (zones of high soil loss or deposition) for possible interventions to curtail and ameliorate land degradation. Analysis of these satellite data allowed the identification of four main land cover types (forest, fruit arboriculture, fields cultivated, fields not cultivated). After the determination of the areal distribution of each land type for each date, soil losses were estimated through the incorporation of a developed RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) module in the framework of Idrisi GIS. These static estimates of soil loss were then utilized in a newly developed sedimentation algorithm that models the down slope movement of the soil loss. These spatial (flow) movements were then evaluated to determine net erosion and deposition within the river basin for each time period. The patterns of soil loss and deposition over the duration of the study period show a relation to both the changing land cover and the land facets found within the river basin. The consideration of the erosion and deposition phenomenon at the same time in the study of the soil degradation process represents the originality of this work.

Keywords: Erosion, Deposition, Remote sensing, Oued Ouertza, Morocco.

INTRODUCTION

Les bassins pré-rifains situés au Nord de Taza constituent un milieu fragile et vulnérable intensément affecté par les processus d'érosion. Le contexte structural est marqué par la prédominance de matériaux tendres, essentiellement marneux, dans une structure tourmentée affectée de charriages. La fragilité des matériaux et leur sensibilité à l'érosion revêtent d'autant plus d'importance que la plupart des terrains sont dénudés et directement exposés aux effets morphogéniques des événements pluviométriques. La forte emprise humaine, à laquelle sont liées différentes modalités d'occupation des sols, explique pour une bonne part, la grande variabilité des phénomènes de dégradation des milieux ayant pour corollaire l'accélération et la diversification des phénomènes érosifs. Le bassin de l'oued Ouertza situé dans les collines marneuses au Nord de Taza, est sujet à une dynamique érosive intense dont les processus et les modalités montrent des aspects bien distincts. Les pertes en terre enregistrées annuellement sont impressionnantes ; elles dépassent nettement le seuil de tolérance.

1. Description de la zone d'étude

La région d'étude qui concerne le bassin versant de l'oued Ouertza d'une superficie d'environ 73.47 km², est située dans le pré-RIF oriental au Nord-est du Maroc, avec une topographie accidentée dont les altitudes varient de 430m au niveau de l'exutoire à 1373m au point le plus élevée (Jbel Azdem) (Figure 1).

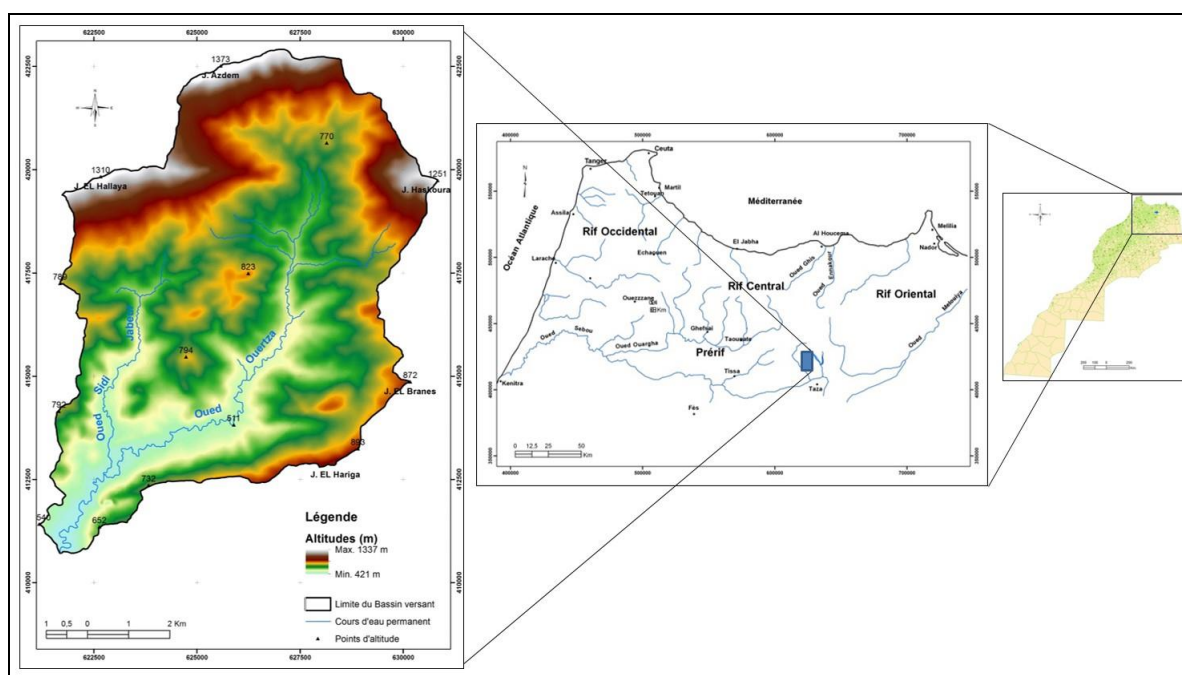


Figure 1. Localisation du site d'étude.

Les formations géologiques sont constituées de terrains marneux tertiaires dans une structure marquée par des charriages (Leblanc 1979). Le climat local est caractérisé par de forts contrastes saisonniers avec des pluies brutales et concentrées entre novembre et mars. La densité humaine dans la région dépasse le seuil de 100 habitants/km² et la plupart des versants sont totalement dénudés et mis en culture, ce qui a aggravé les problèmes d'érosion (Tribak 2000 et 2002).

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Notre démarche repose sur l'utilisation des données de la télédétection pour une connaissance spatialisée des facteurs de différenciation de l'érosion (occupation du sol, importance du couvert végétal, ...) et sur l'usage du système d'information géographique (SIG) pour des opérations d'analyse et de modélisation des processus d'érosion et de déposition. Pour un suivi multitemps de l'érosion à l'échelle du bassin versant, deux images satellitaires ont été utilisées : les images Landsat prises : le 07 octobre 1987 (capteur Thematic Mapper TM), et 14 octobre 2014 (capteur Enhanced Thematic mapper ETM+).

L'identification de la variation spatiale et temporelle de l'utilisation des sols dans la zone d'étude, a été réalisée à partir de la classification des images satellite Landsat-5 TM et Landsat-7 ETM + (entre 1987 et 2014). Les données acquises sont traitées et analysées par le logiciel de traitement d'image Erdas Imagine 2014. Dans un premier temps, ces images ont été géoréférencées selon le système de projection de la zone nord de Merchich. Ainsi, on a réalisé un découpage des images en sélectionnant les parties correspondant à la même partie de l'espace à partir des coordonnées géographiques de notre zone d'étude. Ces prétraitements géométriques ont permis l'intégration de l'imagerie satellitaire dans le SIG de la zone concernée et l'exécution des analyses requises. En outre, les opérations de mise en valeur et des combinaisons de canaux ont été faites pour améliorer le visuel de la qualité des images et d'augmenter la séparabilité des classes thématiques pour une bonne photo-interprétation.

Le modèle empirique RUSLE s'applique à la quantification des pertes en sol par érosion en nappes. C'est une fonction multiplicative des cinq facteurs qui contrôlent l'érosion hydrique : agressivité climatique (R), érodibilité des sols (K), inclinaison et longueur de pente (LS), occupation des sols (C) et pratiques antiérosives (P) : $A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$

La valeur de l'indice R utilisée pour la zone d'étude a été basée sur la formule de Rango & Arnoldus (1987) en utilisant les données climatiques disponibles (période 1970-2013) de la station météorologique de Had M'sila.

La valeur K a été obtenue en utilisant l'équation de Wischmeier, la carte pédologique de la zone d'étude, et d'infiltration et les propriétés des sols de la région tels que développés par (Tribak 2000 et Tribak et al .2009).

Facteur topographique (LS), dépend à la fois de la longueur de pente et de l'inclinaison de la pente. Le calcul de facteur LS du bassin versant de l'Oued Ouertza, est effectué à l'aide du logiciel IDRISI SELVA 17. Ce dernier utilise le MNT (Module Numérique de Terrain) pour calculer de degré de la pente, l'orientation et la longueur cumulative de la pente puis enfin calculer le facteur LS.

La valeur de C utilisée était basée sur les résultats des précédentes études similaires concernant certains bassins versants dans les montagnes du Rif (Tribak et al 2009, Sadiki et al 2004, Naimi et al 2004), et aussi à l'aide d'images satellite, ainsi que des observations sur le terrain.

Le facteur P va de 1 pour aucune conservation à 0,1 pour les terrains fortement paillés (Roose, 1996). Aucune conservation n'est pratiquée dans la zone d'étude, donc une valeur de 1 a été attribuée à l'ensemble de la zone d'étude.

Le modèle Sédimentation est basé sur les résultats du modèle RUSLE pour calculer le bilan d'érosion dans chaque parcelle élémentaire considérée homogène. Il utilise des polygones homogènes résultant du calcul du module RUSLE pour évaluer le mouvement net du sol (érosion ou dépôt) dans des parcelles ou des sous bassins versants (Lewis et al., 2005).. L'exécution de ce module vient après celle du module RUSLE et nécessite le recours à un

modèle numérique du terrain (MNT), aux images d'identification de polygones homogènes et à celle des pertes en sol résultant du calcul fait par RUSLE.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

L'étude diachronique de l'occupation du sol révèle une modification de l'espace naturel avec un accroissement des zones d'arboriculture fruitière (+96 %), une extension des sols fortement érodés (badlands et terrains incultes) (+93 %) et une réduction de zones de céréalicultures (-24 %). L'augmentation des zones d'arboriculture fruitière est justifiée lors de nos enquêtes sur terrain par les témoignages des habitants qui confirment avoir entamé une opération d'implantation d'olivier encouragée par l'Etat durant les années 90 (DPA de Taza, 1997 et 2007). Les surfaces occupées par la forêt et le reboisement n'ont pas subi de changement significatif.

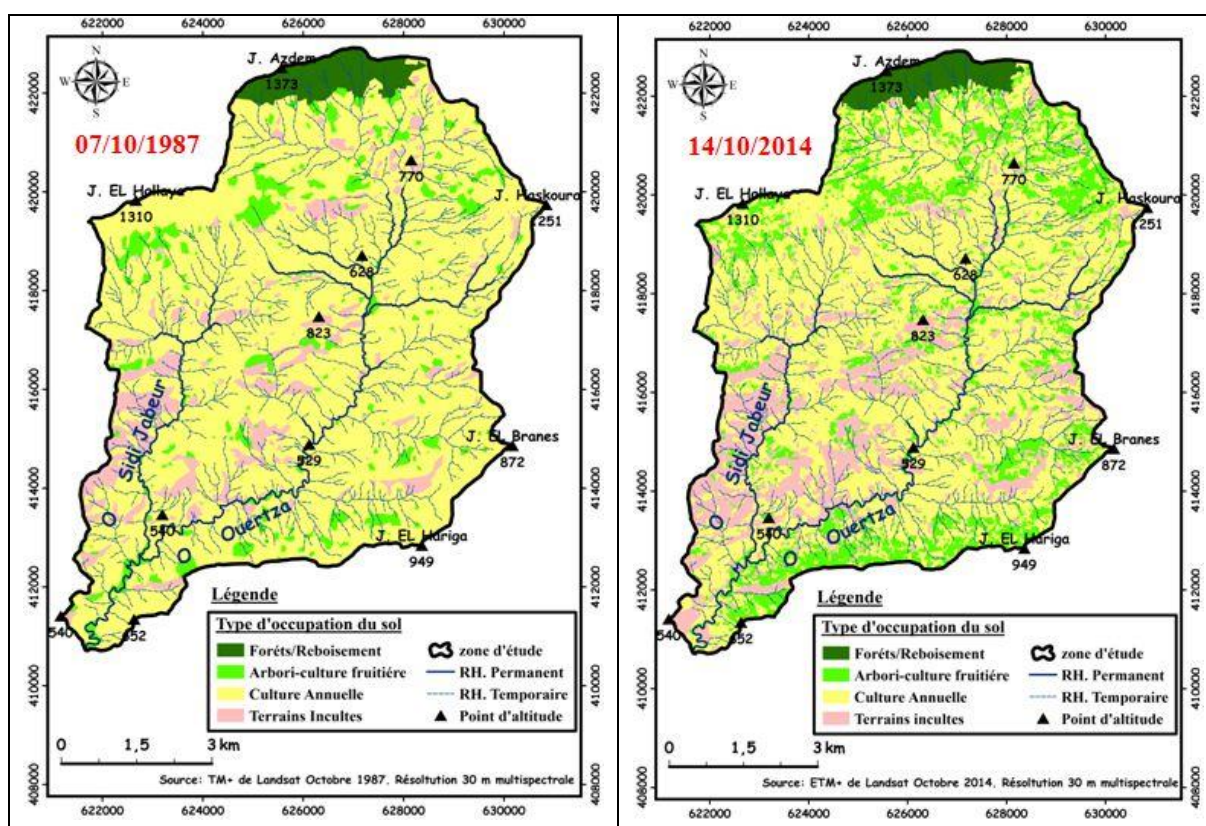


Figure 2. Evolution de l'occupation du sol dans la région de l'oued Ouertza entre 1987 et 2014.

Après la cartographie de l'occupation du sol pour chaque date de prise de vue, les pertes en sol nettes ont été estimées par les modules RUSLE et Sédimentation intégrés dans le SIG Idrisi version SELVA 17. Des cartes d'érosion et de déposition des sols ont ainsi été produites (Figures 3).

Ces cartes montrent à la fois l'ampleur des pertes en terres dans le bassin ainsi que leur variabilité dans le temps et l'espace. Les pertes moyennes pondérées déterminées par RUSLE par types d'occupation du sol varient entre (de 9,89 à 25,31 t/ha/an) comme valeur minimale dans les zones des arboricultures fruitières et (de 50,64 à 75,48 t/ha/an) comme valeur maximale enregistrée au niveau des badlands et terrains incultes (Tableau.3). Ces derniers correspondent généralement à des sols peu évolués d'érosion peu protégés et situés sur de fortes pentes. Les terrains occupés par les cultures annuelles (arables) manifestent également une forte susceptibilité à l'érosion avec des pertes annuelles de 44,85 à 58,92 t/ha/an.

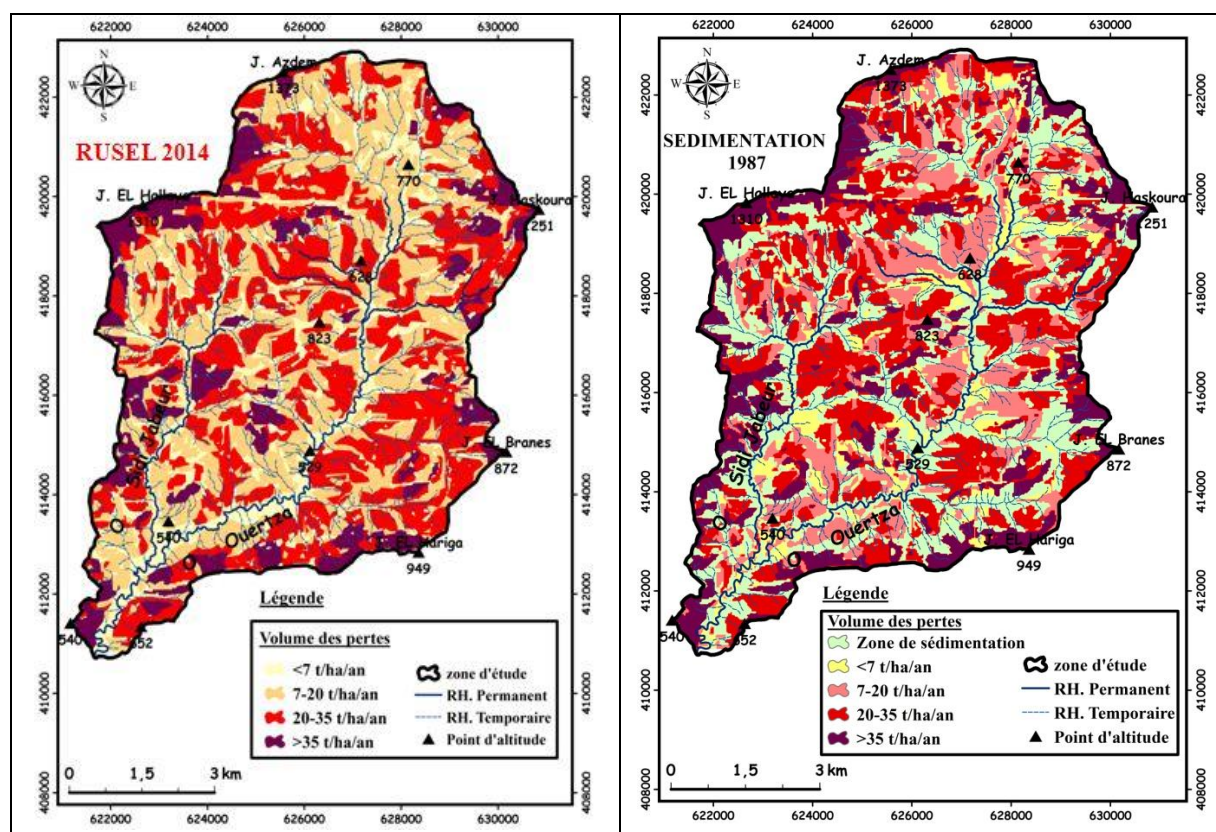


Figure 3. Cartes des pertes en sol établi par le module RUSEL et le modèle SEDIMENTATION.

Tableau 1. les pertes en sol moyennes annuelles par type d'occupation du sol.

Type d'occupation	RUSEL (t/ha/an)		SEDIMENTATION (t/ha/an)	
	1987	2014	1987	2014
Forêts/Reboisement	3,26	3,35	0,31	0,54
Arboriculture Fruitière	9,89	25,31	-6,64	-6,86
Culture Annuelles	58,92	44,85	-3,36	-13,6
Terrains Incultes	50,64	75,48	18,8	34,12
Moyenne	30,74	37,24		

Les pertes moyennes pondérées déterminées par le modèle SEDIMENTATION montré que les terrains incultes enregistre les valeurs maximales des volumes des pertes, le taux des pertes dans ces zone a augmenté de 22.56 t/ha/an en 1987 a 33.58 t/ha/an en 2014, cette augmentation significatif s'explique par la présence des pentes fortes et la fragilité des terrains abandonnées par la population locale, par contre les valeurs maximale de sédimentation ont enregistrées sur les cultures annuelles et les arboricultures fruitières, car le reboisement par l'olivier contribue de manière significative a la réduction des taux d'érosion par la stabilisation des sols et la protection contre l'effet du ruissèlement, la même chose pour les zones des cultures annuelles qui enregistre des faibles volume des pertes, car les valeurs enregistré dans ces zones sont des valeurs négative en raison de leurs localisation au niveau des rupture des pentes et au zones de faibles pentes, tandis que la zone de forêts enregistre des valeurs positifs en raison de leurs localisation au niveau des pentes fortes.

La comparaison de ces résultats avec ceux des études antérieures (Al Heusch, 1970 ; Dahman, 1994 ; Rehhou, 1999 ; El Garouani et al. 2003 et Karkouri, 2003 ;) montre que la prise en compte de la variabilité temporelle du processus d'érosion et du phénomène de déposition a en général conduit à diminuer la valeur d'érosion du sol.

CONCLUSION

Malgré que ce modèle quantifié que l'érosion en nappe et ne prend pas en compte le risque d'érosion concentré (ravinement profond et badlands) et le risque des glissements de terrain, mais il donne ou moins une idée sur la dégradation forte et continu des sols a cause de l'agressivité des pluies et la surexploitation.

L'analyse diachronique de l'évolution de l'occupation des sols entre 1987 et 2014 a montré une extension des zones de badlands et de terrains incultes (+93 %) et une réduction de zones de céréalicultures (-24 %), en plus les volumes des pertes dans ces zones sont augmenté de 22.56 t/ha/an en 1987 a 33.58 t/ha/an en 2014.

Bien que la validité des pertes en sols établies par RUSLE et Sédimentation soit sujette à discussion, cette méthode apporte une aide importante aux décideurs et aux aménageurs pour simuler des scénarios d'évolution de la région et planifier les interventions de lutte contre l'érosion, surtout dans les zones où l'érosion en nappe est prédominante sur l'érosion linéaire. Elle permet aussi de suivre l'impact de l'utilisation des sols et des aménagements sur la qualité des ressources en sol.

La technique utilisée permet l'évaluation rapide de l'érosion nette à l'échelle du bassin et l'identification des secteurs qui nécessitent des interventions pour lutter contre la dégradation des sols.

Références bibliographiques

- Bonn, F. 1998. La spatialisation des modèles d'érosion des sols à l'aide de la télédétection et des SIG : Possibilités, erreurs et limites», *Sécheresse*, Vol. 9, n°3, 185-192.
- Eastman, J.R. 2006. Idrisi Andes Manuel: Guide to SIG and Image Processing, Clark University, *Idrisi Production, Worcester*.
- El Aroussi, O. 2011 Predicting the potential annual soil loss using the revised universal soil loss equation (RUSLE) in the Wadi el Malleh catchment (Prerif, morocco), *Present Environment and Sustainable Development.*, 5:2, 5 – 15.
- El Garouani A., Chen H., Lewis L.A., Tribak A. et Abahrour M. 2009. Cartographie de l'utilisation du sol et de l'érosion nette à partir d'images satellitaires et du SIG Idrisi au Nord-Est marocain. *Télédétection*, 8 :3, 193-201
- Heusch, B. 1970. L'érosion dans le Pré-rif: une étude quantitative de l'érosion hydraulique dans les collines marneuses du Pré-rif occidental, *Annales des recherches forestières*, 12, Rabat, 9-176.
- Leblanc, D. 1979. Etude géologique du Rif externe oriental au Nord de Taza (Maroc)», *Notes et Mémoires, Service Géologique Marocain*, 281, Rabat, 250p.
- Lewis L., Chen H. and El Garouani A. 2007. Modeling soil erosion and deposition utilizing remote sensing and GIS in the Tlata river basin, Morocco. European Geosciences Union 2007, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 9.
- Tribak, A. 2000. L'érosion hydrique en moyenne montagne du Prérif oriental (Maroc). Etude des agents et des processus d'érosion dans une zone de marnes tertiaires, Thèse Doctorat, Maroc, 351p.
- Tribak, A., El Garouani, A., Abahrour, M. 2009. Evaluation quantitative de l'érosion hydrique sur les terrains marneux du PréRif oriental -Maroc : cas du sous-bassin de l'oued Tlata, *Sécheresse*, 20 :4 : 333-337
- Wischmeier W.H. 1976. Use and misuse of the universal soil loss equation, *Journal of Soil and Water Conservation*, 31:1, 5-9.

APPORT DES SIG POUR L'ÉVALUATION DES CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES DE BASSIN VERSANT DE L'OUED INAOUÈNE (NORD-EST MAROC)

BENZOUGAGH brahim¹; DRIDRI abdallah², BOUDAD larbi¹, SDKAOUI driss³

¹ Université Moulay Ismail, Faculté des Sciences de Meknès, Département de Géologie, Laboratoire de Géoscience, Patrimoine et substances utiles (GPSU). BP : 11202, Zitoune, 50000, Meknès- Maroc

² Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Faculté des Sciences de Dhar El Mahraz Fès, Département de Géologie, Laboratoire de Ressources Naturelles, Environnements et Développement Durables (RNE2D).

³ Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Faculté des sciences et Technique Fès, Laboratoire de Géographie, Ressources et Environnement (GRE).

E-mail : benzougaghbrahim@gmail.com

Résumé : Le présent travail expose l'apport des systèmes d'informations géographiques (SIG) pour l'évaluation des caractéristiques physiques de bassin versant d'Oued Inaouène qui se situe au nord-est du Maroc et qui s'étend sur une superficie d'ordre de 5109 km² et un périmètre de 414 km. L'extraction de bassin versant en question et ses caractéristiques géomorphologiques et hydrométriques a été faite à partir du modèle numérique du terrain (MNT) issu d'images SRTM avec une résolution de 90 m (Shuttle Radar Topography Mission: fait référence à des fichiers matriciels et vectoriels topographiques fournis par deux agences américaines : la NASA et la NGA). A l'essor des systèmes d'informations géographiques (SIG) et la qualité des MNT ont conduit à l'extraction du réseau hydrographique et des sous-bassins versants qui structurent l'espace en hydrologie, ceci nous a conduit à calculer les caractéristiques physiques de bassin versant (caractéristiques de forme, les altitudes, les pentes, le réseau hydrographique...). Afin d'établir des cartes thématiques relatives au bassin (carte des pentes, carte de sens d'écoulement, carte de drainage...

Mots-clés : SIG, MNT, Caractéristiques physique, bassin versant, Oued Inaouène, réseau hydrographique.

CONTRIBUTION OF GIS TO THE EVALUATION OF THE PHYSICAL CHARACTERISTICS OF WATERSHED INAOUÈNE RIVER (NORTHEAST OF MOROCCO)

Abstract : The present work presents the contribution of geographic information systems (GIS) for assessing the physical characteristics of Oued Inaouène watershed that lies north-east of Morocco, which extends over an area of order 5109 km² and a perimeter of 414 km. The watershed extraction in question and its geomorphology and hydrometric characteristics was made from the digital terrain model (DTM) derived from SRTM images with a resolution of 90 m (Shuttle Radar Topography Mission: refers to raster files and topographical vector provided by two US agencies: NASA and NGA). With the development of geographic information systems (GIS) and the quality of MNT led to the extraction of the water system and sub-watersheds that structure space in hydrology, this led us to calculate the physical characteristics watershed (shape characteristics, altitudes, slopes, river systems ...). To establish thematic map on the basin (slopes map, map direction of flow, drainage map ...

Keywords: GIS, DTM, physical characteristics, watershed, Inaouen River, river system.

INTRODUCTION :

Le présent travail porte sur l'évolution des systèmes d'informations géographiques (SIG) et Le développement de la technologie spatiale (télé-détection) et leur utilité sur la bonne connaissance et exploitation efficace des bassins versants. Les potentialités des outils SIG et télé-détection offrent un grand appui qui permet de générer les données descriptives du bassin. L'un des objectifs de la présente étude est de déterminer les caractéristiques physiques du bassin versant (caractéristiques de forme, de relief, les altitudes, les pentes, la typologie du réseau hydrographique), le second objectif de cette étude est l'élaboration des cartes thématiques (cartes des sous-bassins versant, carte de réseau hydrographique, carte de drainage, carte des pentes,...) et déterminer les zones à risque.

Grace à l'évolution des SIG on peut élaborer des études efficace sur les bassins versant afin d'établir des mesures adéquates dans l'aménagement du territoire, et la gestion des risques naturels susceptibles dans notre bassin versant d'Oued Inaouène.

1. DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE :

Le bassin versant de l'Oued Inaouène se situe au Nord-est du Maroc dans la région Taza (Fig.01). Il couvre une superficie d'ordre de 5109 Km², et un périmètre d'ordre de 414 Km. La zone d'étude et la limite entre le Pré-rif au nord et le moyen-atlas au sud, par sa situation géographique elle est caractérisée par un climat méditerranéen à influence océanique, marqué par de forts contrastes saisonniers et des irrégularités très nettes des précipitations (El Garouani et Tribak., 2014). Et une géologie à dominance des formations argilo-marneuses (Dridri & fadan., 2001). Le bassin versant d'Oued Inaouène est exposé au risque d'érosion hydrique vu les conditions favorable à leur genèse à sa voire le contraste climatique qui caractérisé par une pluviométrie moyenne annuelle d'ordre de 600 mm/an, et le couvert végétal qui est presque nul, la dominance des formations tendre, et le relief raide (Benzougagh et al., 2016).

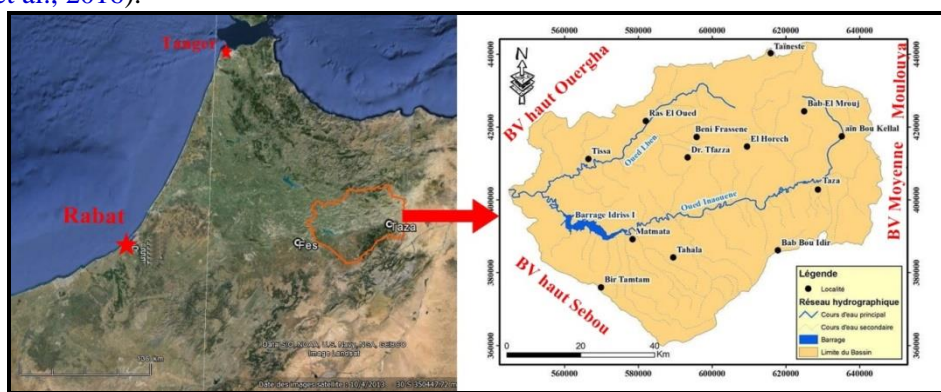


Figure.01 : Carte de la situation et des limites du bassin versant de l'Oued Inaouène.

2. MATERIEL ET METHODES :

Dans le cadre de ce travail nous avons utilisé une image du satellitaire de type SRTM avec une résolution de 90 m (Shuttle Radar Topography Mission : fait référence à des fichiers matriciels et vectoriels topographiques fournis par deux agences américaines : la NASA et la NGA). Leur utilisation est nécessaire pour élaborer un modèle numérique du terrain (MNT). L'intérêt d'un MNT (Fig.02) est de limiter le bassin versant d'étude et l'extraction automatique des caractéristiques physiques de la zone d'étude (caractéristiques morphologiques, paramètres de relief, paramètres morphométriques), (Charleaux., 2001).

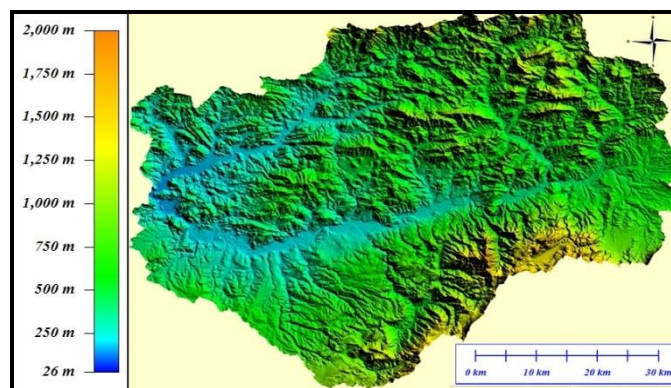


Figure.02 : Modèle numérique du terrain (MNT) du bassin versant d'Oued Inaouène.

Ainsi nous avons utilisé des cartes topographiques et géologiques à 1/50.000 de la zone d'étude (Taza, Tissa, Tahla, Ribat AL Khay, Matmata, Maghrawa, Fès-Est, El Manzal, Berkine, Beni Frassene, Bab El Mrouj, Ain El Bhira, Qalat Sles, Sefrou). Pour développer cette démarche, L'utilisation des logiciels des systèmes d'informations géographiques est très nécessaire. En utilisant le logiciel Quantum SIG (QGIS) open source pour développer cette démarche.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION:

Les résultats de matériels et données utilisés dans ce travail on aboutit à calculer les différents paramètres et des indices morphométriques de bassin versant de l'oued Inaouène, afin de caractériser l'environnement physique et leur influence sur l'écoulement des eaux superficiels, et de priorités les risques naturels susceptibles au niveau du bassin versant.

La réponse hydrologique d'un bassin versant est influencée par ses caractéristiques physiques en particulier le régime d'écoulement en période de crue ou d'étiage (Talatizi., 2014). Parmi les caractéristiques : la superficie (5109 Km²), périmètre (414 Km), la forme (selon Le coefficient de compacité de Gravelius $K_G = 1,63$ donc forme allongée, cette forme induire de faibles débits de pointe de crue), le rectangle équivalent ($L = 180,71$ Km et $l = 28,20$ Km) ces caractéristique se regroupent dans paramètres géométriques (André & Christophe ., 2003). Ainsi on a la courbe hypsométrique fournit une idée sur la pente du bassin versant (Fig.03),

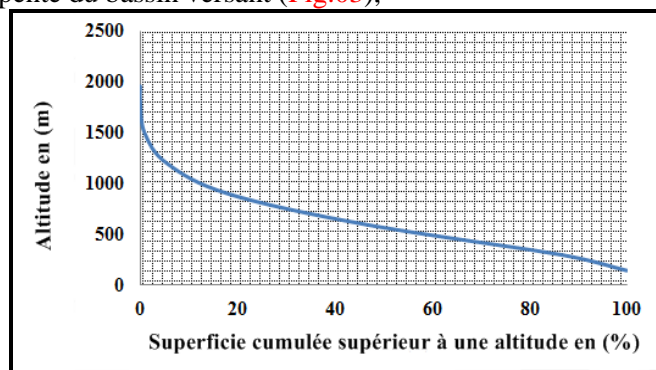


Figure.03: Courbe hypsométrique du bassin versant d'Oued Inaouène.

Les altitudes max, min, moyenne et médiane (Fig.02), la pente et l'indice de pente (Fig.04), on a une pente forte vers les plus hautes altitudes et La pente est faible au milieu ce qui donne l'idée à une pénélanation et par la suite il y'a naissance du risque d'inondation (Benzougagh., 2016) se caractéristiques se regroupent dans les paramètres de relief.

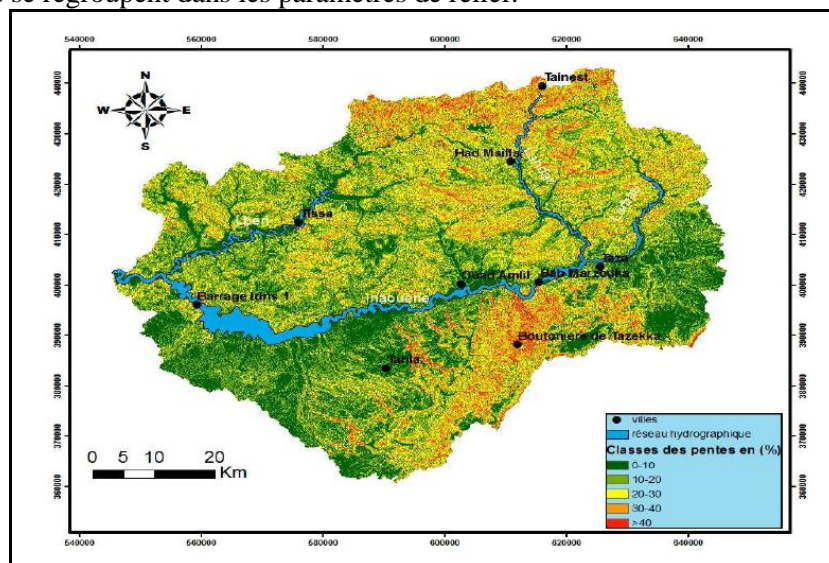


Figure.05 : Carte de pentes du bassin versant d'Oued Inaouène.

Et en fin les caractéristiques du réseau hydrographique qui est dense et ramifié (Dridri & Fdan., 2001) : la topologie, structure du réseau et ordre des cours d'eau, La longueur et les pentes caractéristiques du réseau, densité de drainage... (André & Christophe., 2003).

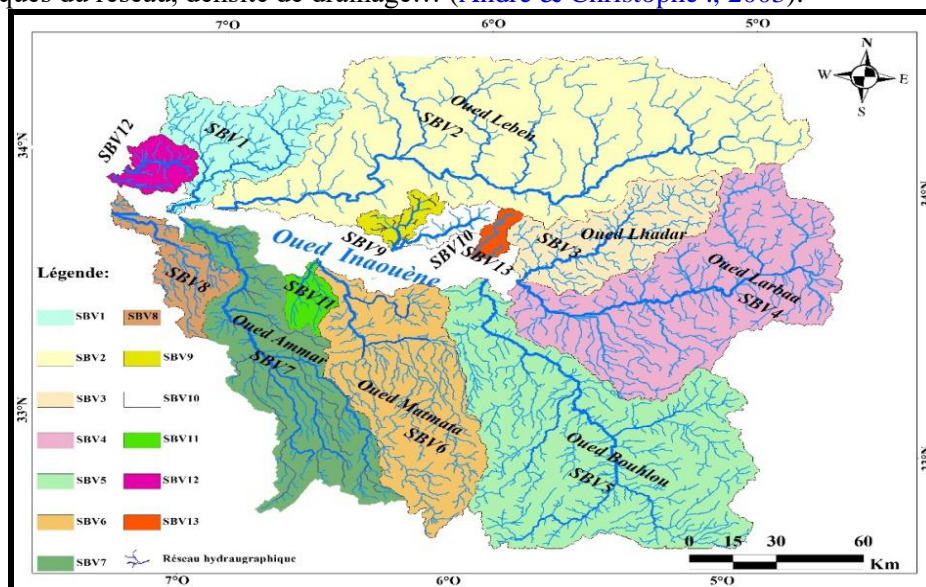


Figure.05 : Carte des sous-bassins versant et réseau hydrographique hiérarchisé du bassin versant de l'Oued Inaouène.

CONCLUSION :

Nous avons été amenés à extraire les caractéristiques géomorphologiques et hydrométriques, du bassin versant de l'Oued Inaouène à partir d'un MNT. L'extraction automatique de ces paramètres est une technique très adaptée actuellement, en particulier que ces techniques favorisent aux chercheurs un gain de temps et l'effort. Les résultats obtenus montrent l'efficacité des SIG et les MNT dans les calculs des caractéristiques physiques qui influencent l'écoulement des eaux superficielle et qui favorise le déclenchement des risques naturels possible (érosion hydrique, glissement du terrain, inondations,...).

Il faut noter que les SIG ont plusieurs utilités à découvrir à travers des études approfondies. Malgré tous ses mérites et les remarquables contributions des modèles numériques de terrain (MNT), bien qu'elle constitue une donnée très puissante d'analyse, l'informatique ne peut suffire à elle seule à résoudre tous les problèmes d'aménagement. Il faudrait des démarches complémentaires s'appuyant sur la réalité de terrain.

A la fin on recommande l'utilisation des techniques de la télédétection spatiale et les systèmes d'informations géographiques (SIG) et les modèles numériques du terrain (MNT) SRTM, pour la bonne gestion du bassin versant, ainsi que dans l'étude de la hiérarchisation des sous bassins versants, et une meilleure compréhension de la réponse hydrologique du bassin versant et ses sous bassins ce qui a permis une cartographie à jour de l'occupation du sol et l'identification des zones sensibles aux risques naturels.

Références bibliographiques

- ANDRE M & CHRISTOPHE H., (2003) : *Livre d'hydrologie : une science de la nature, collection gérer l'environnement. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes 314p.* Première édition ISBN 2-88074-546-2. Imprimé en Italie.
- BENZOUGAGH B., DRIDRI A., BOUDAD L., SDKAOUI D (2016). *Utilisation du SIG dans l'analyse morphométrique et la priorisation des sous-bassins versants de l'Oued Inaouène (nord-est du Maroc).* European Scientific Journal Février 2016 édition vol.12, No.4 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431.

- CHARLEAUX J., (2001). *Qualité des modèles numériques de terrain pour l'hydrologie, application à la caractérisation du régime de crues des bassins versants*. Thèse de Doctorat, Université de Marne – La – Vallée France.
- DRIDRI A., FEDAN B., (2001). *Rôle du contrôle structural dans la mise en place du réseau hydrographique de Sebou et d'Inaouène entre Fès et Oued Amlil (Maroc)*. Bulletin de l'Institut scientifique Rabat, section Science de la Terre, 2001, n° 23, 67-77.
- EL GAROUANI A., TRIBAK A., (2014). *Variabilités climatiques et ressources en eau dans le bassin versant d'Oued Inaouène (Nord du Maroc)*. Revue scientifique et technique LJEE n° 24 & 25 juin-décembre 2014. 76-83pp.
- TALATIZI I A., (2014). *Etude des infiltrations à travers une digue de barrage en terre, cas d'un barrage algérien*. Thèse de magistère, Université Mouloud Mammeri, Faculté du génie de la construction, Département de génie civil, spécialité : génie civil, option géotechnique et environnement. 190p.

Utilisation du SIG pour quantifier l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'oued Isly (Maroc oriental)

EL HAFID Driss* et AKDIM Brahim**

*Centre Régional des Métiers de l'Education et Formation – Oujda

**Laboratoire d'Analyses Geo-Environnementales et d'Aménagement, USMBA, Fès.

Résumé

Au Maroc, l'érosion hydrique constitue le principal facteur de la dégradation du sol. C'est un phénomène dynamique et très complexe, lié à des facteurs naturels et anthropiques difficilement maîtrisables dans le temps et l'espace. La dégradation des sols a des effets visibles sur l'environnement et entrave le développement économique et social. Les conséquences de l'érosion, aussi bien en amont qu'en aval des bassins versants sont coûteuses pour l'économie marocaine.

Le bassin versant de l'oued Isly est un bassin montagnard allongé d'une superficie de 1312km². Il fait partie du Maroc oriental, situé au sud de la ville d'Oujda. L'oued Isly est caractérisé par un écoulement irrégulier. Son débit augmente au cours de l'hiver et le début du printemps. Des débits extrêmes sont enregistrés après des averses exceptionnelles et très intenses dans les montagnes des Touissit et Guenfouda. Le bassin versant de l'oued Isly connaît à l'heure actuelle une dynamique érosive très active qui touche la totalité des versants sur les deux rives de l'oued Isly. Plusieurs facteurs contribuent aux processus de la dégradation du sol, tel que l'agressivité climatique et l'action anthropique.

L'objectif de la présente étude est d'estimer les pertes en sol au niveau du bassin versant de l'oued Isly par l'application de l'équation universelle de la perte de sol (USLE) et l'utilisation du SIG et de la télédétection. Cette étude vise aussi à discuter les facteurs amplificateurs du phénomène érosif dans ce milieu semi-aride.

Mots-clés : Bassin, oued Isly, l'érosion hydrique, SIG.

Summary

In Morocco, water is the main factor of soil degradation. It snaps a dynamic and complex process, linked to complex natural and anthropogenic factors. Land degradation has visible effects on the environment and impacts economic and social development. The consequences of erosion both upstream and downstream watersheds are expensive for the Moroccan economy.

The watershed of Isly river is a mountain lying basin with an area of 1312km². It is part of north - eastern Morocco, located south of the city of Oujda. Isly wadi is characterized by an irregular flow. Its flow increases during the winter and early spring. Extreme speeds are recorded after exceptional and very intense rain in the mountains and Touissit Guenfouda. This watershed knows at present a very active erosion on both banks of the Oued Isly. Several factors contribute to the process of land degradation, such as climate aggressivity and human action.

The objective of this study is to estimate soil loss in the watershed of Oued Isly by the using the universal equation of soil loss (USLE), GIS and remote sensing. This study also aims to discuss the erosion amplifiers in this semi-arid environment.

Keywords: watershed, Isly, water erosion, GIS.

Introduction

L'érosion hydrique constitue la première cause de la dégradation du sol au Maroc. Elle représente un risque naturel multidimensionnel et un défi environnemental de l'écosystème. Elle est parmi les phénomènes les plus préoccupants pour l'aménagement des bassins versants. Ce phénomène est très complexe, lié à des facteurs naturels et anthropiques difficilement maîtrisables dans le temps et l'espace. Certaines régions du Maroc, souffrent de l'érosion hydrique en périodes d'averses et les pluies torrentielles, qui touchent la couche arable ou de surface. L'envasement des barrages devient alarmant car plus de 75 millions de mètres cubes des capacités réservoirs de barrages chaque année perdus (MATEE, 2007). Le problème d'érosion hydrique au Maroc a fait l'objet de nombreuses études (Rahhou, 1999; Al Karkouri, 2003; Sadiki et al., 2004 ; Faleh, 2004; El Garouani, 2008 ; Abahror, 2009, Tribak et al., 2009 ; Elhafid et al., 2012; Markhi et al., 2015, Briak et al., 2016; Farris et al., 2016; Iaaich et al., 2016).

L'érosion hydrique est très active au bassin versant d'Oued Isly qui se situe au Sud-Est de la ville d'Oujda, au Maroc oriental. Les facteurs contribuant aux processus de la dégradation du sol, sont d'ordres physiques et anthropiques, dans cette région semi-aride. La présente étude met en évidence l'aspect quantitatif et qualitatif des pertes en sols dans ce bassin, à travers le modèle RUSLE (équation Universelle Révisée de Perte en Sol) dont les paramètres ont été essentiellement estimés par l'utilisation des SIG et des données d'images de la télédétection. Cette méthodologie a permis d'établir la carte des zones vulnérables à l'érosion, de reconnaître les facteurs initiateurs du risque d'érosion à l'échelle du bassin versant de l'Oued Isly et discuter leurs paramètres explicatifs et les incidences pratiques des processus en cours.

1- Aire d'étude et méthodologie

1-1 Présentation de la Zone d'étude

Le bassin versant de l'oued Isly se rattache géographiquement au Maroc Oriental. Il est allongé entre les provinces de Jerada et Oujda. Ce bassin montagnard recouvre une superficie de 1312 km² avec un réseau hydrographique d'une densité de 1,35 km/km². Sur le plan topographique le bassin comporte la partie Nord-Est de la chaîne des horsts (les monts de Zekkara et de Touissit-Sidi Bou Beker) et la plaine de Guenfouda. Les altitudes varient de 570 à 1660 mètres et les pentes varient de 0 % à 57 %. La lithologie du bassin versant de l'oued Isly est essentiellement calcaire et calcaire-dolomitique et des roches volcaniques récentes au SW d'Oujda vers Guenfouda. L'oued Isly traverse par un véritable couloir rétréci cette zone basaltique qui, vers le NW s'accroche aux chaînons jurassiques des Jbels Harraza et Mégrez (Laouina, 1978).

L'oued Isly qui traverse le périmètre urbain de la ville d'Oujda, est un affluent de l'oued Mouilah, lui-même affluent de l'oued Tafna en Algérie. Le régime hydrologique connaît globalement un écoulement pérenne en amont et un écoulement saisonnier et épisodique en aval. Le débit de l'oued Isly augmente en hiver et le début du printemps avec un débit moyen annuel qui ne dépasse pas 0,2m³/s à la station de Guenfouda. Son écoulement marqué par des crues exceptionnelles et violentes provoquant des inondations catastrophiques. C'est le cas par exemple le 27 septembre 2005 (850 m³/s à la station de Guenfouda et 1040 m³/s à Oujda), ce qui menace de crues la zone ouest de la ville d'Oujda.

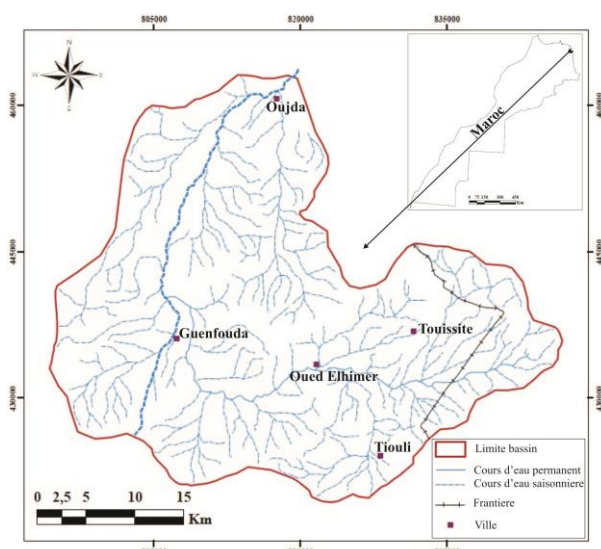


Figure 1 : Bassin versant de l'oued Isly

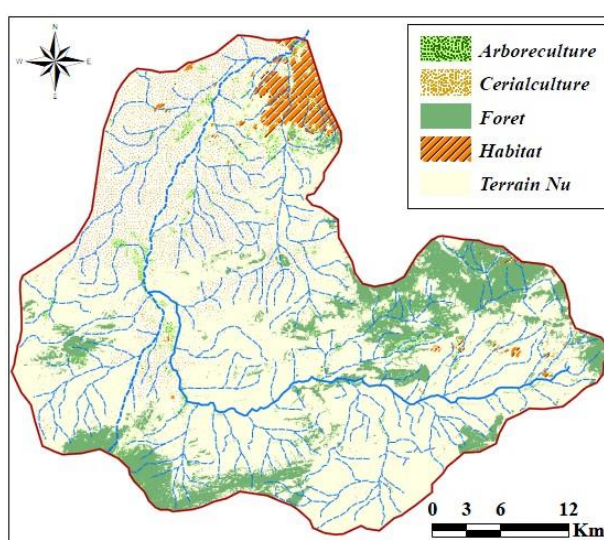


Figure 2 : Occupation du sol

Le climat est de type méditerranéen semi-aride. La moyenne annuelle des précipitations dans le bassin de l'oued Isly varie entre 310 mm à Oujda et 200 mm à Guenfouda. Le nombre de jours pluie est en moyenne de 55j/an, avec des minima en juillet et août et des maxima observés pendant les mois de novembre, décembre et janvier. La concentration des précipitations est une caractéristique du climat de la région. Une forte proportion des précipitations annuelles peut tomber en quelques jours. Cette concentration pluviométrique déclenche souvent des crues violentes (Elhafid et al, 2004).

Le couvert végétal est bien dégradé au milieu et en aval du bassin et assez dense en amont sur monts de Touissite et Jerada (Fig. 2). Il est constitué par des parcours et des arbres forestiers tels que chaînes vert, Thuya, les pins, glandes vertes, Tagat, romarin et les oliviers sauvages.

Les habitants ruraux du bassin d'Isly pratiquent une agriculture traditionnelle basée surtout sur la céréaliculture, l'arboriculture et le pâturage. Ils font aussi des travaux d'extractions minières dans les gisements de Touissite et Sidi Boubker et la contrebande à travers la frontière Algéro-Marocaine.

1-2 Méthodologie

La formule empirique de Wischmeier et Smith (1978) permet d'estimer le taux de perte en sol (*USLE*). Elle est le modèle Mathématique combiné avec les techniques de SIG, utilisé souvent au monde pour quantifier des pertes en sol. Cette équation est basée sur de très nombreuses expérimentations sur parcelles agricoles aux USA. Elle se base sur 5 facteurs explicatifs de l'érosion hydrique. Ces facteurs sont l'agressivité climatique, l'érodabilité des sols, le facteur topographique intégrant la pente et la longueur de pente, l'occupation des sols et les pratiques anti-érosives. Cette équation s'écrit :

$$A_{(t/ha/an)} = R * K * LS * C * P$$

- $A_{(t/ha/an)}$: Perte en sol par unité de surface et par an,
- R : Indice de pluie caractérisant l'agressivité climatique,
- K : Facteur d'érodabilité du sol,
- LS : indice combinant l'effet de la longueur L de parcelle et de la pente S ,
- C : Indice des pratiques culturelles,
- P : Indice d'aménagement anti-érosif.

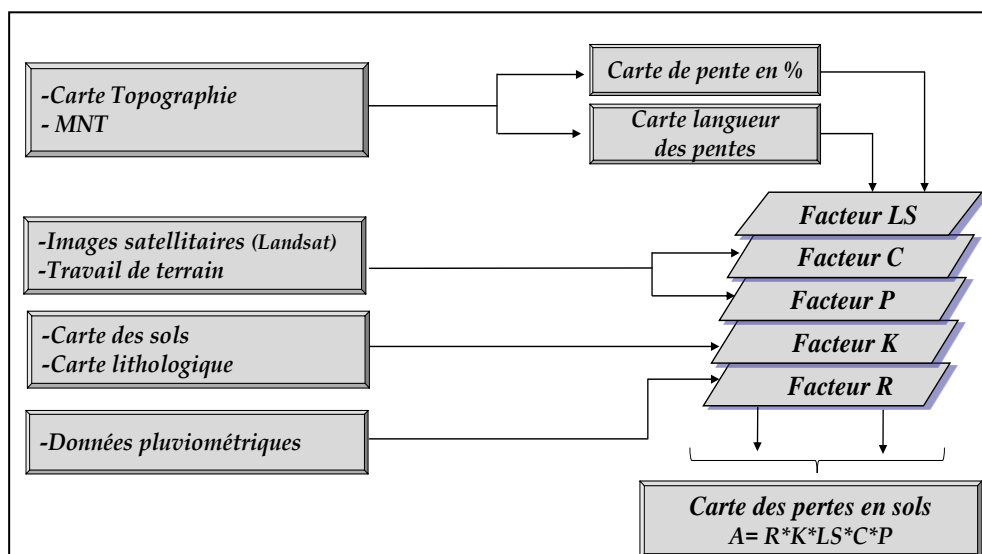


Figure 3 : Méthodologie adoptée.

L'organigramme au-dessus (Fig. 3) présente la méthodologie adoptée pour estimer et cartographier l'érosion potentielle. Elle vise à élaborer à l'échelle du bassin versant de l'oued Isly une carte des pertes en sol. Cette carte prend en considération la plupart des facteurs figurant dans l'équation de Wischmeier et Smith (1978), eux même exprimés sous forme de cartes thématiques. Le croisement de ces cartes numériques à l'aide du SIG nous a permis d'estimer le taux des pertes en sol à l'échelle du bassin versant d'Isly.

2. Résultats et discussion

L'application de l'équation de Wischmeier et Smith (1978) dans le bassin versant de l'oued Isly a permis d'estimer les pertes en sols et de cartographier l'érosion potentielle. Cela a été faite par le croisement des différents facteurs du modèle USLE (Equation Universelle Révisée de Perte en Sol) par l'utilisation des outils de spatialisation du système d'information géographique SIG et de télédétection. Ceci nous a permis d'élaborer une carte des pertes en sols spatialisée dans le bassin versant de l'oued Isly (Fig. 4).

La méthodologie utilisée a permis, à la fin, d'établir la carte du risque d'érosion. Elle montre que les pertes totales annuelles du bassin versant de l'oued Isly sont de 28575 t/an et la perte en sol est en moyenne de 21,78 t/ha/an. Les pertes varient de 1,03 t/ha/an à 64,3 t/ha/an. Le taux de l'érosion calculé par le modèle USLE Wischmeier et Smith (1978), permet de connaître la répartition du risque érosif. Il varie d'une zone à l'autre du bassin versant selon l'influence des différents facteurs explicatifs qui contrôlent l'érosion qui sont la pente, l'agressivité climatique, le type et le taux de couverture végétal et l'action anthropique. L'analyse des résultats des pertes en sols annuelles figurent sur la carte (Fig 4), montrent que les zones à grands risques érosifs se localisent sur les collines et les versants caractérisés par des pentes fortes et des substrats favorables. Elles représentent 46% de la surface du bassin de l'Oued Isly. Les terrains faiblement sensibles l'érosion y représentent 39% (Fig. 5).

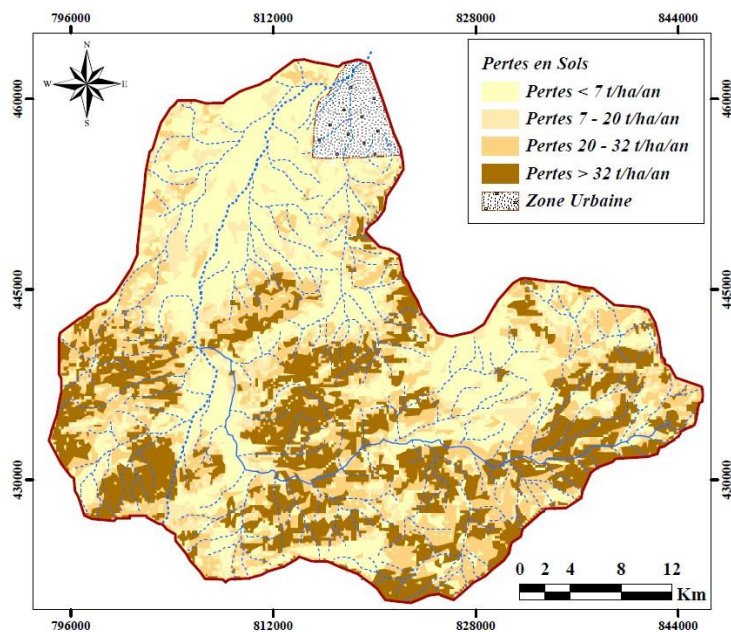


Figure 4: Carte des pertes en sols dans le Bassin de l'oued Isly

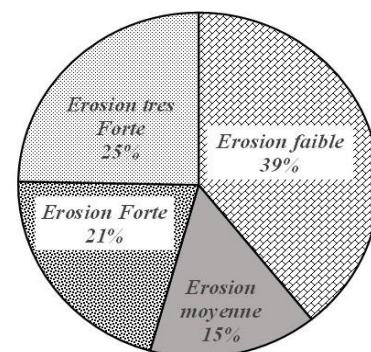


Figure 5: Répartition des classes d'érosion dans le Bassin de l'oued Isly

Les valeurs calculées par le modèle empirique d'évaluation des pertes en sol (USLE) de Wischmeier & Smith (1978) sont sujettes à discussion, mais la méthode est parmi les outils d'aide à la décision des aménageurs, car elle permet de simuler des scénarios de protection et de conservation des sols et pour planifier les interventions de lutte contre l'érosion, surtout sur les versants où l'érosion hydrique est prédominante (El Hafid et al., 2012).

Ce modèle empirique n'évalue que les pertes en sol causées par l'érosion de surface. Il présente plusieurs limites et a été critiqué, car il a été élaboré dans un contexte différent du nôtre. Malgré ces imperfections il reste un outil de gestion et d'aménagement pour les décideurs. Ces limites doivent être considérées et adaptées en intégrant les SIG qui permettent d'une part, de quantifier les pertes annuelles en sols et d'autre part, de cartographier les zones à risque érosif qui nécessitant les stratégies d'interventions pour la protection du sol et de diminuer l'envasement de certains barrages collinaires. Les vérifications du terrain restent dans tous les cas fondamentales dans ce type d'approche.

Conclusion

L'étude présente les résultats d'un travail cartographique basé sur le croisement par superposition des cartes des principaux facteurs de l'équation universelle de pertes en sols (USLE) de Wischmeier et Smith (1978) par l'utilisation du SIG pour élaborer une carte du risque d'érosion hydrique. Les résultats de cette méthode ont permis de ressortir que le risque érosif est présent et visible dans l'ensemble du bassin de l'oued Isly. Ils illustrent une spatialisation logique, en relation avec plusieurs facteurs, dont essentiellement relief et le type de substrats. En amont du bassin, les collines et les versants subissent une érosion plus forte alors que l'érosion réduite s'observe dans les vallées alluviales. La dégradation des sols dans le bassin de l'oued Isly a des effets visibles sur l'environnement (envasement 100% d'un barrage collinaire à de Mestfarki) et des conséquences socio-économiques négatives.

Références

Abahrar, M., 2009. Évaluation quantitative de l'érosion hydrique dans le bassin du Prérif oriental : cas de l'oued Tlate. Thèse Doctorat en géographie. Université Sidi Mohammed Ben Abdellah. Fès. 291 p.

- Al Karkouri J., 2003. Dégradation du milieu naturel dans le bassin versant de Béni Boufrah (Rif central-Maroc): analyse des facteurs et des processus, essai de quantification et de modélisation spatiale. Thèse de doctorat d'État. UM5, Rabat, 392p.
- Arnoldus H.J., 1980. Methodologie used to determine the maximum potential average soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco, Bulletin F.A.O, 34p.
- Briak H., Moussadek R., Aboumaria Kh., Mrabet R., 2016. Assessing sediment yield in Kalaya gauged watershed (Northern Morocco) using GIS and SWAT model. International Soil and Water Conservation Research, 2.3: 177–185.
- Chaker M., El Abassi H. et Laouina A., 1996. Montagne, piedmont, plaine : investir dans les techniques traditionnelles de CES au Maroc oriental. In C. R., Eiji I. Scoones Et P. T Oulmin (édit.). Techniques traditionnelles de conservation de l'eau et des sols en Afrique. CTA – OCDC, Karthala, pp. 75-86.
- Dhman L., Merzouk A., Sabir M. & Fenjiro I., 1997. Cartographie des pertes en terre dues à l'érosion hydrique par utilisation d'un système d'information géographique et des images satellites. Cas du bassin versant de Telata. Atelier de travail sur la modélisation de l'érosion hydrique par « RUSLE ». Marrakech, 24-28 mars 1997, 52-65.
- El Garouani, A. Chen, H. Lewis, L. Tribak, A et Abahrour, M., 2008. Cartographie de l'utilisation du sol et de l'érosion nette à partir d'images satellitaires et du SIG Idrisi au nord-est du Maroc. Revue Télédétection, vol. 8, n° 3, pp 193-201.
- Elhafid D., Akdim B. et Gilles E., 2004. Echelle spatiale et genèse des risques hydrologiques en milieu urbain et péri-urbain : cas de la ville de Oujda, Geomagreb, 2 : 1-10.
- Elhafid, D. Julia, R et Akdim, B., 2012. Erosion, aménagement et risque hydrologique dans le bassin versant de l'oued Sidi Yahya (Oujda, Maroc). Revue Géographie du Maroc N° 27, pp 79-90.
- Elhafid, D et Akdim, B., 2015. Quantification de l'érosion à l'échelle du bassin versant de sidi Yahya (Maroc oriental). Actes du Colloque international «Géomatique et gestion des risques naturels». Oujda. 6–8 mars 2012. P 435 - 444.
- Faleh, A., 2004. Évaluation quantitative, qualitative et modulation de l'érosion hydrique dans le bassin d'Aknoul et Mergat (Pré-orientale). Thèse doctorat d'état en géographie université Mohammed 1er Oujda. 375p (en arabe).
- Farris A.Y. Okoua, Brice Tente, Yvonne Bachmann, Brice Sinsina, 2016. Regional erosion risk mapping for decision support: A case study from West Africa. Land Use Policy 56 27–37.
- Florsheim J.L., Pellerin B.A., Ohara N., Bachand P.A.M., Bachand S.M., Bergamaschi B.A., Hernes P.J. and Kavvas M.L., 2011. From deposition to erosion: Spatial and temporal variability of sediment sources, storage, and transport in a small agricultural watershed. Geomorphology, 132: 272–286
- Gartet A., El Fengour M., Gartet J. et Conesa G.C., 2009. Dégradation de la qualité des eaux du barrage Sahla: traitement et gestion des risques de pollution (Province de Taounate, Rif – Maroc septentrional). Papeles de Geografía (Murcia), 49-50: 41-54.
- Iaaich H., Moussadek R., Baghdad B., Mrabet R., Douaïk A., Derradji A., Bouabdli A., 2016. Soil erodibility mapping using three approaches in the Tangiers province –Northern Morocco. International Soil and Water Conservation Research, 4, 3: 159–167
- Lahlou, A. 1986. Envasement des barrages au Maroc. Edit Belvedere. Casablanca. 286 p.
- Le Landais F. & Fabre G. 1975. Plan d'aménagement anti-érosif du bassin versant de l'oued Ouergha en amont du barrage El Ouahda. Rapport inédit, Administration des Eaux et Forêts et de la Conservation des Sols.
- Laouina, A., 1978. Observation sur les dépôts de géomorphologie de la région d'Oujda Rev. Geogr-Maroc N°2 Nouvelle. Série pp29-58.
- Laouina, A. 1990. Le Maroc Nord Oriental, Reliefs modelés et dynamique du calcaire. Publication du Rectorat de l'Université Mohammed 1^{er} Oujda. 605p.
- Laouina A. et Chaker M., 1979. Sols et érosion dans la chaîne de Beni Snassen dans le Maroc oriental. Cahiers du CERES série Géographie, 4 pp 61-87.
- Laouina, A., Chaker, M et Nafaa, R. 2003. Suivi et mesure de l'érosion hydrique des terres au Maroc, 15 ans de recherche et d'expérimentation. Revue .Géographie du Maroc, 1 et 2 : 79-98.

LA QUALITÉ DES EAUX SOUTERRAINES DE LA PLAINE DE FKIRINA -WILAYA D'OUUM EL BOUAGHI- NE ALGERIE

Miyada OUANES, Sara HASSAD, Assia GHOJMIS, Ahlem DJOHLAL, Belgacem HOUHA

Université Abbes Iaghror Khenchela, Faculté des sciences de la nature et de la vie. Département d'écologie et environnement Rue Oum El Bouaghi – Elhamma Khenchela 40000 Algérie.
E-mail : ecologieouannes@gmail.com

RESUME L'étude est réalisée dans la région de F'kirina qui est alimentée essentiellement par les eaux souterraines exploitées par plusieurs forages. L'étude hydro chimique, nous a permis de mettre en évidence les paramètres physico-chimiques ayant une influence directe sur la qualité des eaux ; ces paramètres sont liés aux systèmes aquifères existant ou à l'influence de la géologie. La minéralisation des eaux de la région est importante, les faibles valeurs se localisent près des massifs calcaires et les fortes valeurs nous les y trouvons en aval près du Garaet Et Tarf.

Nous avons fait des prélèvements d'échantillons sur 77 puits, sur lesquelles une étude biochimique a été réalisé au niveau d'ANRH où des modifications des teneurs de prélèvement ont été trouvées du moment que les concentrations de certains éléments chimiques dépassent les normes admissibles. L'évolution des éléments chimiques en fonction du temps fait ressortir que les eaux de la plaine seront classées en trois familles : famille chlorurée calcique; famille bicarbonatée calcique et famille sulfatée calcique. La mise en place de ces faciès est dus à la présence d'un remplissage formés par des dépôts calcaires (graviers et croûtes calcaires) et des dépôts salifères venant de l'érosion des formations carbonatées et gypsifères des massifs entourant la plaine ; sans oublier le facteur de lessivage du milieu qui est l'un des processus concentrateurs susceptibles de varier les faciès hydro chimique, selon les solubilités des sels mis en cause.

Mots clés : Bassin versant, Eau souterraines, F'kirina, paramètres physico-chimiques, pollution.

المدلخص

تم إجراء الدراسة في منطقة فكرينة التي يتم تزويدها أساسا بالمياه الجوفية المستغلة من عدة آبار. تسمح لنا الدراسة الهيدروكيميائية بتسليط الضوء على المعايير الفيزيوكيميائية التي لها تأثير مباشر على نوعية المياه. ترتبط هذه المعايير بشبكة المياه الجوفية المتواجدة أو بتأثير الجيولوجيا. تمعدن مياه المنطقة جد مهم، القيم الضعيفة تقع بالقرب من السلاسل الجيرية والقيم القوية نجدها في الأسفل بالقرب من قرعة الطرف.

قمنا بأخذ عينات نموذجية ل77 بئر، ومن ثمة القيام بدراسة بيوكيميائية على مستوى الوكالة الوطنية للموارد المائية. أين تم العثور على تغيرات في قيم العينات حيث أن تراكيز بعض العناصر الكيميائية تجاوزت المعايير المقبولة. تطور العناصر الكيميائية بدلالة الوقت يظهر لنا بأن مياه السهل سيتم تصنيفها إلى ثلاثة عائلات: عائلة كلوروكالسيوم، عائلة بركونات الكالسيوم وعائلة سلفات الكالسيوم.

تشكل هذه المظاهر راجع إلى وجود امتلاء مكون بالتوضعات الجيرية (الحصى، القشور الجيرية) وتوضعات ملحية ناتجة عن انجراف المكونات الكربوناتيية والجبسية للسلاسل المحيطة بالسهل. دون نسيان عامل تطهير الوسط الذي يعد من إحدى الظواهر المركزة القادرة على تنويع المظاهر الهيدروكيميائية حسب ذوبان الأملاح المتسببة في ذلك.

الكلمات المفتاحية: مجمع المياه، المياه الجوفية، فكرينة، المعايير الفيزيوكيميائية والتلوث

INTRODUCTION

L'eau représente la vie, dont on est sensé la protéger contre toutes formes de pollution pour assurer sa pérennité. L'eau représente à l'échelle de la planète un élément vital pour la subsistance de tout être vivant. C'est aussi un facteur prépondérant pour toute activité socio-économique, depuis l'aube de l'humanité. Les dernières décennies sont caractérisées par une industrialisation galopante et par une sécheresse intense qui touche l'Algérie d'une manière générale. Cette situation rend le domaine de l'eau de plus en plus vital et les nappes aquifères de plus en plus vulnérables à la pollution.

La région d'étude (la plaine de F'kirina) se situe au Sud-est de la ville d'Oum El Bouaghi à l'Est Algérien. L'étude proposée a pour objet la connaissance des caractères géologiques, hydrologiques, climatique, avec une synthèse hydrochimique des ressources en eau de la région.

Dans la première partie, nous décrivons des généralités sur l'eau comportera à expliquer les eaux souterraines. suivi d'un aperçu géographique de la région de F'kirina. Dans d'autre chapitres Une étude du cadre géologique consistera à définir les formations aquifères, L'étude hydroclimatologique du bassin versant de F'kirina, qui permettra d'évaluer les apports d'eau alimentant les aquifères. Dans la deuxième partie de ce travail, nous présentons l'étude hydrochimique qui a pour but de définir les faciès chimiques des eaux souterraines, de les comparer et de suivre l'évolution dans l'espace et dans le temps de ces faciès. Il sera également apprécié la qualité des eaux souterraines pour l'alimentation en eau potable et l'irrigation.

1. LA DESCRIPTION DE LA ZONE D'ÉTUDE

La plaine de F'Kirina représente une partie des hautes plaines constantinoises, des monts du Mellegue, des monts des Harectas et de ceux de Nememchas; à 900 m d'altitude, elle s'étend sur une superficie de 650 km². Elle appartient au sous bassin versant de Garaet Tarf. Le sous bassin versant de Garaet Tarf d'une superficie de 2430 km², appartient aux bassins versant des hautes plaines Constantinoise (9578 km² de superficie). Le climat de cette région est de type continental froid et pluvieux en hiver, chaud et sec en été, les périodes de printemps et d'automne sont courtes. En général, la plaine de F'kirina est caractérisé par une géologie complexe et qualifiée de grande tectonique. Les formations secondaires et tertiaires sont localisées à l'extrême Est, au Nord-Est et au Sud de la plaine, elle est recouverte par le Quaternaire. (figure 1)



Figure 1 : situation de la zone d'étude

2. RÉSULTATS ET DISCUSSION

L'eau destinée à la consommation humaine doit respecter un certain nombre de paramètres qui définissent sa potabilité, La qualité d'une eau souterraine est caractérisée par un certain nombre de paramètres physiques et chimiques. Les analyses physicochimiques des eaux de la plaine de F'Kirina pendant l'année 2011, ont montré une grande variation des concentrations des éléments chimiques. Ces dernières dépassent les normes de potabilité dans certains points de mesures.

2.1. Diagramme de Piper

Le diagramme de Piper permet une représentation des anions et des cations sur deux triangles spécifiques dont les côtés témoignent des teneurs relatives en chacun des ions majeurs par rapport au total de ces ions (cations pour le triangle de gauche, anions pour le triangle de droite).

La position relative d'un résultat analytique sur chacun de ces deux triangles permet de préciser en premier lieu la dominance anionique et cationique. A ces deux triangles, est associé un losange sur lequel est reportée l'intersection des deux lignes issues des points identifiés sur chaque triangle. Ce point intersection représente l'analyse globale de l'échantillon, sa position relative permet de préciser le faciès de l'eau concernée :

Le diagramme de Piper montre une évolution du faciès chimique depuis des eaux bicarbonatées calciques, riches en calcite (CaCO_3) près des affleurements carbonatés au Nord- est du bassin vers un faciès intermédiaire sulfatés calcique au centre de la plaine dans le remplissage plio-quaternaires riche en gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) pour finalement aboutir à des eaux chlorurées calciques à l'exutoire avec une intrusion des eaux de la Sebkhah (figure 2).

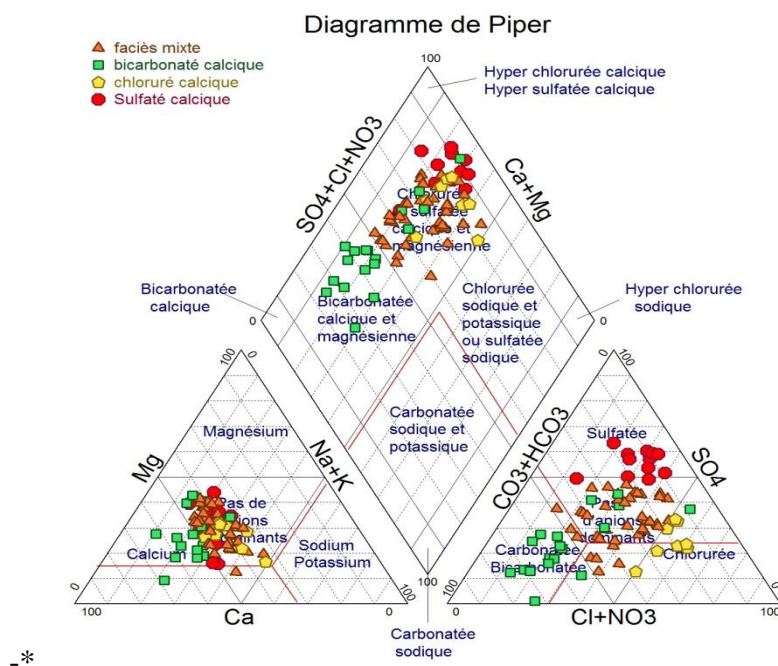


Figure 2 : diagramme de piper de la plaine de f'kirina

2.2. Les paramètres physico-chimiques :

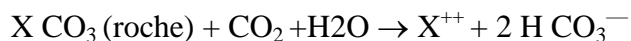
Les analyses des éléments chimiques ont été réalisées au laboratoire d'hydrochimie de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques de Constantine à l'aide d'un spectromètre d'absorption atomique de type de flamme 410 -scherwood- pour les cations, et à l'aide d'un scanner pour les autres paramètres: anions. Les paramètres physiques ont été mesurés in situ, à l'aide d'un multi paramètre de type HANNA HI9025.

2.2.1. Le Potentiel d'Hydrogène (pH)

Le pH ou potentiel d'hydrogène, qui correspond au cologarithme décimal de l'activité des ions H⁺ présents dans l'eau, constitue une expression de l'acidité ou de l'alcalinité du milieu qui sont évidemment une résultante de sa composition. Le pH est fortement influencé par la présence du gaz carbonique dissous (pCO₂) il est responsable de l'acidité du milieu aquatique quand il est dissous dans les eaux souterraines. Le pH doit être compris entre 6,5 et 9. Le PH mesuré dans le bassin de F'kirina varie entre 7.2 et 8.16. En générale les eaux de la plaine ont un caractère alcalin.

2.2.2. Les bicarbonates (HCO₃⁻)

Les bicarbonates, prennent naissance de l'équilibre physique-chimique entre roche, eau et gaz selon l'équation :



Les bicarbonates résultent de la dissolution des roches calcaires ou d'émanation du magma profond, l'apport atmosphérique de cet élément est négligeable. La concentration des bicarbonates dans l'eau est en fonction des paramètres suivants : Le PH de l'eau, la pression de CO₂, et La concentration de l'eau en sels et la nature géologique des terrains traversés.

L'examen de la carte de bicarbonates montre une diminution de teneurs au sens d'écoulement avec une moyenne de mesure de 247mg/l. les valeurs maximales est de 1061mg/l, celle minimale est de 116mg/l mesurée près des affleurements calcaires. L'accroissement de la teneur des bicarbonates juste à la sortie des calcaires maestrichtien est attribué à leur grande solubilité. En s'éloignant des affleurement, les eaux deviennent saturée et les carbonate précipitent et leur teneur diminue dans les eaux et se trouvent ainsi, contrôlés par la dissolution du calcium au nord-est du bassin

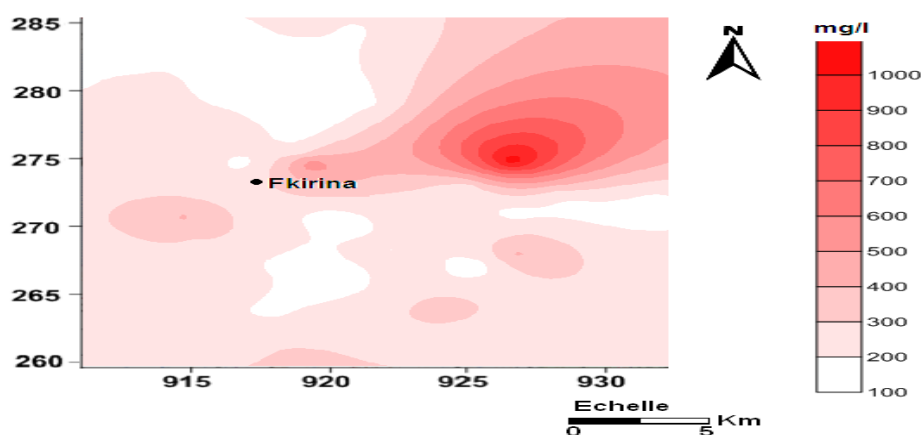


Figure 4 : carte de la distribution des teneurs en bicarbonate dans les eaux souterraines du bassin de F'kirina

2.2.3. Les sulfates (SO₄⁻²)

La présence des ions sulfatés dans l'eau est liée à la dissolution des formations gypseuses.

Les sulfates sont toujours présents dans les eaux naturelles en proportions très variables, leur présence dans l'eau résulte :

De la légère solubilité du sulfate de calcium (CaSO₄) des roches gypseuses.

- De l'oxydation du sulfure de fer (pyrite.....).
- De la pollution des eaux et de l'utilisation irrationnelle des engrais chimiques et organiques.
- De l'oxydation des sulfates d'hydrogène et des oxydes de soufre émis dans l'atmosphère puis entraînés lors des précipitations.

La carte de sulfate montre un foyer de concentration très élevée à l'ouest de la plaine, avec une valeur maximale de 2660 mg/l dépassant de loin les normes de potabilité. La présence d'inclusion gypsifère ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) et de roches salines évaporitiques (Na_2SO_4) seraient responsables de l'augmentation de la teneur en sulfate. La faible teneur en sulfate est de l'ordre de 12 mg/l mesurée près des affleurements calcaires. La moyenne de mesure est de 285 mg/l.

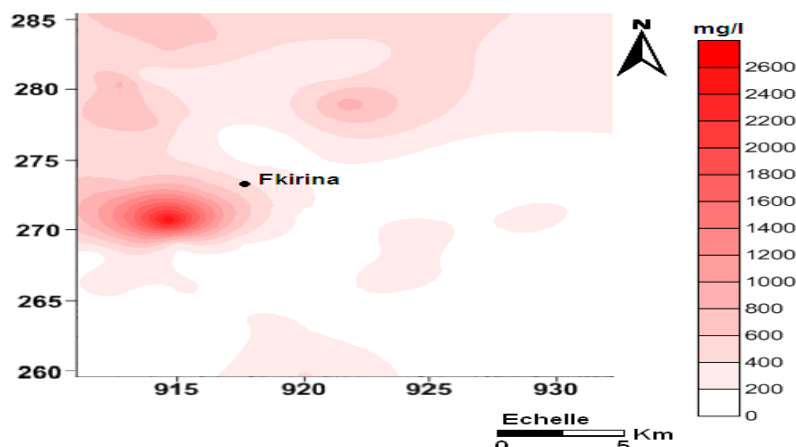


Figure 5 : carte de la distribution des teneurs en sulfate dans les eaux souterraines

2.2.4. Le calcium (Ca^{2+})

La présence des ions Ca^{2+} dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles: soit à la dissolution des formations carbonatées (CaCO_3), soit la dissolution des formations gypseuses (CaSO_4).



Les résultats de mesure obtenus au laboratoire et la carte de calcium montrent que la plupart des points d'eau de la plaine présentent des teneurs en ions calcium élevées (valeur maximale est de 720 mg/l) avec des concentrations supérieures à la norme de potabilité des eaux (100 mg/l), à l'exception de quelques points où les concentrations sont plus faibles (valeur minimale est de 52 mg/l) et exactement les zones limitrophes à Garaet Et Tarf où l'écoulement des eaux souterraines est très faibles (gradient hydraulique faible, les courbes isopièzes espacés), ce qui indique que ces eaux sont moins influencées par la dissolution des formations carbonatées et gypseuses.

On assiste selon la répartition spatiale à une concentration dans le sens d'écoulement avec moyenne de mesure de 135 mg/l.

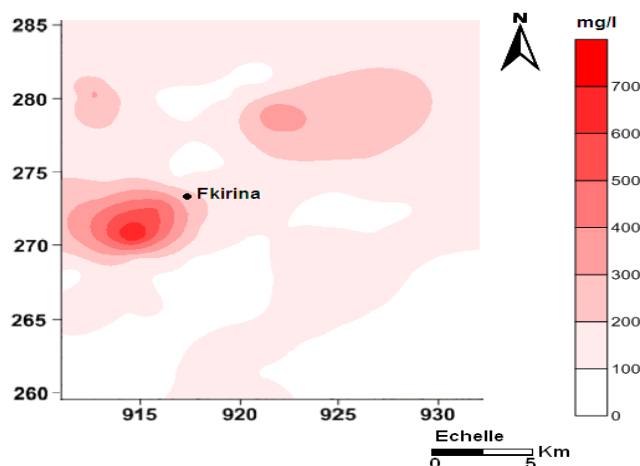
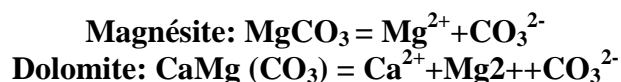


Figure 6 : carte de la distribution des teneurs en calcium dans les eaux souterraines

2.2.5. Carte de magnésium (Mg^{2+})

La dissolution de magnésium résulte principalement de l'infiltration des eaux de surface à travers les formations dolomitiques.

Le magnésium provient aussi de la dissolution des sulfates de magnésium dans les terrains gypseux et de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (magnésite et dolomite).



La carte de la distribution des teneurs en magnésium montre que la teneur maximale est de 427 mg/l, la faible teneur est de 8 mg/l et la valeur moyenne de mesure est de 55 mg/l dépassant les normes de la potabilité.

A l'est de la plaine on peut attribuer les fortes teneurs en magnésium à la dissolution des dolomites.

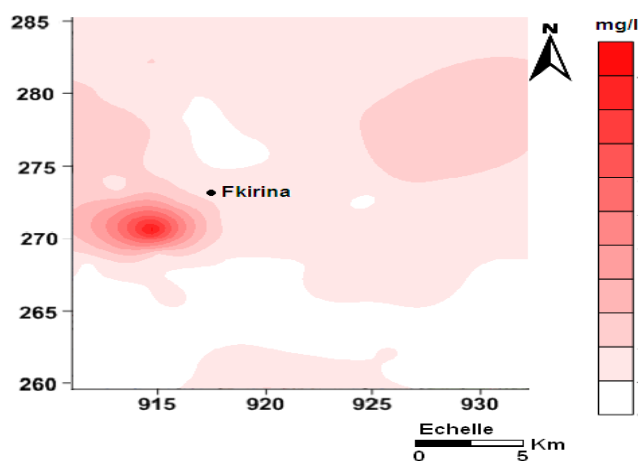


Figure 7 : carte de la distribution des teneurs en magnésium dans les eaux souterraines

CONCLUSION

L'étude hydrochimique, nous a permis de mettre en évidence les paramètres physico-chimiques ayant une influence directe sur la qualité des eaux ; ces paramètres sont liés aux systèmes aquifères existant ou à l'influence de la géologie.

La minéralisation des eaux de la région est importante, les faibles valeurs se localisent près des massifs calcaires et les fortes valeurs nous les y trouvons en aval près du Garaet Et Tarf.

Selon le diagramme de piper nous avons permis de classer les eaux en trois familles qui sont : La famille chlorurée calcique; famille bicarbonatée calcique; et famille sulfatée calcique. La mise en place de ces faciès est dus à la présence d'un remplissage formés par des dépôts calcaires (graviers et croûtes calcaires) et des dépôts salifères venant de l'érosion des formations carbonatées et gypsifères des massifs entourant la plaine ; sans oublier le facteur de lessivage du milieu qui est l'un des processus concentrateurs susceptibles de varier les faciès hydrochimique, selon les solubilités des sels mis en cause. La majorité des eaux de la plaine de F'kirina ont des teneurs supérieures aux normes Ces eaux sont très dures, ce qui entraîne des inconvénients de cuisson et pour la lessive. Ces eaux ayant de très fortes minéralisations et peuvent entraîner des risques de salinisation des sols.

APPORT DU SIG ET L'ANALYSE MULTICRITERE AU DEGAGEMENT DES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE DU BASSIN HYDROGEOLOGIQUE DU HAUT ATLAS CALCAIRE D'OUAOUIZEGHT, MAROC.

Ikram BOUTIRAME, Ahmed BOUKDIR, Hassan IKHMERDI, Lahcen ALILI et Elhacen BENSAID
Université Sultan Moulay Slimane, Laboratoire de Génie industrielle, PB 523, Béni Mellal, 23 000
Maroc. ikrame.geol@gmail.com

RÉSUMÉ : la région d'Ouaouizeght a fait l'objet d'une prospection géophysique par méthode électrique. L'interprétation des sondages électriques réalisées et leur confrontation aux données géologiques et hydrogéologiques de la zone d'étude a permis de cerner la structure profonde des aquifères du Jurassique moyen afin de comprendre leur fonctionnement hydrogéologique.

Deux niveaux aquifères logeant dans les formations calcaire-dolomitiques du Jurassique moyen (Bajocien et Aalénien) ont été identifiés, ces formations aquifères montrent une structure en synclinal asymétrique marquée par une forte dépression au niveau de la zone axiale du secteur d'étude (localité rurale d'Ouaouizeght). L'interprétation des résultats de la prospection géophysique a permis également de relever l'existence d'un ensemble des failles jouant un rôle important dans la communication hydraulique inter-aquifère (abouchement du Dogger dans le Lias à travers des failles).

L'intégration des résultats géophysiques et hydrogéologiques dans une base de données SIG a permis d'élaborer des cartes de recharge et de productivité potentielle des deux aquifères étudiés, l'examen et l'analyse de ces cartes ont permis de délimiter les zones à forte disponibilité en eau souterraines et choisir neuf sites d'implantation des ouvrages de captage d'eau à forte probabilité de réussite.

Mots-clés : Ouaouizeght- prospection géophysique- aquifère- synclinal- failles- SIG.

CONTRIBUTION OF THE GIS AND THE MULTICRITERIA ANALYSIS FOR THE INVESTIGATION OF THE GROUNDWATER RESOURCES OF CENTRAL HIGH ATLAS WATERSHED OF OUAOUIZEGHT, MOROCCO.

ABSTRACT: The region of Ouaouizeght has been the subject of a geophysical exploration by electrical method. The interpretation of electrical surveys realized and their confrontation to the geological and hydrogeological data of study area has helped to identify the deep structure of the aquifers of the Middle Jurassic in order to understand their hydrogeological functioning.

Two levels aquifers staying in the formations calcaire dolomitic-the Middle Jurassic (Bajocian and Aalenian) have been identified, these aquifer levels present a structure in asymmetric syncline marked by a strong depression at the level of the axial zone of the study area (rural locality of Ouaouizeght). The interpretation of the results of the geophysical prospecting has also allowed raising the existence of a set of faults affecting these levels aquifers; these faults play an important role in hydraulic communication inter-aquifers.

The integration of geophysical results and hydrogeological data in a GIS database has allowed developing maps of recharge and potential productivity of the two aquifers studied, the review and analysis of these cards have helped to delineate the areas of high availability in groundwater and choose nine sites of implantation of the drilling with high probability of success.

Keywords: Ouaouizeght- geophysical prospecting- syncline- faults-GIS.

INTRODUCTION

Dans les chaînes montagneuses du Haut Atlas central où se situe la zone d'étude, les besoins en eau de la population rurale sont assurés par les eaux de surface (sources, oueds..) ou par l'apport de la nappe phréatique qui s'écoule dans les formations du Crétacé et les dépôts quaternaires à l'aide des puits traditionnels; il s'agit des nappes secondaires dont le potentiel hydrogéologique ne peut pas être qualifié d'important, contrairement à celles qui circule dans les formations calcaires et dolomitiques du Jurassique inférieur et moyen (aquifères du Lias inférieur et du Dogger).

Pour contrer à ce problème, la prospection des champs captant les eaux souterraines s'avère une alternative nécessaire. La présente étude s'inscrit dans cette optique, elle a pour objectif principal la délimitation des zones les plus potentielles qui permettraient le dégagement des ressources en eau souterraines à travers l'exploitation des résultats de la prospection géophysiques (sondage électrique) et leur compilation avec les données géologiques et hydrogéologique de la zone d'étude.

1. Description de la zone d'étude

Le secteur étudié fait partie du bassin hydrogéologique du Haut Atlas calcaire d'Ouaouizeght. Il est limité par la transversale Marrakech-Ouarzazate à l'Ouest, la vallée de l'Oued Ziz à l'Est, la chaîne du Moyen Atlas au Nord et au Sud par l'accident Sud-Atlasique qui le sépare du sillon pré-africain (couloir d'Ouarzazate à Boudnib). La zone d'étude comprend le synclinal d'Ouaouizeght et une petite partie au Nord-Ouest du synclinal de Taguelft, séparés et traversés par l'Oued El Abid

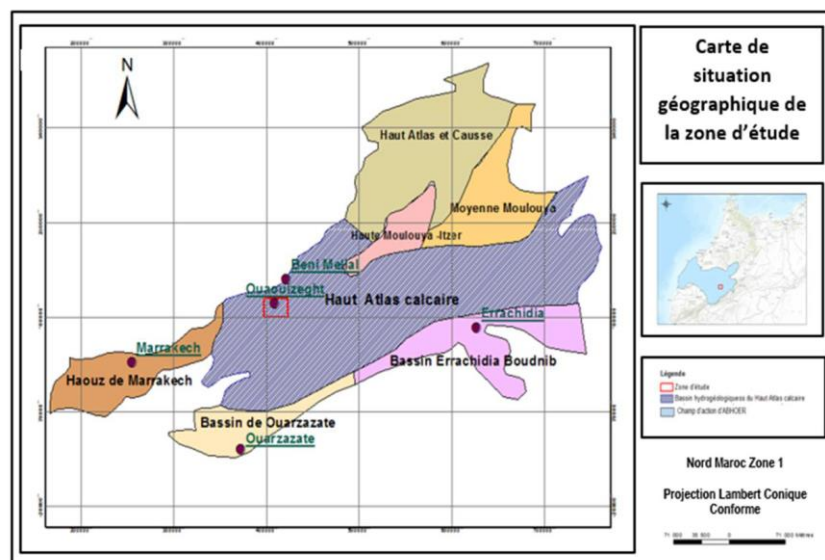


Figure 1. Localisation géographique de la zone d'étude.

Le secteur d'étude faisant partie du Haut Atlas calcaire (domaine atlasique) se caractérise par un climat semi-aride, méditerranéen à influence océanique, avec une concentration des précipitations en automne et en hiver. Ce climat est marqué par une forte évaporation et des températures moyennes élevées avec des écarts mensuels et journaliers importants.

La géologie de la zone d'étude est présentée par cinq grandes formations lithologiques :

- les terrains anté-jurassiques (Permien-Trias): ils comprennent des basaltes doléritiques, des marnes et argiles à niveaux salifères;
- les carbonates jurassiques (Hettangien à Bathonien) qui constituent la quasi-totalité de la chaîne;
- les couches rouges (Bathonien à Barrémien);
- le Crétacé non-basal (Aptien à Turonien) représenté par des marnes et des calcaires;
- les formations du Tertiaire et Quaternaire représentées par des formations continentales de remblayage

Au niveau de l'analyse hydrogéologique, deux ensembles de nappes d'eau souterraine, circulant dans des niveaux aquifères d'âge jurassique ont été révélés. Il s'agit, d'une part, d'un premier complexe aquifère renfermant deux principaux niveaux aquifères qui correspondent aux deux principales assises calcaires (calcaires aaléniens et calcaires du Dogger), séparés par un niveau de marnes et de marno-calcaire, et d'autre part, d'un deuxième niveau aquifère dont le faciès est représenté par des calcaires lités, des dolomies et des calcaires massifs largement fissurés. la communication hydrauliques entre ces deux niveaux aquifères est assuré par un ensemble de failles.

2. MATERIEL ET METHODES

La prospection électrique par sondage électrique est basée sur l'injection en surface d'un courant électrique I entre les électrodes d'injection (dites électrodes d'injection A et B) et la mesure de la différence de potentiel ΔV entre les électrodes de mesure M et N. Le rapport de ces deux paramètres permet de calculer la résistivité électrique des terrains sous-jacents.

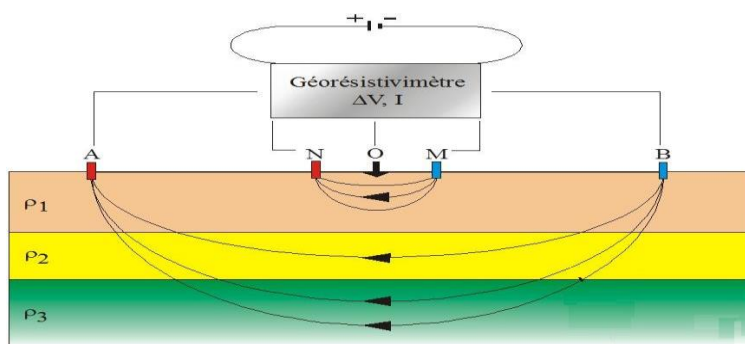


Figure 2. Principe du sondage électrique

Les mesures de résistivité électriques ont été acquises à l'aide d'un résistivimètre GRM 3000. Pour couvrir l'ensemble de la zone d'étude, 40 sondages électriques ont été réalisés, bien répartis sur toute la zone d'étude, soit sur une superficie de 400 km².

Le traitement des résistivités apparentes des sondages électriques a été réalisé avec le logiciel **WinSev 6** de GEOSOFT. L'analyse des sondages électriques a permis de déceler deux niveaux aquifères notés R1 et R2 et de déterminer la profondeur de leur toit à la verticale de chacun des sondages.

Les cartes géoélectriques (carte des isopaques et des isohypses) des formations aquifères étudiées sont réalisées à l'aide du logiciel Surfer 12 de GOLDEN SOFTWARE.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

L'épaisseur du premier niveau aquifère R1, attribué aux formations calcaires du Bajocien, oscille entre 20 et 220m, ce niveau présente une structure en synclinale asymétrique qui montre un approfondissement général vers le Nord-Ouest (vers Timoulilt) et dans la zone centrale du secteur d'étude (localité d'Ouauizeght).

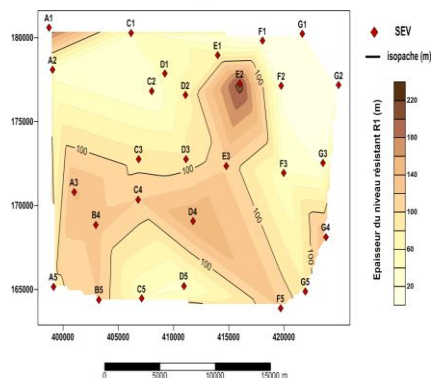


Figure 3. Carte des isopaques du niveau aquifère R1

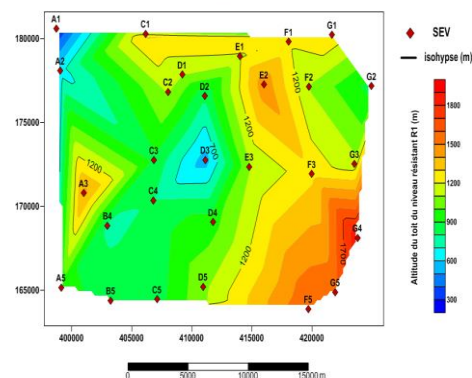


Figure 4. Carte des isohypses du toit du niveau aquifère R1

L'analyse de la carte des isopaques du niveau résistant R2 (calcaire bleus à beiges d'Aalénien) a permis de mettre en évidence une zone située au Nord-Ouest et Sud-Est qui présente des épaisseurs faibles à moyennes et une zone de fortes valeur d'épaisseur située à l'extrémité Nord-Est. La remontée du toit du niveau résistant R1 au Sud-Est traduit la faible puissance du niveau conducteur du Bajocien (marne et marno-calcaire).

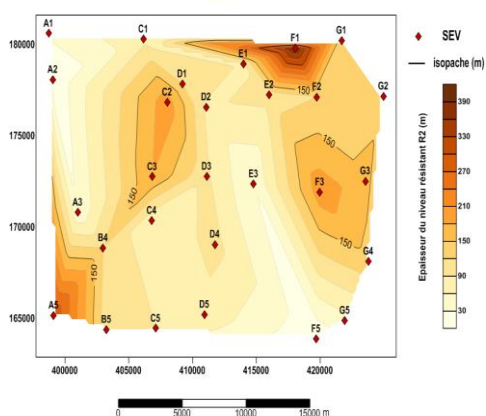


Figure 5. Carte des isopaques du niveau aquifère R2.

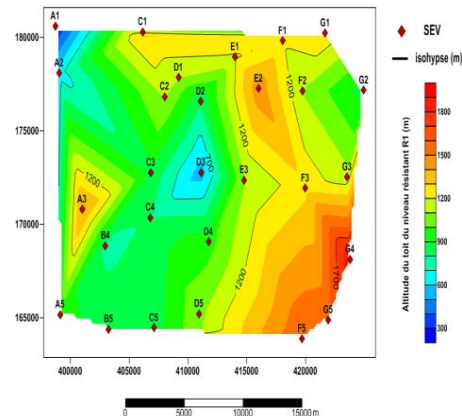


Figure 6. Carte des isohypses du toit du niveau aquifère R2.

Afin de cibler les zones les plus prometteuses de point de vue géophysique, on a élaboré les cartes de la résistance transversale RT de chaque niveau aquifère étudié. Ce paramètre est le produit de l'épaisseur de l'aquifère par sa résistivité vraie.

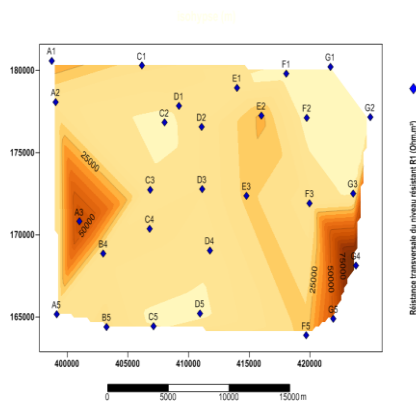


Figure 7. Carte de RT du niveau aquifère R1.

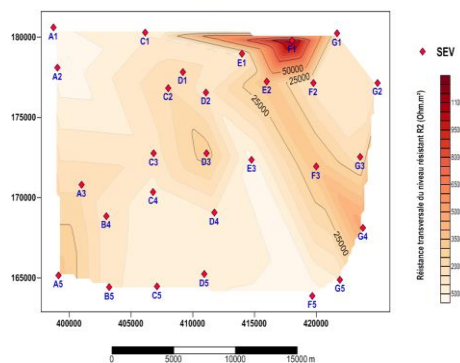


Figure 8. Carte des isohypses de RT du niveau aquifère R2.

La zone située à l'Ouest et au Sud-Est du secteur d'étude (**Figure 7**) est caractérisée par des valeurs de RT très importantes ; cette augmentation de la RT est due essentiellement à la forte valeur de la résistivité et l'épaisseur assez élevée de l'aquifère du Bajocien à ces endroits. Cependant, pour la zone située au centre de la zone d'étude, au voisinage des sondages électriques D2 ; D3 ; C4..., les valeurs assez élevées de la RT observées au niveau de cette zone sont dues essentiellement à l'épaisseur importante de ce niveau ainsi que les valeurs de la résistivité vraie moyennement élevées de l'ordre de 100 Ohm.m.

La zone observée au (**Figure 8**) au voisinage des sondages électriques F1 et G1 montre une forte anomalie de la valeur de RT, elle est due aux fortes valeurs de résistivité électrique (300 Ohm.m) et la valeur importante de l'épaisseur de l'aquifère R2 à ces endroits.

Pour délimiter les zones les plus favorables pour l'implantation des sondages de reconnaissance, des cartes de productivité des formations aquifères relevées dans la zone d'étude ont été élaborées. Ces cartes sont issues de la compilation des cartes de la lithologie affleurante, des résistances transversales (RT) et celles de la densité de fracturation de la zone d'étude.

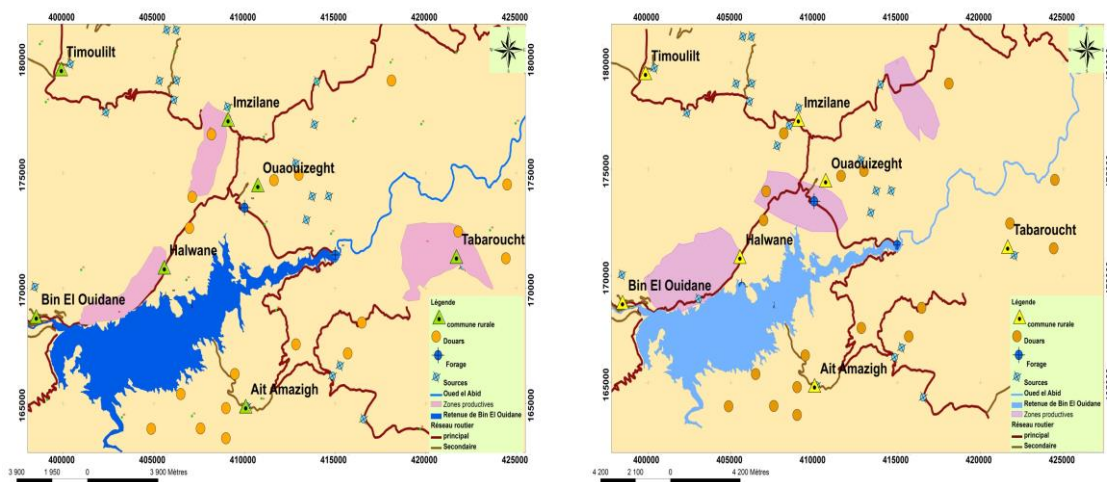


Figure 10. Zones productives de l'aquifère R1 (à gauche) et R2 (à droite).

Les deux cartes ci-dessus cartographient la distribution spatiale des zones productives de l'aquifère du Bajocien et d'Aalénien (notés R1 et R2). Trois zones d'une productivité importante ont été définies, pour l'aquifère R1, ces zones se concentrent dans la partie

médiane (à l'Ouest d'Ouaouizeght) et à l'Est du secteur d'étude au niveau de la commune rurale de Tabaroucht et au Sud-Est et au Nord-Ouest de la commune d'Ouaouizeght pour l'aquifère R2.

En tenant compte de plusieurs critères de sélection notamment la productivité des aquifères étudiés, la position des points d'eau par rapport aux captages existants (sources, forages...) et par rapport aux localités à approvisionner (cercle rural d'Ouaouizeght), cinq sites d'implantation des captages d'eau ont été proposées.



Figure 10. Implantations de reconnaissance proposées.

CONCLUSION

La présente étude a fait l'objet d'une prospection des champs captant les eaux souterraines des aquifères les plus potentiels du bassin hydrogéologique d'Ouaouizeght (aquifère du Bajocien et d'Aalénien).

L'exploitation des résultats de prospection électrique et leur l'intégration avec des données de diverses sources (géologiques, hydrogéologiques, structurales...) dans une base de données SIG a permis d'élaborer les cartes de productivité potentielles des deux aquifères étudiés du bassin hydrogéologique d'Ouaouizeght. Ces cartes ont permis de définir les zones à forte disponibilité en eau souterraine dans la zone d'étude et elles ont servi également de guide pour poser des investigations et choisir cinq sites d'implantation des ouvrages de captage d'eau à forte probabilité de réussite.

Références bibliographiques

- CHARRIERE A, IBOUH H ET AHDDOUMI H., (2011). *Le Haut Atlas central de Béni Mellal à Imilchil*.
- HARMOUZI O., (2010). *Reconnaissance détaillée de la partie nord-est du Bassin de Saïss (MAROC): interprétation de sondages électriques verticaux par combinaison des méthodes statistique, géostatistique et d'inversion*.
- OULAROISS Z., (2009). *Thèse en cotutelle « Etude climatologique, hydrogéologique et géophysique du Côtier des Doukkala (Maroc). Apport de l'analyse statistique et de l'inversion des données géoélectriques à l'étude du biseau salé de la lagune de Sidi Moussa »*.

CARTOGRAPHIE ET ANALYSE STATISTIQUE DES RESEAUX DE FRACTURES DE LA BOUTONNIERE DE SIDI IFNI (MAROC)

Mohamed OUGADIRE¹, Moha IKENNE¹, Yves GERAUD², Nourissaid ICAME¹, Said BOUTALEB¹, Bastien WALTER², Sébastien HAFFEN², Marc DIRAISON³, Noura LKEBIR¹, Houria ABAHOUS¹.

¹Laboratoire de Géologie Appliquée et Géo-Environnement « LAGAGE » Département des Sciences de la Terre, Faculté des Sciences Agadir, Université Ibn Zohr, Maroc.

²GeoRessources-ENSG – Université de Lorraine Rue du Doyen Marcel Roubault 54500 Vandœuvre-lès-Nancy, France.

³Institut de Physique du Globe (IPG), UMR 7516 CNRS-Université de Strasbourg/EOST 1 rue Blessig Strasbourg Cedex, 67084, France.

RESUME : Dans la boutonnière de Sidi Ifni (Anti-Atlas occidental – Maroc), une base de données a été créée à partir des fractures reconnues à différentes échelles d'observation et en utilisant plusieurs outils : images satellitaires, MNT et cartes géologiques. L'analyse statistique de la distribution de la fracturation en nombre et en longueur cumulée, a montré trois familles dominantes d'orientation, N30°-70, N90°-100 et N150-°180. Les longueurs de fractures s'ajustent mieux à une loi de puissance. Cette loi met en évidence le caractère auto-similaire de la fracturation pour les longueurs de fractures comprises entre 301 m et 10000 m. les réseaux de fractures auraient atteint un stade de développement avancé.

Mots clés : Sidi Ifni, Maroc, Protérozoïque, réservoir, analyses statistiques, fracturation.

STATISTICAL ANALYSIS OF FRACTURES NETWORKS IN PRECAMBRIEN BASEMENT WITHIN THE SIDI IFNI INLIER (MOROCCO).

ABSTRACT: In the Sidi Ifni inlier (Western Anti-Atlas, Morocco), a database is created on the basis of analyses and observations of the fracturing at different scales using several tools: satellite images, field and geological maps. The statistical analysis shows three dominant trends: N30 -70°E, N90 -100 °E and N150- 180°. The fracture lengths fit better to a power law. This law highlights the self-similar nature of the fracturing for fracture lengths between 301 m and 10,000 m. the fracture networks have reached an advanced stage of development.

Keywords: Sidi Ifni, Morocco, Proterozoic, statistical analysis, fracturing.

INTRODUCTION

La fracturation joue un rôle important dans la formation des réservoirs dans les terrains cristallins et cristallophylliens. Sa caractérisation est donc un outil indispensable pour une meilleure compréhension de cette catégorie de réservoirs. La boutonnière de Sidi Ifni, constituée essentiellement d'un socle précambrien granitique et volcano-sédimentaire, offre un bon exemple pour aborder cette thématique. Ce travail présente les résultats préliminaires de l'étude de la fracturation dans cette boutonnière en utilisant une base de données élaborée à partir de multiples sources. Elle a permis de réaliser une carte de linéaments, et de déterminer le comportement et l'organisation spatiale de la fracturation dans le socle précambrien.

1. SITUATION GÉOGRAPHIQUE ET CONTEXTE GÉOLOGIQUE DU SECTEUR D'ÉTUDE

Le secteur étudié est situé dans la province de Sidi Ifni, à environ 150 Km au sud de la ville d'Agadir (Figure 1). Ils s'étendent sur une superficie de 1620 Km² bordée par les méridiens 10°30' et 9°50' Ouest et les parallèles 29°05' et 29°45' Nord. Il est limité par la plaine de Tiznit au Nord, le plateau de Tleta Akhssas à l'Est, l'oued Assaka au Sud, et l'océan Atlantique à l'Ouest.



Figure 1 : Cadre géographique de la zone d'étude (via Google earth).

La boutonnière de Sidi Ifni est située dans l'Anti-Atlas occidental (Figure 2), elle est formée d'un socle paléoprotérozoïque représenté par les granites de Sahel et d'Alouzad datés respectivement à 2042 +/- 5 Ma et 20267 +/- 7 Ma. Ce socle est surmonté par une couverture néoprotérozoïque subdivisée en deux termes : le Supergroupe de l'Anti-Atlas (SGAA) et le Supergroupe de Ouarzazate (SGO). Le SGAA est représenté par les grès et les quartzites d'âge cryogénien rattachés au groupe de Taghdout. Le supergroupe de Ouarzazate qui couvre une large partie de la boutonnière est représenté par les granitoïdes d'âge édiacariens et les séries volcano-sédimentaires associées (ignimbrites, rhyolites, andésites, conglomérats, grès et flyschs). Les terrains protérozoïques sont recouverts par les formations à dominance dolomitique du cambrien inférieur qui montrent des pendages vers l'extérieur du massif formant ainsi à un dôme anticlinal (Benziane, 1974, Schulte et al, 2015).

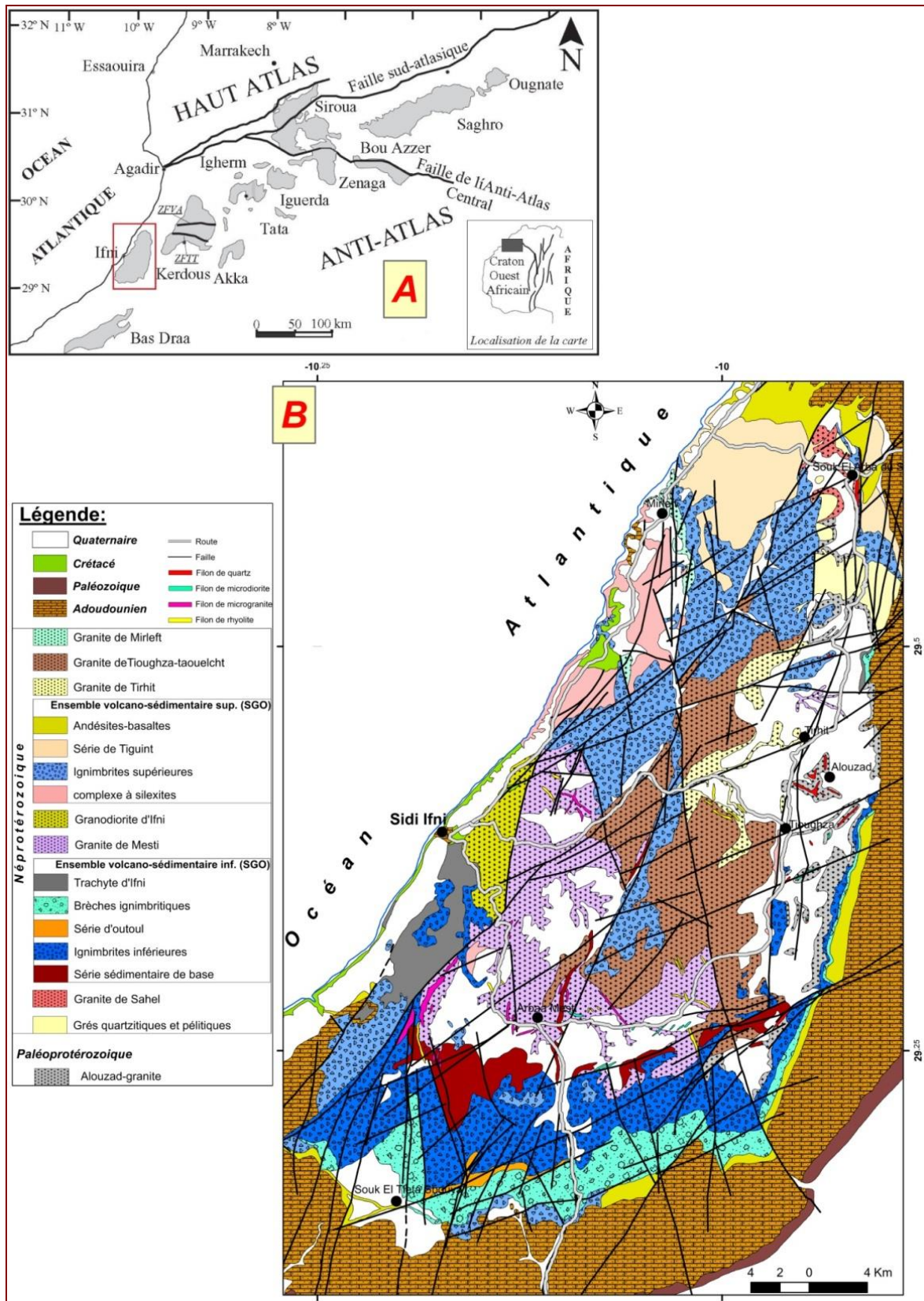


Figure 2 : A : Localisation de la boutonnière de Sidi Ifni dans la chaîne de l'Anti-Atlas (Oudra et al. 2005) B : carte géologique de la Boutonnière de Sidi Ifni (1/250000) (modifiée d'après Yazidi et Benziane, 1976).

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Afin d'étudier la fracturation dans la boutonnière de Sidi Ifni, on a établi une base de données sur la base des orientations et des longueurs des fractures. Ces fractures ont été tracées à l'aide des images satellitaires de Sentinel 2A (résolution de 10m, 01/01/2016) et les images fournies par Google Earth. L'utilisation des cartes géologiques (carte géologique du Maroc Nord 1/100000 et carte géologique de Sidi Ifni (1/250000) établi par Yazidi et Benziane, 1976) ont permis de compléter le traçage des linéaments. Les linéaments tracés sur Arc Map sont exportés vers le logiciel Rock Works pour extraire l'azimut de ces linéaments et établir la rosace directionnelle.

Les fractures qui font l'objet d'étude ont été observées à différentes échelles et par le biais de différentes méthodes ; cartes géologiques, Modèle Numérique de Terrain (résolution de 30 m), images satellite Sentinel 2A (résolution de 10 m), et les images fournies par Google Earth. Les différentes familles de fractures (en nombre et en longueurs cumulées) ont été distinguées en fonction de leur orientation par croissant angulaire de 10 degrés sur une rosace directionnelle à partir du logiciel Rock Works.

L'ajustement à la loi de puissance sur le tableur Excel consiste à reporter dans un diagramme bi-logarithmique, la distribution du paramètre géométrique. Si les points s'alignent suivant une droite, la distribution suit alors une loi de puissance d'équation :

$$N(li) = a \times li^{-\alpha}$$

Avec li : centres des classes du paramètre; N : fréquence de classe ; a : coefficient de proportionnalité ; α : exposant caractéristique de la loi de puissance.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Sur la base du nombre de fractures, on reconnaît une classe majeure de direction $N40^{\circ}-70^{\circ}$. Les classes secondaires sont représentées par les directions $N90^{\circ}$ et $N175^{\circ}$. Par contre les longueurs cumulées font sortir une classe majeure de direction $N30^{\circ}-70^{\circ}$, et deux classes secondaires, $N90^{\circ}-100^{\circ}$ et $N150^{\circ}-180$ (Figure 4).

Les longueurs des fractures sont comprises dans l'intervalle de 156 m à 31724 m. Ces longueurs ont été ajustées à une loi de puissance (Figure 3). L'analyse de ce diagramme bi-logarithmique révèle que seule une partie du graphe ($301 \text{ m} \leq l \leq 10000 \text{ m}$) présente un comportement linéaire sur laquelle il est possible d'ajuster une loi de puissance d'équation : $N(l) = 54640x^{-1.14}$ Avec $R^2 = 0,903$

Cette loi de puissance met en évidence le caractère auto-similaire de la fracturation pour les longueurs de fractures l comprises entre 301m et 10000m, sachant qu'elles représentent 87% des longueurs cumulées.

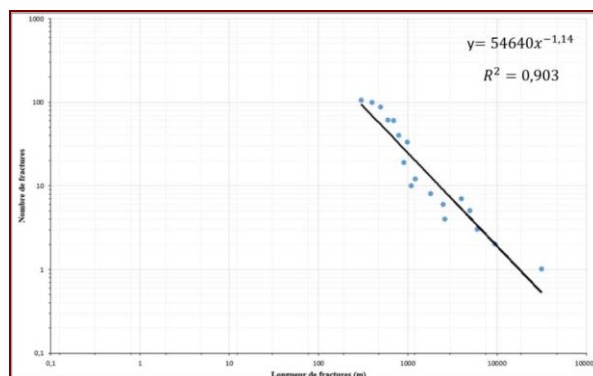


Figure 3 : Diagramme bi-logarithmique de la distribution des fréquences des longueurs de fractures. Ajustement à une loi de puissance.

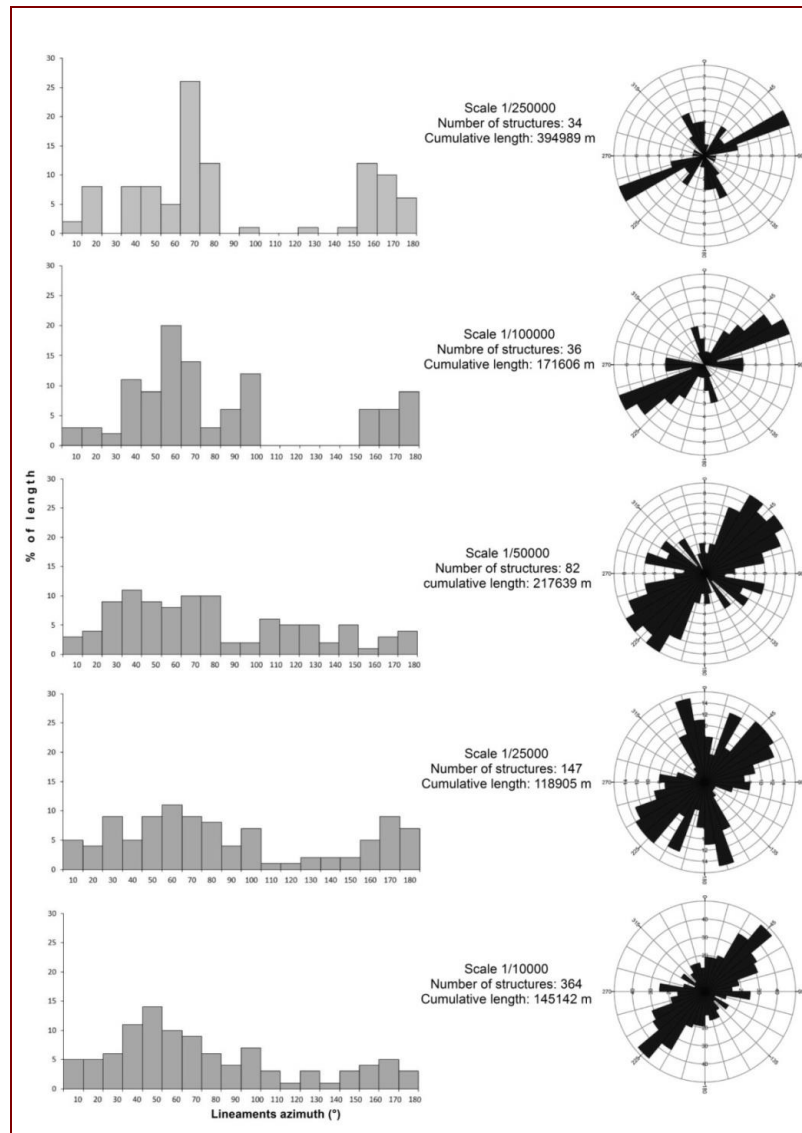


Figure 4 : Histogrammes directionnels des fractures et rosaces correspondant de différentes échelles (1/250000, 1/100000, 1/50000, 1/25000 et 1/10000).

L'analyse statistique des réseaux de fractures indique que les longueurs de fractures sont distribuées suivant une loi de puissance. L'exposant caractéristique de la loi de puissance α est égal à 1,14. Cette valeur est compatible avec les données de la littérature comprises généralement entre 1 et 3, qui peuvent varier d'un réseau de fractures à un autre comme l'attestent les travaux de Bodin et Razack (1999), Lasm (2000), Lasm et Razack (2001), de Dreuzy (2000) et Darcel (2002), in Ta et al. 2008.

Cette loi de puissance souligne que les réseaux de fractures de la boutonnière d'Ifni auraient atteint un stade de développement avancé (Koudou et al., 2014; Ta et al., 2008).

CONCLUSION

L'étude statistique de la fracturation menée dans la boutonnière de Sidi Ifni à partir des cartes de fracturations multi-échelle issue de l'image Sentinel 2A, a permis une meilleure caractérisation du réservoir fracturé du socle précambrien.

L'analyse statistique de la distribution de la fracturation en nombre et en longueur cumulée, a montré trois familles dominantes d'orientation, N30°-70, N90°-100 et N150°-180. Les longueurs de fractures s'ajustent mieux à une loi de puissance. Cette loi met en évidence le caractère auto-similaire de la fracturation pour les longueurs de fractures comprises entre 301 m et 10000 m. les réseaux de fractures auraient atteint un stade de développement avancé.

La carte de fracturation tirée de l'imagerie satellitaire doit nécessairement être couplée aux données de terrain (scanlines, espacement des fractures, puissance des failles, veines et filons associés, types d'altération, mesures pétrophysiques des échantillons, etc.). L'ensemble de données permettra de construire un modèle de la fracturation multi-échelle et de comprendre la géométrie du réseau poreux actuel des réservoirs de socle.

Références bibliographiques

- Benziane F. (1974). Etude pétrologique et géochronologique des granites de la boutonnière précambrienne d'Ifni (Maroc). Thèse 3^{ème} cycle, Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1974. France, 122 p.
- Koudou A., Assoma T.V, Adiaffi B., Youan TA M.3, Kouame K.F., Lasm T. (2014). Analyses statistique et géostatistique de la fracturation extraite de l'imagerie ASAR ENVISAT du Sud-est de la Cote d'Ivoire. 147–166 pp.
- M. Oudra, E. H. Beraaouz, M. Ikenne, D. Gasquet, A. Soulaïmani (2005). La tectonique panafricain du secteur d'Igherm : Implication des dômes extensifs tardi à post-orogéniques (Anti-Atlas occidental, Maroc). Estudios Geológicos, 61: 177-189 pp.
- Schulte, B., Benziane, F., Yazidi, A., Boger, S., Stokhammer, S., Lehmann, A., Saadane, A., Yazidi, M. 2015. Carte Géologique du Maroc au 1/50 000, feuille de Mirleft, Mémoire Explicatif, Notes et mémoires du Service Géologique, N° 540 bis, 118p.
- Ta MY, Lasm T, Jourda JP, et al (2008). Cartographie des accidents géologiques par imagerie satellitaire Landsat-7 Etm+ et analyse des réseaux de fractures du socle précambrien de la région de Bondoukou (Nord-est de la Côte d'Ivoire). Revue de Télédétection 8:119–135 pp.
- Yazidi, A. (1976). Les formations sédimentaires et volcaniques de la boutonnière d'Ifni (Maroc). Thèse 3^{ème} cycle, Université de Grenoble, France, 127 p.

CARTOGRAPHIE DE L'AQUIFÈRE JURASSIQUE DU HAUT ATLAS RELEVANT DE LA PROVINCE D'ERRACHIDIA

Lahcen ALILI, Ahmed BOUKDIR, Kamal AIT LMEKDAM, Lahcen BENAABIDATE, El Hassan
BEN-SAID, Hassan IKHMERDI et Abdelhamid ZITOUNI
Université Soltane Moulay Slimane, Laboratoire de Génie Industrielle, Ressource Naturelle, Santé et
Environnement, 23000, Béni Mellal, Maroc. *aliligeomatique@gmail.com*

RESUME : Le bassin du Haut Atlas relevant de la province d'Errachidia présente une grande complexité structurale et lithostratigraphique engendrée par une fracturation, large synclinale, rides anticlinales Il est caractérisé par une épaisse série d'âge Lias et Dogger renfermant des aquifères généralement complexes. L'objectif du présent travail, est l'utilisation du SIG pour la cartographie de l'aquifère jurassique du Haut Atlas relevant de la province d'Errachidia. Pour réaliser ces objectifs, on est amené à organiser des sorties sur le terrain pour collecter des données, faire des mesures in situ (piézométrie, paramètres physico- chimiques). Ainsi que l'élaboration d'un système d'information géographique (SIG) pour la superposition, le traitement et l'analyse de données de sources différentes (géologie, géomorphologie, hydrologie et hydrogéologie) spatialement référencées. Le résultat de ce travail est formé par des cartes thématiques de chaque source de donnée.

Mots clés : Haut Atlas, Province d'Errachidia, SIG, Aquifère jurassique

MAPPING OF THE JURASSIC AQUIFER OF THE HIGH ATLAS BEING IN THE PROVINCE OF ERRACHIDIA

ABSTRACT: The basin of the High Atlas being in the province of Errachidia presents a big structural complexity and lithostratigraphic engendered by a fracturing, wide synclinal, anticlinal wrinkles It is characterized by a thick series of age Lias and Dogger containing generally complex aquifers. The objective of the present work is the use of the GIS for the mapping of the Jurassic aquifer of the High Atlas being in the province of Errachidia.

To realize these objectives, we are brought to organize exits on the ground to collect data, make measures in situ (piézométrie, parametrize physico-chemical). As well as the elaboration of a geographical information system (GIS) for The overlapping, the processing and the analysis of data of different springs (geology, geomorphology, hydrology and hydrogeology) spatially referenced.

Keywords: High Atlas, province of Errachidia, GIS, Jurassic aquifer

INTRODUCTION

La recherche des économies d'eau et de gestion rationnelle de cette ressource n'est plus à démontrer, surtout dans le cas de notre pays où le climat est caractérisé par un contexte hydrologique sévère, marqué par une irrégularité des disponibilités en eau dans le temps et dans l'espace. La complexité du climat est très importante dans la zone Sud du pays où les précipitations sont rares la température est très élevée ce qui provoque l'évaporation de quantités importantes de l'eau. La variation de débit des oueds de la région Sud dépend essentiellement des précipitations et des sources qui jouent un rôle très important dans la vie de la population. Par contre, la région Sud dispose des réserves en eau souterrain parmi lesquels les aquifères du bassin du Haut Atlas qui est l'objectif de cette étude.

L'élaboration d'un Système d'Information Géographique constitue un outil d'aide à la décision et la gestion de cette problématique. En spatialisant toutes les types de données (spatiale et attributaires). Ceci facilitera par exemple de comprendre le fonctionnement hydrologique et hydrogéologique de la zone d'étude.

L'objectif de ce travail est de faire une étude hydrogéologique et la mise en place d'une application SIG pour le bassin du Haut Atlas faisant partie de la province d'Errachidia.

1. Description de la zone d'étude

La zone d'étude correspond à la partie centro-orientale de la chaîne montagneuse du Haut Atlas relevant de la province d'Errachidia au Sud Est du Maroc (figure 1). Elle s'étend sur une superficie de 2527 Km², à peu près de 14 % de la surface drainée par les bassins Guir, Ziz et Rhéris (18000 Km²). Cette aire d'étude est délimitée :

- Au Nord par la province de Midelt ;
- A l'Est par la province de Figuig ;
- Au Sud par le bassin Crétacé d'Errachidia-Boudnib;
- A l'West par la province de Tinghir.

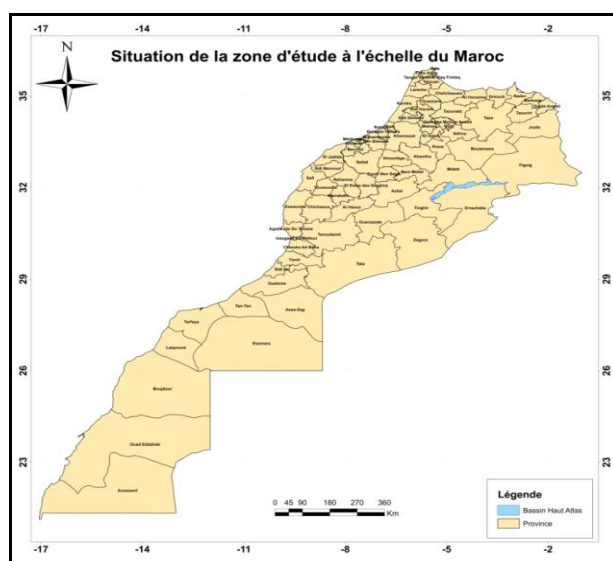


Figure 1. Localisation de la zone d'étude à l'échelle du Maroc
La zone d'étude à un climat semi-désertique se caractérise par :

- L'importance de l'écart thermique entre les températures très élevées de l'été (31,5°C comme moyenne au mois de Juillet) et les plus basses de l'hiver (5°C comme moyenne au mois de Janvier).
- La faible quantité des précipitations et leur répartition irrégulière dans le temps et dans l'espace, sachant que la majorité du territoire reçoit moins de 100 mm des pluies par ans.

La zone d'étude est soumise à un climat saharien. La végétation est très rare, hormis des palmeraies localisées autour des points d'eau et celles qui longent des cours d'eau, sous forme d'oasis étroites à l'exception de la palmeraie du Tafilalet (hors de la zone).

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Le matériel utilisé pour l'élaboration des cartes de l'aquifère du haut atlas relevant de la province d'Errachidia est constitué de :

- donnée topographique (Images (ASTER (Advanced Spaceborn Thermal Emission) de type GDEM version 1(<http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/>).
- Cartes topographiques de Qsar Agoudim, Rich, Errachdia et Gourrama au 1/100000,
- Extrait de la géologie du Maroc 1/1000000.
- Sorties de terrain.

Le traitement de toutes ces données s'est effectué avec les logiciels ArcGis 10.2.2.

Le M.N.T nous a servi à réaliser des cartes dérivées (carte de pentes, carte d'ombrage, carte des expositions, carte de limite des bassins versant et carte hydrographique). Ces dernières, croisées à d'autres couches d'information telles que la géologie nous ont permis une meilleure appréhension du paysage, de la géomorphologie structurale et de l'hydrogéologie du bassin du Haut Atlas.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les résultats de cette étude sont présentés sous forme des cartes(figure 2, 3 et 4).

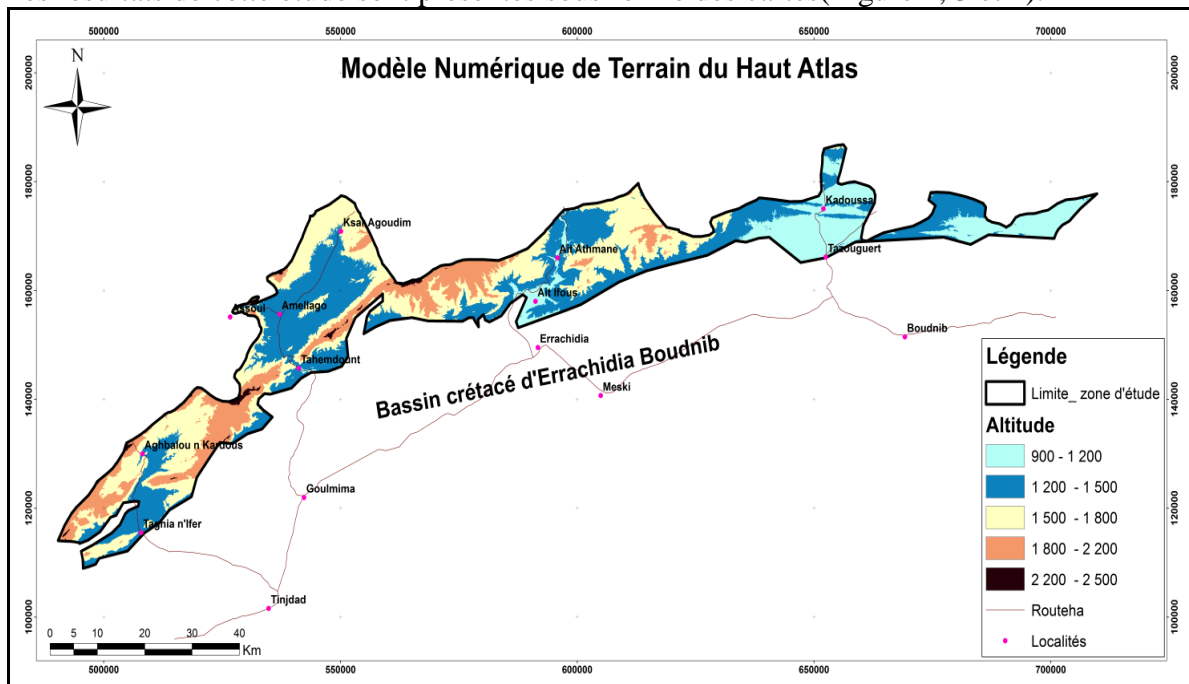


Figure 2. Altitude du Haut Atlas relevant de la province d'Errachidia

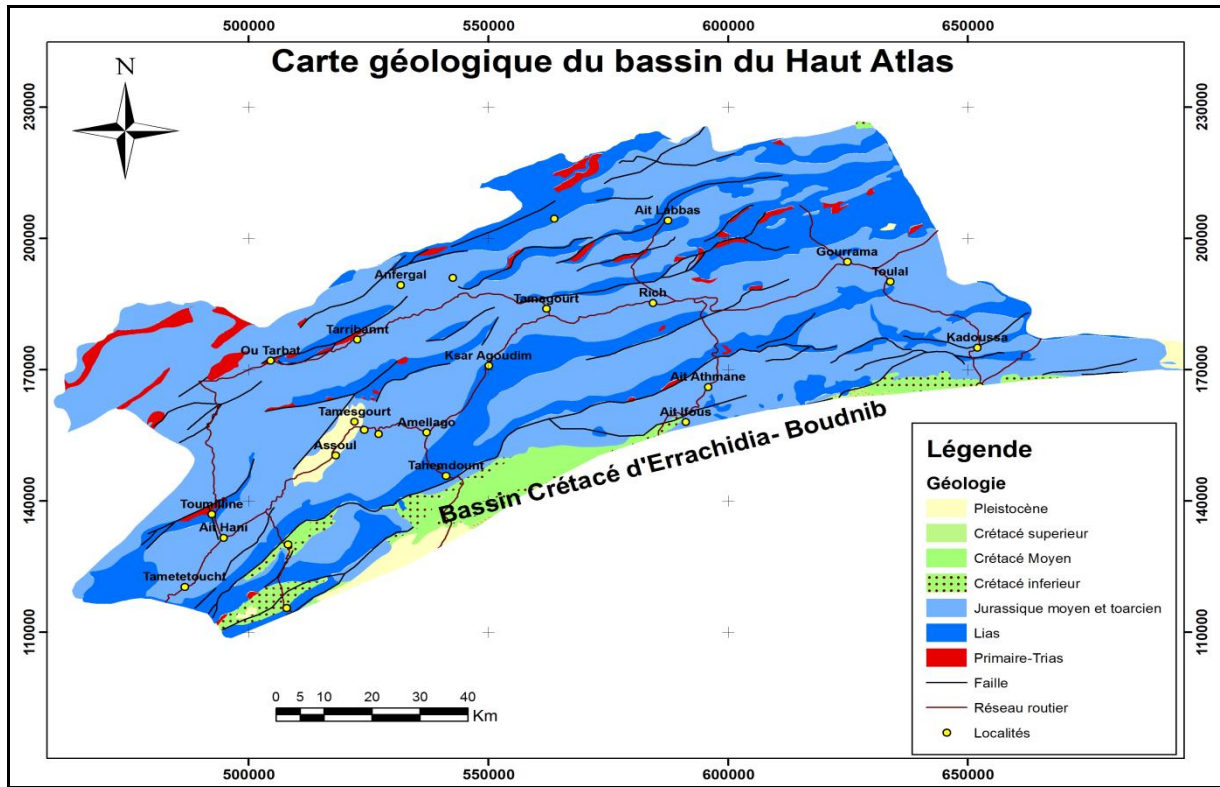


Figure 3. Géologie du Haut Atlas

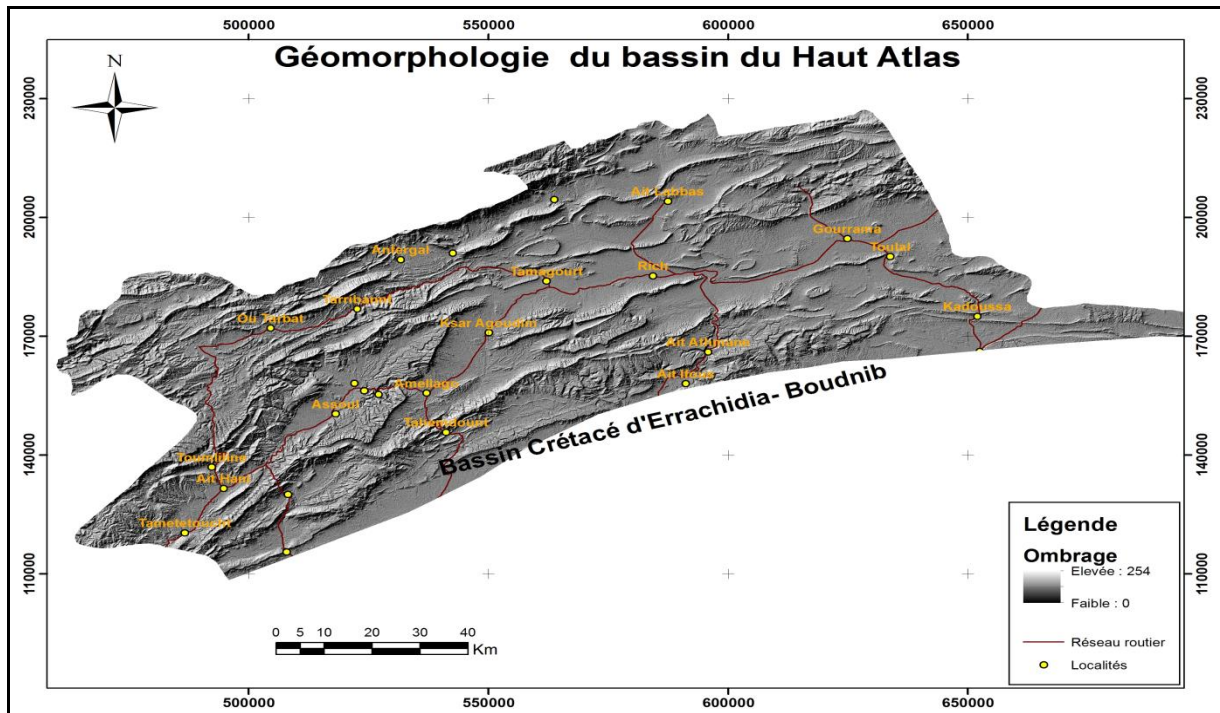


Figure 4. Géomorphologie du Haut Atlas

L'analyse et l'interprétation conjointe de différents types de données a permis de dégager les résultats suivants :

- Le bassin du Haut Atlas est drainé par les bassins versants du Ziz, Rhéris et Guir dont le climat est semi désertique caractérisé par une faible quantité de précipitation et une température très élevée ;
- Le trias représente le substratum imperméable de la série jurassique (Dogger et Lias) qui occupe la quasi-totalité du bassin ;
- Le bassin présente deux principaux aquifères correspondants respectivement aux Dogger et Lias avec un écoulement orienté du Nord vers le Sud. Le bilan hydrique global est de 190 Mm³ ;
- Les eaux souterraines de la nappe jurassique sont à une bonne qualité. Elles sont caractérisées par trois faciès : faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien, faciès chloruré sodique et potassique et faciès bicarbonaté calcique et magnésien.

CONCLUSION

Le Haut Atlas relevant de la province d'Errachidia s'étend sur une superficie de 2527 Km² au Nord du bassin d'Errachidia-Boudnib s'élevant entre 900 et 2500 m.

L'analyse des paramètres climatiques a montré une distribution assez hétérogène des précipitations d'une année à l'autre, avec une moyenne qui ne dépasse pas 300 mm/an. La température est très élevée provoquant une augmentation de l'évaporation.

Le réseau hydrographique est représenté par une multitude de cours d'eau rassemblés en trois systèmes : le Guir, le Ziz et le Rhéris. L'irrégularité des écoulements des eaux de ces bassins dans le temps et dans l'espace, entraîne une limitation des ressources en eau et l'orientation vers une exploitation plus importante des eaux souterraines. Ces dernières renferment dans un ensemble d'unités hydrogéologiques communicantes entre elles (Lias et Dogger).

Références bibliographiques

- ABHGZR, (2009). Etude de synthèse hydrogéologique du haut atlas faisant partie des bassins du Guir, Rhéris et Ziz (provinces d'Errachidia, Ouarzazate et Figuig). Rapport ANZAR Conseil, 122p.
- ALILI Lahcen (2015). Etude hydrogéologique de l'aquifère Jurassique du Haut Atlas relevant de la province d'Errachidia. PFE Master, 72 p.
- KHAFAOUI AMAL, SAIDI MOHAMED EL MEHDI (2014). COM 01 : Apport des outils de SIG dans la cartographie d'un bassin versant montagnard : Cas de l'Oued R'dat. Colloque sur le Système National d'Information d'Eau – NWIS'14 le 02,03 et 04 Décembre 2014 - Rabat.

L'IMPORTANCE DE L'OUTIL SIG ET DE LA METHODE GEOELECTRIQUE A L'ETUDE HYDROGEOLOGIQUE AU NIVEAU DU PIEMONT DU CAUSSE D'EL HAJEB (MAROC)

BOUIKBANE Hmad.¹, BOUALOUL Mustapha¹, BENAMARA Ahmed.²

(1) Laboratoire de Géo-Ingénierie et Environnement, Département de Géologie, Faculté des Sciences de Meknès. hmadbouikbane@gmail.com

(2) Département de Géologie, Faculté des Sciences et Techniques d'Errachidia

RESUME :

Le Causse d'El Hajeb se situe dans la partie du Causse Moyen Atlasique septentrionale, du point de vue géologique, il est caractérisé par ses formations calcaires karstiques et fracturés, drainant les eaux souterraines vers la plaine de Saïss. Notre objectif consiste à la détermination de la géométrie des aquifères ainsi que le réseau de failles affectant la zone étudiée. En effet nous avons réalisé une étude comportant 62 sondages électriques verticaux de longueur de ligne d'injection AB=1000m. Le Système d'Information Géographique (SIG), a été de grande importance en matière d'analyse, de gestion et de modélisation des données géophysique et géographique.

L'interprétation des résultats obtenus nous a permis de mettre en évidence un ensemble de discontinuités électriques interprétées en failles et/ou fracture qui acheminent les eaux depuis le Causse Moyen Atlasique vers la plaine de Saïss.

Mots-clés : Causse du Moyen Atlas, sondage électrique, SIG, modélisation, faille.

ABSTRACT:

The plateau of El Hajeb is in the northern part of the plateau Middle Atlasic, the geological point of view, it is characterized by its karst limestone formations and fractured, draining groundwater to the plain of Saïss. Our goal is to determine the geometry of aquifers and the network of faults affecting the study area. Indeed we conducted a study with 62 vertical electrical sounding injection line length AB = 1000m. The Geographic Information System (GIS), was of great importance in the analysis, management and modeling of geophysical and geographical data.

The interpretation of the results allowed us to identify a set of electrical discontinuities interpreted faults and / or fracture that carry water from the Causse Middle Atlasic towards the plain of Saïss

Keywords: Causse Middle Atlas, electrical survey, GIS, modeling, fault

INTRODUCTION

La zone d'étude appartient à la zone de transition entre le causse d'El Hajeb et le bassin de Saïss qui constitue la partie médiane du Sillon sud-rifain.

Les terrains de ce plateau sont essentiellement des formations calcaires et caractérisés par une forte fracturation et une karstification typique, c'est la raison pour laquelle il constitue un réservoir de grande potentialité hydrique. Les accidents tectoniques rencontrés à son niveau véhiculent de grandes quantités d'eau, dont fait partie les écoulements souterrains qui alimentent les résurgences de la ville d'El Hajeb (Ain Khadem, Ain Aghbal, etc...), la formation alluvionnaire et les écoulements profonds de la plaine de Saïss. La direction de l'écoulement principal est généralement orientée vers le Nord et le Nord-Est.

1. Description de la zone d'étude

Le Causse d'El Hajeb-Ifrane qui fait partie du causse moyen-atlasique est limité au Nord par la plaine du Saïss. La limite sud est constituée par la ligne de crête en rive gauche du bassin versant de l'Oum-er-Rbia à Khénifra. La limite ouest au contraire, est marquée par l'interruption brutale du Causse qui domine des terrains primaires de la meseta (falaise d'Itto, d'Azrou et d'Aïn-Leuh). A l'est, la limite est marquée également par les falaises du Causse surplombant la boutonnière de terrains primaires de Bsabis. (Figure 1)

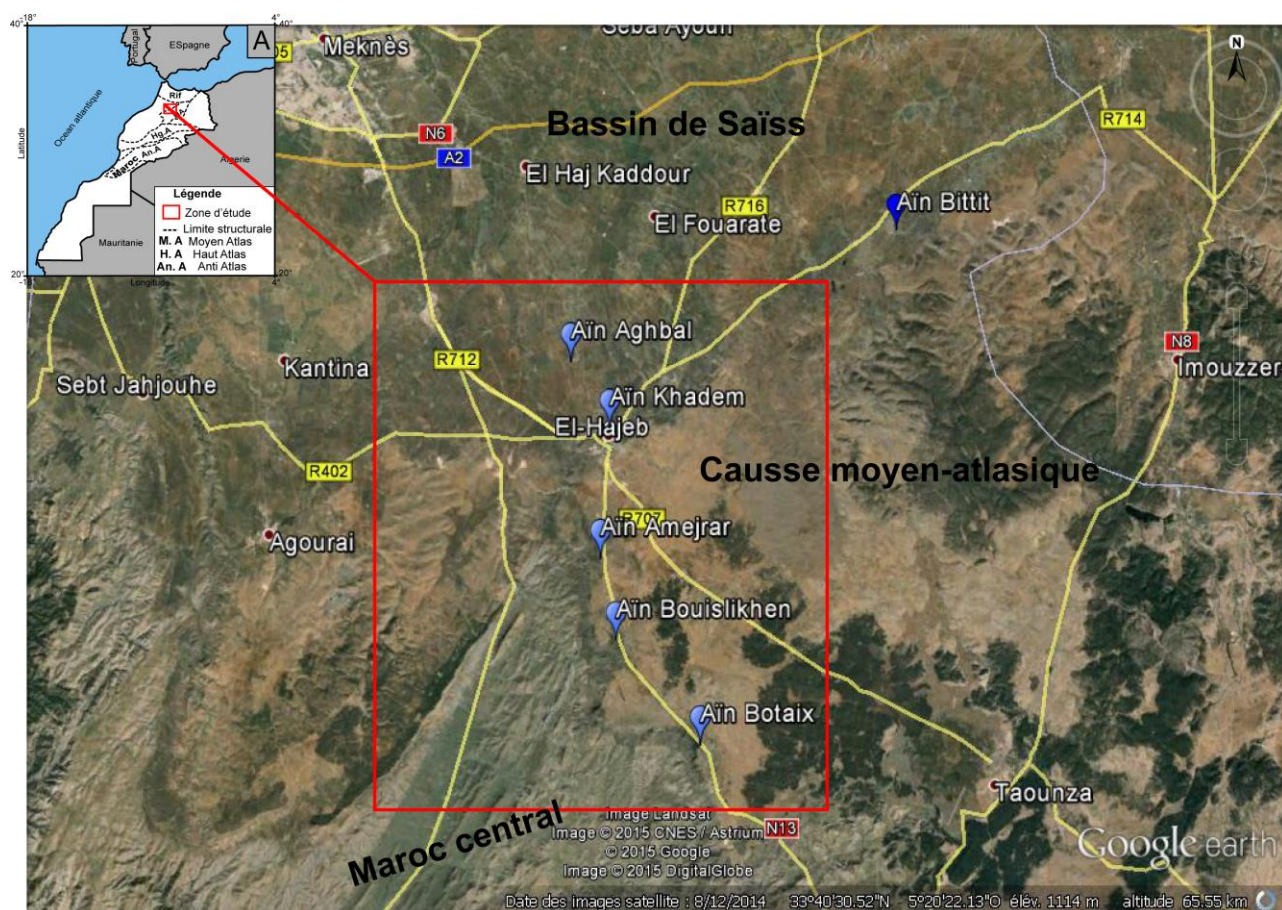


Figure 1. Situation géographique de la zone d'étude

2. MATERIEL ET METHODES

La prospection géophysique consiste en la reconnaissance des terrains par des méthodes utilisant des principes physiques. Ces méthodes permettent, à partir des grandeurs physiques mesurées, de déterminer les caractéristiques physiques et géométriques du sous-sol. Cependant, elles ne sont capables de détecter que des discontinuités physiques, c'est à dire l'endroit où une zone diffère suffisamment d'une autre par l'une des propriétés physiques.

La procédure du travail consiste en la réalisation d'une campagne de sondages électriques verticaux d'une longueur de ligne AB=1000m afin de mettre en évidence d'éventuelles discontinuités géophysiques

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les sondages électriques ont été réalisés dans le but de mieux comprendre la structure de la zone d'étude et de mettre en évidence d'éventuelles failles ou fractures in situ.

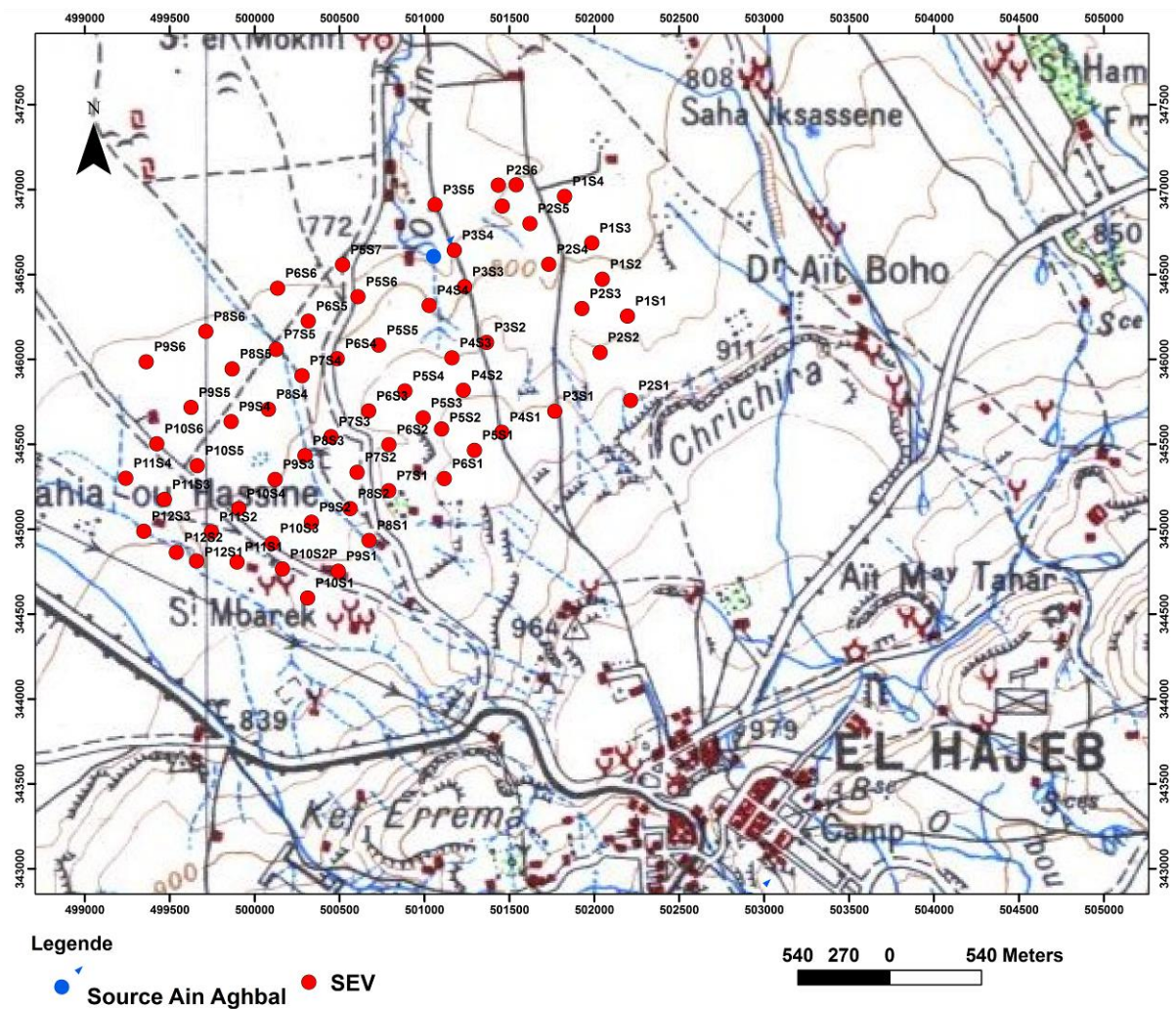


Figure3 : Extrait de la carte topographie d'El Hajeb1/50.000, montrant la situation des sondages électriques.

La position de l'ensemble des sondages électriques (Figure 2), sur la carte topographique d'El Hajeb a été faite par l'outil SIG. L'analyse et l'interprétation de ces sondages électriques a été réalisé par le logiciel Winsev 6; les résultats obtenus nous ont permis de tracer un certain nombre de cartes qualitatives et quantitatives concernant l'aquifère liasique et mettre en évidence un ensemble de discontinuités géophysiques qui peuvent correspondre à des failles et fractures drainant les eaux souterraines vers la plaine de Saïss (Figure 3).

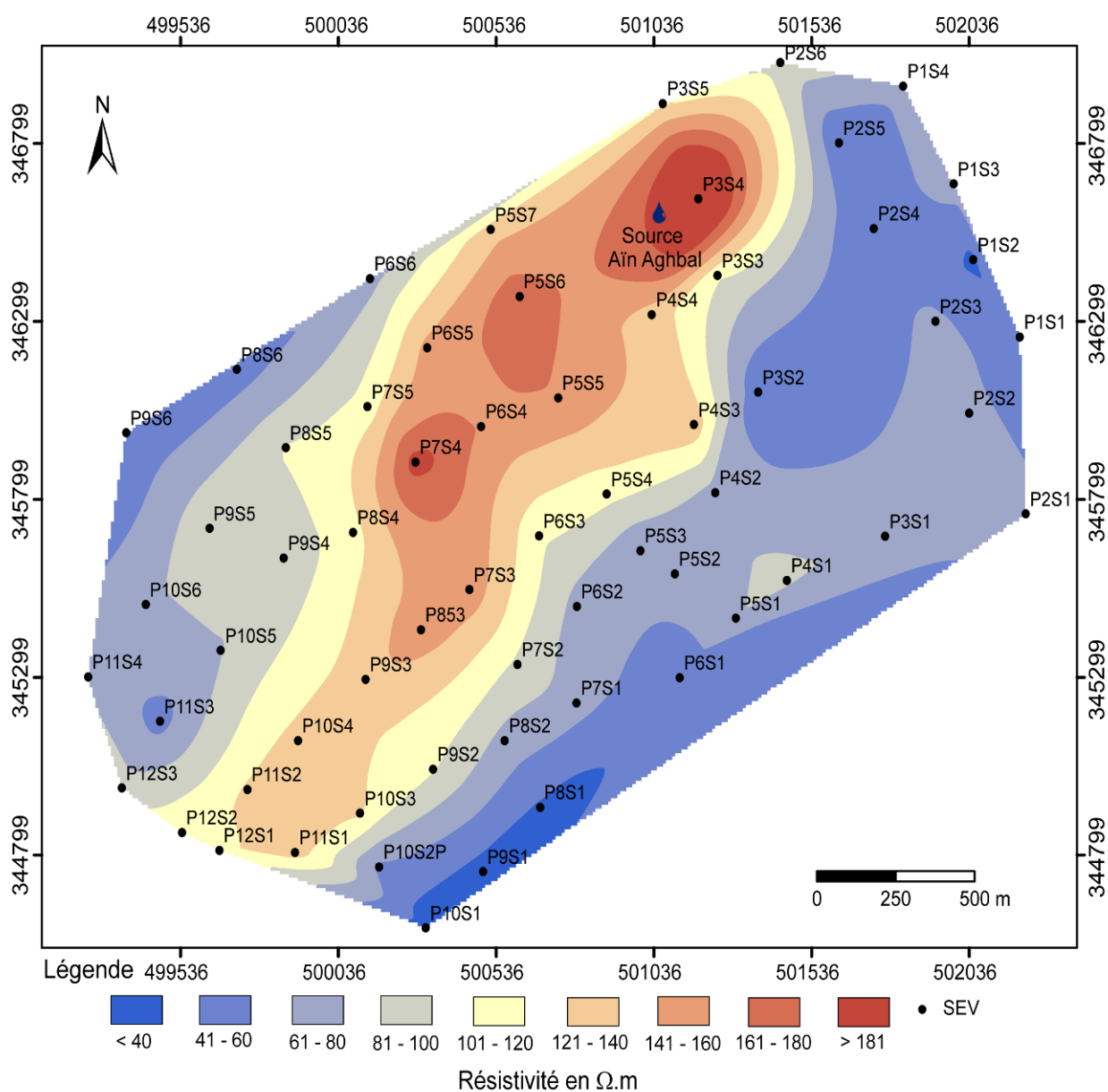


Figure 3 : Carte des résistivités apparentes au niveau du piedmont du Causse d'El Hajeb (AB=1000m)

D'après l'analyse de la carte de résistivité apparente, nous constatons l'existence d'un couloir résistant, qui se réduit de plus en plus en allant vers le Nord est au voisinage de la source Ain Aghbal. A son niveau, les résistivités sont de l'ordre de 250 Ohm.m. Pour le reste de la zone prospectée la carte montre l'influence des argiles du Trias vers le Sud de la zone d'étude. Cette carte présente en général l'allure des cartes précédentes avec un rétrécissement du couloir résistant et sa concentration au niveau de la source Ain Aghbal. Les résistivités atteignent des valeurs maximales de 250 ohm.m

CONCLUSION

L'outil SIG a été d'un grand intérêt dans la mise en forme des résultats de l'analyse et l'interprétation géophysique des sondages électriques verticaux ; il a permis également de réaliser un gain de temps important pour la caractérisation géophysique des formations géologiques et la mise en évidence des discontinuités interprétées en termes de failles et fractures affectant les calcaires du Lias et servant d'écoulement préférentiel des eaux souterraines depuis le causse d'El Hajeb jusqu'à la plaine de Saïss.

Références bibliographiques

- AOURAGH, H. (2006). Apport des systèmes d'Information géographique (SIG) et de la télédétection à l'étude du réservoir hydrogéologique du causse d'El Hajeb –Ifrane (Maroc), mémoire de DESA, Faculté des Sciences Dhar El Mehraz, Fès.
- BENAMARA A. BOUIKBANE H. (2013). Apport de la géophysique sur les écoulements préférentiels des eaux en profondeur et leur impact sur les affaissements des terrains en surface au niveau de la plaine de Tadighoust (région de Goulmima, Maroc). Colloque sur « Modélisation Numérique en Hydraulique et Environnement - Enjeux, Incertitudes et Limites» (SimHE2013). Ecole Hassania des Travaux Publics, Casablanca, Maroc.
- BENSLIMANE, A., (2005). Apport de la géoélectrique à la reconnaissance des potentialités hydrique dans les formations basaltiques subaffleurantes. Application dans la plaine de Tigrigra. Thèse de doctorat. Univ. My Ismail. Meknès.
- BOUALOUL M. (2008). Contribution of geophysics to structural recognition and prospecting groundwater in the Guelmim plain, Bas Draa basin, Morocco. MAPG First International conference and Exhibition, Marrakech.
- BOUIKBANE H., BOUALOUL M., BENAMARA A., SAHBI H., (2014). Apport de l'outil SIG et de la géophysique dans l'identification du transfert des eaux souterraines entre l'aquifère liasique du Causse d'El Hajeb et la plaine de Saïss (Maroc). 2eme édition du Colloque international des utilisateurs du SIG, Meknès les 20 et 21 novembre 2014.
- QARQORI KH., M. ROUAI AND C. LECARLIER DE VESLAUD, (2014). GOCAD 3D geological modelling of karstic subsurface reservoir using Electrical Resistivity Tomography data. The Second International Congress on Remote Sensing and GIS in the Service of territorial Governance, June 25-27, 2014, Casablanca, Morocco.
- SEFRIOUI S., (2013). Caractérisation hydro-structurale et quantification des ressources en eau souterraine dans le bassin de Sebou-Maroc. Apport des outils isotopiques et du SIG. Thèse de doctorat en sciences, Univ. My Ismail Meknès. 233p.

UTILISATION DU SIG POUR LA CARTOGRAPHIE DU RISQUE DE L'ÉROSION HYDRIQUE – CAS DU BASSIN VERSANT DE L'AOUDOUR (RIF, MAROC)

Siham BOUKRIM, Abderrahim LAHRACH et Abdel-Ali CHAOUNI

Université sidi Mohamed Ben Abdellah, Faculté des Sciences et Techniques - Fès, Laboratoire Géoressources et Environnement. email : boukrim84@gmail.com

Résumé :

Au regard de l'importance des pressions naturelles et anthropiques que soumis le sol, sa protection et sa préservation sont alors une priorité au Maroc.

L'érosion constitue un grave problème environnemental, agricole et social qui affecte et menace d'immenses espaces de notre pays.

La gravité de ce phénomène est évaluée de l'ampleur et l'accélération de ses conséquences qui touchent plusieurs domaines:

- Côté économique, ce fléau pèse lourdement sur notre pays par la dégradation de l'infrastructure routière, des ouvrages d'art et de la productivité des terrains agricoles ou forestiers.
- Côté humain la situation est très inquiétante et alarmante, cela cause l'appauvrissement des habitants, des endroits affectés par la destruction de leurs biens et les pousse à l'exode rurale vers les villes ou vers l'étranger.
- d'un point de vue écologique, c'est surtout une dégradation et perturbation des biotopes qui s'exprime par une diminution de la diversité biologique et une perte de la productivité.

La liaison entre ces trois composantes à savoir économique, humaine et environnementale, pourrait entraîner le dérangement de tout le système, au cas d'un déséquilibre au sein d'une seule composante. Cela nous oblige à faire des études pour détecter et traiter les zones qui sont à risque d'érosion hydrique afin de faciliter aux décideurs de prendre des mesures curatives et préventives par des interventions de lutte anti-érosive.

L'étude de vulnérabilité au phénomène érosif et la définition des zones risquées se basent sur l'examen des facteurs jugés responsables de l'érosion hydrique à savoir : l'agressivité du climat particulièrement des précipitations, la topographie (la raideur des pentes), l'occupation du sol et la densité du couvert végétale.

La lutte contre ce phénomène et sa complexité imposent aujourd'hui l'utilisation de méthodes et de moyens performants pour la gestion des informations géographiques. C'est dans cette optique que s'intègre ce travail, dont l'objectif est de localiser les risques actuels ou potentiels de l'érosion hydrique à l'échelle de notre sous bassin versant de l'Aoudour, par le biais des Systèmes d'Information Géographique (SIG) qui permet aux utilisateurs potentiels d'avoir l'information relative à la sensibilité des sols à l'érosion.

Mots Clés : SIG, Cartographie du risque, Erosion hydrique, Bassin versant, Aoudour, Rif, Maroc

USING GIS FOR THE EROSION RISK MAPPING - AOUDOUR WATERSHED (RIF, MOROCCO)

Abstract:

Due to the importance of natural and anthropogenic pressures subjected to the ground, its protection and preservation is a priority for Morocco. Erosion is a major environmental, agricultural and social problem that affects and threatens vast areas of our country. The severity of this phenomenon is measured by the extent and acceleration of its consequences affecting several areas:

- Economic side, this problem weighs heavily on our country by the deterioration of the road infrastructure, engineering structures and productivity of agricultural or forest land;
- Human side, the situation is very worrying and alarming, it causes impoverishment of people, places affected by the destruction of their property and pushes them to the rural exodus to the cities or abroad;
- From ecological point of view, it is primarily a disturbance and degradation of habitats, which is expressed by a decrease in biodiversity and loss of productivity.

The connection between these three components namely economic, human and environmental, could lead to the disruption of the entire system in case of an imbalance in a single component. This requires us to conduct studies to detect and treat the areas that are at risk of water erosion and to facilitate the task for policymakers to take curative and preventive measures by anti-erosion interventions.

The vulnerability study the erosion phenomenon and the definition of risk areas are based on the review of judges factors responsible for water erosion are: climate aggressiveness particularly rainfall, topography (the steepness of the slopes) land use and density of the vegetation cover.

The fight against this phenomenon and its complexity today require the use of methods and efficient means for managing geographic information. It is in this perspective that integrates the work, which aims to locate existing or potential risk of water erosion across of Aoudor sub-watershed through geographic information system (GIS) that allows potential users to have information on the susceptibility of soils to erosion.

Keywords: GIS, Mapping risk, Water erosion, Watershed, Aoudour, Rif, Morocco

Introduction

L'érosion hydrique des sols résulte de l'impact des eaux de pluies et de ruissellement sur le sol.

Au Maroc comme partout dans le monde, ce phénomène est fonction de plusieurs facteurs physico-climatiques (les précipitations, la végétation, la lithologie, la topographie, l'érodibilité des sols...) et anthropiques (cultures sur les pentes, déboisement, construction de route et d'ouvrage d'art...). Ses

effets sur l'environnement et l'économie sont importants et parfois catastrophiques, ils s'expriment sur le terrain par une diminution de la densité du couvert végétal, une perte en sol (perte de productivité à long terme), une perte de la matière organique et de la capacité de rétention du sol, une minéralisation accrue du paysage, l'apparition d'entailles d'érosion actives et une salinisation progressive des terres irriguées.

A l'échelle locale, les conséquences de la dégradation des sols pour les paysans vont de la baisse de fertilité à l'évacuation des régions entières.

Situation de la zone d'étude

Le bassin versant de l'Aoudour (fig.1) couvrant 1000 Km² à l'Ouest du bassin de l'Ouergha, est encadré par les bassins versants des deux affluents de l'Ouergha: Oued Aoulay à l'Est et Oued Aoudiyar à l'extrémité Ouest de l'Ouergha.

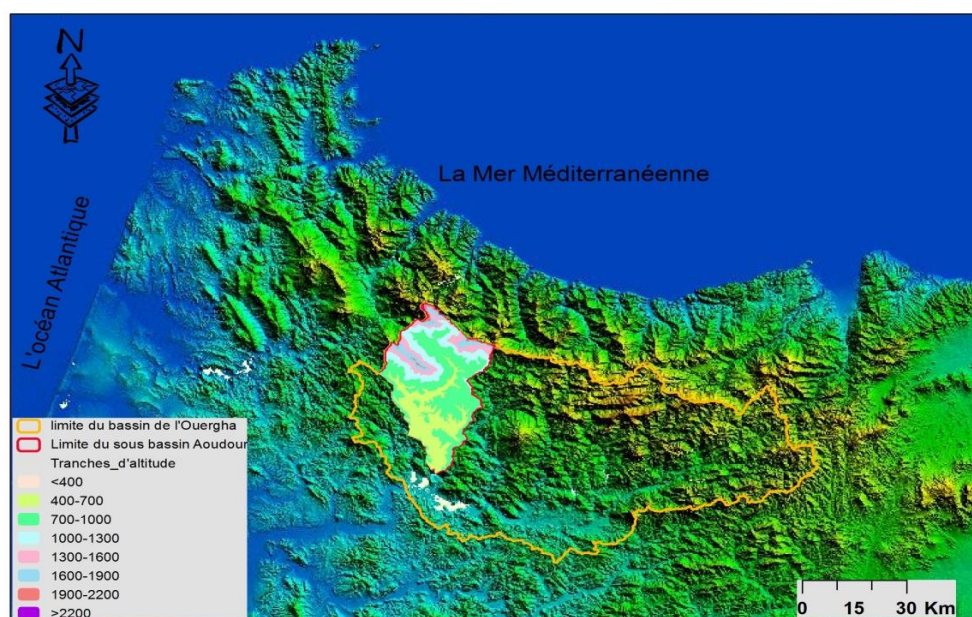


Fig.1 Localisation et hypsométrie du bassin versant de l'oued Aoudour.

Méthodologie :

La cartographie de l'érosion hydrique à l'aide du système d'information géographique (SIG) vise à l'immédiat, de rendre disponible un outil méthodologique et une source d'information pour la mise en

œuvre des projets et programmes de la gestion du contrôle de l'érosion pour améliorer l'utilisation des terres, rationaliser l'exploitation des ressources en terres.

L'étude qualitative de l'érosion hydrique permet d'hiérarchiser la surface du bassin versant en unités distinctes selon la vulnérabilité à l'érosion et de déterminer les zones les plus fragiles potentiellement pourvoyeuses de sédiments.

Cette étude consiste en une cartographie descriptive et prédictive consistant à l'identification, l'évaluation et l'intégration des facteurs influençant l'érosion hydrique :

- La carte de pente ;
- La carte du lithofaciès ;
- La carte d'occupation des sols ;
- La carte du couvert végétal ;
- La densité de recouvrement...etc.

Ceci, est dont le but est d'établir des hypothèses de départ concernant le risque d'érosion.

La méthode consiste en une superposition d'abord d'un ensemble des cartes réalisée dont certaines sont une représentation de l'effet combiné de certains facteurs :

- La carte de pente avec celle de lithofaciès donne la carte du degré d'érodibilité ;
- La carte d'occupation des sols avec celle de la densité de recouvrement donne la carte protection des sols ;
- La carte des états érosifs est une carte de synthèse, obtenue par superposition des produits cartographiques précédents.

Ensuite la carte de l'érosion réelle est réalisée et validée par l'intégration des cartes prédictive et celle descriptive.

Conclusion

- Plus que la moitié du bassin versant de l'Aoudour (52%) est érodée notablement avec dominance des ravins profonds.
- Les facteurs primordiales régissant l'érosion hydrique sont particulièrement : les terrains fortement pentés, les pluviométries intenses, la lithologie friable et sols peu évolués et la couverture végétale dégradée.
- La méthode PAP/CAR est bien adaptée aux conditions locales car elle tient compte même des petites parcelles et permet de gagner du temps et d'argent par la souplesse de ses directives.

APPORT DES METHODES GEOPHYSIQUES AEROPORTEES A LA COMPREHENSION DE L'ASPECT STRUCTURAL ET MAGMATIQUE DE LA PARTIE EST DU MASSIF CENTRAL MAROCAIN

BOUYA Nawal, EL OUARDI Hmidou

Département de Géologie, Faculté des sciences Meknès, université Moulay Ismail

Résumé

Le massif central marocain est la zone la plus étendue des affleurements hercyniens, il est connu par une diversité magmatique et structurale très importante. Les levés aéroportés disponibles, aéromagnétiques et spectrométriques de l'élément radiométrique Th, dans la partie Est du Massif Central, présentent des anomalies qui traduisent les structures géologiques superficielles tel que le granite de Ment, les coulées basaltique plio-quaternaire, les zone de cisaillement ainsi que des structures orientées généralement NE-SW à ENE-WSW correspondant à la tendance générale des structures géologiques de la chaîne. Les données magnétiques et les filtres associés, RAP, DRV, Déconvolution d'Euler les PVH, ont mis en évidence des anomalies fortes traduisant des corps enfuis au SW du granite de Ment ainsi qu'une anomalie faible.

Mots clés : Aéromagnétisme, spectrométrie, cartographie, structures géologiques, magmatisme, massif central

1. Introduction

Malgré son intérêt et sa diversité géologique le massif central marocain n'est pas encore couvert de cartes géologiques précises. Dans ce travail nous avons essayé de faire une cartographie de la zone basée sur le traitement des données aéroportée surtout aéromagnétique permettant la compréhension de la sub-surface mais aussi de la profondeur. L'utilisation de la méthode spectrométrique est considérée comme un volé complémentaire de la cartographie aéromagnétique puisque elle permet une haute précision de cartographie de surface.

2. Données utilisées

Les données aéroportées qui sont à notre disposition sont des cartes sur papier qui représentent les courbes isolateur du champ magnétique résiduel pour des données aeromagnétiques et les courbes isovaleurs de la radiométrie de l'élément radioactif (Th). Ces cartes représentent aussi l'emplacement les lignes de vols et ligne de vols traversant espacées respectivement de 500m et 5000m.

Une étude géologique de terrain a été réalisée dans le but de vérifier les anomalies obtenues, cette étape nous a permis de passer de l'information magnétique à l'information géologique. L'étude de terrain nous a assuré la bonne interprétation des anomalies magnétiques ainsi que de compléter nos cartes par des structures de petites tailles indétectables par l'espacement 500m des données aéroportées.

3. Situation et Géologie de la région

La région d'étude constitue la partie Est du la vaste boutonnière paléozoïque du Massif Central Marocain structuré par l'orogénèse hercynienne (Michard et al., 2008 ; Boushaba1990, Termier,1936 ; Bouabdelli,1989 ; Bouabdelli,1994).

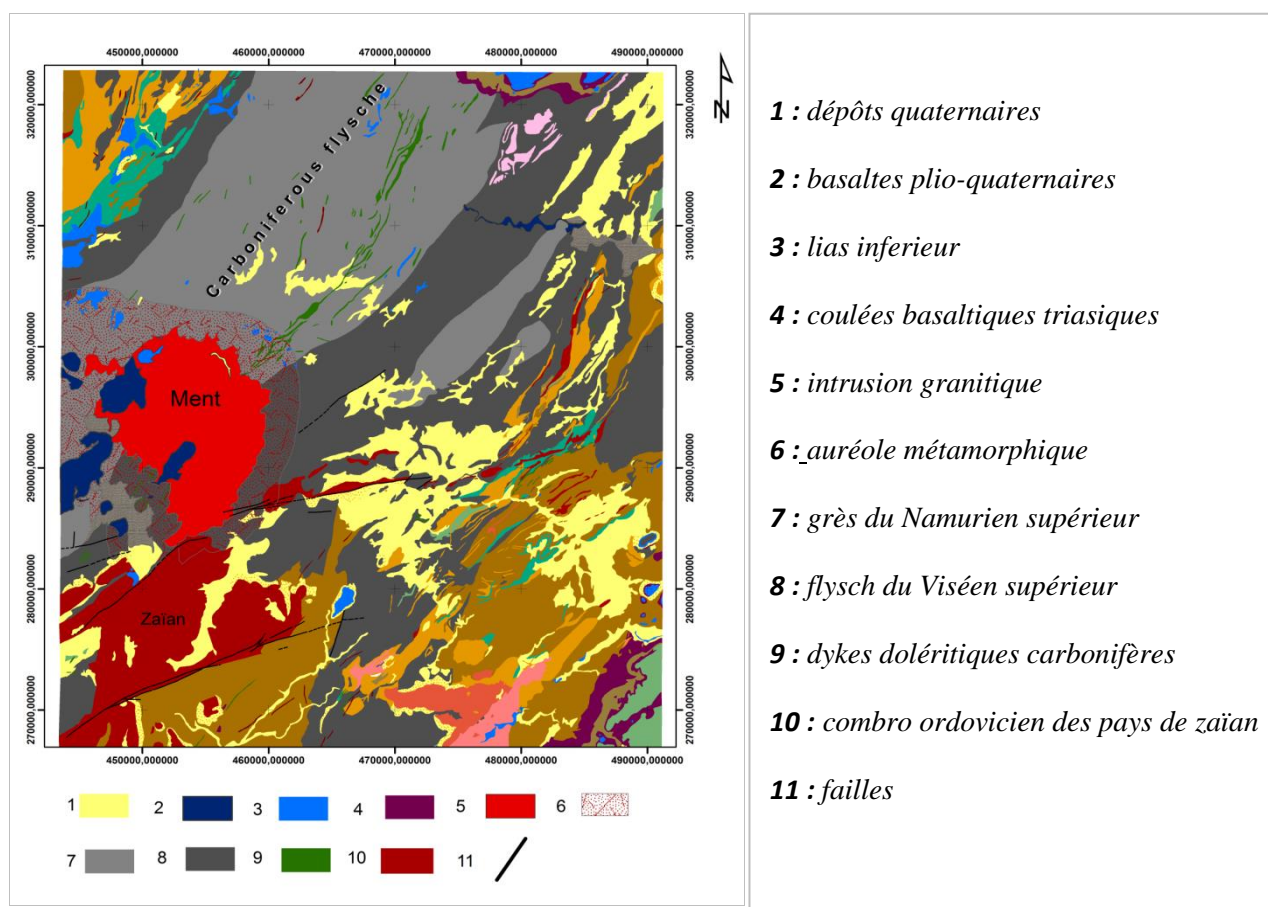


Figure1 : Carte géologique de la partie Est du massif central marocain au 1 /100000.

La zone d'étude peut être subdivisée en plusieurs ensembles différenciés par leurs séries lithostratigraphiques en affleurements ainsi que par leurs traits structuraux. En allant de l'Est vers l'Ouest la zone d'étude est composée de ;

- une zone anticlinale composée des terrains allochtones de l'ordovicien supérieur représentée essentiellement par la partie Ouest de l'unité de Mrirt et de khenifra (Bouabdelli 1994).
- une zone synclinoriale constituée des terrains autochtones du carbonifère étageant du Tournaisien supérieur au Viséen supérieur, ces terrains se déposent sur un substratum Cambro-Ordovicien (Bouabdelli 1998).
- une troisième zone, qui est moins complexe que les secteurs précédents. Cet Ensemble constitue le flanc oriental du synclinorium du Fourhal à cœur Namuro-westphalien. Il est composé de terrain Namurien dont les structures sont généralement représentées par des plis orientés NE SW.

Deux autres structures de grandes importance dans la zone et dont la détermination été ciblée dans ce travail ;

- **Faille d'Aguelmous** : l'accident majeur d'Aguelmous d'allure sigmoïde passe d'une direction N40° dans sa portion SW du granite de Ment a une direction N70° dans sa portion NE
- **Granite de Ment** : d'un faciès granitique calcoalcalin et de forme quasi circulaire. sont contact avec l'encaissant est marquée par une auréole métamorphique importante matérialisant un métamorphisme de contacte post-tectonique

4. Traitement et résultats

Carte d'anomalies magnétiques.

Après avoir numérisé toutes les intersections entre les lignes de vol est les courbes isovaleurs de la zone d'étude nous avons interpolé les données recueillies selon une grille régulière de pas égal à 125m. La première carte obtenue de cette manière reflète la carte du champ magnétique résiduelle de la zone.

Pour rendre les anomalies superposables sur les sources perturbatrices nous avons calculé la carte de réduction au pôle qui permet de compenser l'effet de l'inclinaison du champ magnétique terrestre.

Les résultats du traitement magnétique ont été représentés sous forme de carte d'anomalies de la zone d'étude. Cette carte révèle la présence d'un ensemble de zone d'anomalies différenciées selon la puissance de la réponse magnétique ou par leurs aspects géométriques. Les principales zones d'anomalies obtenues peuvent être résumées en :

- Zones de forme sub circulaires à très forte réponse magnétique, qui occupent la partie centrale de notre secteur d'étude, ainsi que sa partie au SW et au SE (Fig.2).
- Anomalie linéaire qui s'allonge selon la direction NE- SW en reliant celle situé au centre avec celle-ci situé au SW de la carte
- La carte montre aussi une réponse faible qui forme un arc qui représente fort probablement une limite entre deux fasciées contrastés.
- Une très faible anomalie au niveau de la partie extrême Nord de la zone d'étude
- Et une anomalie de forte réponse magnétique qui s'allonge selon la direction de Oued Ifrane ESE-WNW.

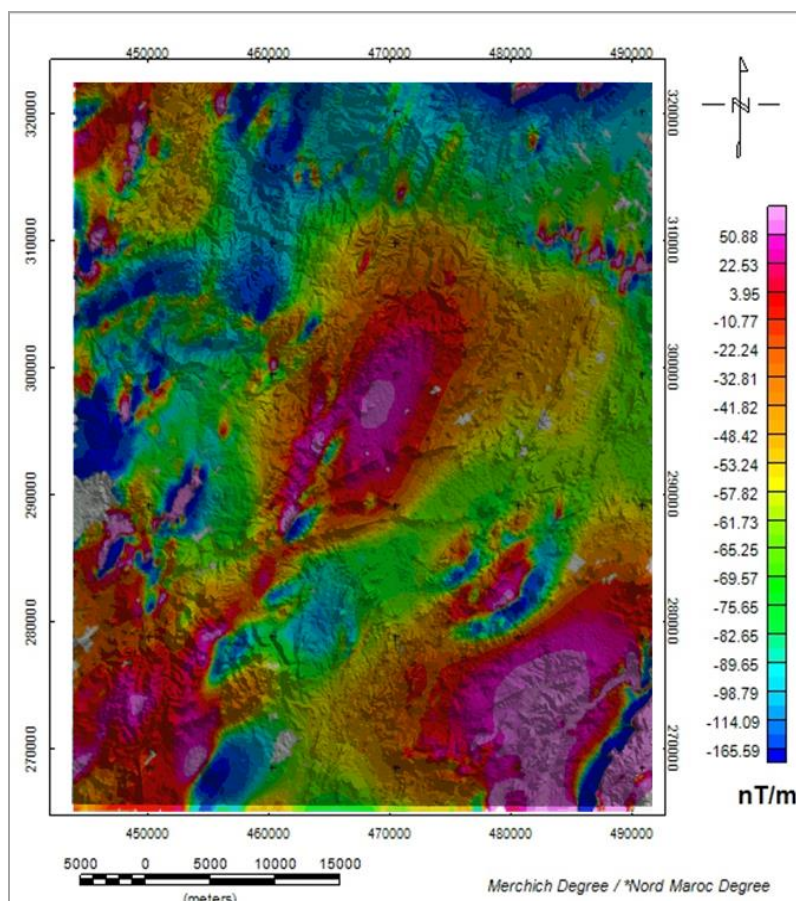


Figure2 : Carte magnétique superposée au MNT de la partie Est du massif central marocain.

Carte d'anomalies radiométrique de (Th).

La méthode spectrométrique aéroportée constitue la partie complémentaire de la cartographie aeromagnétique puisque elle permet de cartographier de façon très précise la partie superficielle.

De la même manière l'obtention radiométrique de l'élément Th se fait par numérisation des données et une interpolation selon une grille de 125m de pas.

La carte spectrométrique représente tout comme dans le cas de la carte magnétique des anomalies de forme, de taille et d'intensité différentes.

Nous pouvons résumer les résultats principaux obtenus de la réalisation de la carte spectrométrique en sorte de zones ou d'alignements d'anomalies de forte ou de faible réponse suivantes ;

- Une anomalie sub-circulaire de très forte réponse au centre de la partie occidentale, cette forte réponse est compatible avec la présence d'un massif rocheux composé de matériaux acides (riche en silice).

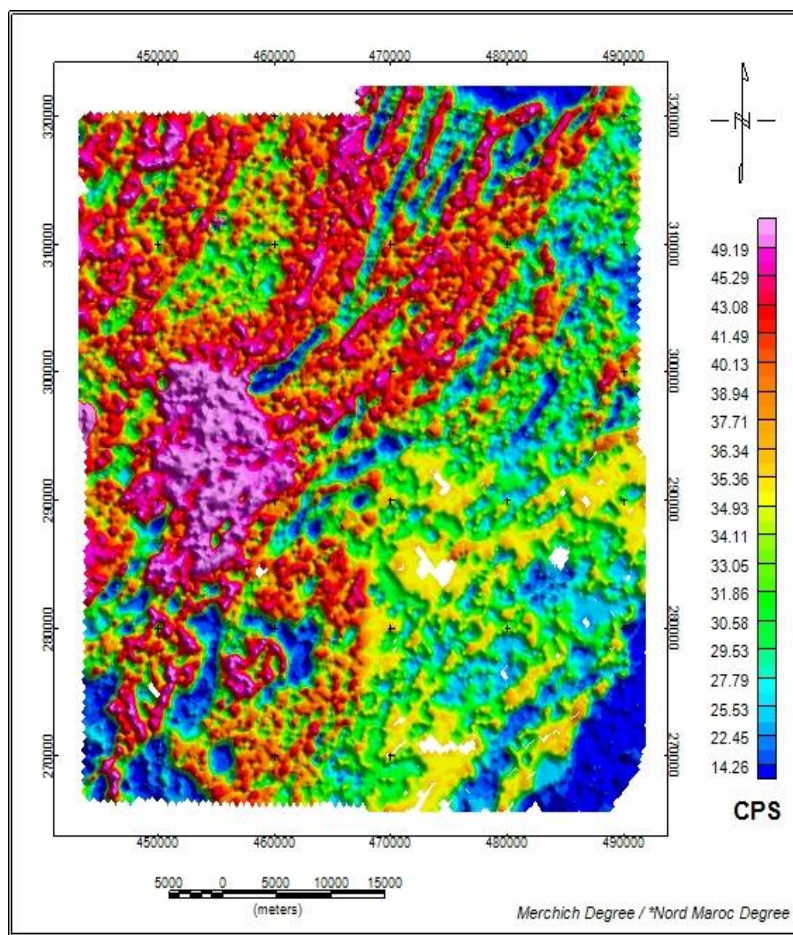


Figure3 : Carte spectrométrique de l'élément radiométrique (Th) de la partie Est du massif central marocain.

- Une anomalie linéaire qui s'allonge selon a direction NE- SW, superposable à l'anomalie magnétique linéaire soulignée dans le traitement de la carte magnétique auparavant.
- Une très faible anomalie au niveau de la partie extrême Nord de la zone, cette faible anomalie est consistante avec la présence de matériaux basiques Anomalie faible qui s'allonge selon la direction de Oued Ifrane ESE-WNW, qui coïncide avec l'anomalie de forte réponse magnétique précitée dans les résultats du traitement des données magnétiques de notre zone d'étude.

5-Discutions et conclusions

Les résultats obtenus par les traitements des données magnétiques et spectrométriques ont été interprétés de manière corrélative avec les données de terrains et celle compilées des travaux anciens traitant l'histoire géologique de la zone étudiée. Une très grande correspondance entre les grandes structures géologiques de la région et les principales anomalies magnétiques et spectrométriques peut être facilement remarquée en superposant l'ensemble des données géologiques et les résultats des données aéroportées obtenus. Les anomalies magnétiques ainsi que les résultats spectrométriques montrent une orientation NE-SW alignées avec

l'orientation des structures du massif central. Les grandes structures et ensembles structuraux de la zone ont été délimités aboutissant à l'extraction d'une carte géologique provisoire de la zone. Les anomalies sub-circulaires de la réponse magnétique et celle de la spectrométrie observées dans la zones centrale, coïncident avec le granite de Ment dont l'auréole métamorphique à été aussi délimitée (Fig.1). Les anomalies changent de directions dans bordure SE de l'intrusion granitique de Ment et deviennent orientées E-W. Ce changement d'orientation de l'alignement des anomalies magnétiques reflète le changement de la direction des structures géologiques dans cette zone qui est contrôlé par le un changement de la direction de la zone du cisaillement majeure d'Aguelmous. Les basaltes plio-quadernaires ont été aussi bien délimités par réponse magnétique et spectrométrie soit dans la zone de Ment ou bien le long de Oued Ifrane. Les grandes anomalies magnétiques et spectrométriques observées dans la partie SE et SW de la zone d'étude correspondent fort probablement à des corps enfuis en profondeur la bonne détermination de la nature, la géométrie et la profondeur de ces corps enfuis demande plus de filtres et de traitements.

Références Bibliographiques

- Aryamanesh, M.** 2009: Aeromagnetic data interpretation to locate buried faults in Yazd Province-Iran. – *World Appl. Sci. JI.*, 6/10, pp. 1429–1432.
- Blakely, R.J.** 1995: *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications.* – Cambridge University Press.
- Bouabdelli M. (1994)** – Tectonique de l'Est du Massif hercynien central (zone d'Azrou-Khénifra). *Bull. Inst. Sc. Rabat*, n°18, pp. 145-168.
- Bouabdelli M. (1989)** - Tectonique et sédimentation dans un bassin orogénique: le sillon d'Azrou-Khénifra (Est du massif Hercynien central du Maroc). Thèse ès Sciences, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 262 p.
- Bouya N., et al. (2013 a)** - Aeromagnetic data used for mapping the Agourai plateau structures (Tabular Middle Atlas, Morocco). *Afr. Geoscience Rev.*, Vol. 20.
- Bouya N. et al. (2013 b)** - Geological interpretation of the aeromagnetic survey in the Agourai area (Central Morocco). *Central European Geology.*
- Michard, A.** 1976: *Eléments de géologie marocaine.* – Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc, 252, 422 p.
- Termier H. & Dubar G. (1940)** - Carte Géologique du Moyen Atlas septentrional au 1/200 000, avec notice explicative. *Id., Notes et Mém. Servi. géol. Maroc*, pp. 24-24.

**MODÉLISATION GOCAD 3D DES DONNÉES DE TOMOGRAPHIE DE
RÉSISTIVITÉ ÉLECTRIQUE DU RÉSERVOIR KARSTIQUE ET FRACTURÉ DES
CAUSSES MOYEN ATLASIQUES**

Khaoula QARQORI⁽¹⁾, Mohamed ROUAI⁽¹⁾ et Christian LECARLIER DE VESLUD⁽²⁾

⁽¹⁾ Université Moulay Ismail, Faculté des Sciences de Meknès, Département des Sciences de la Terre,
50000 Meknès, Maroc. *khqarqori@gmail.com*

⁽²⁾ Centre Armoricaïn de Recherches pour l'Environnement, Université Rennes1, France

RÉSUMÉ : Les Causses du Moyen Atlas constituent un réservoir d'eau de grande importance au nord du Maroc. Les circulations d'eau se font essentiellement le long de fractures ouvertes et de karsts. Ce travail est une application de plusieurs techniques comme l'imagerie satellitaire Spot et l'imagerie géophysique pour collecter les données de surface et de sub-surface et des techniques de gestion de bases de données géographiques comme les SIG 2D et 3D, afin de mieux étudier les réseaux de fractures. Ce qui contribuera à la caractérisation de cet aquifère discontinu et de comprendre, par la suite, son comportement hydrodynamique.

Mots-clés : GOCAD, modélisation 3D, SIG, Tomographie de Résistivité Électrique, réservoir, fractures, Causses du Moyen Atlas, Maroc.

**GEOLOGICAL MODELLING OF KARSTIC AND FRACTURED SUBSURFACE
RESERVOIR OF MIDDLE ATLAS CAUSSES USING GOCAD 3D AND
ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY DATA**

ABSTRACT: The Tabular Middle Atlas reservoir is one of the most important aquifers in northern Morocco. The water flows are essentially along open fractures. This work is an application of several techniques such as Spot satellite imagery and geophysical imaging to collect surface and sub-surface data, and the geographical database management techniques such as 2D and 3D GIS to better study the fracture networks. Which will contribute to characterize of this discontinuous aquifer and understand, subsequently, its hydrodynamic behavior.

Keywords: GOCAD, 3D modelling, GIS, Electrical Resistivity Tomography, reservoir, fractures, Tabular Middle Atlas, Morocco.

INTRODUCTION

Bien que, les Systèmes d'Information Géographique (SIG) permettent l'affichage, le stockage, l'analyse et la gestion des données avec référence spatiale, ils se révèlent limités dans la gestion de la troisième dimension. Sachant que, les modélisateurs comme gOcad (Object Geological Computer Aided Design) permettent la réalisation 2D, la visualisation 3D et la modélisation géométrique, mais ils sont souvent limités dans le stockage et l'interrogation des données spatiales. Le rassemblement des deux outils (SIG et gOcad) donne une nouvelle architecture "SIG 3D" qui permet l'interrogation 3D sur les caractéristiques géométriques avec une référence spatiale et le renforcement de la capacité de gestion des données descriptives.

Notre étude a consisté premièrement en une analyse des images satellitaires SPOT pour extraire la fracturation et déterminer les zones hydrogéologiquement potentielles. L'une de ces zones "Aïn Bittit", située à la jonction entre les causses du Moyen Atlas et le bassin de Saïs, a fait l'objet d'une deuxième étude par prospection géophysique par Tomographie de Résistivité Électrique (TRE) afin de détecter failles géologiques et des zones de drainage karstiques. Les résultats de la TRE sont présentés sous forme de sections 2D selon différentes directions, montrant ainsi la distribution de la résistivité électrique du sous-sol. L'interprétation de ces résultats a nécessité l'incorporation d'autres données multi-sources, comme le Modèle Numérique d'Élévation (MNE) réalisé par un SIG (ArcGIS) et de forage.

L'utilisation d'outils "SIG 3D" a permis de vérifier la fiabilité des résultats des données géophysiques, en particulier sur les profils TRE traversant des zones où l'interpolation et l'interprétation trouvent plus de contraintes et de difficultés. Il a permis également, avec "gOcad", l'exécution d'une modélisation 3D et de numérisation du réseau de failles à partir des résultats géophysiques associées à un MNE.

1. Description de la zone d'étude

La zone d'étude se situe au niveau de la jonction entre les Causses du Moyen Atlas au Sud-est (CMA) et le Bassin de Saïs (BS) au Nord-ouest (figure 1).

Les CMA sont formés essentiellement de calcaires et dolomies liasiques fracturés et karstiques, jouant un rôle hydrogéologique très important. En allant vers le BS, Ces carbonates plongent vers le Nord sous une épaisse série marneuse miocène, formant ainsi une nappe captive très sollicitée, qui est supposée être alimentée depuis les CMA. Cependant, les modalités d'alimentation et de recharge de cette nappe profonde ne sont pas encore élucidées, et elles le restent si la zone de transition entre les CMA et le BS reste elle-même non étudiée sur les plans hydrogéologique et géostructural.

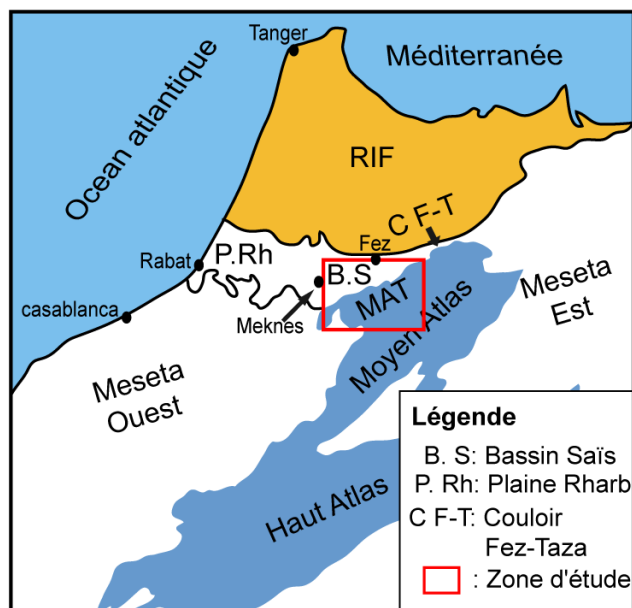


Figure 1. Localisation de la zone d'étude

2. MATERIEL ET METHODES

La géomodélisation rassemble tous les concepts mathématiques permettant une représentation géométrique des structures présentes dans le sous-sol en prenant en compte tout type de données associées à ces objets, le géomodèle ainsi obtenu pourrait visualiser en 3D les structures géologiques du sous-sol qui ne sont pas connues ou directement accessibles afin de faciliter l'interprétation géologique (Mallet, 2002). Elle permet en général la mise en évidence des ressources naturelles (eau, pétrole, minerais, etc.) et la détection de zones de faiblesse (tectonique, écoulement, faille).

La géomodélisation tridimensionnelle peut être réalisée selon deux approches, la première concerne la modélisation des surfaces et la seconde concerne la modélisation des volumes.

L'approche surfacique utilise une combinaison de surfaces triangulaires pour une représentation en 3D des différentes interfaces géologiques (faille, limite de couche, etc.) (Mallet, 1997; Caumon et al., 2009). Et l'approche volumique se base sur une définition d'un volume d'intérêt pour délimiter la frontière externe du modèle, ensuite, ce volume est rempli d'éléments en 3D (hexaèdres, prismes ou tétraèdres) (Mallet, 1997).

Dans notre étude, nous avons choisi d'utiliser gOcad (Paradigm gOcad © 2005-2011) dans le but de générer des nouveaux modèles géologiques et structuraux.

Geological Object Computer Aided Design (gOcad), est un logiciel géomodeleur qui a été développé dans les années 90 par le groupe « Gocad Research Group », et est actuellement disponible chez « Paradigm Geophysical ». Ce logiciel a été développé dans le but de pouvoir modéliser en 3D les structures géologiques très complexes affectées par la tectonique sévère (fracturation, plissement et intrusion magmatique), chose qui n'était pas faisable avec les logiciels traditionnels de la Cartographie Assistée par Ordinateur (CAO).

La géomodélisation tridimensionnelle par gOcad est basée sur le principe de l'interpolation lisse discrète, notée également DSI (pour Discrete Smooth Interpolation). C'est un algorithme d'interpolation (basé sur les moindres carrés) sur des objets discrets/non linéaires (lignes polygonales, surfaces triangulaires, etc.) qui permet de produire des modèles lisses et est capable de s'adapter aux topologies complexes (failles, intrusions, etc.), ce principe est bien détaillé par Mallet (1997, 2002).

La géomodélisation avec gOcad nécessite aussi l'utilisation d'un Modèle Numérique d'Élévation (MNE). Nous avons utilisé les données numériques d'élévation ASTER-GDEM mises en ligne, depuis Octobre 2011, gratuitement par le serveur de la NASA, Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC, 2011) et le serveur Japonais, Earth Remote Sensing Data Analysis (ERSDAC).

Ces données produites conjointement par la NASA des Etats-Unis et le ministère de l'économie, du commerce et de l'industrie (METI) du Japon, présentent une avancée importante dans la cartographie numérique de la topographie du monde et dans l'accessibilité des données des zones de grandes étendues. Ces données altimétriques, d'une résolution de 30 x 30 m, ont servi à construire le Modèle Numérique d'Élévation (MNE)

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Dans le cadre de notre étude, et après avoir confirmé la présence de failles sur certaines coupes de Tomographie de Résistivité Electrique, nous avons procédé à une visualisation en 3D par le logiciel gOcad, afin de mieux cartographier les failles détectées sur les coupes géoélectriques, cette opération est connue ainsi sous le nom « modélisation structurale ». Nous avons aussi choisi l'approche surfacique, qui a l'avantage d'être facile à manipuler au niveau du géomodeleur gOcad et requière moins d'espace mémoire et de données par rapport à l'approche volumique.

Nous avons utilisé gOcad pour élaborer une banque de données à 3D, dans laquelle nous avons intégré des données multi-sources notamment :

- Un MNE contenant les données altimétriques de la zone sous forme de points ayant les coordonnées (x, y et z). Ce MNE représente la grille de base sur laquelle toutes les données seront corrélées.
- Les coupes TRE qui ont été calées topographiquement sur le MNE grâce aux coordonnées (x, y et z) des quatre points côtés de chaque image.

Concernant l'élaboration du MNE de la région, elle a été faite sur les données ASTER-GDEM fournies sous le format GeoTiff, accessibles sur une interface ArcGIS. Ces données sont présentées sous forme matricielle (Raster) où chaque pixel est caractérisé avec ses coordonnées géographiques et son altitude, ce qui donne un MNE facilement exploitable avec l'extension « Spatial Analyst » d'ArcGIS (figure 2).

L'affichage tridimensionnel de ces données, a facilité la vérification de la compatibilité des valeurs de résistivités électriques et de la géométrie des failles à extrapoler, en permettant (Qarqori, 2015) :

- De vérifier la compatibilité géométrique des failles: Les failles détectées sur deux panneaux espacés et qui feront l'objet d'une extrapolation doivent pencher dans la même direction en ayant le même pseudo-pendage (figure 3);
- D'évaluer les intersections des profils (figure 4): Le nœud d'intersection de deux panneaux différents doit être présenté par la même réponse sur les deux coupes qui leurs correspondent (notamment l'intersection de TRE 2 et TRE 3), ceci nous a permis aussi d'évaluer la fiabilité de la méthode d'inversion utilisée, qui avait fait l'objet d'une certaine contrainte traduite par la fixation des paramètres d'inversion et leur généralisation sur tous les panneaux (Qarqori *et al.*, 2012).

Il s'agit donc, d'une mise en cohérence de toutes les données de la TRE grâce à un modèle 3D. Finalement, nous avons réalisé une extrapolation des plans surfaciques entre les coupes répondant aux exigences citées ci-dessus et proposé un modèle des plans de failles (a, b et c), ces plans se déploient selon deux directions NE-SW et NW-SE (figure 4).

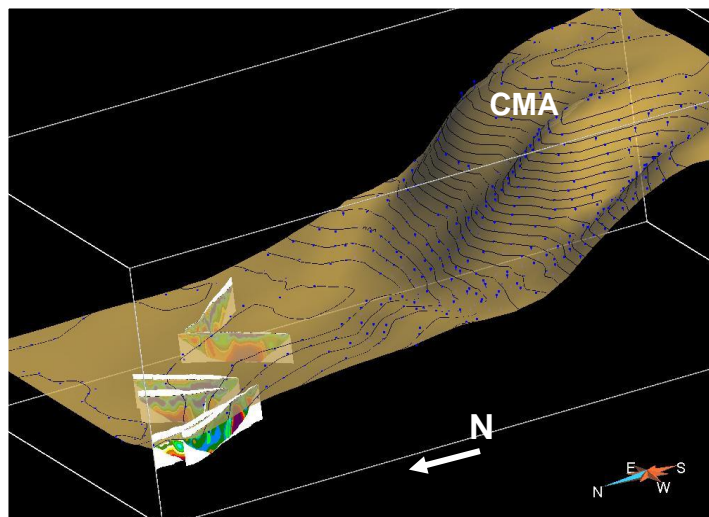


Figure 2. Modèle Numérique d'Élévation (MNE) et positionnement des coupes TRE

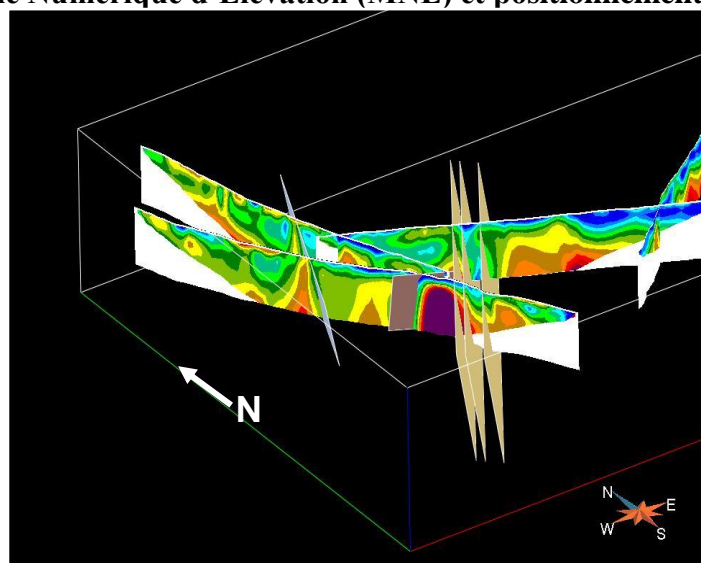


Figure 3. Positionnement tridimensionnel des coupes TRE Vu du SW

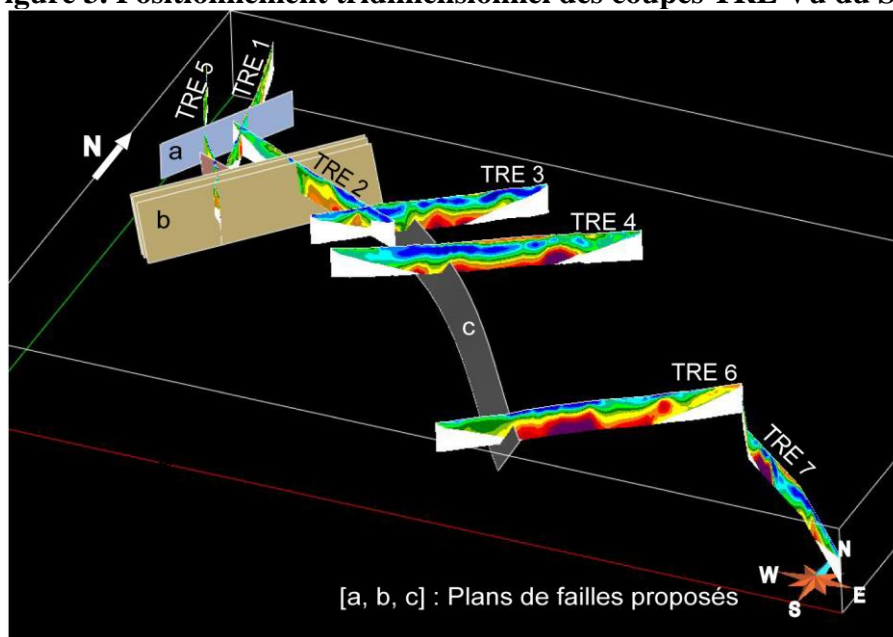


Figure 4. Plans de failles géomodelées Vu du SE

CONCLUSION

La modélisation 3D a joué un grand rôle dans le perfectionnement de la lecture et de l'exploitation des résultats de la TRE. Elle a facilité l'interpolation entre les différentes coupes TRE et de mettre en valeur la fiabilité de la méthode d'inversion, notamment au niveau des zones d'intersection des profils TRE. Cette géomodélisation nous a permis de détecter la présence de deux familles de failles subverticales orientées NE-SW et NW-SE et des zones conductrices considérées comme des chemins d'eau souterraine (couches en couleur bleue sur les coupes TRE).

Références bibliographiques

- CAUMON G., COLLON-DROUAILLET P., LE CARLIER DE VESLUD C., VISEUR S., SAUSSE J. (2009). Surface-based 3d modeling of geological structures. *Mathematical Geosciences*, Vol. 41, pp 927-945
- MALLET J. L. (1997). Discrete modeling for natural objects. *Mathematical Geology*, Vol. 29, pp 199–219.
- MALLET J. L. (2002). *Geomodeling*, Oxford University Press, New York, USA, 599 p.
- QARQORI KH. (2015). Contribution à l'étude du réservoir discontinu et karstique des Causses moyen-atlasiques et de sa jonction avec le bassin de Saïs par Télédétection Spatiale et Imagerie Géophysique. Thèse de l'Université Moulay Ismail, Meknès, Maroc, 183 p.
- QARQORI KH., ROUAI M., MOREAU F, SARACCO G., DAUTEUIL O., HERMITTE D., BOUALOUL M., LE CARLIER DE VESLUD C. (2012). Geoelectrical Tomography investigating and modeling of fractures network around Bittit Spring (Middle Atlas, Morocco). *International Journal of Geophysics*, Vol. 2012, 13 p.
- [GOCAD]: Paradigm gOcad ® software [logiciel]. Copyright © 2005-2011. [En ligne]. Adresse URL: <http://www.pdgm.com/products/gocad.aspx>

EVALUATION OF DIGITAL TERRAIN MODELS AND HANDLING OF THE TOPOGRAPHY BY TWO APPROACHES FOR GEOID COMPUTATION IN NIGER

Salissou IBRAHIM YAHAYA¹, El Hassan EL BRIRCHI², Driss EL AZZAB³

¹ PhD-Student at Geo-resources and Environment Laboratory - FST, Fes - Morocco, assalissou@yahoo.fr,

² Department of Mathematics, Computer Science and Geomatics - EHTP, Casablanca - Morocco,

hbirchi@yahoo.fr

³ Geo-resources and Environment Laboratory - FST - USMBA, Fes - Morocco, driss.elazzab@gmail.com

Abstract:

In this study, we have compared and evaluated the following models: ASTER GDEM2, SRTM1 V3, SRTM3 V4.1 and ETOPO1, over the Niger Republic from 11° North to 24° North and 0° to 16° East. The comparison and the assessment of precision are based on points from the General Levelling of Niger, points from various surveying campaigns in road construction projects, mining, etc. As an application in geophysics and physical geodesy, we have calculated the topographic effects on the gravity anomaly and the geoid by two Remove-Restore(R-R) approaches: the Residual Terrain Model and the Helmert's Condensation Method.

Key words: DTM, Remove-Restore, Terrain effects, Gravity anomaly, Niger

Résumé

Dans cette étude, nous avons comparé et évalué les modèles suivants : ASTER GDEM2, SRTM1 V3, SRTM3 V4.1 et ETOPO1, sur la République du Niger de 0° à 16° Est et de 11° à 24° Nord. La comparaison et l'évaluation sont basées sur des points de nivellement général du Niger, des points provenant de diverses levés topographiques dans les projets routiers, la mine, etc. Comme application en géophysique et géodésie physique, nous avons calculé les effets topographiques sur la pesanteur et sur le géoïde selon deux approches de Retrait-Restauration : Modèle Résiduel de Terrain et Méthode de Condensation de Helmert.

Mots clés : MNT, Retrait-Restauration, Effets de Terrain, Anomalie de pesanteur, Niger

INTRODUCTION

The Digital Terrain Models (DEMs) and their derivatives are very important for the Earth sciences that require elevation data such as hydrology, geology, geophysics, geodesy, navigation, etc. Nowadays several DEMs have been realized with various spatial resolutions, regional or global coverage and some of them are open source. They are a good alternative for the developing countries such as Niger. They are realized by various techniques: levelling, photogrammetry, satellite stereoscopy and RADAR interferometry. They are also subject to several types of errors, therefore before their use, they must be evaluated, several studies have

been carried out around the world, examples are cited in (Athmania & Achour, 2014). The accuracy of the validation points should be at least three times more accurate than the DEM elevations (Maune, 2007). Some studies take in account the land cover types, because DEMs are Surface Models in several cases. The effect of topographic masses located above the geoid, on gravity, must be considered in physical geodesy, for the gravity reductions and the computation of the geoid undulations Stokes' formula. During the gravimetric survey of Niger, the terrain corrections have not been applied to the Bouguer anomaly because of low variations of topography in general and the use of the barometric leveling, less accurate (Rechenmann, 1969).

The objective of our study is to compare four (4) DEMs over the Niger Republic: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer - Global Digital Elevation Model 2 (ASTER GDEM2), Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Version 003, SRTM Version 4.1 of the Consultative Group on International Agriculture Research - Consortium for Spatial Information (CGIAR-CSI) and ETOPO1. The models will be evaluated with ground control points located in several sites toward the country. Finally, as an application in physical geodesy, we will determine the terrain effects according to the Remove-Restore techniques by the Residual Terrain Model and the Helmert's second method of condensation.

1. STUDY AREA AND VALIDATION DATA

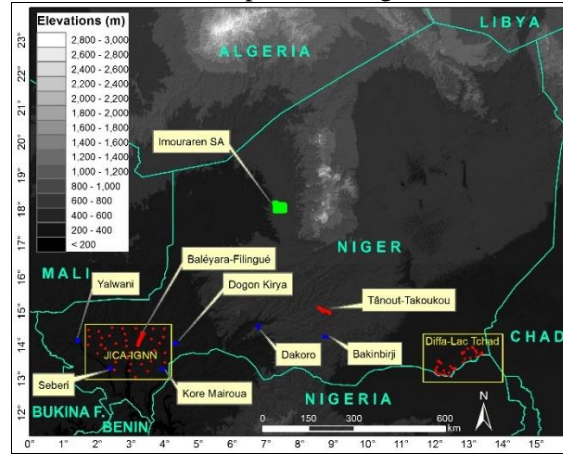
The elevations varies weakly in Niger, from 200 meters near the Benin border to about 2000 meters in the North-Central area (Air Mountains). In the study area, the highest elevations are in the Hoggar (Algeria). The checkpoints are from various surveying campaigns in several sites like road construction projects, mining. They are of three (3) kinds: (1) Global Positioning System (GPS) only with ellipsoidal heights, (2) GPS and spirit leveling (orthometric heights) and (3) DEM. The DEM of the Imouraren SA mining site is provided to the National Agency of Civil Aviation (ANAC) in 2013 for airport obstacle data. Figure 1 is an overview of the topography and the validation points' location.

Table 1: Evaluation points

Designation	Number	Height	Horizontal datum	Format	References
Baléyara-Filingué	45	Orthometric	WGS84/UTM31N	-	GERMS Consulting
JICA	138	Orthometric	Clarke 1880/UTM31N	-	(JICA & IGN-N, 1996)
DEM IMSA	6360	Orthometric	WGS84/UTM32N	Autocad	Imouraren SA
Diffa-Lac Tchad	45	Orthometric	WGS84, Lat/Lon	PDF	(Delclaux, 2003)
Tânout-Takoukou	20	Orthometric	WGS84/UTM32N	-	Art & Génie
Dakoro	1686	Ellipsoidal	WGS84/UTM32N	MS Excel	GERMS Consulting
Bakinbirji	997		WGS84/UTM32N		
Yalwani	1106		WGS84/UTM31N		

Sébéri	1053
Koré Mairoua	1349
Dogon Kiria	1531

Figure 1: Elevation in the study area from SRTM1S and locations of control points (Spirit levelling points =Red, GPS/Ellipsoidal Heights= Blue, Imouraren SA =Green)



2. DEMS DATASET

The table 2 shows the main features of DEMs used in this study.

Table 2: Features of DEMs

Models	ASTER GDEM2	SRTM1 V003	SRTM3 v4.1	ETOPO1
Mission	Terra	SRTM Mission	SRTM Mission	-
Institutions	METI, NASA	NASA, USGS, JPL	CGIAR-CSI	NOAA/NGDC
Datum	WGS84/EGM96	WGS84/EGM96	WGS84/EGM96	Mean Sea Level
Height Type	Orthometric Heights	Orthometric Heights	Orthometric Heights	Orthometric Heights
Resolution	30 m / 1 arc-second	30 m / 1 arc-second	90 m / 3 arc-seconds	1 arc-minute
Elevation	< 17 m	< 16 m	< 16 m (at 90 % confidence)	-
Accuracy	(at 95 % confidence)	(at 90 % confidence)	(at 90 % confidence)	-
References	(ASTER GDEM Validation Team, 2011)	(NASA-JPL, 2013)	(Jarvis et al., 2008)	(Amante & Eakins, 2009)

3. METHODOLOGY

3.1.Data preparation

The DEMs are clipped to the study area. The mass points has been extracted from the Autocad file. All UTM coordinates are transformed and projected in WGS84 geographic coordinates. We converted the ellipsoidal heights to orthometric heights using the geoid calculated with GUT 3.1(Rio & Dinardo, 2011) from the geopotential model EGM96(Lemoine et al., 1997). We applied Eq.(1), where H^{EGM96} is orthometric height, h is ellipsoidal height and N^{EGM96} is the geoid undulation. The elevations from DEMs are extracted using ArcGIS (ESRI, 2014).

$$H^{EGM96} = h - N^{EGM96} \quad (1)$$

3.2.DEMs evaluation

We first made the difference of each DEM with SRTM1S at each checkpoint and then we calculated the difference: DEM height minus checkpoint altitude. The evaluation is based on

statistical analysis of the height differences by: mean, maximum (Max), minimum (Min), standard deviation (STD), root mean square (RMS) and histograms.

3.3. Topographic effects

In the Remove-Restore techniques (R-R), the effects due to Geopotential Model Δg_{EGM} (Long wavelengths) and topography $\Delta g_{terr-eff}$ are subtracted from the free air anomaly Δg_{FA} to obtain the residual one, Δg_{res} , which is used in Stokes' formula (Remove step):

$$\Delta g_{res} = \Delta g_{FA} - \Delta g_{EGM} - \Delta g_{terr-eff} \quad (2)$$

The effects are then restored on the undulation of the geoid N or the quasi-geoid ζ :

$$N^{R-R} = N_{EGM} + N_{res} + N_{terr-eff} \quad \text{or} \quad \zeta^{R-R} = \zeta_{EGM} + \zeta_{res} + \zeta_{terr-eff} \quad (3)$$

In the Residual Terrain Model (RTM) approach, the terrain effect is given by (Forsberg, 1984):

$$\Delta g_{terr-eff} = \Delta g_{RTM} \approx 2\pi\mu(h - h_{ref}) - t_c \quad (4)$$

Where h and h_{ref} are the heights of the topographic point and the reference surface respectively, $\mu = G\rho$ with G the gravitational constant and ρ the topographic density, t_c is the classical terrain correction given at a point by (Forsberg, 1984), r is the distance:

$$(5)$$

The indirect effect on the quasi-geoid height anomaly is given by (Forsberg, 2008)

$$(6)$$

In Helmert's second method of condensation, the terrain effect is (Omang & Forsberg, 2000):

$$(7)$$

With γ the indirect effect on the gravity due to the remove of Helmert's topographic masses, R is the mean Earth radius. γ_0 is normal gravity.

The indirect effect on the geoid is (Omang & Forsberg, 2000) :

$$(8)$$

The TC module of Gravsoft (Forsberg & Tscherning, 2008) has been used for computations.

4. RESULTS AND DISCUSSIONS

The table 3 presents the statistics of the difference between the other DEMs and SRTM1S. The figure 2 presents the histograms of the differences.

Table 3: Differences between DEMs and SRTM1S at checkpoints

	Number	Max	Min	Mean	STD	RMS
ASTER1S - SRTM1S	14330	52,00	-37,00	-6,66	8,22	10,58
SRTM3S - SRTM1S	14330	12,00	-14,00	0,08	1,56	1,56
ETOPO1M - SRTM1S	14330	34,00	-25,00	-0,99	4,84	4,93

Figure 2: Histograms

In terms of RMS, SRTM3S and ETOPO1M much better with SRTM1S. There is a predominance of negative values in ASTER1S minus SRTM1S because it is shown in other studies that the altitude is under estimated in ASTER. The differences are normally distributed. The table 4 shows the statistics of differences according to the kind of checkpoints.

Table 4: Statistics of differences $H^{DEM} - H$, (1)=aster1s, (2)=srtm1s, (3)=srtm3s, (4)=etopo1m

	Spirit Leveling				DEM IMSA				GPS only			
	(1)	(2)	(3)	(4)	(1)	(2)	(3)	(4)	(1)	(2)	(3)	(4)
Number	248				6360				7722			
Max	13,96	10,10	8,16	34,48	56,39	18,68	12,39	15,27	35,89	9,25	9,32	15,08
Min	-26,90	-6,78	-7,78	-12,95	-31,13	-8,13	-9,42	-9,43	-29,52	-6,18	-6,43	-24,16
Mean	-3,33	2,81	2,87	3,69	-3,43	3,77	3,78	2,86	-5,35	0,88	1,01	-0,23
STD	5,28	2,48	2,35	6,46	7,24	2,00	1,62	2,40	8,22	2,33	2,15	6,44
RMS	6,23	3,75	3,71	7,43	8,01	4,27	4,12	3,73	9,81	2,49	2,37	6,44

We note that the smallest RMS is given by SRTM3S for all checkpoints. For the DEM and GPS only, ETOPO1M is better than ASTER1S.

Figure 3: Histogram of differences - (a) Spirit leveling, (b) DEM IMSA, (c) GPS only

(a)

Figure 4 and table 5 show the results calculated from ETOPO1M according to RTM approach.

Table 5: Statistics of terrain effects from ETOPO1M by RTM approach

	Max	Min	Mean	STD	RMS
(mgal)	104.441	-58.665	-0.076	4.798	4.799

(m)	1.632	-0.426	-0.002	0.104	0.104
-----	-------	--------	--------	-------	-------

The contribution to the gravity anomaly of varies from -58.665 to 104.441 mgal while that to the quasi-geoid ranges from -0.426 to 1.632 meters. The largest values lie in areas of higher altitudes as indicated above. Within the study area, variations are low for both effects; this is due to the low altitudes change.

Figure 4: Direct Effect in mgal (right) and indirect effect in meters (left) by RTM approach



CONCLUSION

The results show a good consistency of all DEMs in the study area with their altimetric accuracies. SRTM DEMs give the best RMS except in the Imouraren SA Site; outlier points can cause this. The computation of terrain effects is an important step in the determination of the geoid and the results can be used to perform the gravity reductions on the gravity map of Niger.

References

- Amante, C., & Eakins, B. W. (2009). *ETOPO1 1 ARC-MINUTE GLOBAL RELIEF MODEL: PROCEDURES, DATA SOURCES AND ANALYSIS* (NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24). Boulder, Colorado.
- ASTER GDEM Validation Team. (2011). *ASTER Global Digital Elevation Model Version 2-Summary of Validation Results*. Retrieved March 27, 2016, from <https://www.lpdac.usgs.gov/>
- Athmania, D., & Achour, H. (2014). External Validation of the ASTER GDEM2, GMTED2010 and CGIAR-CSI- SRTM v4.1 Free Access Digital Elevation Models (DEMs) in Tunisia and Algeria. *Remote Sensing*, 6(5), 4600–4620. <http://doi.org/10.3390/rs6054600>
- Delclaux, F. (2003). *Campagne de nivellement GPS dans la région de Diffa et du Lac Tchad. Rapport de mission, UMR HydroSciences*. Montpellier.
- ESRI. (2014). *ArcGIS Desktop: Release 10.3*. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.
- Forsberg, R. (1984). *A Study of Terrain Reductions, Density Anomalies and Geophysical Inversion Methods in Gravity Field Modelling. Technical Report 355. Department of Geodetic Science and Surveying. The Ohio State University, Columbus*.
- Forsberg, R. (2008). Terrain effects in geoid computations. In *International Geoid Service, Ed., International School for the Determination and use of the geoid*. Como - Italy.
- Forsberg, R., & Tscherning, C. C. (2008). *An overview manual for the GRAVSOFTE Geodetic Gravity Field Modelling Programs* (2nd ed.).
- Heiskanen, W. A., & Moritz, H. (1967). *Physical Geodesy*. (Freeman, Ed.). San Francisco London.
- Jarvis, A., Reuter, H. I., Nelson, A., & Guevara, E. (2008). Hole-filled SRTM for the globe Version 4. *Available*

from the CGIAR-CSI SRTM 90m Database: [Http://srtm.csi.cgiar.org](http://srtm.csi.cgiar.org).

- JICA, & IGN-N. (1996). *Rapport général de l'étude pour la réalisation de la carte topographique des Régions Djerma Ganda et des Dallols en République du Niger*. Japan International Cooperation Agency, Institut Géographique National du Niger.
- Lemoine, F. G., Smith, D. E., Kunz, L., Smith, R., Pavlis, E. C., Pavlis, N. K., ... Nerem, R. S. (1997). The Development of the NASA GSFC and NIMA Joint Geopotential Model. In *Gravity, geoid and marine geodesy* (pp. 461–469). CHAP, Springer. http://doi.org/10.1007/978-3-662-03482-8_62
- Maune, D. F. (2007). *Digital Elevation Model Technologies and Applications: The DEM User Manual* (2nd ed.). Asprs Pubns: Bethesda, MD, USA.
- Moore, I. D., Grayson, R. B., & Ladson, A. R. (1991). Digital terrain modelling: A review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological Processes*, 5(1), 3–30. <http://doi.org/10.1002/hyp.3360050103>
- NASA-JPL. (2013). NASA Shuttle Radar Topography Mission Global 1 arc second. *NASA LP DAAC*. <http://doi.org/10.5067/MEaSURES/SRTM/SRTMGL1.003>
- Omang, O. C. D., & Forsberg, R. (2000). How to handle topography in practical geoid determination: three examples. *Journal of Geodesy*, 74(6), 458–466. <http://doi.org/10.1007/s001900000107>
- Rechenmann, J. (1969). *Cartes gravimétriques du Niger*. Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer - Paris, 1969.
- Rio, M. H., & Dinardo, S. (2011). GUT Tutorial. *ESA Website*, (December), 1–81.

OUTIL SIG ET GEOPHYSIQUE DANS LA CARATERISATION DE L'AQUIFERE LIASIQUE DANS LA REGION DE MRIRT, CAUSSE DU MOYEN ATLAS, MAROC.

Ikram BOUTIRAME, Ahmed BOUKDIR, Hassan IKHMERDI, Lahcen ALILI et Elhacen BENSAID
Université Sultan Moulay Slimane, Laboratoire de Génie industrielle, PB 523, Béni Mellal, 23 000
Maroc. ikrame.geol@gmail.com

RÉSUMÉ : La présente étude a pour objectif le dégagement des ressources en eau souterraines pour l'alimentation en eau potable des agglomérations qui se situent au niveau du bassin hydrogéologique d'Ain Louh-Mrirt.

Pour atteindre cet objectif, on a procédé à une combinaison des données géologiques et hydrogéologiques avec les résultats de la prospection géophysique par sondage électrique réalisée dans la zone d'étude afin d'aboutir aux résultats les plus proches de la réalité géologique et hydrogéologique de la région de Mrirt.

L'étude géophysique a permis de déterminer l'extension latérale et verticale de l'aquifère du Lias et estimer la puissance de ce niveau dans toute la zone.

L'analyse multicritère basée sur la combinaison des données des forages les plus potentiels (essai de pompage) de la zone d'étude, les données hydrogéologiques et géophysiques a permis de déterminer deux sites d'implantation de reconnaissance qui capteront l'aquifère du Lias.

Mots-clés : ressources en eau souterraines – Ain Louh-Mrirt – prospection géophysique- aquifère- implantation de reconnaissance.

GIS TOOL AND GEOPHYSICS IN THE CARATERISATION OF THE AQUIFER OF THE LIAS IN THE REGION OF MRIT, CAUSSE OF THE MIDDLE ATLAS, MOROCCO.

ABSTRACT: The present study has for objective the investigation of underground water resources for the drinking water supply of agglomerations which are located at the level of hydrogeological watershed of Aïn Louh-Mrirt.

To achieve this objective, the process was a combination of geological and hydrogeological data, with the results of the geophysical prospecting by electrical survey realized in the study area in order to achieve the results that are the closest to the geological reality hydrogeological and of the region of Mrirt.

The geophysical study has helped to determine the lateral and vertical extension of the aquifer of the Lias and estimate the thickness of this level in the entire area.

The multi-criteria analysis based on the combination of the more potential borehole (pumping test) of the study area, hydrogeological and geophysical data has helped to determine two implantation sites that will capture the aquifer of the Lias.

Keywords: Underground water resources - Ain Louh-Mrirt – geophysical prospecting- aquifer- implantation of recognition.

INTRODUCTION

Les ressources en eau se font de plus en plus rares. Face à une demande croissante résultant des développements démographiques et économiques, il s'avère désormais urgent d'élargir les possibilités de reconnaissance hydraulique. Les eaux souterraines ont un caractère stratégique et jouent un rôle important dans le développement socioéconomique du Maroc, elles constituent des réserves en eau d'une importance considérable, justifiant le recours à des prospections géophysiques permettant l'identification des aquifères à potentiel hydrogéologique intéressant.

La présente étude a pour objectif la reconnaissance géophysique de l'aquifère liasique du bassin hydrogéologique Ain Louh-Mrirt par la méthode des sondages électriques. Le traitement des mesures de résistivité électriques récoltées sur le terrain ont permis de cerner la structure profonde l'aquifère du Lias (inférieur et moyen) et tracer la variation spatial du toit de ce niveau sur toute la zone d'étude.

Le couplage des données géologiques et hydrogéologiques et les résultats de la prospection électrique opérée dans la zone d'étude, a permis de délimiter les zones les plus prometteuses pour l'implantation des points de captages des eaux de la nappe liasique.

1. Description de la zone d'étude

Les zones Ain Leuh et Mrirt sont situées au Sud-Est du bassin de Sebou entre Ifrane et Khénifra sur la route principale n°24, elles appartiennent au causse moyen Atlas tabulaire, encadrées au nord par le couloir de Sud-Rifain, au sud par le Haut Atlas et la vallée de la Haute Moulouya, à l'est par la vallée de la Moyenne Moulouya et à l'ouest par la Méséta marocaine

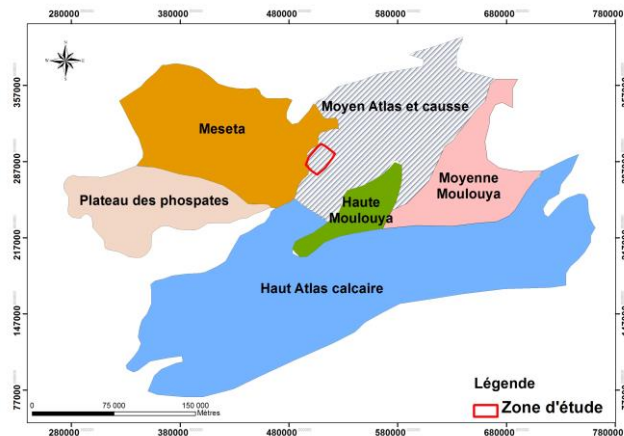


Figure 1. Localisation géographique de la zone d'étude.

La zone d'étude fait partie du Causse moyen atlasique qui est constitué de plateaux d'altitude comprise entre 1000 et 2200m, il est caractérisé par la prédominance de formations carbonatées du Lias inférieur et moyen, découpées en blocs faillés le long de plusieurs failles d'orientation Nord-Est. Le Causse est limité à l'ouest par les terrains primaires de l'oued Beht (Meseta primaire marocaine) et ceux du Tazzeka au nord-ouest. Au nord, la limite est déterminée par les terrains de recouvrement tertiaires et quaternaires du couloir sud-rifain. Les couches dolomitiques du Lias inférieur reposent en concordance probable sur le Trias. Le Lias moyen est caractérisé par des calcaires de couleurs différentes.

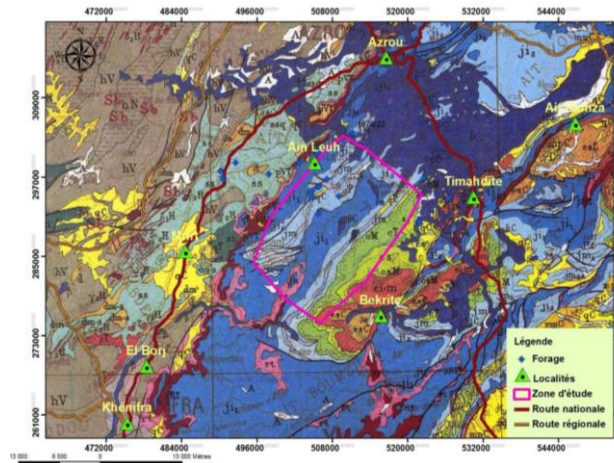


Figure 2 : Carte géologique de la zone d'étude (extrait de la carte géologique du Rabat au 1/50.000).

Le Causse moyen atlasique renferme un aquifère potentiel logeant dans les formations des calcaires dolomitiques du Lias inférieur et moyen.

L'eau de cette nappe circule dans des fissures, fractures et chenaux karstiques. Ces discontinuités favorisent l'infiltration des eaux de pluies, qui constituent la principale source d'alimentation de l'aquifère Liasique. Le substratum de l'aquifère liasique est constitué par les argiles rouges et marnes imperméables du Permo-Trias, qui affleurent au niveau des bordures Ouest et Est du Causse moyen-atlasique.

L'exploitation de l'aquifère du Lias constitue une solution réaliste pour la mobilisation d'un débit important pouvant assurer l'alimentation en eau potable des populations du centre de M'arrirt. Des propositions de reconnaissance pour le dégagement de nouvelles ressources seront être faites dans le cadre de cette étude.

2. MATERIEL ET METHODES

La prospection électrique par sondage électrique est basée sur l'injection en surface d'un courant électrique I entre les électrodes d'injection (dites électrodes d'injection A et B) et la mesure de la différence de potentiel ΔV entre les électrodes de mesure M et N. Le rapport de ces deux paramètres permet de calculer la résistivité électrique des terrains sous-jacents. La méthode utilisée ne tient pas compte de la subsidence et des mouvements tectoniques, alors que le littoral étudié appartient à une marge active. Cette activité tectonique se poursuit encore de nos jours comme cela est attesté par les nombreux séismes qui ont affecté la région.

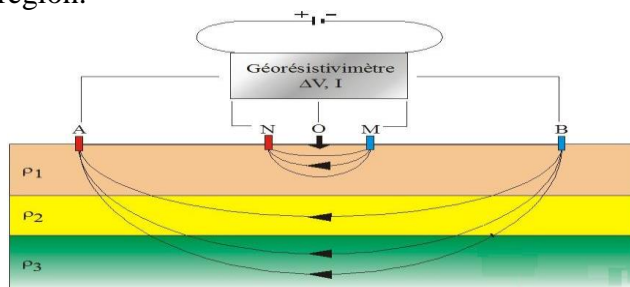


Figure 2. Principe du sondage électrique

Les mesures de résistivité électriques ont été acquises à l'aide d'un résistivimètre GRM 3000. Pour couvrir l'ensemble de la zone d'étude, 39 sondages électriques ont été réalisés selon un maillage de 4kmx4km.

Le traitement des résistivités apparentes des sondages électriques a été réalisé avec le logiciel **WinSev 6** de GEOSOFT. L'analyse des sondages électriques a permis de déterminer la profondeur du toit de l'aquifère du Lias à la verticale de chaque sondage électrique et d'estimer la variation d'épaisseur de ce niveau dans la zone d'étude.

Les cartes géoélectriques (carte des isopaques et des isohypses) du réservoir aquifère étudié sont réalisées à l'aide du logiciel Surfer 12 de GOLDEN SOFTWARE et ArcGIS 10.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

L'épaisseur de l'aquifère du Lias est comprise entre 3 m et plus de 60 m. Son épaisseur maximale est observée à l'extrémité Sud-Ouest (à l'Est du centre de Mrirt) et au Nord-Est de la zone d'étude, ces zones de forte puissance présentent un intérêt hydrogéologique important. Les faibles épaisseurs sont réparties dans la partie centrale de la zone d'étude. Globalement, le niveau aquifère du Lias montre un épaissement du Nord vers le Sud de la zone d'étude.

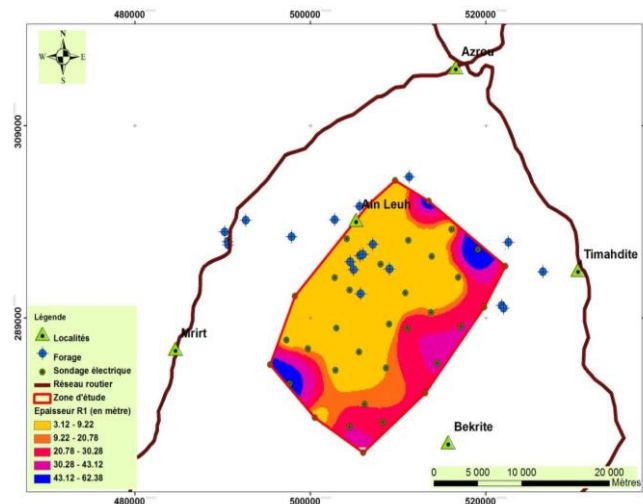


Figure 2. Carte des isopaques de l'aquifère du Lias.

Le toit de ce niveau aquifère montre une remontée en allant du Nord-Ouest vers le Sud-Est de la zone d'étude en direction des affleurements calcaire-dolomitique du Lias inférieur-moyen.

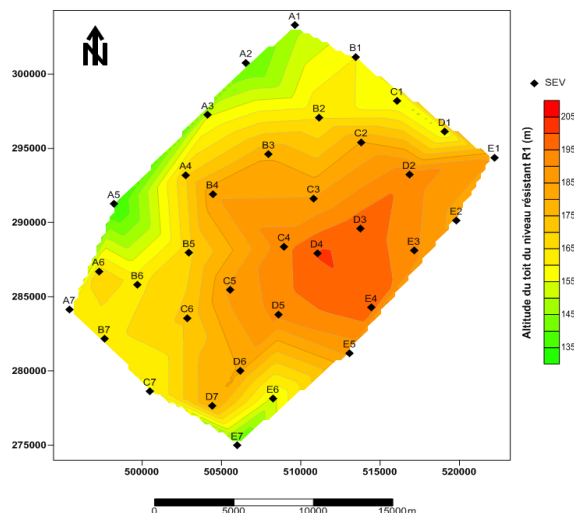


Figure 3. Carte des isohypses du toit de l'aquifère du Lias.

La carte de la résistance transversale est d'un apport important pour pouvoir déterminer les zones potentielles pour l'implantation des futurs captages d'eau. Les zones situées dans la partie extrême du Nord-Est et du Sud-Ouest et au centre de la zone d'étude (au voisinage du sondage électrique B4) enregistrent des fortes valeurs de RT. Ces fortes valeurs sont dues essentiellement aux valeurs importantes de résistivité électrique ainsi que d'épaisseur enregistrées à ces endroits.

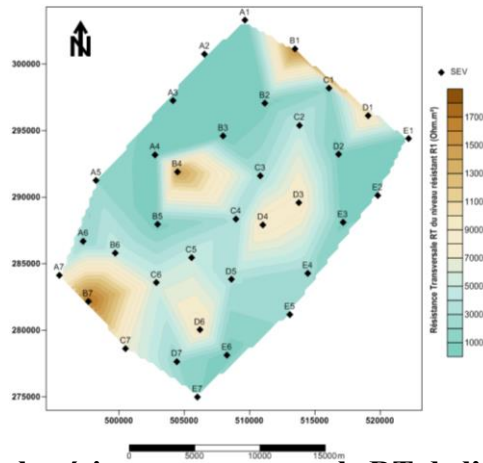


Figure 4. Carte de la résistance transversale RT de l'aquifère liasique.

Une analyse multicritère basée sur le recouplement de l'ensemble des cartes thématiques ci-dessus a permis de délimiter les zones les plus favorables pour l'implantation des sondages de reconnaissance.

La figure ci-dessous présente les zones les plus potentielles pour l'implantation des captages d'eau basées sur la carte de répartition des puissances des formations des dolomies du Lias; ces zones sont localisées principalement à l'extrémité Sud-Ouest et au Nord extrême de la zone d'étude.

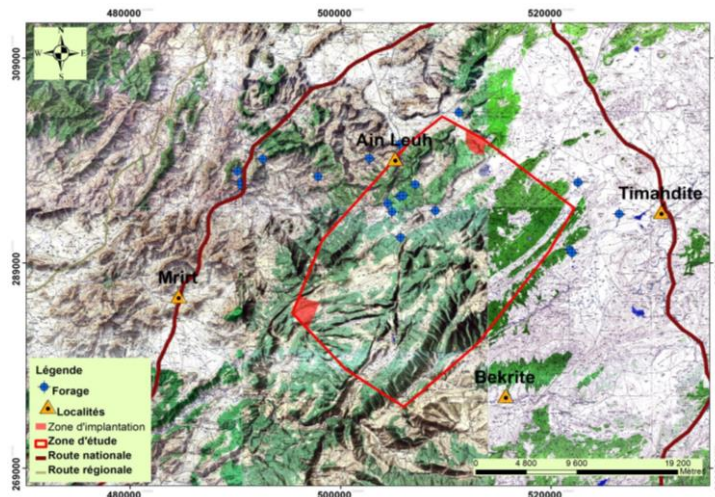


Figure 5. Zones potentielles pour captage de l'aquifère liasique.

Deux implantations de reconnaissance proposées sont localisées à l'emplacement des deux sondages électriques potentiels A7 et B1.

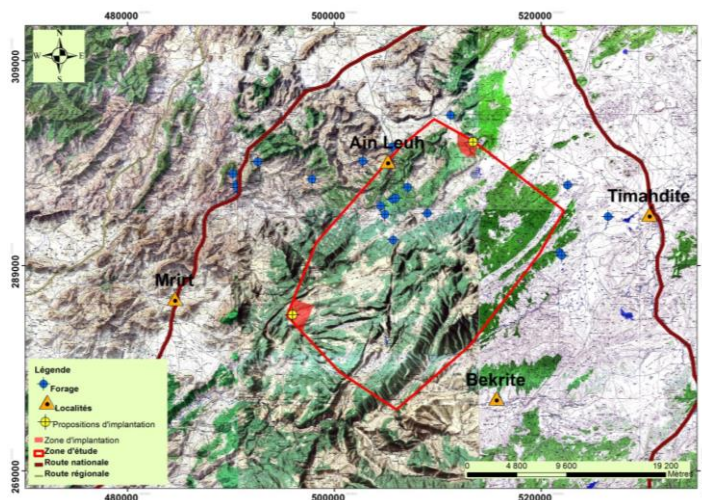


Figure 6. Implantation de reconnaissance pour captage de l'aquifère liasique.

La compilation des données disponibles au niveau de la zone d'étude a permis de faire des propositions de sondages de reconnaissance pour renforcer l'alimentation en eau potable de M'ritt et sa zone limitrophe.

CONCLUSION

L'étude des potentialités en eau souterraine et possibilités de leur mobilisation en ressources en eau pour l'alimentation en eau potable de la ville de M'ritt a été faite sur la base de la synthèse hydrogéologique des données existantes et sur les résultats de l'étude géophysique réalisée dans le cadre de cette étude dans la zone.

L'étude géophysique a permis de déterminer la structure hydrogéologique du niveau aquifère du Lias. Deux propositions d'implantation ont été faite dans la zone d'étude qui capteront les aquifères du Lias au voisinage d'Ain Leuh, et dans une nouvelle zone en se rapprochant de la ville de M'ritt.

Références bibliographiques

ABDOU BABAYE S. (2012). *Evaluation des ressources en eau souterraine dans le bassin de Dargol (Liptako-Niger)*, pp 224–255.

OULAAROUS Z. (2009). *Etude climatologique, hydrogéologique et géophysique du Cotier des Doukkala (Maroc). Apport de l'analyse statistique et de l'inversion des données géoélectriques à l'étude du biseau salé de la lagune de Sidi Moussa*, pp 120-215.

Ressources en eau du Maroc, Tome 3, pp 32-65

APPORT DE L'OUTIL SIG ET GEOPHYSIQUE DANS L'IDENTIFICATION DE L'AQUIFERE DE DAYET EROUMI, MESETA CENTRALE (MAROC)

Abdelfettah EL KOURCHIA¹; Mustapha BOUALOUL¹; Hassane SAHBI¹; Ahmed BENAMARA²; Hmad BOUIKBANE¹

elkourchia78@gmail.com

1 : Laboratoire de Géo-Ingénierie et Environnement, Faculté des Sciences, Meknès

2 : Département de Géologie, Faculté des Sciences et Techniques d'Errachidia

RESUME : Le bassin de Dayet Erroumi est situé au Nord de la Méseta centrale, à 10 km de la ville de Khémisset vers Rommani. Il s'étale sur une superficie de 250 km². La Méseta centrale correspond au domaine de la chaîne hercynienne du Maroc, constituée de terrains paléozoïques recouverts en discordance par des séries secondaires et tertiaires généralement tabulaires ;

Une Campagne géophysique par géoélectrique a été réalisée. Plus de 200 sondages électriques verticaux (S.E.V) ont été exécutés avec une longueur de ligne AB de 600 à 4000 m. La réinterprétation des données de ces S.E.V couplée avec les données des forages, en utilisant l'outil SIG dans la gestion des données à référence spatiale, a permis d'établir les modèles les plus adéquats, des cartes quantitatives et des cartes qualitatives.

Mots clés : Meseta central, Dayet Erroumi, géophysique, géoélectrique, aquifère.

CONTRIBUTION OF THE TOOL GIS AND GEOPHYSICAL IN THE IDENTIFICATION OF AQUIFER DAYET EROUMI, MESETA CENTRAL (MOROCCO)

ABSTRACT: The Dayet Erroumi basin is located north of the central plateau, 10 km from the city of Khemisset to Rommani. It spreads over an area of 250 km². The Central Plateau is the domain of the Hercynian chain of Morocco consists of Paleozoic land covered unconformably by secondary and tertiary series generally tabular;

A geophysical Campagne by geoelectric was performed. Over 200 vertical electrical sounding (S.E.V) were performed with a line length AB 600 to 4000 m. The reinterpretation of these data S.E.V coupled with borehole data, using the GIS tool in the management of spatial data, has established the most appropriate models, quantitative and qualitative maps cards.

Keywords: central Meseta, Dayet Roumi, geophysical, geoelectric, aquifer.

INTRODUCTION

La présente étude constitue une contribution à la reconnaissance hydrogéologique de l'aquifère de Dayet Eroumi situé au niveau de la Meseta centrale, qui présente une demande accrue en eau. Afin de traiter cette problématique, des objectifs primordiaux sont à atteindre, notamment, la caractérisation et la quantification de la géométrie des formations aquifères mio-plioquaternaires en déterminant les épaisseurs, les extensions latérales des différentes entités de l'aquifère.

La zone d'étude est située au Nord de la Méseta centrale, à 10 km de la ville de Khémisset vers Rommani. Elle s'étale sur une superficie de 250 km². Cette Méseta correspond au domaine de la chaîne hercynienne du Maroc, constituée de terrains paléozoïques recouverts en discordance par des séries secondaires et tertiaires généralement tabulaires

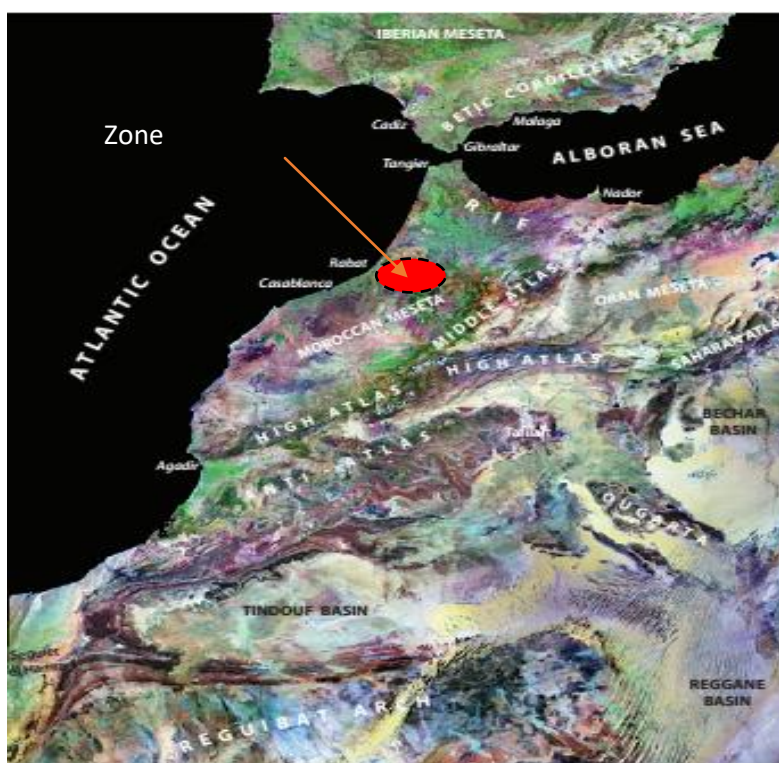


Figure 1 : situation de la zone d'étude

METHODOLOGIE

Afin de répondre aux objectifs de cette étude, une Campagne géophysique par géoélectrique a été réalisée. Plus de 200 sondages électriques verticaux (S.E.V) ont été exécutés (Fig.2) avec une longueur de ligne AB de 600 à 4000 m.

La ré-interprétation des données de ces S.E.V couplée avec les données des forages, en utilisant l'outil SIG dans la gestion des données à référence spatiale, a permis d'établir les modèles les plus adéquats, de réaliser des coupes géoélectriques montrant l'évolution des niveaux de résistivités électriques suivant la direction NW-SE (Fig. 2) et des cartes quantitatives relatives aux toits et aux murs des différents niveaux résistants qui formeraient les aquifères.

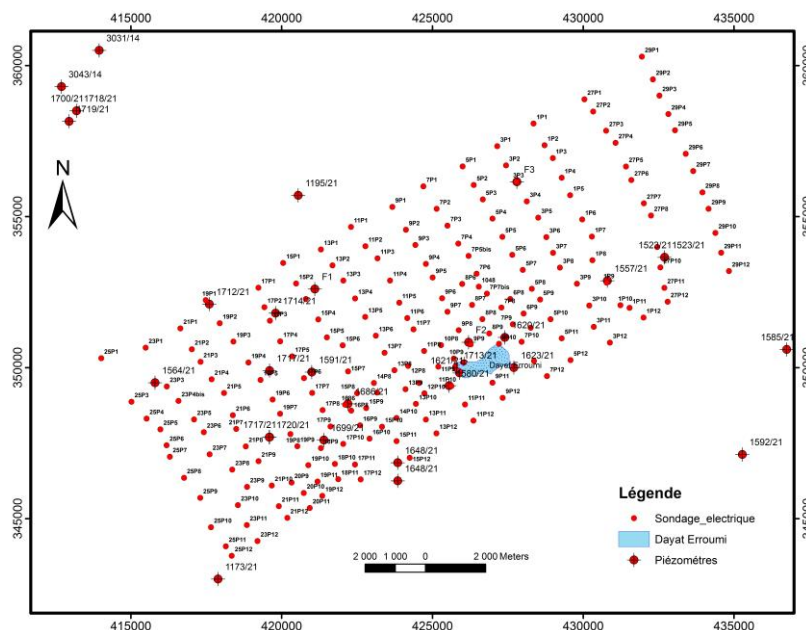


Figure 2 : Plan de positionnement des S.E.V.

RESULTATS ET DISCUSSION

Parmi les coupes géoélectriques résultantes de la corrélation des différents S.E.V., le présent exemple montre :

- La présence d'un substratum conducteur, discontinu, formé par les argiles rouges du Trias à 95 m de profondeur, et qui forme une structure tabulaire et profonde le long de la coupe (Fig.3).
- La présence de failles bordières qui font remonter le substratum conducteur Cp (argiles du Trias) et le substratum résistant Rp (Primaire) en marche d'escalier.
- l'épaisseur de la couverture mio-plioquaternaire au Nord et au sud se trouve ainsi très réduite.

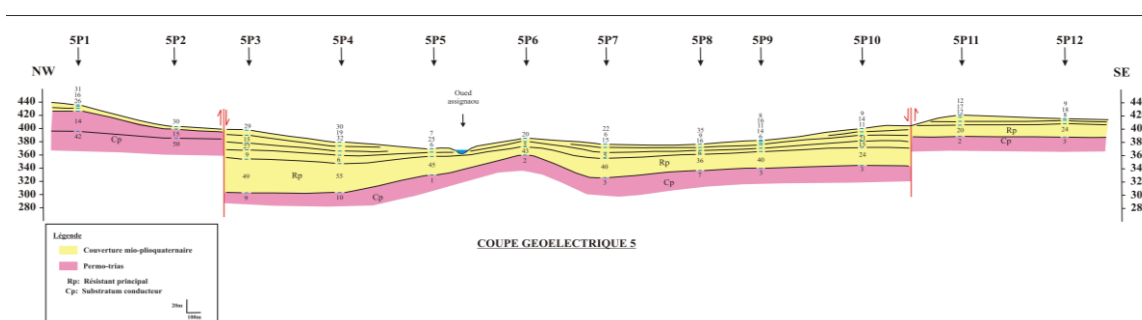


Figure 3 : Coupe géoélectrique du profil 5

La carte de la résistivité électrique apparente (Fig.4), issue de l'analyse spatiale sous ArcGIS des données de résistivités de tous les S.E.V. pour un AB de 300m, montre une gamme allant de 2 à 95 ohm.m. Elle représente la réponse électrique de la tranche de terrain comprise entre 30 et 40m.

Cette carte montre aussi un terrain généralement conducteur, et moyennement résistant par endroit. Avec un caractère très résistant à l'extrémité Ouest.

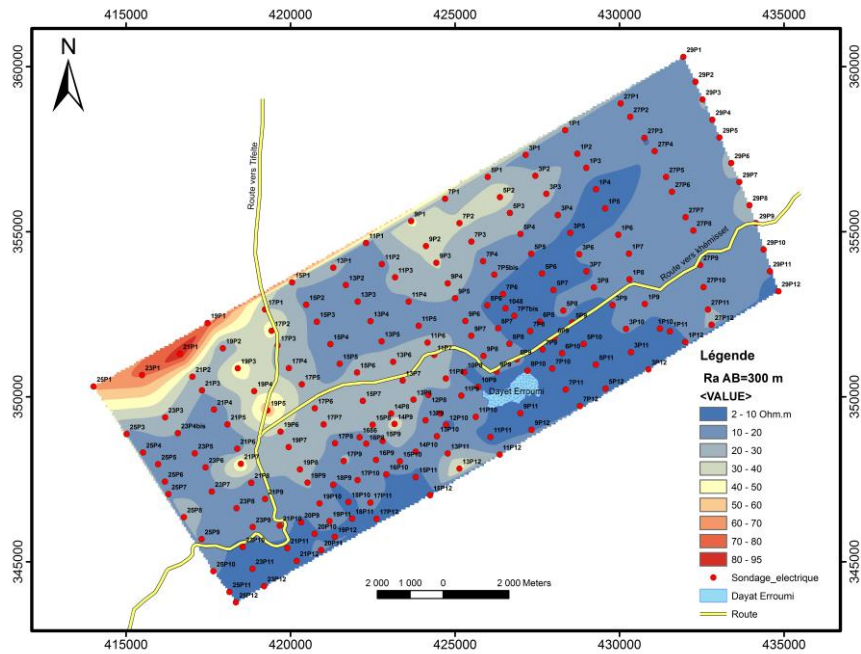


Figure 4 : Carte de la résistivité apparente AB = 300m

L'analyse spatiale de la carte des isopaques de la couverture moi-plioquaternaire (Fig.5) montre une grande épaisseur de la couverture correspondant aux calcaires gréseux et marno-calcaires du Moi-pliocène qui constituent la limite principale de l'aquifère de la zone. L'intervalle de valeurs d'épaisseur est compris entre +20 et +158m.

Une gouttière synclinale avec une grande épaisseur de la couche résistante a été identifiée au centre de la zone d'étude.

La remontée brutale vers l'Ouest et progressive vers l'Est du toit du substratum conducteur est bien visible au niveau de cette carte. L'effet des failles bordières au NW et au SE sur la remontée du toit Cp est bien mis en évidence.

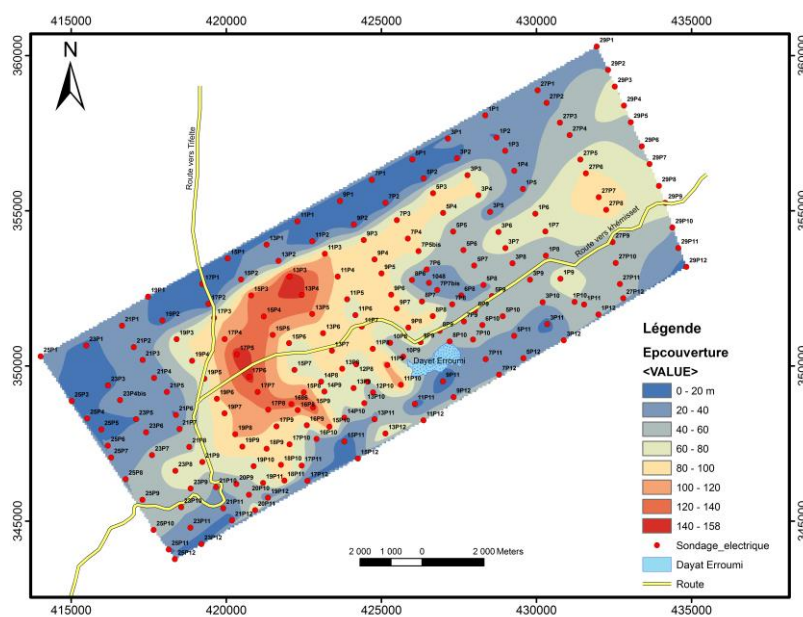


Figure 5 : Carte des isopaques de la couverture de Moi-Plioquaternaire

CONCLUSION

A l'échelle des bassins sédimentaires, la prospection géophysique s'avère un outil puissant pour mettre en évidence les zones à intérêt hydrogéologique notamment dans les zones semi- arides telle que la zone de Dayet Eroumi. Cette cartographie, ainsi que tous les traitements et analyses spatiales, sont beaucoup plus facilités par l'utilisation de l'outil SIG actuellement très sollicité dans le choix des sites d'implantation de futurs ouvrages hydrogéologiques ainsi que dans l'exploitation et la gestion des ressources en eaux souterraines et le développement durable de façon générale.

Références bibliographiques

- BOUABDELLI M. 1989. Tectonique et sédimentation dans un bassin orogénique : le sillon viséen d'Azrou-Khénifra, Est du Massif hercynien central du Maroc. Thèse Sci. Univ. L. Pasteur, Strasbourg. 262p.
- COMBE M. FERRE M. et THAUVIN J.P. 1975. Ressources en eaux du Maroc. Méséta centrale et Méséta côtière. Notes et Mémoires Serv. Géol. Maroc ; t. 2. pp. 147-171.
- EL HASSANI A. 1990. La bordure nord de la chaîne hercynienne du Maroc. Chaîne calédonienne des Sehoul et plate-forme nord-mésétienne. Thèse Sci. Univ. L. Pasteur, Strasbourg. 208p.
- FADLI D. 1990. Evolution sédimentaire et structurale des massifs des Mdakra et du Khatouat : deux segments hercyniens de la Méséta marocaine nord occidentale. Thèse Sci. Univ. Med V Rabat. 316p.
- MICHARD A. 1976. Eléments de Géologie Marocaine. Notes et Mémoires Serv. Géol. Maroc ; N 252. 408p.
- PIQUE A. 1994. Géologie du Maroc : Les domaines régionaux et leur évolution structurale. Ed. Plumag. 284

**APPLICATION DES SIG POUR COMPRENDRE LE FONCTIONNEMENT
HYDROGEOLOGIQUE DU COULOIR DE TAOURIRT - OUJDA (DOMAINE ORIENTAL-
MAROC)**

Hassan IKHMERDI, Ahmed BOUKDIR, Abdelhak KOSSIR Mohammed BENABDELHADI,
Lahcen ALILI, El hassan BEN-SAID,

Université Sultane Moulay Slimane, Laboratoire de Génie Industrielle, Ressource Naturelle, Santé et
Environnement, FST Béni Mellal, Maroc. *ikhmerdi@gmail.com*,

Résumé :

Le couloir Taourirt Oujda appartient au domaine oriental du Maroc. Cette zone est limitée au nord par les chaînes de Beni Snassen Beni Bouyahi et, au sud par les chaînes des Horsts, à l'est par la frontière algérienne et à l'ouest par le bassin de Guercif et zone ridepréfraine. Elle est caractérisée par un climat aride à semi aride.

La description et l'analyse des aquifères est basée selon, l'unité hydrogéologiques du couloir Taourirt Oujda qui est constituée principalement par une épaisse couverture du Miocène marneux et quaternaire.

L'application d'un système d'information géographique (SIG) permet d'évaluer des ressources en eau mobilisables, réinterprétation et l'actualisation des données de chaque unité hydrogéologique. La façon de déterminer des bilans hydrogéologiques consiste à analyser les variations du régime de chaque nappe notamment le niveau de l'eau. On constate qu'il y a des modifications des systèmes hydrogéologiques sous l'effet des actions humaines récentes (pompages, modifications de la recharge, pollution). D'où l'importance accordée dans cette étude à l'analyse des historiques piézométriques et de salinité, en relation avec l'évolution des prélèvements.

L'état de la piézométrie moyenne dans la zone d'étude est généralement varié de 1 à 22m c'est-à-dire de 0.5 à 1 m/an dans certaines zones surexploités. Les bilans de chaque nappe montrent que le total des entrées restes trop faible par rapport au total des sorties sous l'effet des actions humaines. Un éclairage sur la qualité des eaux (conductivité électrique, PH, salinité, Faciès chimique...) montre que la qualité de l'eau dans la zone d'étude généralement est bonne à l'exception de certaines zones qui sont polluées par les eaux usées des agglomérations urbaines, l'activité agricole et les sites des décharges. Le bassin présente une variété dans les faciès chimiques du à la variété de la nature lithologique du réservoir.

Mots Clé : Hydrogéologique, SIG, Couloir Taourirt Oujda, Qualité.

**APPLICATION OF THE SIG TO UNDERSTAND THE HYDROGEOLOGIC
FUNCTIONING CORRIDOR TAOURIRT OUJDA (ORIENTAL DOMAIN MOROCCO)**

ABSTRACT :The corridor Taourirt Oujda belongs to the Eastern area of Morocco. This area is bounded to the north by the chain of Beni Snassen Beni Bouyahi and to the south by the chain of Horsts, on the east by the Algerian border and on the west by the Guercif basin and ridepréfraine area. It is characterized by a semi-arid to arid climate.

The description and analysis of aquifers is based according to the hydrogeological unit of the corridor Taourirt Oujda which is constituted mainly by a thick blanket of Miocene marl and quaternary.

The application of a geographic information system (GIS) assesses mobilized water resources, reinterpretation and updating of data for each hydrogeological unit. How to determine the hydrogeological balance is to analyze changes in the diet of each layer including the level of the water. It is noted that there are changes in groundwater systems under the influence of recent human actions (pumping, recharge changes, pollution). Hence the emphasis in this study to the analysis of historical piezometric and salinity in relation to the evolution of the samples.

The state average piezometry in the study area is generally ranged from 1 to 22m is to say 0.5 to 1 m / year in some areas overexploited. The balance sheets of each sheet shows that total inflows remains too low compared to the total output as a result of human actions. Light on water quality (conductivity, pH, salinity, chemical facies) Shows that the water quality in the study area is generally good with the exception of some areas that are polluted waters waste urban areas, agricultural activity and landfill sites. The basin has a variety in chemical facies of the variety of the lithology of the reservoir.

Keywords: Hydrogeology, GIS, Corridor Taourirt Oujda, Quality,

INTRODUCTION

Les ressources en eau du Maroc nord-oriental sont caractérisées par une très forte sensibilité aux aléas climatiques, une irrégularité pluviométrique temporelle, une mauvaise répartition spatiale et par une vulnérabilité à la sécheresse et à la pollution, notamment les eaux superficielles (nappes phréatiques et cours d'eau) ; de ce fait, la prospection hydrogéologique s'est résolument orientée vers les nappes profondes. La présente étude a pour objectif de déterminer le contexte hydrogéologique de bassin de couloir Taourirt Oujda. Il traite l'hydrogéologie de ce bassin sur la base des travaux de forages réalisés dans la zone, des enquêtes des points d'eau, des levés géologiques de terrains et des données climatiques enregistrées au niveau des stations climatologiques limitrophes.

1. Description de la zone d'étude

Le couloir Taourirt est allongé entre Taourirt et Oujda est encadrée au nord par les massifs de Béni-Bouyahî et Béni-Snassen et au sud par les monts de l'Ayat, Zekkara et Touissit-Bou-Beker (bordure des Hauts-plateaux). Le couloir est décomposé en quatre zones plus ou moins vastes et individualisées qui sont, d'ouest en est : le secteur de Taourirt, la région d'El-Aïoun (couloir Taourirt El-Aïoun), la plaine de Bouhouria et la plaine des Angad.

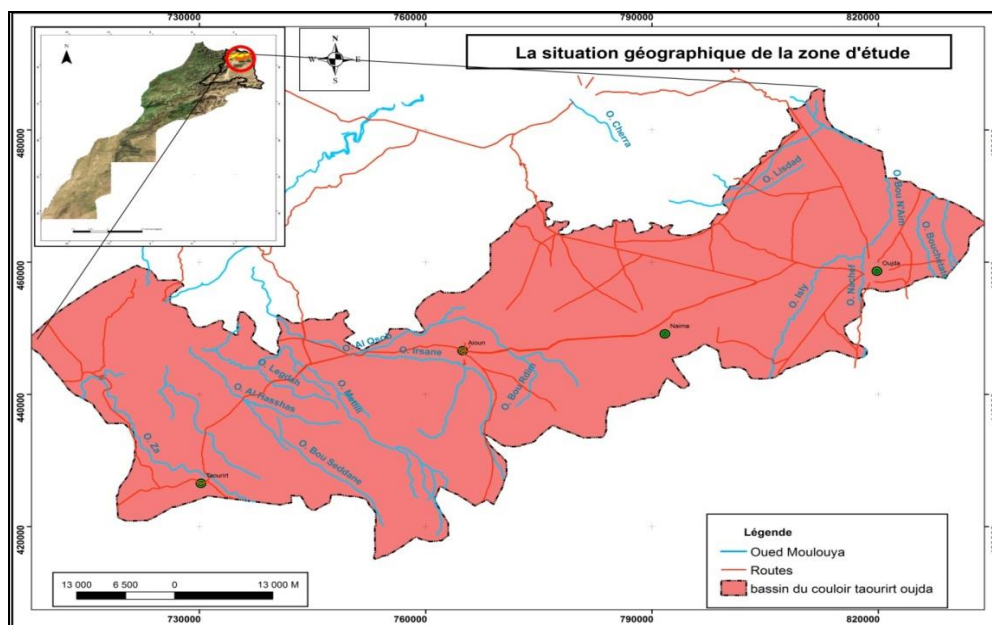


Figure 5 : Situation géographique de la zone d'étude

2. MATÉRIEL

A partir des données géologiques, hydrologiques, et hydrogéologiques numérisées et géoréférencées et des informations régionales sur le régime d'exploitation des ressources en eaux, on vise à élaborer un Système d'Information Géographique (SIG), pour les nappes de ce bassin surexploité pour la manipulation des différentes informations organisées dans une base de données. D'abord on commencera par intégrer les données relatives à tous les points d'eau disponibles dans la zone étudiée (les coordonnées, le régime d'exploitation, la piézométrie,... suite à un inventaire systématique de tous les points d'eau existants). Ces données mémorisées dans une base de données sous Microsoft Access sont importées pour être combinées avec les données cartographiques digitalisées sous ArcGis.

Collecte des données

Il s'agit de collecter les données et les informations disponibles:

- Le système aquifère : (lithologie, géomorphologie, géologie, structure, hydrogéologie, piézométrie, puissance et extension, hydro climatologie, aires d'alimentation, caractéristiques hydrodynamiques, productivité, hydrochimie, etc...).
- Les ouvrages de captage existants (caractéristiques, équipement, production, qualité de l'eau, historique,...).

Investigations et enquête de terrain

Matériels utilisés dans le terrain

- des cartes topographiques au 1/50.000ème,
- Des cartes Géologiques au 1/50 000ème ou 1/100 000ème
- un GPS pour positionner les points d'eau,
- une sonde pour la mesure du niveau d'eau,
- un appareil photo,
- un multimètre pour mesurer la conductivité électrique,
- la température et le pH des eaux.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

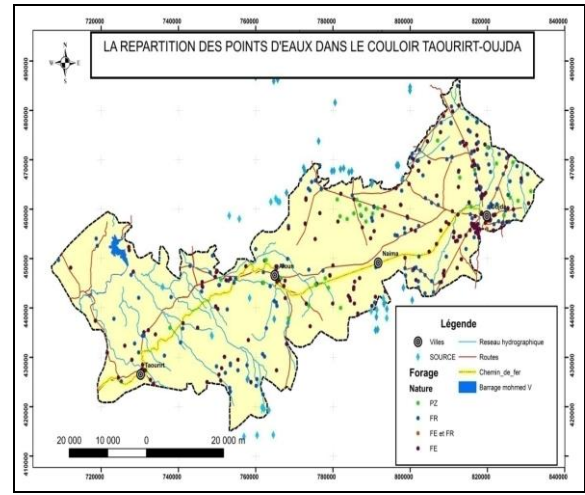
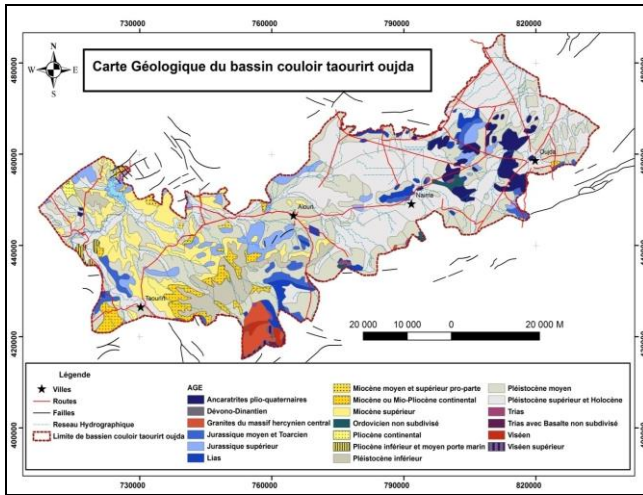


Figure 2 : Carte géologique du bassin hydrogéologique Couloir Taourirt Oujda (Extrait de la carte géologique du Maroc au 1/1000000 en 1985)

Figure 6: répartition des points d'eaux dans le bassin Hydrogéologique Couloir Taourirt-Oujda

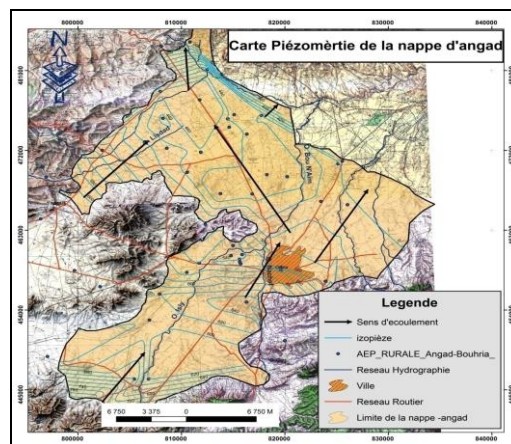
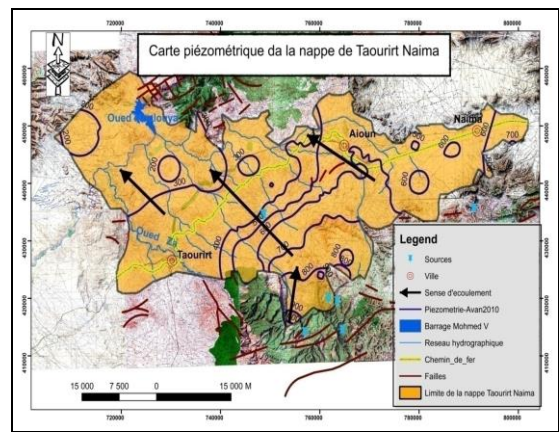
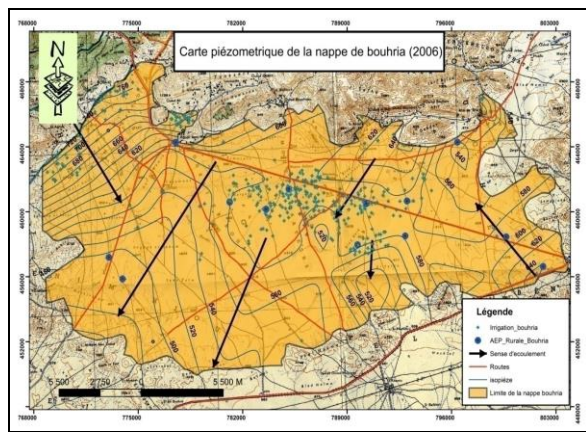


Figure 4 : Cartes piézométriques des nappes de Couloir Taourirt Oujda

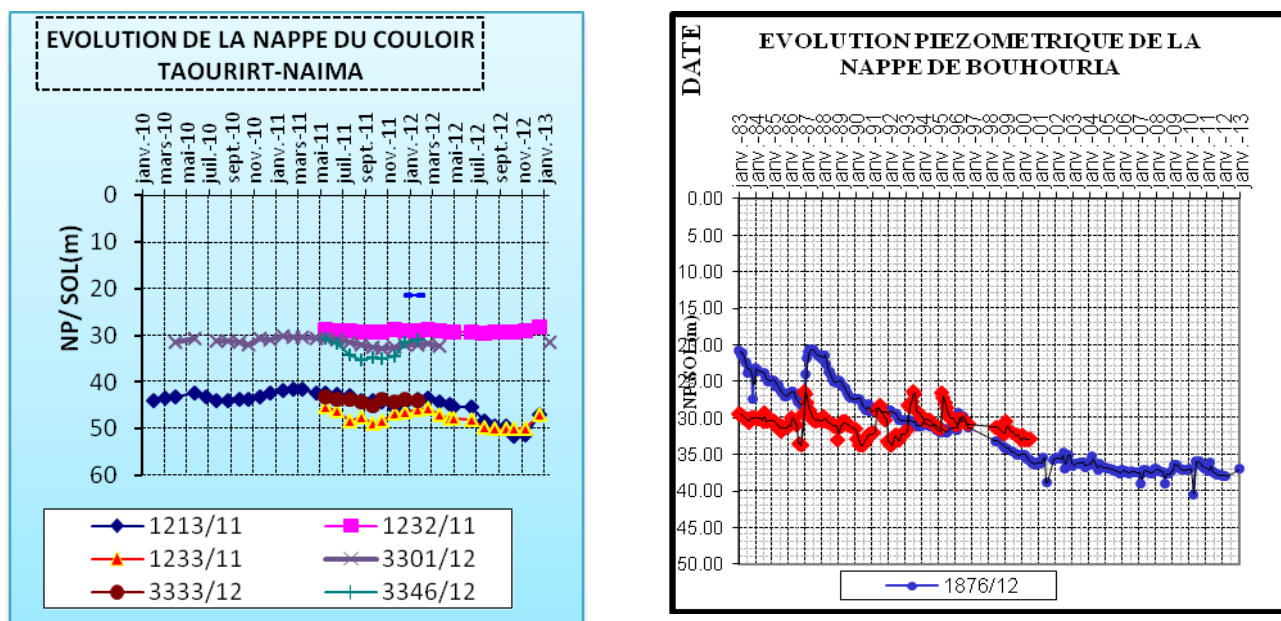


Figure 5 : Evolution des nappes Taourirt Naima et Bouhouria

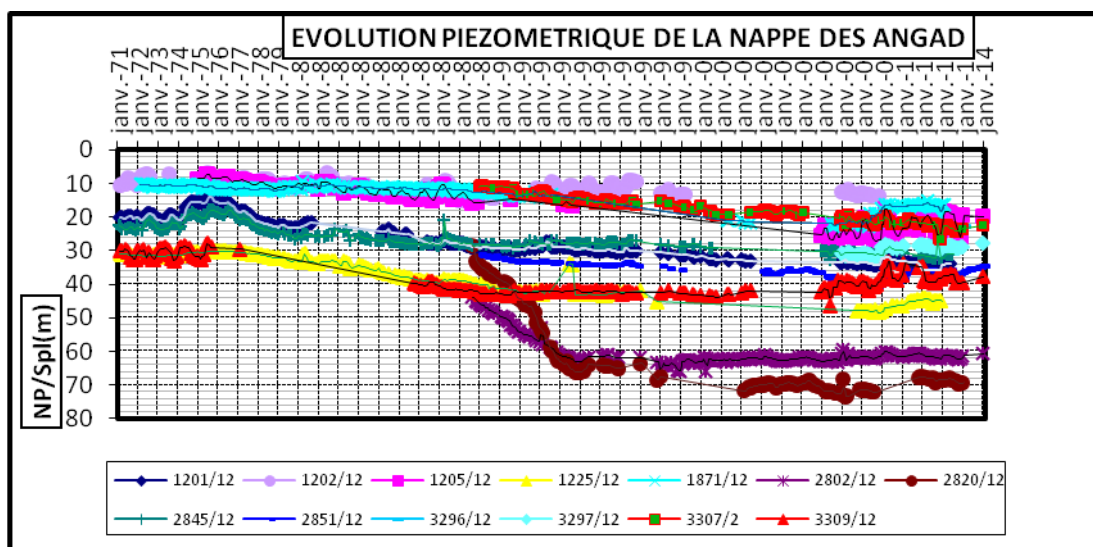


Figure 6 : Évolution des nappes d'angad

CONCLUSION

Le couloir Taourirt Oujda est un domaine qui fait partie du Maroc oriental, est situé à l'extrémité nord-est du Maroc. Cette région est encadrée au nord par Béni snassen, à l'Est par la frontière Maroco – Algérienne, au Sud par les chaînes des Horsts et à l'ouest Bassin de Guercif des zones rifaines et pré-rifaines. Le climat de la zone d'étude est de type aride à semi aride.

Ce travail montre que le couloir Taourirt Oujda est décomposé en trois zones : Le secteur de Taourirt l'El Aïoun (Miocène marneux), la plaine de Bouhouria (Miocène et

Quaternaire. Les terrains primaires) et la plaine des Angad (terrains postmiocènes, sur un substratum imperméable formé par les marnes du Miocène). Dans la nappe de Bouhouria des piézomètres montre une tendance à la baisse, modérée sur les bordures de la nappe, forte à très forte au centre (baisse moyenne a été de 19 m entre 1987 à 2013), soit 0.73 m de baisse par an). Pour la nappe d'Angad on peut retenir une baisse moyenne de 10 m à 15 mètres entre 1975 et 2014, c'est à-dire de 0.40 à 0.60 m/an (Pz N°IRE1876/12), le total des entrées reste trop faible par rapport au totale des sorties. Pour la nappe de Taourirt Naima on constate une légère surexploitation de l'ordre de 0,3 m/an à l'Est et SE d'El-Aioun (Pz N°IRE : 3301/12 et 1232/11). Cependant, une baisse alarmante a été constatée entre la ville d'El-Aioun et le piézomètre 3301/12, il s'agit d'un rabattement annuel de 1 m, observé au niveau du piézomètre 3332/12 .

Références bibliographiques

- ABHM (2010)** : Étude du plan directeur d'aménagement intègre des ressources en eau du bassin de la Moulouya (PDAIRE).mission I, II : évaluation des ressources en eau et état de leur utilisation.146 p.
- Benaabidate, L. (2014/2015)**. *Hydrologie de Surface*, cour de Master Hydrologie de Surface et Qualité des eaux. FST Fès. 85 p.
- RIAD, S. (2003)** : Typologie et analyse hydrologique des eaux superficielles à partir de quelques bassins versants représentatifs du Maroc, thèse de doctorat, université Ibnou zohr d'Agadir, MAROC, 154p.
- ABHM (2009)** : élaborations de synthèses hydrogéologique et SIG des nappes semi-profondes du couloir Taourirt – Naima, Mission I, ; p 83 ;
- Ressources en eau du Maroc : (1971)** :Tome 1 – Domaines du Rif et du Maroc oriental, 1971, 291-300 et 271-289 p
- ABHM (2008)** : Étude géophysique du bassin de la Moulouya, couloir El-Aioun-Naima, MARCHE N°08/2008/ABHM, 74p.
- LAHRACH, A. (2014/2015)** : *Hydrogéologie/modélisation numérique*, cour de Master Hydrologie de Surface et Qualité des eaux. FST Fès. 47 p.

APPORT DES SIG ET DE LA TELEDETECTION SPATIALE DANS L'ETUDE DU PHENOMENE DU GLISSEMENT DE TERRAIN

Ilias SEMLALI*, Latifa OUADIF, Khadija BABA, Ahmed AKHSSAS, Lahssen BAH, Laboratoire 3GIE de l'école Mohammadia d'Ingénieurs, Université Mohammed V, Rabat

* e-mail : il.semlali@gmail.com

RÉSUMÉ : Le bassin versant de l'Oued Laou est un bassin côtier méditerranéen qui se situe dans la région Nord-ouest du Maroc dans les Provinces de Tétouan et Chefchaouen. Il appartient à la partie centrale de la chaîne rifaine appelée aussi le Haut Rif. D'une superficie totale s'approchant de 930km², le bassin est caractérisé principalement, par des reliefs accidentés avec de fortes pentes et des dénivelées importantes. La zone d'étude se caractérise par trois types de climats ; un climat typiquement méditerranéen dans la zone montagneuse, un climat semi-aride qui domine la zone côtière et un climat humide en hiver et sec en été dans le sud du bassin versant. Les sols du même bassin connaissent les phénomènes d'érosion et des glissements de terrain en raison de facteurs naturels et de facteurs liés à l'activité humaine.

La présente étude consiste à utiliser la télédétection spatiale pour nous permettre de faire un état des lieux de la zone d'étude, et aussi de proposer des solutions pour lutter contre les deux phénomènes cités ci-avant. Etant donné que l'eau est le facteur principal agissant sur le glissement de terrain, l'objectif de notre étude est de faire une modélisation hydrologique du bassin versant de l'Oued Laou.

Pour ce faire, une modélisation hydrologique selon un modèle SIG (Modèle SWAT) est proposée, elle permettrait de faire un bilan hydrographique de la zone d'étude, et ensuite de modéliser la circulation des eaux en se basant sur les données climatiques, sur les types des sols et l'occupation du sol de la zone d'étude.

Mots clés : Télédétection, SIG, SWAT, Erosion, Glissement de terrain.

CONTRIBUTION OF GIS AND REMOTE SENSING IN THE STUDY OF THE LANDSLIDE PHENOMENON

ABSTRACT: The watershed of Oued Laou is a Mediterranean coastal basin, which is located in the Northwest region of Morocco in the provinces of Tetouan and Chefchaouen. It belongs to the central part of the Rif chain known as the High Rif. With a total area nearing 930 km², the basin is characterized mainly by rugged terrain with steep slopes and significant height differences. The study area is characterized by three types of climates; a typical Mediterranean climate in the mountainous area, a semi-arid climate dominant in the coastal zone, and a humid climate in the winter and dry in the summer south of the watershed. Basin soils of Oued Laou's watershed witness erosion and landslide phenomena due to natural factors and human activity related factors.

The present study consists in using remote sensing to enable us to make a situational analysis of the study area and to propose solutions to fight against the two aforementioned phenomena. Since water is the main factor affecting the landslide, the objective of our study is to make a hydrological modeling of the watershed of Oued Lau.

In order to achieve this endeavor, a hydrological modeling in a GIS model (SWAT Model) is suggested. It would allow us to make a water balance sheet of the study area and then to model the flow of water based on climate data, soil types and land use in the study area.

Keywords : Remote sensing, GIS, SWAT, Erosion, Landslide.

INTRODUCTION

De nos jours, l'étude et la caractérisation géométrique et cinématique des mouvements gravitaires est une étape indispensable à la compréhension de la dynamique du phénomène de glissement de terrain. L'utilisation des nouvelles technologies spatiales dans ce type d'étude est devenue indispensable en vue des avantages qu'elles représentent.

En effet l'utilisation des Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) et de la télédétection spatiale permettent non seulement de faire une modélisation du phénomène étudié mais aussi d'obtenir une vision globale intégrant les zones inaccessibles au sol à différentes échelles spatiales (du centimètre à la dizaine de mètres) et temporelles (de quelques heures à plusieurs décennies).

L'étude des glissements des terrains dans une zone donnée nécessite la connaissance de l'historique de l'évolution de son sol et des principaux paramètres qui peuvent l'affecter.

L'objectif de ce travail est de présenter les étapes de la modélisation hydrologique selon un modèle SIG (SWAT : Soil and Water Assessment Tool), appliquée à notre zone d'étude qui est le bassin versant de l'Oued Laou (figure 1).

La méthodologie proposée permettrait de faire un bilan hydrographique de la zone d'étude, et ensuite de modéliser la circulation des eaux en se basant sur les données climatiques, sur les types des sols et l'occupation du sol de la zone d'étude. Le résultat de cette étude servira de base pour la suite de notre projet qui consiste en l'étude du phénomène du glissement de terrain.

1. DESCRIPTION DE LA ZONE D'ÉTUDE



Figure 1 : Carte de situation de la zone d'étude

Le bassin versant de l'Oued Laou est un bassin côtier méditerranéen qui se situe dans la région Nord-Ouest du Maroc entre les Provinces de Tétouan et Chefchaouen. Il appartient à la partie centrale de la chaîne rifaine appelée aussi le Haut Rif. D'une superficie totale s'approchant de 930 km², le bassin est caractérisé, principalement, par des reliefs accidentés avec de fortes pentes (25%) et des dénivelées importantes.

La zone d'étude connaît de fortes précipitations pendant la période hivernale pouvant atteindre les 400mm/Mois, cependant elle est caractérisée par trois types de climats ; un climat typiquement méditerranéen dans la zone montagneuse, un climat semi-aride qui domine la zone côtière et un climat humide en hiver et sec en été dans le sud du bassin versant.

Les sols du bassin versant de l'Oued Laou connaissent les phénomènes d'érosion et des glissements de terrain en raison de facteurs naturels (Relief, climat, géomorphologie, couvert végétal important...etc.) et des facteurs liés à l'activité humaine (défrichement des forêts, surpâturage, inadéquation des pratiques culturales...).

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

Avant de décrire les différentes étapes de notre étude, il est utile de décrire l'outil principal utilisé pour la modélisation hydrologique et qui est ARCSWAT.

a. Le modèle « SWAT »

ARCSWAT est un modèle hydrologique (Modèle SWAT) lié à une interface SIG (ArcGis) qui est développé par le Département d'Agriculture des Etats-Unis (USDA). C'est un modèle continu dans le temps pour un pas de temps journalier, fonctionnant à l'échelle d'un bassin versant d'une superficie allant de quelques centaines à plusieurs milliers de km².

Ce modèle se base sur les processus physiques en jeu dans un bassin versant. Sa grande robustesse et son efficacité en font un modèle largement utilisé dans le domaine de la modélisation des bassins versant [1].

Principe de fonctionnement :

La modélisation de l'hydrologie du bassin versant peut être divisée en 2 parties :

- La partie « sous bassin » du cycle de l'eau qui permet de réaliser des bilans hydriques sur chaque sous bassin qui sont ensuite intégrés sur l'ensemble du bassin. A noter aussi que L'unité spatiale de base du SWAT représentant les zones homogènes qu'on trouve dans chaque sous bassin est appelée unité de réponse hydrologique (HRU : Hydrologic Response Unit). Cette unité est constituée par la combinaison de la topographie, des sols, des sous-sols et de l'occupation du sol [2].
- La partie « transfert » du cycle de l'eau qui réalise le transfert de l'eau dans les réseaux de l'amont à l'exutoire. Elle prend notamment en charge le calcul d'un temps de concentration et les pertes éventuelles par infiltration dans le lit, évaporation, prélèvements pour l'agriculture ou autres usages au cours du trajet du flot.

Les différents paramètres de SWAT sont les suivants (Figure 2) [3] :

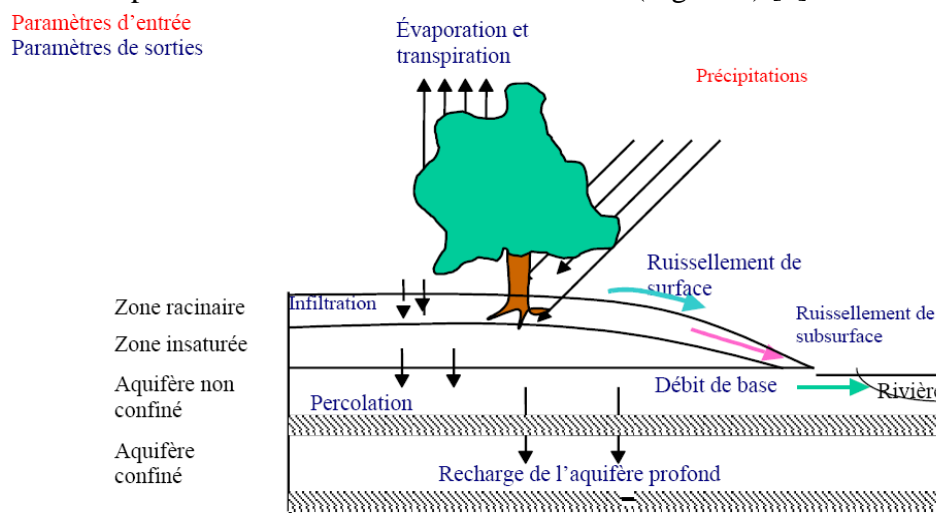


Figure 2 : Représentation schématique du cycle de l'eau dans SWAT

Les précipitations sont en partie interceptées par la végétation et quand elles arrivent sur le sol, elles s'infiltrent ou elles ruissellent. Ce fonctionnement dépend de nombreux paramètres comme l'évapotranspiration, la capacité de stockage de la canopée, les flux latéraux, le ruissellement de surface. Quel que soit le problème étudié, le bilan hydrique, traduit par l'équation suivante, est à la base de tous les événements modélisés :

$$SW_t = SW + \sum (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw})$$

Avec ; SW_t : teneur en eau du sol au temps t (mm)

SW : quantité d'eau disponible dans le sol pour la plante au temps initial (mm)

R_{day} : précipitations (mm)

Q_{surf} : ruissellement de surface (mm)

E_a : évapotranspiration (mm)

W_{seep} : percolation (mm)

Q_{gw} : débit de base (mm)

b. Préparation des données (Données d'entrée pour le modèle)

Les données de base nécessaires au fonctionnement du modèle sont :

- Données topographiques ; il s'agit d'un Modèle Numérique de Terrain («MNT») qui a été généré à partir des cartes topographiques de la zone (Cartes Au 1/50000)
- Données d'occupation des sols.
- Données des types des sols ; elles sont extraites en combinant la carte pédologique du bassin et la base de données « E_SOTER » des sols élaborée par la FAO (Food and Agriculture Organization) qui fournit un ensemble d'informations sur le sol.
- Les données météorologiques : ces données concernent toute la période de notre étude qui s'étend sur 25 ans (1989-2014), il s'agit des ;
 - Précipitations journalières.
 - Températures maximales et minimales journalières.
 - Eclairements solaires journaliers.
 - humidités relatives moyennes journalières.
 - vitesses moyennes journalières du vent.

c. Traitement des données

Le traitement morphologique de la zone d'étude est réalisé à partir du MNT de la zone. Dans un premier temps le réseau hydrographique est déterminé puis le bassin versant et les sous-bassins versants qui se définissent par un exutoire unique sont délimités. Une fois que le Bassin versant est délimité, l'ensemble des paramètres de surface et des paramètres climatiques sont à renseigner et à codifier pour être adaptés à la structuration d'ArcSWAT.

Dans un deuxième temps la superposition des cartes d'occupation du sol et des types de sol définit les HRU : elles ne sont liées qu'à un seul sous bassin donc à un seul cours d'eau et ont une occupation du sol et un type de sol unique. Pour chaque HRU des paramètres spécifiques de couverture, de topographie, de sous-sol, et de sol doivent être définis. Pour chaque sous bassin, des paramètres topographiques, climatiques et de surface sont à spécifier. Enfin, pour le bassin entier, des paramètres de surface et des paramètres climatiques sont à renseigner (figure 3).

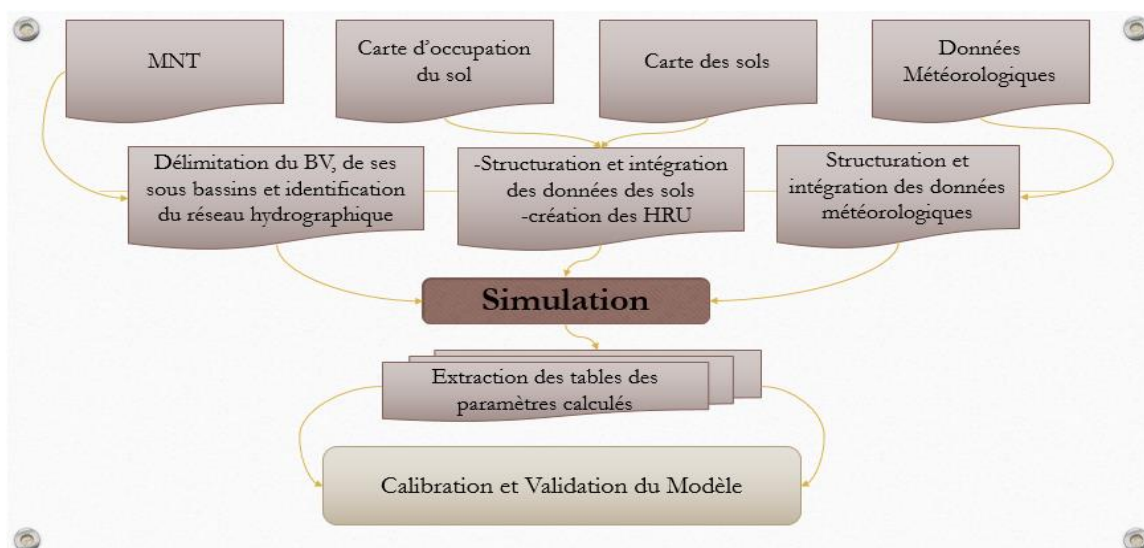


Figure 3 : Schéma structural d'une modélisation sous ArcSwat

3. RÉSULTAT ET DISCUSSION

La calibration et la validation du modèle : Le résultat du présent travail est la génération d'une Base de Données (BD), qui représente le résultat de la simulation. Ce dernier est sous forme de tables regroupant un ensemble de paramètres calculés lors de la modélisation avec un pas de temps journalier sur une période de 25 ans.

Pour l'évaluation de la performance du modèle, le coefficient de Nash [4] est utilisé comme critère pour quantifier la précision de la simulation. Ce coefficient représente le rapport de la variance résiduelle à la variance des débits observés ;

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i^{obs} - Q_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i^{obs} - \mu_{obs})^2}$$

NS= coefficient de Nash

n = Nombre total de pas de temps sur lequel on calcule le critère

Q_i^{obs} = Débit observé au pas de temps i

Q_i^{sim} = Débit simulé au pas de temps i

μ_{obs} = La moyenne des débits observés

Les résultats seront d'autant meilleurs que le critère NS se rapproche de 1. Par comparaison avec d'autres critères, celui-ci a l'avantage d'être simple à interpréter. En effet, s'il s'approche de 1, le modèle donne de meilleurs résultats qu'un modèle naïf donnant à chaque pas de temps un débit constant égal à la moyenne des débits observés ; s'il est inférieur de 0.5, c'est l'inverse (tableau 1).

Performance du Modèle	NS
Très bon	$0.75 < NS \leq 1.00$
Bon	$0.65 < NS \leq 0.75$
Satisfaisant	$0.50 < NS \leq 0.65$
Insatisfaisant	$NS \leq 0.50$

Tableau 1 : critères de performance du modèle

Pour la validation du modèle, le coefficient de Nash est appliqué aux résultats de la simulation en se basant sur une seule variable qui est fréquemment mesurée et qui est le débit des cours d'eau.

La procédure de calibration et de la validation du modèle exige la sélection d'une période de calibration et une autre pour la validation (Figure 4) ;

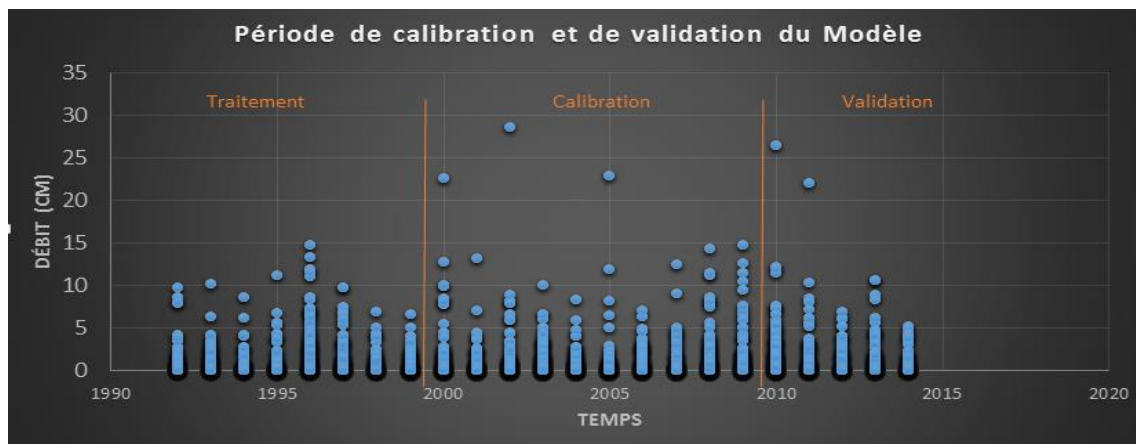


Figure 4 : Période de Calibration de Validation du modèle

CONCLUSION

Une modélisation hydrologique via le modèle SWAT est un travail fastidieux car il nécessite à la fois la collecte et aussi le traitement de plusieurs informations spatiales et alphanumériques. Ces données sont de multi-sources et de multi-dates ce qui rend leurs collectes très difficile notamment lorsqu'il s'agit des observations des données météorologiques étalées sur des dizaines d'années et pour un territoire aussi vaste que le notre (superficie de 930km²).

Les résultats obtenus dans notre étude restent assez satisfaisant en prenant en considération la quantité des données utilisées et l'intervalle de temps étudié.

Dans les étapes ultérieures de ce notre projet, les cartes établies et les valeurs des différents paramètres calculés lors de la simulation seront couplées aux données de la télédétection spatiale pour servir de base pour l'étude des glissements de terrains de notre zone d'étude.

Références Bibliographiques

- [1] Gassman P.W., Reyes M.R. Green C.H., Arnold J.G., *The Soil and Water Assessment Tool: Historical development, applications, and future research directions*, American Society of Agricultural and Biological Engineers, Vol. 50 no 4, **2007**, pp, 1211-1250.
- [2] Neitsch S.L., Arnold J.G., Kiniry J.R. & Williams J.R. 2005. *Soil and Water Assessment Tool. Theoretical documentation*. Version 2005. USDA Agricultural Research Service, USA, 494 p.
- [3] Nash, J. E.; Sutcliffe, J. V. (1970). *River flow forecasting through conceptual models: part IA: discussion of principles*. Journal of Hydrology, **10**: 282-290.
- [4] PIERRE Nolwenn : Ruissellement, Erosion et Inondation ; *Modélisation Hydrologique du Bassin Versant de la Hyse et mise en place d'un partenariat*.
- [5] Jan Huting, Koos D and Vincent V E. August 2007: GIS-procedures for mapping SOTER landform. *Topical Report # 2*.

CARTOGRAPHIE DU RISQUE MOUVEMENTS DE TERRAIN AU NIVEAU DE LA VILLE DE TAZA ET SA PERIPHERIE

EL AROUSSI Omar¹; EL KHANTOURY Ismail²; ABAHROUR Mohamed³; ADOUK Nessraddine¹

¹-Laboratoire « Recomposition de l'Espace et Développement Durable », UCD, Faculté des Lettres et Sciences Humaines-El Jadida Courriel : o_elaroussi@yahoo.fr, n.adouk9@gmail.com

²-Laboratoire « Analyses Géo-Environnements et d'Aménagement-Développement Durable » –USMBA, Faculté des Lettres et Sciences Humaines Sais-Fès

³-Laboratoire « Dynamique, Espace, Patrimoine et Développement Durable » – USMBA, Faculté Poly Disciplinaire-Taza,

Résumé : La ville de Taza et sa périphérie associent différents éléments de fragilité. D'après les données collectées à travers la recherche bibliographique et le travail du terrain, il s'agit des versants à pentes raides, et un substrat lithologique peu consolidé dans l'ensemble. Ces conditions sont favorables au déclenchement de différentes formes de mouvements du terrain (glissement, éboulement ...).

Afin d'atteindre les objectifs assignés à ce travail, la démarche méthodologique adoptée est basée sur le croisement et la superposition de différents couches d'information (aléa/enjeux) à l'aide du logiciel de SIG ArcGis 10.3, pour aboutir enfin à une zoning du risque mouvement du terrain sur l'ensemble du périmètre urbain de la ville de Taza, ainsi que sa périphérie: zones de risque élevé (zones d'enjeux forts soumises à un aléa forte) et des zones de risque moyen à faible (zones d'enjeux moyens ou faibles soumises à un aléa moyenne à faible).

Mots clés : Taza, aléa, vulnérabilité, risque, SIG, mouvements de terrain.

Abstract: Taza city and its periphery combine different elements of fragility. According to data collected through the bibliographic research and field work, the steep slopes, and some consolidated lithological substrate overall. These conditions are favorable to trigger various forms of ground movement (sliding, landslide ...).

To achieve the objectives of this work, the adopted methodological approach is based on crossing and layering of different layers of information (hazard / issues) using GIS software ArcGIS 10.3, to finally reach a risk zoning ground movement across the urban perimeter of the Taza city and its periphery: high risk areas (high stakes areas with a high hazard) and of medium to low risk areas (zones average or low stakes subjected to medium low hazard).

Keywords: Taza, hazard, vulnerability, risk, GIS, landslides.

I- Eléments d'introduction

En précisant d'une part la typologie des aléas, et en mettant en évidence les facteurs favorables à leur apparition, l'objectif est de réaliser une cartographie homogène de l'aléa sur l'ensemble du périmètre urbain de la ville de Taza, ainsi que les zones environnantes.

D'après les données collectées à travers la recherche bibliographique et le travail de terrain effectué dans le cadre de la présente étude, il s'est avéré que cette zone constitue un espace où les conditions, tant sur le plan naturel que anthropique, sont favorables à la genèse des risques tels que les mouvements de terrain.

1- Concepts et notions de base

Le concept de **risque** a été défini comme étant un modèle théorique résultant de la combinaison de deux autres concepts :

- L'**aléa** qui représente la « menace potentielle » d'un phénomène naturel qui aura une certaine intensité, concernera un certain territoire, en un certain temps, La probabilité d'occurrence spatiale est conditionnée par des facteurs « permanents » de prédisposition ou de susceptibilité.
- La **vulnérabilité** qui caractérise l'importance des conséquences prévisibles de l'aléa, dans tous les domaines anthropiques qui peuvent être affectés (personnes, biens, habitations, activités économiques, infrastructures, patrimoines, milieux). (Maquaire, 2002). Le risque peut ainsi être exprimé par [Eq. 1] :

[1] Risque = f (aléa ; conséquence sur les enjeux)	[2] Conséquence = f (élément exposé ; vulnérabilité)
--	--

Les conséquences de l'action d'un aléa sur les enjeux sont fonction des éléments exposés et de leur vulnérabilité [Eq. 2], qui est le plus fréquemment exprimée en terme de valeur ou de degré de dégâts (UNDRO, 1979. Glade, 2003):

II- Matériels et Méthodes

La méthodologie adoptée pour l'évaluation du risque des mouvements de terrain au niveau de la ville de Taza et sa périphérie, repose sur des données spatialisées altimétriques, topographiques, et géologiques diverses :

- Altimétriques, par le biais de deux images Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) de coordonnées N34W005- N34W004, et de format Tiff, obtenue sur le site <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Le traitement de cette image a permis de réaliser un modèle numérique de terrain (MNT) de résolution 30 m et d'établir la carte des pentes ;
 - Topographiques : une carte topographique au 1/50 000 de la région (Carte de Taza) ;
 - Géologiques : une carte géologique au 1/50 000 de la région (Carte de Taza) ;
- L'ensemble des données ont été géo-référencées (projection Lambert_Conformal_Conic, Nord_Maroc_Degree) et intégrées dans un environnement SIG (Système d'Information Géographique).

Pour la cartographie du risque « mouvements de terrain », il est nécessaire au préalable d'évaluer le niveau d'aléa et les enjeux humains ou la vulnérabilité des éléments exposés (MATE/METL, 1999 in Y. Thiery & al, 2005). La démarche consistera donc à évaluer la probabilité de rupture des terrains sur la base des facteurs de prédisposition et des phénomènes passés, sans tenir compte de leur occurrence temporelle et la combinaison de la carte résultante avec celle de l'occupation du sol pour avoir la carte des risques potentiels. Pour ce faire, on a retenu la méthodologie suivante (Fig. 1) :

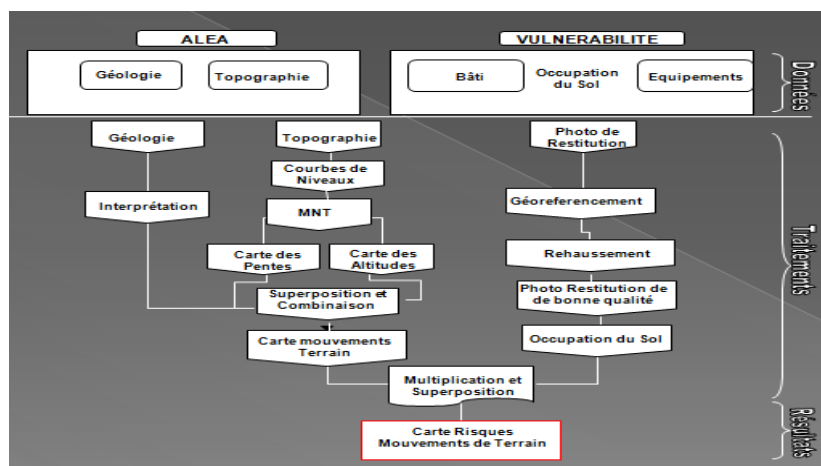


Figure 1: Démarche méthodologique adoptée pour la cartographie du risque potentiel

III- Résultats de l'application de la méthodologie

1- Elaboration de la carte des aléas / susceptibilité

Avant d'évaluer l'aléa, il faut d'abord apprécier la susceptibilité des terrains à un type de mouvements donné, c'est-à-dire la possibilité qu'un mouvement se produise dans une zone particulière sur la base de conditions environnementales locales. Cela revient à répondre à ces trois questions: quel type de mouvement de terrain est susceptible de se produire ? Quels sont les facteurs de prédisposition ? Où ces facteurs sont-ils spatialement réunis ?

La démarche de construction de la carte des aléas mouvements du terrain, en l'occurrence les glissements de terrain et la chute des blocs et éboulements rocheux; s'est faite en plusieurs étapes (BRGM, 2002) :

Pour chacun des deux types de phénomènes retenus, une répartition spatiale présentant trois classes à la fois : aléa faible, aléa moyen et aléa fort, a été établie par combinaison des facteurs pente/faciès. Ainsi, l'application de la l'approche adoptée permet de dresser deux cartes : carte de l'aléa glissement du terrain, carte de l'aléa éboulements rocheux.

A- Carte d'Aléa « Glissements du Terrain »

Suivant la démarche adoptée, les étapes de la réalisation de la carte d'aléa glissements du terrain sont:

- La cartographie des pentes extraite à partir du MNT a été reclassifiée en 3 classes (0 à 15° ; 16 à 30° ; > 30°) ;
- Une valeur de susceptibilité aux glissements de terrain a été attribuée à chaque unité lithologique à l'aide de la table de susceptibilité aux glissements de la cartographie existante du BRGM. Cette valeur de susceptibilité aux glissements de terrain comprend 4 niveaux (0, 1, 2, 3).

Etant donné son chevauchement à la fois sur le domaine rifain et atlasique, le territoire de la ville de Taza est dominé par de multiples formations lithologiques s'échelonnant depuis le Trias jusqu'à l'actuel. La constitution du log litho-stratigraphique se présente sous différents faciès :

- Les roches calcaires et les affleurements des argiles rouges d'âge Secondaire (Trias et Lias);
- Les formations marneuses datant du Tertiaire (Tortonien) ;
- Les travertins, les dépôts de terrasses fluviales, les colluvions Plio-Quaternaire;
- Les dépôts alluviaux actuels.

On peut conclure que les roches sont donc assez hétérogènes, mais avec une nette dominance des faciès marneux.

- La combinaison et la superposition de la carte des pentes et celle de la susceptibilité des terrains aux glissements du terrain, montre que les zones à aléa élevé sont celles où les conditions tant sur le plan lithologique que topographique sont favorables (versants à pentes raides et formations lithologiques le plus souvent marneuses), par exemple: les collines pré-rifaines, Koudiat Mimouna et les terrains en amont du lotissement Al Wifaq (Fig. 2).

B- Carte de l'Aléa « Eboulements Rocheux »

Pour la cartographie de l'aléa éboulements rocheux on a procédé comme suit :

- L'extraction de 4 classes des pentes (0 à 15° ; 16 à 30° ; 30 à 45° ; 45°) à partir du MNT;
- L'attribution d'une valeur de susceptibilité éboulements rocheux à chaque unité lithologique (elle varie généralement entre 0 et 3) ;

➤ Identification des principales falaises pour déterminer les zones d'amorce potentielle d'éboulement rocheux, et ceci pour toute la zone ;
L'analyse de cette carte montre que l'extension d'aléa lié aux éboulements rocheux est très limitée spatialement, du fait qu'elle ne concerne que la zone des falaises de la Médina et les formations liasiques atlasiques au Sud de Taza. Ce sont majoritairement les séries à faciès calcaires et travertineux dont la mise en charge peut provoquer ce type de mouvement du terrain (Fig. 3).

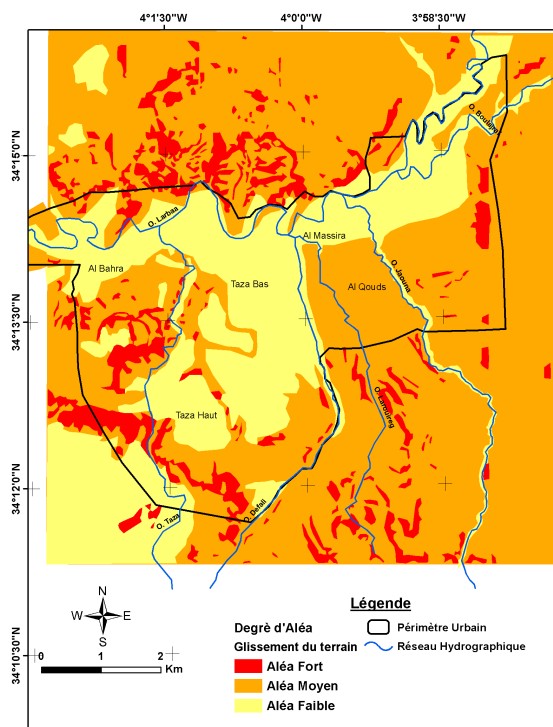


Figure 2: Carte de degré d'aléa « glissement de terrain »

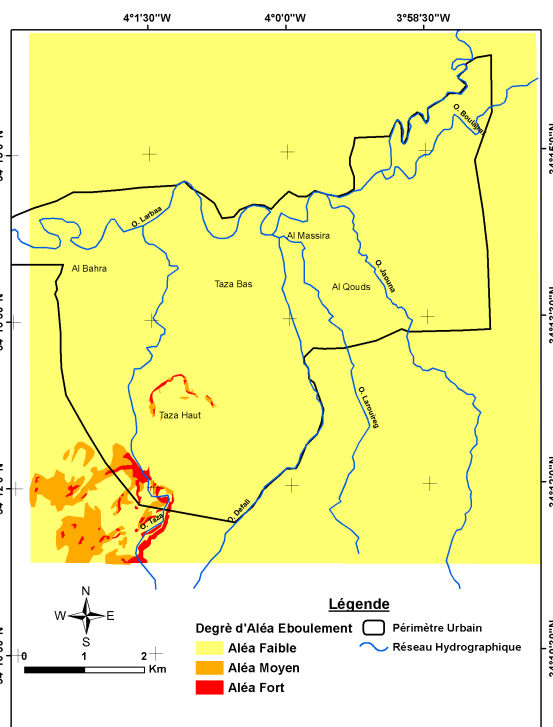


Figure 3: Carte de degré d'aléa « éboulement rocheux »

2- Cartographie de la vulnérabilité / Enjeux

L'occupation du sol de la ville de Taza ainsi que la zone périphérique a été effectuée à partir du plan de restitution de la ville, du travail de terrain, des cartes topographiques, des photos aériennes et de la carte de la répartition spatiale de la population par district. Dans le cadre de cet état des lieux, nous restons sur une approche assez grossière de la vulnérabilité.

Cependant et pour faciliter l'analyse, nous avons choisi de simplifier la carte et de rassembler les enjeux en trois classes (Fig. 4) :

- Enjeux forts: zone d'habitat dense, zone industrielle et/ou commerciale, voie de communication d'intérêt national (route nationale, voie ferrée) ;
- Enjeux moyens : zone d'habitat dispersé, zone essentiellement occupée par l'agriculture, voie de communication d'intérêt provincial ;
- Enjeux faibles : le reste de la zone d'étude, c'est-à-dire les zones de forêt, d'agriculture et de l'habitat très dispersé...

Cette carte simplifiée permet de bien localiser les zones d'enjeux. On remarque que les zones à forte vulnérabilité sont surtout situées dans la partie haute de la ville (Taza haut), Taza Bas et au niveau des extensions de la ville vers l'Est, alors que les zones de faible vulnérabilité sont celles où la vocation agricole domine.

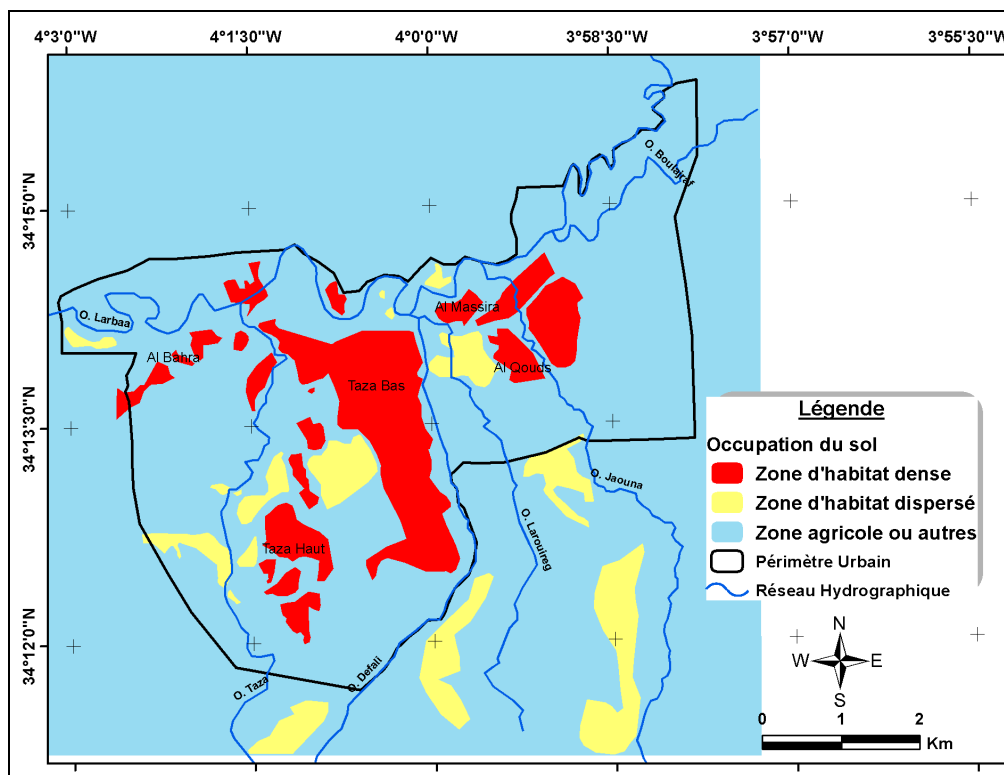


Figure 4: Carte d'occupation de sol

3- Cartographie du risque potentiel « mouvements du terrain »

Afin d'estimer le niveau de risque gravitaire (Mouvements du terrain), nous avons croisé les informations aléa/enjeux à l'aide du logiciel de SIG ArcGis. Cela, nous a permis de définir des zones de risque élevé (zones d'enjeux forts soumises à un aléa) et des zones de risque moyen (zones d'enjeux moyens soumises à un aléa).

A- Carte risque potentiel « glissement du terrain »

Le croisement des cartes de susceptibilité (aléa) et de conséquences potentielles (enjeux) indique que les zones de risque élevé lié aux glissements du terrain sont peu développées sur le territoire de la ville, elles se concentrent essentiellement au niveau de Hajrat Gnaoua, Douar Ayyad, Al Koucha et les quartiers Al Qods - Massira (Fig. 5). Ces zones correspondent à des secteurs urbanisés et à forte charge humaine (conséquences fortes) localisés immédiatement sur des versants à forte susceptibilité (formations marneuses et à pentes supérieures à 15 %). Ailleurs, le niveau de risque est faible à modéré.

B- Carte risque potentiel « éboulement rocheux »

Le résultat de la combinaison entre la carte des degrés de l'aléa lié aux éboulements rocheux et l'occupation du sol (enjeux) montre que les zones à risque moyen à élevé d'éboulement sont très limitées spatialement et concernent notamment les secteurs se trouvant en contrebas des falaises travertineuses de Taza haut (Douar Abattoirs et Douar Bouhjar) (Fig. 6).

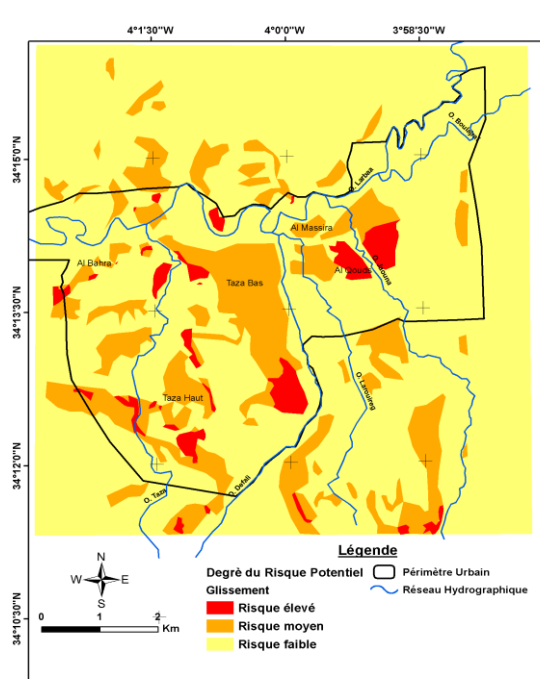


Figure 5: Carte du risque potentiel glissement de terrain

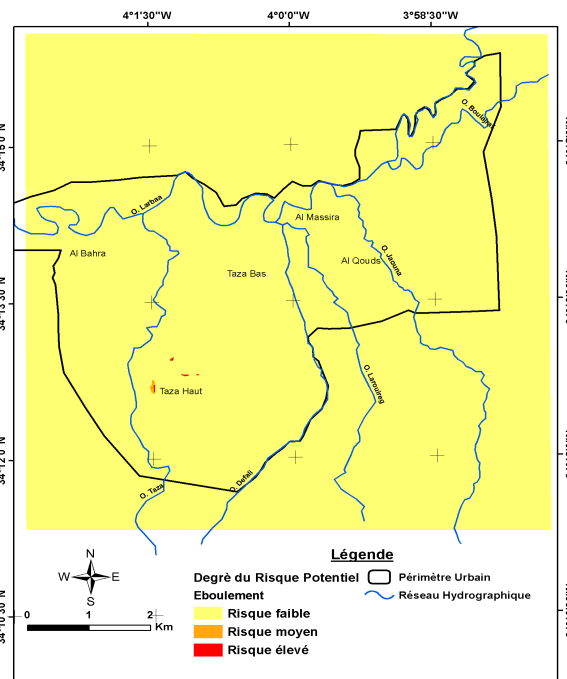


Figure 6: Carte du risque potentiel éboulement rocheux

IV- Conclusion

Au terme de cette étude, on peut conclure que les mouvements du terrain sont parmi les phénomènes susceptibles d'affecter les personnes et les biens au niveau de la ville de Taza. Au cours de cette étude, il a été possible d'élaborer une carte d'aléa mouvements de terrain, prenant en compte les différents facteurs à l'origine de ce phénomène. Cette étude nous a permis aussi la réalisation d'une carte des enjeux susceptibles de subir les effets de l'aléa, mais aussi l'élaboration de la carte de la vulnérabilité associée à chaque enjeu. Les résultats obtenus, nous permettent, de mieux hiérarchiser la surface de la zone d'étude selon le degré du risque mouvements de terrain, et de constater une nette dominance des risques élevés à moyens au sein du périmètre urbain.

Références bibliographiques

- Glade. T (2003): « Vulnerability assessment in landslide risk analysis », Die Erde, vol. 134, p. 121-138.
- Maquaire. O (2002): « Aléas géomorphologiques (Mouvements du terrain) –processus, fonctionnement, cartographie-, Université Louis Pasteur- Strasbourg I, p 219.
- MATE/METL (1999) : Plans de Prévention des Risques Naturels (PPR): Risques de Mouvements de Terrain, Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, (MATE), Ministère de l'Equipement, des Transports et du Logement (METL), La Documentation Française, Paris.
- Terrier. M, collaborateurs Marcot. N et Sedan. O (2002) : IVème Contrat de Plan Etat Région PACA « Risques naturels et nuisances ». Bassin versant de la Roya (Alpes maritimes) : Cartographie de l'aléa mouvements de terrain, échelle 1/50 000. Rapport du BRGM, n° BRGM/RP 51791-FR. 37 p., 2 annexes.
- Thiery. Y., Malet J.P., Sterlacchini S., Puissant A., Maquaire O (2005): Analyse spatiale de la susceptibilité des versants aux glissements de terrain. Comparaison de deux approches spatialisées par SIG », Revue Internationale de Géomatique, vol. 15, n°2, p.227-245.
- UNDRO Office of the United Nations Disaster Relief Co-Ordinator (1979): Natural Disasters and Vulnerability Analysis, Geneva, p 53.

CARTOGRAPHIE DES ZONES SENSIBLES À L'ÉROSION HYDRIQUE ET AUX MOUVEMENTS DE TERRAIN DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED WALGAZ PAR LA COMBINAISON DE L'OUTIL SIG ET DE L'APPROCHE PAP/CAR, (PRÉRIF – MAROC)

Aïman HILI, Yahia EL KHALKI et Rachid BISSOUR

Université Sultan Moulay Slimane, FLSH, Béni Mellal. Laboratoire de Recherche sur les Dynamiques des Paysages, Risques et Patrimoine. *ayman.hili.1984@gmail.com ; yelkhalki@gmail.com*

RÉSUMÉ : Le bassin versant de l'Oued Walgaz est situé sur le rive droit de l'Oued Inaouène sur une superficie de 53.8 km², au Nord-Ouest de la ville de l'Oued Amlil. La vulnérabilité de ses conditions rend le bassin bien exposé à la dégradation et au risques d'érosion hydrique et des mouvements de terrains : un climat favorable, des reliefs très accentués (60.3% forte à extrême), une protection végétale très faible (11.6%), des formations lithologiques tendres et marneux (65,6%). La densité de drainage (Dd) élevée (3,75 km⁻¹) reflète l'imperméabilité des formations et la diminution d'infiltration, son indice de compacité est d'ordre de 1.5 ce qui va minimiser le temps de réponse du bassin aux précipitations et favorise l'érosion notamment l'érosion en nappe.

La classification de la carte des états érosifs de l'approche prédictive montre l'abondance de la classe d'érosion élevée et très élevée 70.7% du BV. La classe d'érosion notable couvre 15.9%, et la classe d'état d'érosion faible et très faible présente 13.4%. La carte des formes d'érosion réelle de l'approche descriptive montre la prédominance de l'érosion en nappe qui affecte 56.5% du bassin. Les glissements de terrain s'étalent sur 15.5%, les ravins profonds et moyennement profonds couvrent 17.8%. Les Badlands étendent sur 6.1%. Les rigoles ne présentent que 2.2%, et pour les zones périodiquement inondées sont très limitées et ne dépasse pas 1.9%.

Mots-clés : Erosion hydrique –dégradation– méthode PAP/CAR – SIG – Oued Walgaz. Prérif.

MAPPING OF SENSITIVE AREAS WATER EROSION AND FIELD CHANGES IN THE WATERSHED OF THE WADI WALGAZ BY THE COMBINATION TOOL GIS AND APPROACH PAP / RAC, (Prerif - MOROCCO).

ABSTRACT. The watershed of Oued Walgaz is located on the right bank of Oued Inaouène an area of 53.8 km², northwest of the town of Oued Amlil. The vulnerability of living conditions make the sunny pool to degradation and the risk of water erosion and land movements: a favorable climate, highly accentuated relief (60.3% strong to extreme), very low plant protection (11.6%), tender and marl lithological formations (65.6%). Drainage density (Dd) high (3.75 km⁻¹) reflects the impermeability of training and reduced infiltration, its compactness index is around 1.5 which will minimize the response time of the basin precipitation and favors including erosion sheet erosion.

The classification of the erosion status map of predictive approach shows plenty of high class erosion and very high 70.7% of BV. The class includes significant erosion 15.9%, and the low erosion state class and has very low 13.4%. The card forms actual erosion of the descriptive approach shows the predominance of sheet erosion, which affects 56.5% of the basin. Landslides are spread over 15.5%, moderately deep and deep ravines covered 17.8%. Badlands extend over 6.1%. Gullies present only 2.2%, and for periodically flooded areas are very limited and does not exceed 1.9%.

Keywords : Water erosion -degradation- method PAP/RAC - GIS - Oued Walgaz - Prerif.

INTRODUCTION

Les milieux naturels marocains ont subi au cours du 20^e siècle des dégradations intenses liées à la forte pression que la population locale a exercée sur les ressources naturelles (le labour, le surpâturage et le défrichement des forêts), et à de graves conséquences de différents points de vue. D'un point de vue économique, les pertes sont importantes et ils sont estimés en milliards de dirhams (dégradation d'Infrastructure routière (autoroute Oujda-Fès), des ouvrages d'art et de la productivité des terrains agricoles de pâturage ou forestier), du côté humain la situation est très inquiétante (appauvrissement et exode rural vers les villes ou l'étranger).

Le domaine prérimaire en général et plus particulièrement le bassin versant de l'Oued Walgaz n'a pas échappé à cette règle générale puisque son milieu naturel a subi aussi une forte dégradation. Ce qui a déclenché non seulement une dynamique accélérée des processus de l'érosion hydrique, mais aussi une forte instabilité des versants liée aux différents types de mouvements terrain. Ces deux phénomènes ont connu une dynamique importante au cours de ces dernières années.

1. Description de la zone d'étude

Administrativement, le bassin versant de l'Oued Walgaz dépend de la région de Fès-Meknès (figure 1), il est situé au Nord-Est du centre urbain de l'Oued Amlil (N-O de Taza) sur une altitude comprise entre 314 m à l'aval et 1022 m en amont et s'étend sur une superficie de 53.8 km². Son indice de compacité est de l'ordre de 1.5 (bassin bien drainé). La densité de drainage (Dd) est forte, elle est de l'ordre de 3.75 km⁻¹, elle traduit la nature lithologique imperméable favorisant le ruissellement de surface. Il reçoit en moyenne 491 mm de pluies qui se caractérisent à la fois par une irrégularité spatio-temporelle et une intensité forte. Les températures peuvent enregistrées jusqu'à 37.8°C en Juillet.

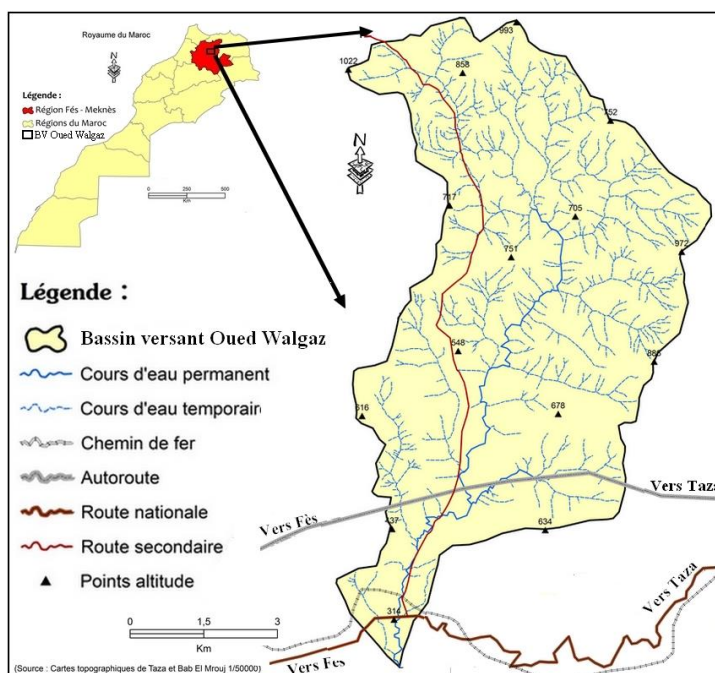


Figure 1. Situation géographique du bassin versant de l'Oued Walgaz

Le bassin versant de l'Oued Walgaz est caractérisé par un système complexe, 65.6% des formations géologiques friables, tendres et imperméables (marnes, marno-calcaires), 11.6% du couvert végétal protecteur et 60.3% des pentes accidentées du bassin versant, un réseau hydrographique d'ordre 6 très actif lors des pluies intenses et concentrées, sont à l'origine de l'agressivité du climat et de la vulnérabilité des versants faces aux risques géomorphologiques. Le bassin est un des milieux qui ont connu et connaissent encore une forte pression anthropique notamment sur le trajet autoroutier, et dont les conséquences sont très graves et remarquables en termes de l'érosion hydrique et des mouvements de terrains.

2. MATERIEL ET METHODES

Pour ce faire, nous nous sommes basées sur l'approche PAP/CAR en combinaison avec l'outil SIG qui nous a permis de mieux analyser, interroger, superposer et spatialiser les zones touchées par les différentes formes d'érosion. Cette approche naturaliste et couramment utilisée pour l'identification des zones les plus vulnérables et aussi pour l'estimation des degrés du risque érosif, elle se base uniquement sur les facteurs naturels (pente, couvert végétal et lithologie), et elle se caractérise par trois phases :

- L'approche prédictive qui aboutit à la cartographie des unités homogènes des états érosifs dans le bassin versant, fournissant le canevas pour la cartographie du potentiel et des tendances générales d'érosion ;
- L'approche descriptive qui consiste à identifier et évaluer les processus actuels d'érosion sur le site, ainsi que les différents degrés d'exposition à l'érosion ;
- L'approche d'intégration dont le résultat principal est la carte consolidée. Cette phase est obtenue par la superposition de la carte des états érosifs obtenue de la phase prédictive et la carte des formes d'érosion réelle (la phase descriptive) obtenue par la cartographie directe des formes d'érosion sur le terrain ou par l'investigation des images satellites (PAP/CAR 1998).

L'intérêt de cette approche c'est qu'elle est facile, rapide et à faible coût économique. Et elle donne des résultats qui collent très bien avec la réalité terrain et son avantage c'est qu'elle constitue aussi une étude préalable à toute intervention visant la lutte contre l'érosion des sols et la désertification.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

L'importance de la carte prédictive (états érosifs potentiels) est la classification du bassin versant en zones à risque (figure 2), qui montre la dominance de :

- La classe d'érosion élevée et très élevée avec 70.7%. Cette classe d'érosion est caractérisée par une perturbation totale de la surface des sols, où les formes de ravinements, de glissements, des badlands sont abondantes.
- La classe d'érosion notable couvre 15.9% du bassin, dans cette classe les ravins sont abondants, l'érosion hydrique et des mouvements de terrain peu avancés.
- La classe d'état d'érosion très faible et faible contient des zones où l'érosion hydrique et les mouvements de terrain sont moins évolués. Elle représente 13.4% de la zone d'étude.

Le traitement de la carte descriptive (formes d'érosion réelle) montre que l'érosion en nappe s'étale sur 56.5% des versants, elle appauvrit le sol par l'enlèvement des particules nutritives nécessaire pour le développement des végétaux. Les ravins profonds et moyennement profonds couvrent 17.8% et s'installent toujours sur les rives des cours d'eau. Les glissements de terrain couvrent 15.5%. Les bad-lands sont plus profondes et s'étendent sur 6.1%, ils se situent toujours en tête de ravins en reculant. Les rigoles sont très limitées 2.2%. Par contre les zones périodiquement inondées ne présentent que 1.9% (figure 2).

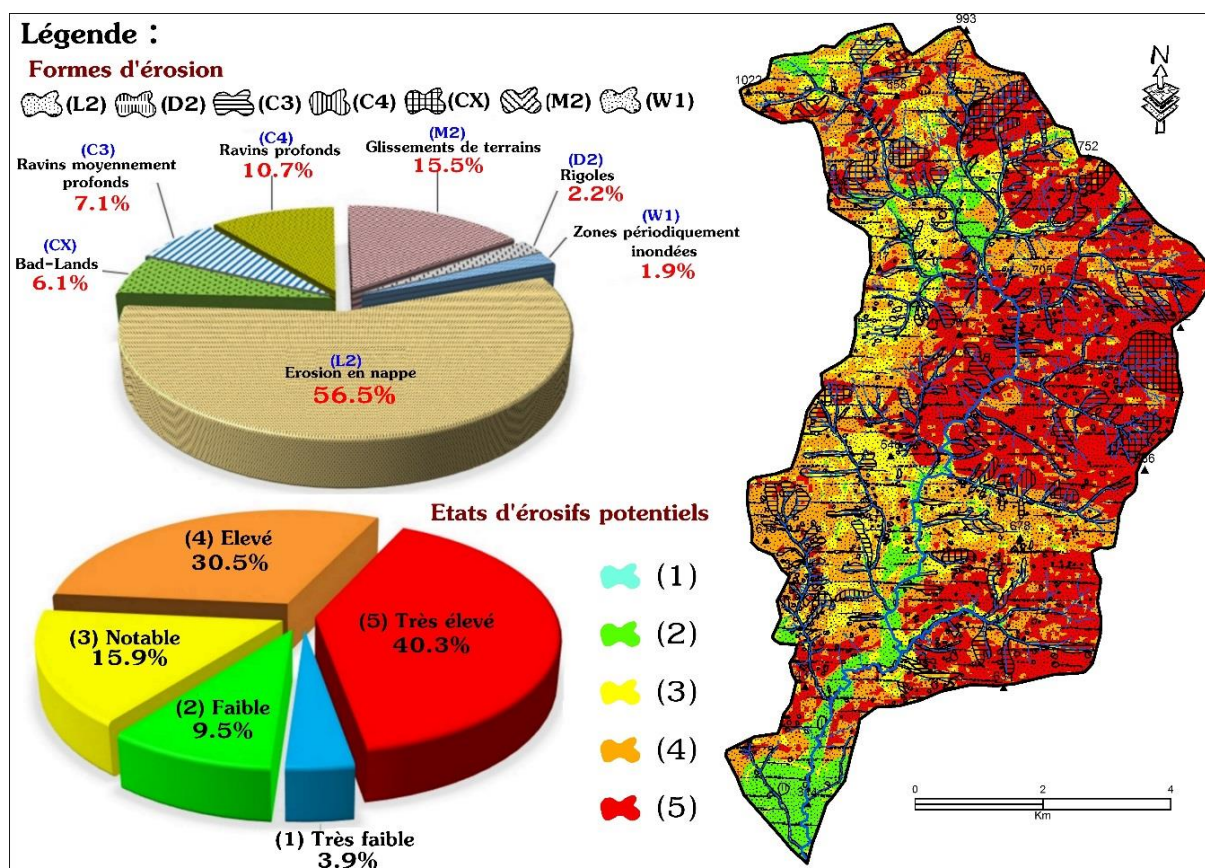


Figure 2. Carte consolidée de PAP/CAR du bassin versant de l'Oued Walgaz

CONCLUSION

Les résultats ont montré que la zone de l'étude est un terrain qui présente toutes les conditions physiques et humaines pour un tel processus : couvert végétal très réduit, substrat imperméable, pentes fortes, précipitations agressives et interventions inappropriées de l'homme, et qu'il connaît une dégradation très intense par la concentration des formes d'érosion hydrique (l'érosion en nappe, les ravinements, bad-lands, les rigoles, ...), et des glissements de terrains. Donc on peut dire que, le Prérif en général et le bassin versant de l'Oued Walgaz en particulier consiste un laboratoire à ciel ouvert pour tous ceux qui veulent étudier les différents processus de l'érosion hydrique.

Références bibliographiques

- AVENARD J.-M., (1964). *Présentation d'un aspect de l'érosion dans les marnes du Saïs. Arrêt sur la route secondaire Sidi-Harazem-Douar El Gada, 1 km à l'Est d'El Gada*. Revue de Géographie du Maroc, n° 6, p 119–123.
- BOU KHEIR R., GIRARD M-CI., KHAWLIE M., ABADALLAH C., (2001). *Erosion hydrique des sols dans les milieux méditerranéens : revue bibliographique*, érosion et gestion des sols, vol. 8, 4, pp 231-245.
- HILI A., (2013). *Application des directives PAP/CAR et du SIG pour la cartographie des formes d'érosion et des mouvements de terrain dans le bassin versant de l'Oued Sahb Laghrik (Nord-Ouest de Taza)*. Approche cartographique, Mémoire du Master, pages 151.
- LEONE F., (1996). *Concept de vulnérabilité appliquée à l'évaluation des risques générés par les phénomènes de mouvement de terrain*, Thèse Univ. Université Joseph Fournier Grenoble I, p 270.
- PAP/CAR., (1998). *Directives pour la cartographie et la mesure des processus d'érosion hydrique dans les zones côtières méditerranéennes*, PAP-8/PP/GL.1. Split, Centre d'activités régionales pour le Programme d'actions prioritaires (PAM/PNUE), en collaboration avec la FAO, pp xii–72.
- SABIR M., BARTHES B., ROOSE E., (2004). *Recherche d'indicateurs des risques de ruissellement et d'érosion sur les principaux sols des montagnes méditerranéennes du Rif occidental (Maroc)*, Sécheresse n° I, vol. 15, pp 105–110.
- TRIBAK A., (1997). *Exemple de terrain dans le périmètre oriental (Maroc)*. Méditerranée n°1-2, p 61–68.

Le GPS en géomorphologie dynamique. Application au suivi de la dynamique littorale et éolienne (Maroc nord-est)

Abdelkader SBAL, Omar MOUADILI, Abdelouahid SAIDI et Mimoun BAHKANE

Université Mohamed Ier, Oujda (Maroc)

Résumé : L'objectif de cette étude est d'évaluer, par une étude de terrain, le potentiel du GPS (Global Positioning System) pour la surveillance de la dynamique littorale et éolienne. Le site d'étude est l'embouchure de la Moulouya, la région de Bouarfa et le Chott Tigri. L'étude montre que le GPS permet de déterminer la cinématique des dunes et de l'embouchure de la Moulouya en 3-D avec une résolution temporelle annuelle et une précision inférieure au centimètre. Des mesures GPS réalisées en 2013, 2014 et 2015 ont permis de montrer des variations spatiales et temporelles de la cinématique des dunes et de l'embouchure de la Moulouya. Les résultats présentés prouvent que le GPS permet de suivre en continu la cinématique d'entités géomorphologiques aux déplacements faibles et lents et pourrait donc constituer, dans un système d'alerte, un complément aux techniques de géodésie conventionnelles.

Mots-clé : GPS, positionnement centimétrique, suivi, littoral, dune, Maroc nord-est

Abstract: Contribution of GPS to monitoring of aeolian and coastal dynamic. Application to the north east of Morocco

Abstract: The purpose of this work is to evaluate the potential of Global Positioning System (GPS) measurements for the monitoring of aeolian and coastal dynamic. The studied site is the estuary of Moulouya, Bouarfa'area and Chott Tigri. The study shows that GPS is used to determine the cinematic of dunes and the estuary of Moulouya in 3-D with an annual temporal resolution and a sub-centimeter accuracy. GPS measurements carried out in 2013, 2014 and 2015 show spatial and temporal variations of the cinematic of dunes and the estuary of Moulouya. The results presented here show that GPS measurements have the capability of surveying, continuously, the kinematics of geomorphological entities with small and slow displacements and could thus complement conventional topometric techniques in a warning system.

Keywords: GPS, centimetric positioning, monitoring, coast, dune, north east of Morocco.

Introduction

La technique spatiale GPS est aujourd'hui l'outil privilégié pour se positionner avec une grande précision. Cet outil est fondamental aussi bien pour les milieux industriels (Brown et al., 1999; Hudnut et Behr, 1998) que pour les sciences géographiques et géologiques (Larson et Agnew, 1991; Galisson, 1998; Flageollet et al., 1998, 2000; Follacci, 1999; Gili et al., 2000, Malet et al., 2002...).

Afin d'évaluer la capacité de la technique GPS, une étude a été réalisée dans le but de déterminer la dynamique littorale et éolienne dans quelques sites du Maroc oriental. Cette étude a, en effet, montré le sens de déplacement de la ligne de côte et des dunes de la région de Bouarfa et du chott Tigri.

1. Site d'étude

Cette étude a été réalisée au Maroc oriental dans trois sites différents: l'embouchure de la Moulouya au nord, Bouarfa et Chott Tigri au sud (Fig.1).

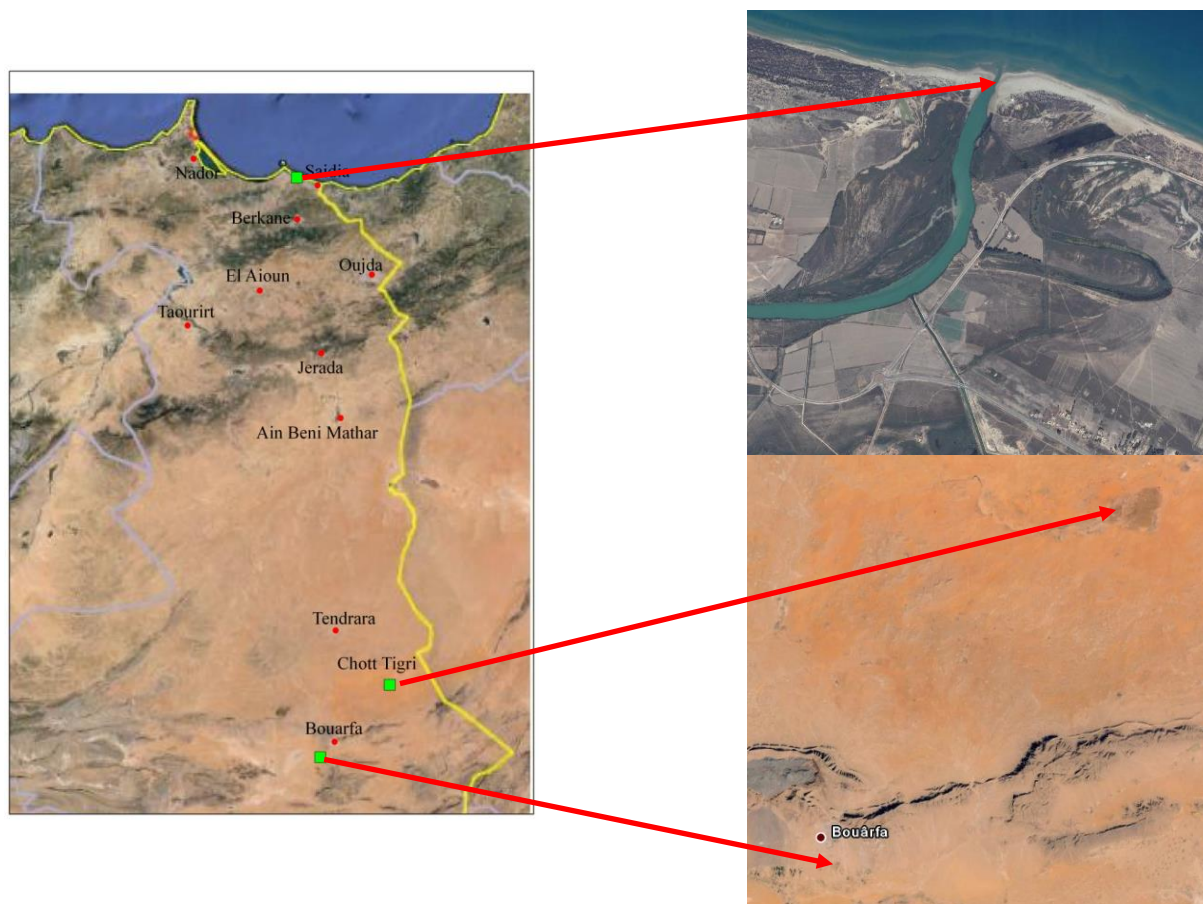


Fig.1. Région d'étude et localisation des sites de mesure

L'embouchure de la Moulouya connaît une dynamique importante. Elle a fait l'objet de mesures par photo-interprétations multi-dates (Sbai et Bouazza, 2002, Salmon et al., 2012). La vitesse d'érosion a été estimée à 8m/an de 1958 à 1988. Les déplacements de la ligne du rivage sont suivis actuellement à l'aide d'un réseau de repères.

La région de Bouarfa se situe dans le Haut Atlas oriental ; elle est constituée d'étroits chaînons montagneux parallèles (1400-2100m), de direction E-W encadrant de hautes plaines (Tamlelt, El Biazza... 1100 à 1200).

Le Chott Tigri se développe sur les Hauts Plateaux du Maroc oriental à 60 km au nord-est de Bouarfa vers 1300-1400 m d'altitude (plateau) et 1100-1200 (bassin). Il s'étend sur 60km d'ouest en est et 30km du nord au sud. Il se présente comme une ellipse irrégulière, limitée au nord et au sud par des falaises presque rectilignes. La série de grès rouges du Chott est sénonienne, son épaisseur visible est évaluée à 500m.

2. Méthodologie

Les fondements de la technique GPS sont développés dans plusieurs références (Leick, 1995; Herring, 1996; Hofmann-Wellenhof and al., 2013; Guochang, 2007). L'acquisition des données GPS a

été réalisée à l'aide de deux stations GPS Leica 1200 équipées d'antennes, au cours de trois campagnes, de 2013 à 2015. Des piquets sont installés sur place pour servir de référence. L'échantillonnage se faisait une fois par an.

Les données GPS ont été traitées en mode RTK. Les coordonnées précises ont été calculées directement dans le référentiel géodésique. Le réseau formé par les stations «fixe» et «mobile» a été traité en fixant les positions des deux stations. Les calculs ont été réalisés en utilisant des orbites précises et en tenant compte des modèles de variation du centre de phase des antennes. Le résultat final est un vecteur: composante nord-sud =X, composante est-ouest =Y, composante Z= altitude. La précision atteinte est millimétrique (Gilbert, 1993).



Photos.16-19. Stations fixe et mobile et mesure RTK.

Dans un deuxième temps, les données subissent un post-traitement: importation et exportation par le logiciel Leica Geo Office 7, puis traitement des données et exportation en shapefile ou en ASCII à l'aide des logiciels Covadis d'Autocad, Surfer ou ArcGIS.

3. Résultats et interprétation

La figure 2 montre le semis de points (2888) de l'embouchure de la Moulouya en 2013 et 2015. On constate visuellement, sur cette figure, que la ligne de côte s'est retirée de 118 m sur la rive droite et de 23 m sur la rive gauche. Quant au « poulie », il s'est déplacé vers le sud-est de 40m.

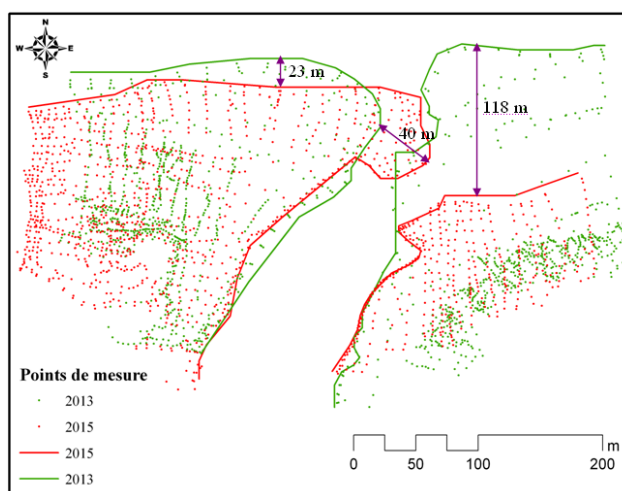


Fig.2. Embouchure de la Moulouya: carte des points d'altitude (2888)

Au sud de Bouarfa, la dune 1 s'est déplacée entre 2013 et 2016 de 12.44 m vers le sud-est. Toutefois, on peut noter un déplacement préférentiel selon deux composantes: NE – SW: 20.49 m et ESE-WNW: 13.36 m (Fig.3).

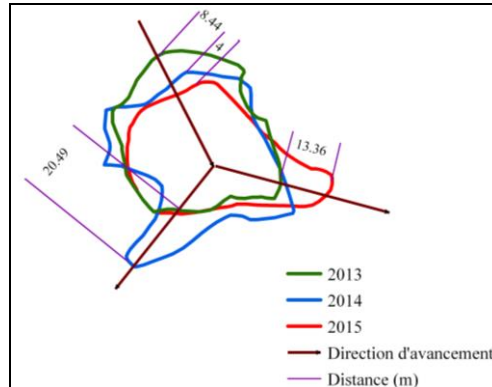


Fig.3. Evolution des positions de la dune 1 au sud de Bouarfa

La surface et le volume évoluent en parallèle. On note une forte chute en 2015 où le volume devient même inférieur à la surface (Fig.4). Il est passé de 1553 m³ en 2014 à 1099 m³ en 2015, soit une perte de 30%. La dune a été étalée et a perdu de son volume.

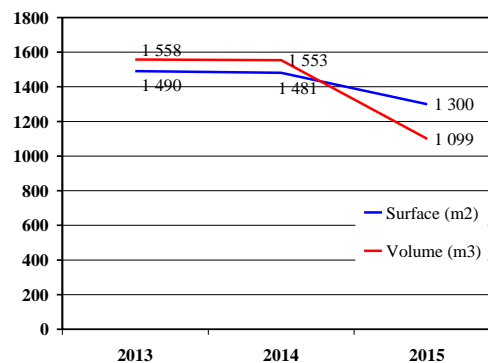


Fig.4. Variation de la surface et du volume de la dune 1 au sud de Bouarfa

La dune 2 s'est déplacée généralement de 6.28 m vers le sud-sud-est. Néanmoins, d'autres vecteurs de déplacement peuvent être observés : 16.14 m vers le sud-est ; 6 m vers le sud-ouest ; 14.65 m vers le nord (Fig.5).

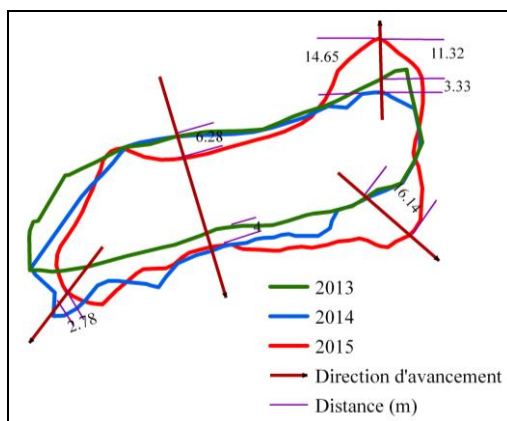


Fig.5. Evolution des positions de la dune 2 au sud de Bouarfa

Au Tigri, le déplacement général cumulé de la dune n°1 en 3 ans de mesures est de 10.33m vers l'est. Cependant, deux composantes peuvent être observées : une vers le nord-est : 30 m et une autre vers l'est-nord-est : 40 m. (Fig.6).

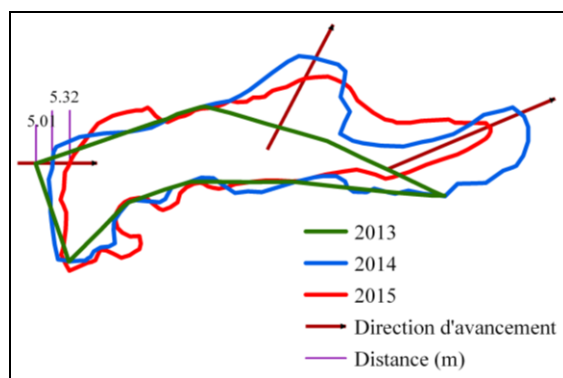


Fig.6. Evolution des positions de la dune 1 au Chott Tigri

La dune n°2 enregistre un mouvement général de 19.77 m vers l'est. Entre 2014 et 2015, on note un déplacement net vers le nord-est (Fig.7).

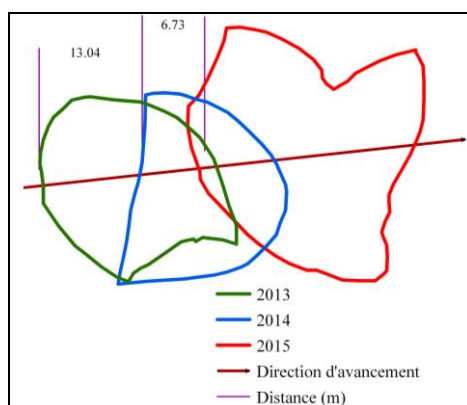


Fig.7. Evolution des positions de la dune 2 au Chott Tigri

La comparaison entre les résultats obtenus selon les années (2013, 2014 et 2015) indiquent des vitesses moyennes respectives de 6 et 3 m/an pour les dunes de Bouarfa et 5 et 10m/an pour les dunes du Tigri. Ces variations annuelles sont probablement à attribuer aux vitesses de vents.

Les résultats obtenus à partir de deux profils micro-topographiques des dunes du Chott Tigri sont intéressants (Fig.8). Leur comparaison (2013, 2014 et 2015) montre des changements annuels importants: érosion de certains compartiments et sédimentation dans d'autres. Autrement dit, des crêtes ont été érodées et d'autres ont été créées. Ceci est dû à la remobilisation des sables par le vent.

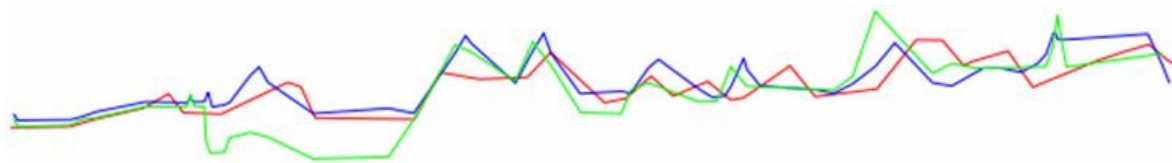


Fig.8. Evolution micro-topographique des profils du Chott Tigri (313 m): 2013 en vert, 2014 en bleu, 2015 en rouge

Conclusion

Le GPS est donc adapté à la mesure des déplacements lents de la ligne du rivage et des dunes. Son utilisation au Maroc oriental constitue une première pour la mesure et le suivi de la dynamique littorale et éolienne et offre l'avantage de délivrer un positionnement tridimensionnel. Les résultats obtenus permettent de quantifier la cinématique 3-D de ces espaces avec une précision de quelques millimètres.

La dispersion des mesures observée, en particulier pour les dunes, résulte des variations de la direction des vents avec un déplacement préférentiel vers l'est pour le Tigri et vers le S-E pour les dunes de Maâdre El Masarine (au sud de Bouarfa). Les mesures réalisées en 2013, 2014 et 2015 permettent, en outre, de mettre en évidence les variations spatiales (compartimentation) et temporelles (annuelles) de la cinématique des dunes et du trait de la côte.

Bibliographie

- BROWN C.J., KARUMA R., ASKHENAZI V., ROBERTS G.W., EVANS R.A. (1999) - Monitoring of structures using the GPS. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Structures and Buildings*, 134 (1), 97-105.
- FLAGEOLLET J.-C., MAQUAIRE O., WEBER D., et al. (1998) - New technologies for landslide hazard assessment in Europe. *NEWTECH, DG XII, Final Report*. 431.
- FOLLACCI J.-P. (1999) - Seize ans de surveillance du glissement de La Clapière (Alpes-Maritimes), *Bull. Lab. Ponts et Chaussées* 220. P.35-51.
- GALISSON L. (1998) - Utilisation du GPS de précision pour la mesure de faibles déformations du sol. *Mémoire DEA «Systèmes spatiaux et environnement»*, université Louis-Pasteur, Strasbourg, 109 p.
- GILBERT C (1993) - Portable GPS systems for mapping: features versus benefits. *Earth Observation Magazine*, 10, 43-48.
- GILI J.A., COROMINAS J., RIUS J. (2000) - Using Global Positioning System techniques in landslide monitoring. *Eng. Geol.* 55. P. 167-192.
- GUOCHANG X (2007) - *GPS: Theory, Algorithms and Applications*. Springer Science & Business Media, 5 oct. 2007 - 340 p.
- HERRING T.A. (1996) - The Global Positioning System. *Science*, 96, 32-38.
- HOFMANN-WELLENHOF B, LICHTENEGGER H, COLLINS J (2013) - *Global Positioning System: Theory and Practice*. Springer Science & Business Media.
- HUDNUT K.W., BEHR J.A. (1998) - Continuous GPS monitoring of structural deformation at Pacoima dam, California. *Seismological Research Letters*, 69 (4), 299-308.
- LEICK A. (1995) - *GPS Satellite Surveying*. Wiley, New York, 256 p.

- MALET J-P, MAQUAIRE O, CALAIS É (2002) - Le GPS en géomorphologie dynamique. Application à la surveillance de mouvements de terrain (Super-Sauze, Alpes du Sud, France) / GPS in geomorphological studies. Application to the survey of landslides (Super-Sauze, South France). In: Géomorphologie : relief, processus, environnement, Avril-juin, vol. 8, n°2. pp. 165-179. doi: 10.3406/morfo.2002.1137. http://www.persee.fr/doc/morfo_1266-5304_2002_num_8_2_1137.
- SALMON,M ; SBAI,A ; BOUMEAZA,T ; BENATA,M & OZER,A (2010) - L'érosion des côtes meubles de l'extrême nord-est du Maroc. Bulletin de la Société Géographique de Liège (BSGLg). 54. 97-105. En hommage au Professeur André OZER. Liège. 24 avril 2010.
- SBAI,A. et BOUAZZA,A. (2002) - Evolution géomorphologique et dynamique récente de la plaine littorale de Saïdia (Maroc Nord-est). Colloque national : Le littoral méditerranéen oriental : diagnostic et choix de développement et d'aménagement. Oujda les 13 et 14 février 2002. P.3-30.

VERS UNE INFRASTRUCTURE UNIVERSITAIRE DE DONNÉES SPATIALES DÉDIÉES AUX DONNÉES SUR L'EAU AU MAROC : CONCEPTS, IMPLÉMENTATIONS & APPROCHE

Aniss MOUMEN (1,*), Mohamed BEN-DAOUD (2), Mohamed EL BOUHADDIOUI (1), Mohamed NEHMADOU (3), Soumia BAGHDADI (4), Badr EL MAHRAD (5), Yassine BOUSLIHIM (6), Fatima HARA (7), Ahmed SAYAD (8)

(1) Université Ibn Tofail, Faculté des Sciences Kenitra, Département de géologie, Kenitra

(2) Université Moulay Ismail, Faculté des Sciences Meknes, Département de biologie, Meknes

(3) Université Ibn Zohr, Faculté des Sciences Agadir, Département de géologie, Agadir

(4) Université Mohammed V, Ecole Mohammadia des Ingénieur, Rabat

(5) Université Mohammed V, Faculté des Sciences de Rabat, Département de géologie

(6) Université Hassan 1er, Faculté des Sciences et Techniques de Settat, Settat

(7) Université Mohammed V, Institut Scientifique de Rabat, Rabat

(8) Centre Régional des Métiers d'Education et de Formation, Fes

(*) Email : amoumen@gmail.com

RÉSUMÉ : Les infrastructures de données spatiales (IDS) facilitent l'accès et la disponibilité des données. La mise en place de ces IDS au sein d'un environnement universitaire, contribuerait à surmonter l'obstacle de l'accessibilité et la disponibilité des données pour les universitaires (Etudiants, Doctorants, Docteurs et Professeurs), constaté lors des divers enquêtes organisés à l'issue des rencontres scientifiques. Le présent travail a pour objectif de : présenter l'historique et concepts des infrastructures de données spatiales ; détailler les modalités existantes pour une implémentation technique, afin d'aller vers la proposition d'une approche qui a pour but la construction d'une infrastructure de première génération orientée catalogue.

L'implémentation d'une telle infrastructure se base sur des logiciels, bases de données libres et open source, pour offrir à l'utilisateur le moyen de consulter, télécharger et réutiliser ces données dont le but de contribuer à produire de nouvelles données. Ces dernières peuvent être partagées avec la communauté scientifique du domaine des ressources en eau.

Mots-clés : IDS - Infrastructure – données sur l'eau – Logiciel Libre et open source, Universitaires.

TOWARD AN ACADEMIC SPATIAL DATA INFRASTRUCTURE FOR MOROCCAN WATER DATA: CONCEPTS, IMPLEMENTATIONS AND APPROACH

ABSTRACT: A spatial data infrastructures facilitates data accessibility and availability. These basics functionalities are a very important problematic for all Moroccan academics (Students, PhD students, PhD and Professors), as demonstrated by many survey.

In this paper, we present an SDI overview, then how we can implement a SDI in academic environment by using free and open source software. Also, we present an approach to build a first generation of an academic SDI specifically for Water Data, sponsored by a scientific association, to offer for all users, the capability to consult, download and re-use this data, and contribute to enrich them.

Keywords: SDI - Infrastructure – Water data, Free and Open Source Software, Academics.

INTRODUCTION

Tout organisme, institution, entreprise ou ensemble d'individus, collecte, traite et produit un nombre important de « **données** ». La plus part de ces données peuvent ne pas y avoir une signification particulière, par contre d'autres permettent une meilleure compréhension de l'organisme lui-même et de son environnement, cette catégorie de données est appelée une « **information** » (Lapiedra Alcamí & Devece Carañana, 2012). Cette information est une collecte de données organisées et qui apporte une valeur ajoutée par rapport à la donnée elle-même (Stair & Reynolds, 2013).

En 1992, lors du Sommet de la Terre à Rio de Janeiro au Brésil, l'Agenda 21 a établi parmi ses résolutions, l'importance de l'information géospatiale pour tous processus de prise de décision en matière de conservation et protection de l'environnement (UN, 1992). Ce qui place la création, l'organisation et l'accès aux informations spatiales parmi les priorités de tout décideur.

En 1993, Le terme « Infrastructure de Données Spatiales » (IDS) a été introduit pour la première fois par « US National Research Council » (Committee, 1993). Ce terme désigne l'ensemble des technologies, politiques et organisations institutionnels qui facilitent la création, l'échange et l'utilisation des données géospatiales et informations annexes, dans le cadre d'une communauté de partage de l'information.

1. Concepts et composants :

Selon les travaux de Masser (Masser, 2005) et la GSDI (GSDI, 2004), la finalité d'une infrastructure de données spatiale sert à faciliter l'accès aux informations spatiales, à travers un ensemble d'action coordonnées par les organisations qui veillent à l'implémentation des politiques complémentaires et harmonisées au niveau national et/ou régional. Une infrastructure de données spatiales englobe l'ensemble des volets politiques, organisationnels, données, technologies, standards, financiers et ressources humaines, permettant d'assurer une valorisation du patrimoine des données. L'aboutissement de cette vision est assurée par l'intermédiaire des IDS qui stockent les données, leurs attributs et leurs métadonnées, puis offrent la possibilité de rechercher, visualiser et évaluer leurs utilités (Giuliani et al., 2014). En outre, les IDS offrent d'autres solutions pour une meilleure exploitation de ces données. Au regard des travaux de Masser (Masser, 2005) et Rajabifard and Williamson (Rajabifard A & Williamson I.P, 2001), une infrastructure de données spatiales englobe à la fois les aspects techniques, mais aussi d'autre composants de l'ordre de l'organisationnel et politique, vu qu'une IDS ne peut être effective sans un organisme qui le coordonne (Figure 1).

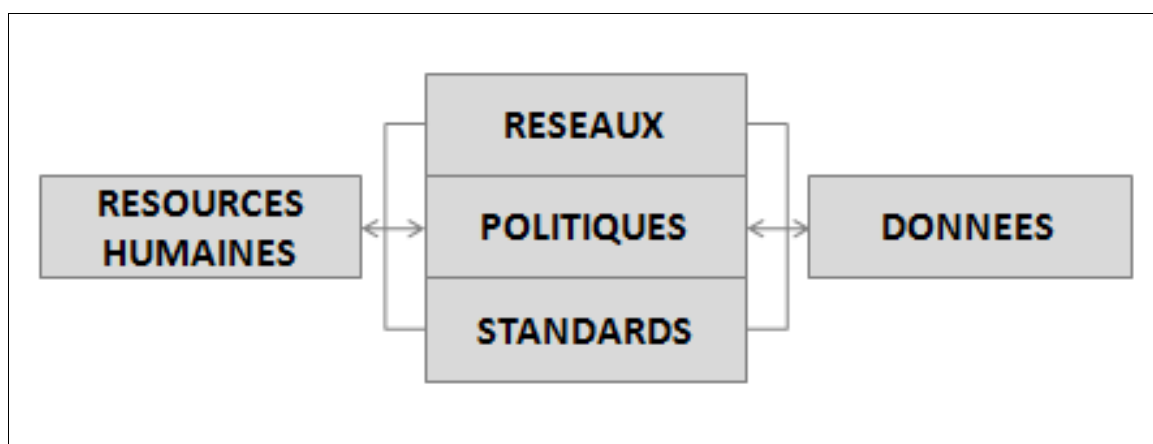


Figure 7. Composants d'une infrastructure de données spatiales (Giuliani et al., 2014)

2. Implémentation du technique IDS

Pour ce qui est technique, l'implémentation d'une infrastructure des données spatiales, nécessite la mise en place d'une base de données pour la collecte et le stockage des données et métadonnées, des logiciels pour le traitement et la publication des données, des standards et protocoles de communication, puis les moyens matériels : ordinateurs, serveurs, câblages, GPS etc. Avec l'apparition des logiciels libres (Stallman R, 1985), plusieurs projet ont vu le jour, parmi eux, les logiciels et bases de données spatiales. En 2012, Steiniger et Hunter ont proposée un modèle pour l'architecture technique d'une IDS (Steiniger & Hunter, 2012), ils ont identifié les besoins en outils SIG Libre & Open Source pour construire des IDS. A partir du début des années 2000, plusieurs solutions clés ont apparue et qui permettent de mettre en place une infrastructure de données spatiales avec les différents composants et services, le tableau ci-dessous présente une synthèse de ces solutions :

	<i>Geonetwork</i> (<i>geonetwork-opensource.org</i>)	<i>Deegree</i> (<i>deegree.org</i>)	<i>GeoNode</i> (<i>geonode.org</i>)	<i>Georchestra</i> (<i>georchestra.org</i>)	<i>EasySDI</i> (<i>easysdi.org</i>)
<i>Lancement</i>	2001	2002	2009	2009	2010
<i>Environnement de développement</i>	Java	Java	Django (Framework Python)	Java	Java & PHP
<i>Standards & Normes</i>	ISO, OGC, INSPIRE	ISO, OGC, INSPIRE	ISO, OGC, INSPIRE	ISO, OGC, INSPIRE	ISO, OGC, INSPIRE
<i>Services Web</i>	WFS, WMS, CSW, WMTS, WCS	WFS, WMS, CSW, WPS, WMTS, WCS	WMS, WFS, CSW, WMTS	WFS, WMS, CSW, WMTS	WMS, WFS, CSW, WMTS

Tableau 1. Infrastructure de Données Spatiales Libres et Open Source clés en main

En plus des logiciels libres, les services web géographiques contribuent dans la mise en place des standards nécessaires au fonctionnement des IDS, dans ce qui suit, nous détaillerons ceux les plus connus et concernés par ce papier. D'après la documentation officielle (OGC, 2004) et une des publications de référence de l'OGC établies par Carl Reed en 2011 (Reed, 2011) et Henri Pornon en 2008 (Henri Pornon, Pierrick Yalamas, & Pelegris, 2008) :

WMS (Web Map Service): Le serveur WMS convertit les données obtenues en **images** pour les visualiser chez l'utilisateur, qui a précisé les caractéristiques, en fonction d'une requête spécifique (OGC, 2006). Les spécifications de (OGC, 2006) définissent les interfaces à utiliser pour assembler les cartes via internet, depuis plusieurs sources hétérogènes.

WFS (Web Feature Service) : Fournit et permet la mise à jour de données au format **GML**. Les spécifications (OGC, 2005) définissent les interfaces utilisées entre le client et serveur pour accéder aux **données vecteurs** (réseaux routiers, les cours d'eau....).

CSW (Catalog Service for the Web) : Permet la recherche et la publication des catalogues de métadonnées. (OGC, 2007), définit les interfaces à utiliser pour publier et rechercher une collection des informations descriptives des données géo-spatiales (Métadonnées).

3. Approche vers une infrastructure universitaire des données spatiales dédiée aux données sur l'eau :

L'accès aux données et leur disponibilité demeure une problématique pour les universitaires, il constitue toujours un obstacle majeur pour l'avancé des travaux de recherche. Pour cette raison, le rôle d'une IDS est déterminant pour faciliter l'accès à ces données. A l'issue de plusieurs travaux de recherche, mémoires de stages ou projets de fin d'étude, plusieurs informations (données) sont produites par les universitaires (Etudiants, Doctorants, Docteurs, Professeurs). La capitalisation de ces données devrait être valorisée et surtout les réutiliser dans d'autres études, afin de gagner un temps considérable (collecte et traitement) bénéfique pour les nouveaux chercheurs ou étudiants.

La figure ci-dessous (Figure 2) montre une approche résumée d'une infrastructure universitaire des données spatiales liées à l'eau, issue d'une collecte auprès des acteurs ou via le web. Le but est d'offrir aux utilisateurs le moyen de rechercher, consulter, télécharger et réutiliser les données publier sur un serveur dédié. La coordination de cette infrastructure est assurée par une association scientifique SAWIS (<http://www.sawis.org>), qui a pu mettre en place une charte et une convention (<http://wismag.sawis.org/?p=89>) pour cette IDS.

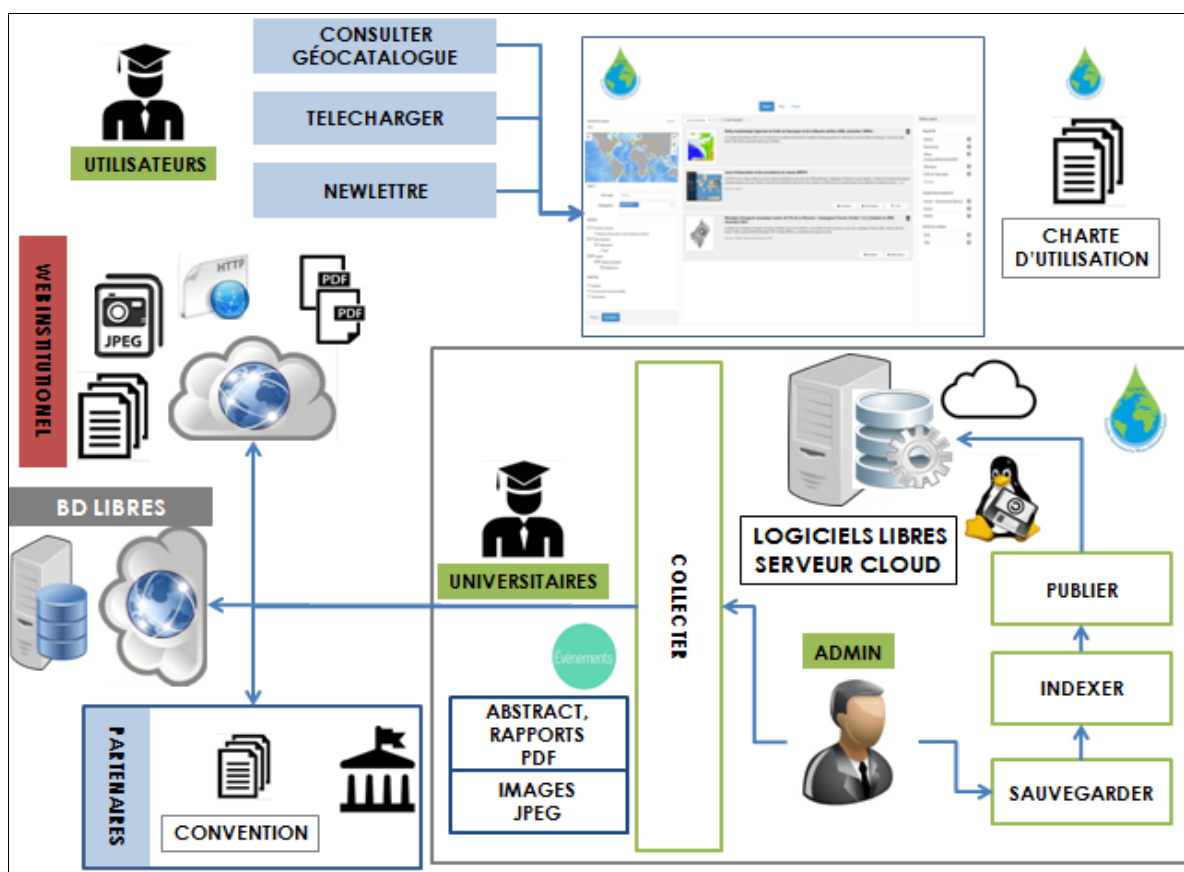


Figure 8. Approche et architecture vers une infrastructure de données spatiales dédiées aux données sur l'eau

Cette infrastructure de données spatiales ainsi nommée « initiative SAWIS 2 », exploite les fonctionnalités déjà offertes par le logiciel GeoNetwork, pour la documentation et la publication des données collectées depuis divers sources (Web, BD Libre, Partenaires...).

CONCLUSION

L'intérêt de l'utilisation des logiciels libres pour la construction des IDS est qu'ils permettent de réduire les dépenses budgétaires en matière d'investissement. Ils se basent sur la notion du code ouvert, qui est un avantage majeur pour la personnalisation et l'adaptation des logiciels, voire même l'amélioration de leurs fonctionnalités par les développeurs et administrateurs en charge de l'implémentation, supervision et la maintenance des IDS. Aussi, ce qui contribue à un meilleur positionnement de ces outils au sein des IDS, est la philosophie des logiciels libres rappelée par le fondateur du mouvement des logiciels libres « Stallman R », lors d'une conférence à l'ENSAM à Meknès en 2016 (ENSAM, 2016) : « **Le partage est le fondement d'une communauté** » (RSM, ENSEM, 2016)

Références bibliographiques

- Botts, M., Percivall, G., Reed, C., & Davidson, J. (2008). *OGC® Sensor Web Enablement Overview And High Level Architecture*. Paper presented at the Proceedings of the 5th International ISCRAM Conference Washington,DC, USA.
- Botts, M., & Robin, A. (2005). OpenGIS sensor model language (SensorML) implementation specification *OpenGIS Best Practices Paper*: Open Geospatial Consortium.
- Comert C. (2004). *Web Services and National Data Infrastructure (NSDI)*. Paper presented at the ISPRS Conference. <http://cartesia.org/geodoc/isprs2004/comm4/papers/365.pdf>
- Committee, M. S. (1993). *Toward a coordinated spatial data infrastructure for the nation*: National Academies Press.
- ENSAM. (2016). *Colloque des logiciels libres*, 23-24 Mai 2016, ENSAM, Meknes.
- Giuliani, G., Lacroix, P., Guigoz, Y., Bigagli, L., Ray, N., & Lehmann, A. (2014). *Bringing GEOSS services into practice*.
- GSDI. (2004). *the SDI Cookbook*. GSDI/Nebert.
- Henri Pornon, Pierrick Yalamas, & Pelegris, E. (2008). Services Web géographiques état de l'art et perspectives. *Géomatique Expert*.
- Kevin Crowston, Kangning Wei, James Howison, & Andrea Wiggins. (2012). *Free-Libre Open Source Software Development what we know and what we do not know*.
- Kresse, W., & Danko, D. M. (2012). *Springer handbook of geographic information*: Springer.
- Lapedra Alcamí, R., & Devece Carañana, C. (2012). *Introduction to Management Information Systems*.
- Masser, I. (2005). *GIS worlds: creating spatial data infrastructures* (Vol. 338): ESRI press Redlands, CA.
- Mickaël, B. (2012). *Fusion de données géoréférencées et développement de services interopérables pour l'estimation des besoins en eau à l'échelle des bassins versants* (Docteur du Conservatoire National des Arts et Métiers), CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET METIERS, ÉCOLE DOCTORALE Arts et Métiers Retrieved from http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/92/29/97/PDF/ThA_se_-_BEAUFILS_-_MickaA_1.pdf
- OGC. (2004). *The Spatial Web*, OGC White Paper. from http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=3859&version=2&format=pdf
- OGC. (2005). *Web Feature Service Implementation Specification*: Open Geospatial Consortium Inc.
- OGC. (2006). *OpenGIS® Web Map Server Implementation Specification*: Open Geospatial Consortium Inc.
- OGC. (2007). *OpenGIS® Catalogue Services Specification*.
- OGC. (2012). *OpenGIS Sensor Observation Service*. from <http://www.opengeospatial.org/standards/sos>

- Peng, Z.-R., & Tsou, M.-H. (2003). *Internet GIS: distributed geographic information services for the internet and wireless networks*: John Wiley & Sons.
- Rajabifard A, & Williamson I.P. (2001). *Spatial Data Infrastructures: Concept, SDI Hierarchy and Future directions*. Paper presented at the GEOMATICS'80 Conference, Tehran, Iran.
- Reed, C. N. (2011). The open geospatial consortium and web services standards. *Geospatial Web Services: Advances in Information Interoperability*, 1-16.
- Stair, R., & Reynolds, G. (2013). *Fundamentals of information systems*: Cengage Learning.
- Stallman Richard. (1985). The GNU manifesto.
- Steiniger, S., & Bocher, E. (2009). An overview on current free and open source desktop GIS developments. *International Journal of Geographical Information Science*, 23(10), 1345-1370. doi: 10.1080/13658810802634956
- Steiniger, S., & Hunter, A. J. (2012). Free and open source GIS software for building a spatial data infrastructure *Geospatial free and open source software in the 21st century* (pp. 247-261): Springer.
- Steiniger, S., & Hunter, A. J. S. (2013). The 2012 free and open source GIS software map – A guide to facilitate research, development, and adoption. *Computers, Environment and Urban Systems*, 39, 136-150. doi: 10.1016/j.compenvurbsys.2012.10.003
- Tari, Z., & Bukhres, O. (2004). *Fundamentals of Distributed Object Systems: The CORBA Perspective*: Wiley.
- UN. (1992). Agenda 21: The United Nations Program of Action from Rio—Earth Summit: Rio. Retrieved from <http://www.un.org/esa/dsd/agenda21/index.shtml>

CARTOGRAPHIE ET REPRESENTATION SPATIALE EN 2,5 D ET CALCUL DES SUPERFICIES EN ZONES DE PENTE DANS LA RESERVE NATURELLE DES GORGES DU GARDON EN UTILISANT LES LOGICIELS (OPEN SOURCE) EN L'OCCURRENCE GRASS ET QGIS ET AUTRES

Hassan EL-AMRANI, Mathieu BOSSAERT et Abdellatif TRIBAK : Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Laboratoire d'Analyses Géo-Environnementales et d'Aménagement (LAGEA-URAC54) Fès, Maroc et (CEN L-R,) France, *elamrani.aun@gmail.com*

RÉSUMÉ :

Les vues aériennes et les cartes en deux dimensions de la réserve naturelle ne permettent pas une représentation satisfaisante de la totalité de ce paysage, notamment les zones des falaises et les zones à forte pente. Face à ce problème multi facette qui se rattache à l'insuffisance de la communication et la transmission des potentialités de la réserve naturelle au Grand Public d'une part, et d'autre part vu l'intérêt d'évaluer la superficie réelle occupée par les habitats naturels, qui peuplent les zones de forte pente qui demeure souvent sous-évaluée. Il fallait réfléchir à une méthode, techniquement réalisable, et financièrement accessible, pour permettre le stockage et la représentation de cette information sur un support cartographique en 2,5 D, et de réfléchir à une méthodologie pour le calcul des superficies en zones de pente qui restent souvent sous-évaluées pour les gestionnaires du CEN L-R qui réservent une grande importance à la quantification surfacique de ces milieux pour la raison de la gestion et le financement des actions de protection et de préservation du peuplements et de l'habitats naturels.

Mots-clés : Cartographie en 2,5 D – Communication – Réserve Naturelle – SIG libre –

MAPPING AND SPATIAL REPRESENTATION IN 2.5 D AND CALCULATION OF AREAS IN ZONES OF SLOPE IN THE NATURAL RESERVE OF THE GORGES OF THE GARDON IN USING THE SOFTWARE (OPEN SOURCE) IN THE OCCURRENCE GRASS AND QGIS AND OTHER

ABSTRACT:

The Aerial views and cards in two dimensions of the natural reserve do not allow a satisfactory representation of the totality of this landscape, including areas of the cliffs and the areas with high slope. In the face of this problem multi facet which relates to the inadequacy of the communication and the transmission of the potentialities of the natural reserve to the general public on the one hand, and on the other hand saw the interest to assess the actual area occupied by the natural habitats, which inhabit areas of high slope which often remains under-assessed. It was necessary to reflect to a method, which is technically feasible and financially accessible, to allow for the storage and the representation of this information on a cartographic support in 2.5 D, and to reflect on a methodology for the calculation of areas into areas of slope which often remain under-evaluated for the managers of the CEN L-R which reserve a great importance to the surface quantification of these environments for the reason for the management and the funding of the actions of the protection and preservation of the stands and of the natural habitats.

Keywords: Mapping in 2.5 D - Communication - Natural Reserve - GIS Free -

INTRODUCTION

Au cours des dix dernières années, l'information géographique a accru son importance et son audience de manière considérable. elle se situe désormais au cœur des autorités décisionnelles de l'état, des collectivités et des entreprises. Le grand public lui-même s'est familiarisé avec les nouvelles avancées de ce domaine ; La représentation en 2,5 D et 3D a encore affiné et approfondi le concept, de la Géo-localisation et de la représentation des phénomènes.

Dans ce sens, ce document restitue les travaux réalisés dans le cadre de la mission qui nous a été confiée dans le cadre d'un projet professionnel en faveur du conservatoire d'espaces Naturels du Languedoc Roussillon (CEN L-R) visant d'une part la cartographie et la spatialisations des données à référence géographique dans la réserve naturelle des Gorges du Gardon France, en 2011, et d'autre part de réfléchir à une méthodologie pour le calcul des superficies en zones de pente qui restent souvent sous-évaluées pour les gestionnaires du CEN L-R qui réservent une grande importance à la quantification surfacique de ces milieux pour la raison de la gestion et le financement des actions de protection et de préservation du peuplements et de l'habitats.

1. DESCRIPTION DE LA ZONE D'ÉTUDE

La réserve naturelle régionale des gorges du Gardon est située dans le département du Gard en France. Elle couvre 491 hectares de terrains appartenant à la commune Sanihac-Sagriès et à l'association Conservatoire des Espaces Naturels du Languedoc-Roussillon.

Géographiquement la réserve est proche de trois grandes agglomérations : Uzès (6 km au nord), Nîmes (10 km au sud) et Avignon (30 km à l'est).

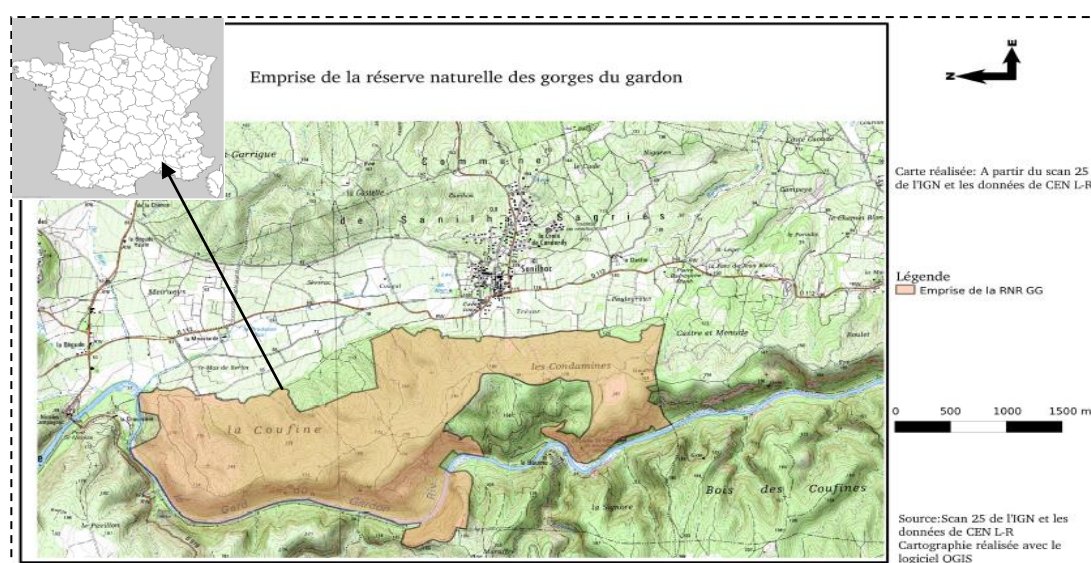


Figure 1. Localisation de la Réserve Naturelle en France

La région présente un climat méditerranéen qui se caractérise par la succession de deux périodes essentielles, la période sèche et chaude en été et l'autre humide et fraîche en hiver avec des écarts thermiques saisonniers importants et des précipitations abondantes (600 mm à Uzès). Les températures moyennes annuelles sont de l'ordre de 15°C.

La réserve RNR GG recèle des potentialités écologiques et patrimoniales importantes, en effet, la rareté de l'eau sur le plateau karstique, l'absence de route longeant le Gardon et la proximité du camp militaire des Garrigues, ont limité les aménagements et ont permis de conserver un patrimoine exceptionnel, concentré pour l'essentiel dans les gorges mêmes.

2. MATERIEL, DONNÉES ET METHODES

Comme c'est déjà évoqué en haut, les vues aériennes et les cartes en deux dimensions de la réserve naturelle ne permettent pas une représentation satisfaisante de la totalité de ce paysage, notamment les zones des falaises et les zones à forte pente. Afin de palier à ce problème, il fallait penser à une méthodologie en utilisant des logiciels open source (SIG libre) afin de réaliser une construction d'une vue verticale des falaises dans la réserve naturelle, en parallèle un travail bibliographique préalable a été réalisé qui a consisté à inventorier les études et les recherches qui ont été faites sur des problématiques identiques à la nôtre, pour que au finalement un scénario de représentation des falaises dans la RNR soit adopté et qui sera techniquement réalisable et financièrement faisable.

Ce travail a été abordé en deux grandes phases :

1. Proposer des documents cartographiques de communication sur la Réserve Naturelle des Gorges du Gardon (cartographie 2.5D de la RNR) :
2. Réaliser un travail bibliographique et méthodologique relative à la représentation des falaises et des données associées afin de pouvoir par la suite calculer les superficies des zones à très forte pente.

Pour mener à termes ce travail, un environnement des logiciels libres a été mis en place dont les principaux sont :

Le système d'exploitation linux : un système d'exploitation libre qui permet le fonctionnement de tout type d'applications.

Le logiciel GRASS : Geographic Resources Analysis Support System (GRASS)

Le logiciel Quantum GIS : est un logiciel SIG publié sous licence GPL.

PostGIS permet le traitement d'objets spatiaux dans les serveurs PostgreSQL

En ce qui concerne, les données géographiques et alphanumériques utilisées dans les traitements afin de produire une représentation en 3D de la réserve naturelle des gorges du gardon, nous avons utilisé, les données énumérées ci-dessous :

- Un MNT API d'une résolution de 20 mètres.
- Le MNT de la BD TOPO (résolution de 50 m)
- Le Scan 25, l'orthophoto de l'IGN
- Un orthophoto de la RNR GG d'une résolution de 50 cm
- un orthophoto API de la RNR GG d'une résolution de 20 cm
- les données proposées au téléchargement sur le site de l'IGN (cartes d'état major, photos

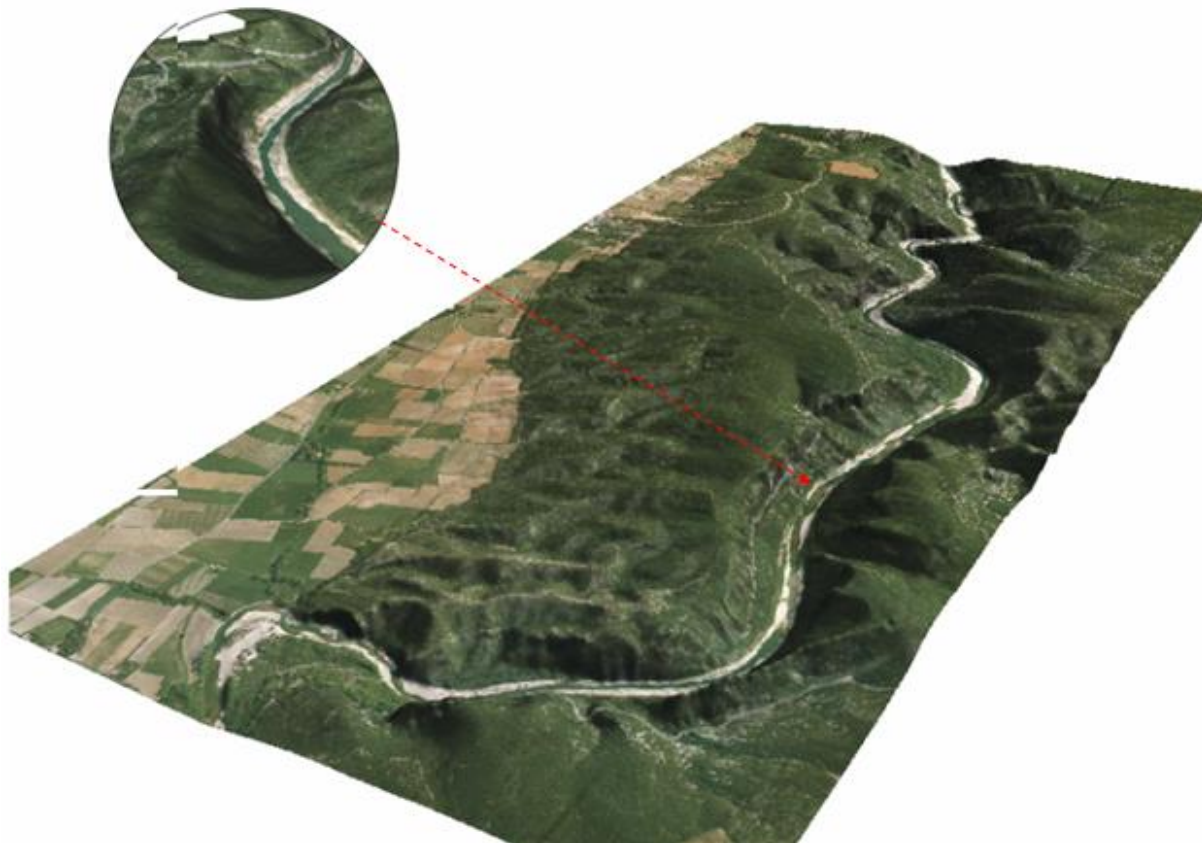
3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Pour créer la maquette en 2,5 D de la réserve naturelle des gorges du gardon, et étant donné que nous disposons la contrainte de la résolution qui reste incompatible entre une orthophoto de la réserve naturelle avec une résolution de 50 cm, et un MNT avec une résolution de 20 m. il fallait absolument dans Grass de chercher tout d'abord à unifier ladite résolution, si non, aucun travail ne peut être fait, ce la à travers la création d'une nouvelle région «new location» d'abord et de passer par plusieurs étapes enchainées et complexes, consistant à : 1) Import des données texte dans GRASS, 2) Correction du raster dans GRASS, 3) Import des données raster dans GRASS, 4) Constituer la composition colorée à travers la combinaison des couches cartographiques rouge, vert et bleu dans une couche de carte composite unique, 5) Ré-échantillonnage du raster dans GRASS

Après une longue opération de traitement de données raster et vecteur dans le logiciel Grass. Nous avons obtenu les résultats suivants :

- Un MNT avec des petites mailles de 0,5m/0,5m
- La composition colorée de l'orthophoto de la RNR

- la vue 3D de la réserve naturelle des gorges du gardon



En concomitant avec la réalisation de la vue en 2,5 D, un travail de recherche a été effectué afin de construire une vue verticale des falaises dans la réserve naturelle, dans le but de calculer les superficies des zones en pente, un travail bibliographique préalable a été demandé par le CEN L-R, ce travail consiste à inventorier les études et les recherches qui ont été faites sur des problématiques identiques à la nôtre. Nous verrons par la suite que le coût de ces études est généralement très élevé. Au final, t un scénario de représentation des falaises dans la RNR a été proposé en décrivant toutes les pistes possibles pour le réaliser et l'adapter. Comme premier résultat de ce travail, nous avons pu réaliser la différence des écarts en % de la superficie calculée entre la cartographie 2D et 3D.

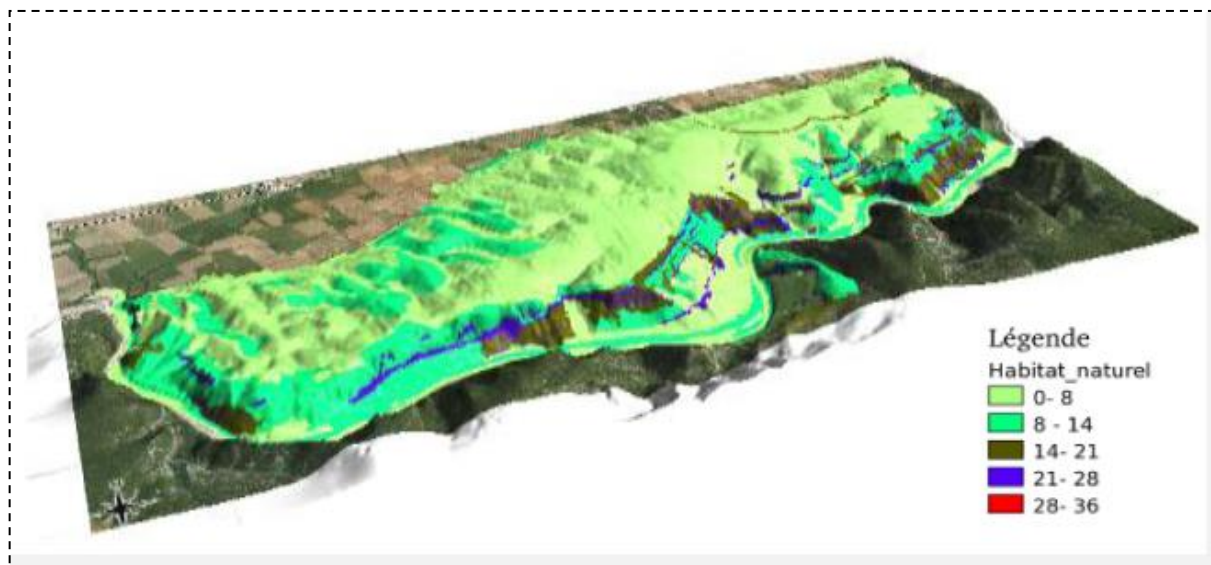


Figure 4 : Ecart en % entre la superficie calculée des habitats naturels en 2D et 3D

Les documents cartographiques élaborés en 2,5 D ont un rôle important et un intérêt remarquable, ils permettent, à la fois une meilleure appropriation de l'information par les usagers du site, comme ils permettent aussi une représentation des espaces de falaises et de mieux mesurer les surface des habitats naturels en zone de pente.

Quand au calcul de la superficie en 3D reste nouveau dans le domaine du SIG surtout le SIG libre, GRASS résoudre le calcul de surface à partir du TIN mais nous n'avons pas pu obtenir le résultat ; PostGIS : permet actuellement le stockage de données en 3D mais les fonctions de calcul de surface en 3D n'existent pas. Pourrait être à terme la solution à privilégier

Il faut signaler que le coût apparent difficile à justifier, l'opération de la représentation des zones de falaises qui dépend encore d'un budget notable.

CONCLUSION

Au terme de ce travail, nous signalons que la représentation en 3D dans les logiciels libres est aujourd'hui possible, et ouvre un champ de développement assez remarquable, quant au calcul des superficies en zone de pente est très récent dans ce domaine, on a eu seulement des résultats qui se rapproche plus à l'écart entre le calcul entre 2D et 3D, mais à signaler que il y a des pistes dans le libre à creuser et à développer.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BANASZAK.Olivier et Mathieu KOEHL. SIG et 3D au service des collectivités territoriales : l'expérience de la Ville du Havre.Revue XYZ • N° 114.2008
- BORNAZ.LEANDRO, Surveillance de falaise par Surveillance méthode laserscan laserscan.Département de geossorce et territoires Torino.2004
- DURAND.Hélène, Atelier SIG-LR Paysage et informatique Introduction à la représentatio numérique des paysages.institution Alise.2003
- Halm.D et Amiri.O, Méthodologie d'étude des falaises calcaires de la CAP.ENSMA et Université de la Rochelle
- LANGOU.Bénédicte, La Gestion des Chemins dans les Systèmes d'Information Géographique. UNIVERSITE PARIS 6.1998

- LOTT. Camille, De la maquette 3D au SIG 3D pour la gestion du patrimoine archéologique. INSA de Strasbourg. 2008
- Monchicourt. Camille, La diffusion des données localisées au Parc national des Ecrins. Université Toulouse Le Mirail. 2008
- Mortie. Séverine, Interpolation et représentation 3D de données météorologiques en milieu urbain. EFLUM / ENAC / EPFL. 2007
- PERDRIZET. Franck, CHAÎNE DE PRODUCTION D'UNE MAQUETTE NUMERIQUE 3D TEXTUREE EXPLOITABLE AU 1/500EME DE BATIMENTS EN SITE URBAIN, VILLE de Montpellier Direction Energie Moyens Techniques, SERVICE Information Géographique
- PERDRIZET. Franck, Montpellier en perspectives. Ville de Montpellier Direction Energie Moyens Techniques, Service Information Géographique. 2009
- RAT. Pierre Les falaises, éboulis et grottes en BOURGOGNE: ou et comment?, UNIVERSITE de Bourgogne. 2006
- STRAUCH. Georges-Antoine, Semiologie graphique, E. Artique. 2007
- THON. Sébastien, SIG 3D Exemple : un SIG 3D du Pays d'Arles pour la lutte contre les feux de forêt. LSIS, UMR CNRS 6168 Laboratoire des Sciences de l'Information et des Systèmes. 2008

Le SIG institutionnel pour la gestion du Domaine Public Hydraulique dans le champ d'action de l'Agence du Bassin Hydraulique du Loukkos –Maroc-

Ikram BOUTIRAME, Ahmed BOUKDIR, Hassan IKHMERDI, Lahcen ALILI et Elhacen BENSAID
Université Sultan Moulay Slimane, Laboratoire de Génie industrielle, PB 523, Béni Mellal, 23 000
Maroc. ikrame.geol@gmail.com

RESUME : Les systèmes d'Information Géographique (SIG) se positionnent aujourd'hui comme puissant outil d'aide à la décision. L'intégration de la dimension spatiale, grâce aux SIG, permet désormais de localiser l'information et d'organiser les données d'une façon plus conviviale. Au Maroc, le SIG n'a pas encore réellement trouvé sa place en tant qu'outil d'aide à la décision, l'utilisation du SIG répond le plus souvent à des besoins opérationnels et quotidiens (cartographie thématique, analyse...) visant la gestion des projets pluridisciplinaires de petite et moyenne taille.

La présente étude vise à démontrer l'apport d'un SIG institutionnel en tant qu'un outil d'aide à la décision pour la gestion intégrée des ressources en eau et plus précisément le Domaine Public Hydraulique (DPH). A travers l'application **GestionDPH**, on expose d'une façon détaillée les étapes pour la mise en place d'un SIG institutionnel fiable, assurant le traitement des demandes d'autorisation d'utilisation du DPH (creusement des puits et forage, prélèvement d'eau à usage agricole...). L'application GestionDPH vise à centraliser l'ensemble des demandes d'utilisation du DPH dans un seul système créé à la base de l'exploitation de deux logiciels (ArcGIS et Microsoft Access) et des outils de programmation (Visual Basic) permettant de traiter ces demandes tout en intégrant leur composante géographique relative à la localisation géographique et indiquant ainsi à son utilisateur la démarche administrative à prévoir.

Mots-clés : SIG, DPH, ABHL, ArcGIS, composante géographique, démarche administrative.

The SIG institutional for the management of the Hydraulic Public Domain in the field of action of the Agency of the Hydraulic Basin of the Loukkos -Morocco-

ABSTRACT: Geographic Information Systems (GIS) are positioned today as a powerful tool to aid in the decision. The integration of the spatial dimension, through GIS, now allows to locate the information and to organize the data in a more user-friendly. In Morocco, the SIG has not yet really found its place as a tool to aid in the decision, the use of GIS responds most often to the operational needs and daily newspapers (thematic mapping, analysis...) for the management of multidisciplinary projects of small and medium size.

The present study aims to demonstrate the contribution of a GIS institutional as a tool to aid in the decision for the integrated management of water resources and more specifically the Hydraulic Public Domain (HPD). Through the application **GestionDPH**, outlines in detail the steps for the establishment of a GIS reliable institutional, ensuring the treatment of requests for permission to use the DPH (digging of wells and drilling, levy of water for agricultural use...). The application GestionDPH seeks to centralize all of the applications for the use of the DPH in a single system creates the basis for the operation of two software (ArcGIS and Microsoft Access) and programming tools (Visual Basic) to handle these applications while integrating their geographical component relating to the geographical location and indicating to the user the administrative process to predict.

Key words: SIG, HPD, ABHL, ArcGIS, geographical component, administrative process.

INTRODUCTION

En plus de son rôle vital, L'eau est une ressource qui conditionne le devenir des nations, c'est aussi un élément qui garantit l'équilibre socioéconomique et écologique des pays, le Maroc jouit certes de ressources hydrauliques assez importantes, mais les mutations démographiques et l'augmentation des utilisations conjugués à des conditions climatiques de plus en plus sévères fait que cette ressource naturelle se trouve de plus en plus dans des difficultés de répondre à ces nouvelles exigences, en effet, le Maroc vit actuellement une période de transition caractérisée par le lancement de plusieurs chantiers et de différents plans sectoriels : urbanisations, industrialisations et introduction de l'irrigation à grande échelle, sont, entre autres, des chantiers ambitieux qui mettent à rude épreuve la gestion du domaine hydraulique du pays.

Gérer Le domaine public hydraulique est une mission clé des agences des bassins hydrauliques (ABH) du Maroc, cette mission nécessite la mobilisation des ressources humaines et matérielles dont le bon pilotage permettrait de faciliter la prise de décision, étant donné que la mission est un complexe de tâches effectuées par plusieurs collaborateurs, à savoir le travail sur le terrain, la localisation des demandes par rapport aux zones décrites dans la loi et le traitement administratif qui en découle, un système qui intègre toutes ces tâches s'avère une nécessité, le présent travail a pour objectif de proposer un modèle d'un système de gestion informatisé, et ce à travers la création et l'exploitation d'une base de données traitée sur un système d'information géographique (SIG).

1. Description de la zone d'étude

Le bassin Hydraulique du Loukkos désigne l'ensemble des bassins versants côtiers atlantiques et méditerranéens dont les embouchures sont situées entre la merja Zekra et l'oued Nekor. Il s'agit d'un espace géographique assez homogène de point de vue hydrologique, économique et social.

La zone d'action de l'Agence du Bassin Hydraulique du Loukkos désigne l'ensemble des bassins côtiers limités au Nord par la mer Méditerranée, à l'Ouest par l'Océan Atlantique, au Sud par le bassin de Sebou et à l'Est par le bassin de la Moulouya. La zone d'action s'étend sur 15 000 km² et couvre entièrement les Willayas de Tétouan, Tanger, Al Hoceima et les provinces de Larache et Chefchaouen et partiellement les Willayas et provinces de Kenitra, Sidi Kacem, Nador et Taza.

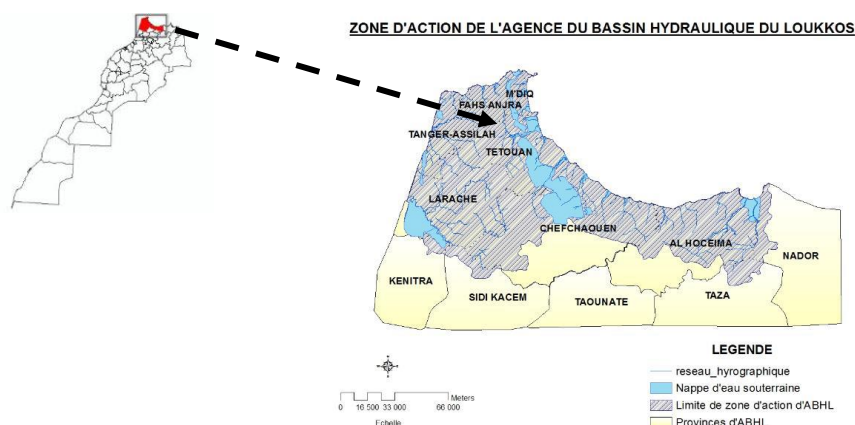


Figure 1. Zone d'action de l'Agence du Bassin Hydraulique du Loukkos.

Par sa situation au Nord du Maroc et sa proximité du continent européen, le bassin hydraulique occupe une place stratégique et possède tous les atouts pour jouer un rôle

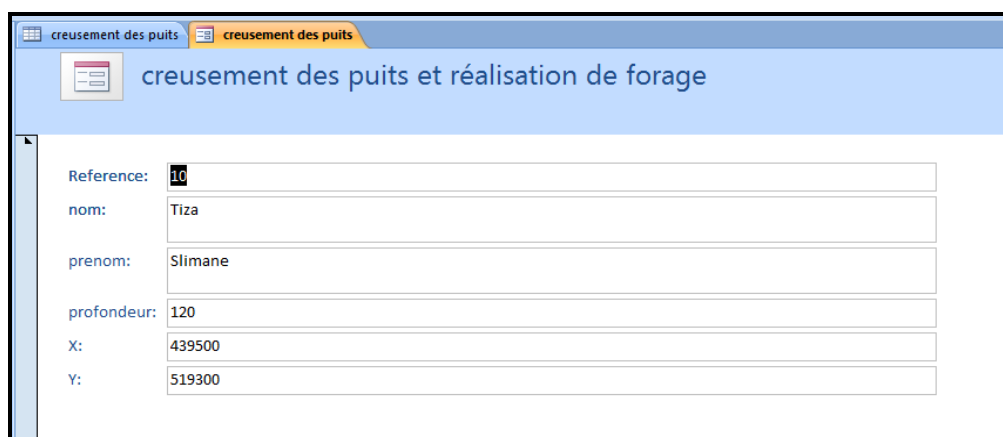
important dans le développement socio-économique du Royaume (zone franche, ports, tourisme...)

De par sa situation à l'extrême Nord et Nord-Ouest du Pays, le bassin est relativement arrosé. Le climat est de type méditerranéen à influence océanique. La pluviométrie moyenne interannuelle est de 767 mm et varie entre 1.800 mm dans les hauts reliefs et 380 mm dans la région d'Al Hoceima à cause d'un effet d'aridité accentué vers l'Est. Il neige au-dessus de 1.000 m d'altitude. L'évaporation varie entre 1.200 mm et 1.900 mm /an.

Malgré que la géologie du bassin hydraulique est caractérisée par la prédominance de faciès imperméables ou peu perméables qui ne permettent pas la formation d'aquifères importants, les eaux souterraines y sont contenues dans un ensemble d'aquifères à nappes libres composés essentiellement de formations sableuses et gréseuses. Les principales nappes qui siègent dans ces formations sont la nappe de Rmel, la nappe du Dradère– Souiere, la nappe d'Oulad Ogbane et la nappe alluviale de l'oued Loukkos.

2. MATERIEL ET METHODES

L'élaboration de ce système s'est déroulé en deux grandes étapes : la première est de créer une base de données sur Access permettant la saisie des données administratives à savoir la localisation du site de creusement de puits ou de forage (coordonnées X, Y), la profondeur demandée et les informations sur l'intéressé par la demande.



Label	Value
Reference:	10
nom:	Tiza
prenom:	Slimane
profondeur:	120
X:	439500
Y:	519300

Figure 1 : Création de la base de données sous Access

La deuxième partie consiste en la création d'une base de données géographique au niveau d'ArcGIS qui va permettre d'attribuer les coordonnées géographiques à l'emplacement choisi par l'intéressé pour réaliser le creusement.

Le processus de prise de décision au niveau du traitement des demandes d'autorisation repose sur la localisation du site de creusement ou de prélèvement, en effet la loi a fixé des seuils concernant la profondeur des puits et des forages ainsi, ces seuils varient selon l'emplacement du site. Une bonne application des dispositions légales nécessite donc une opération de localisation. Les coordonnées sont saisies dans les formulaires au niveau d'Access, pour localiser géographiquement la demande, à ce niveau, une connexion OLE DB entre Access et ArcGIS est nécessaire.

Pour optimiser l'exploitation des deux bases de données (Access et ArcGis) qui forment notre système, on a créé un modèle (ModelBuilder) permettant d'automatiser les processus de géotraitement de manière simple et conviviale.

Dans le cadre de la présente étude, les ModelBuilder créés permettent d'automatiser les tâches de géotraitement effectuées à savoir :

- L'importation des données saisies depuis Access vers ArcGis,
- La localisation des données via la jointure spatiale,
- L'intégration de la procédure administrative.

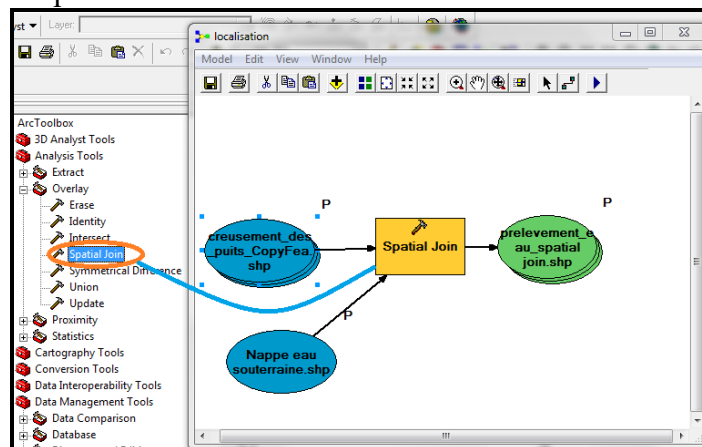


Figure 2 : Modèle du processus de localisation des demandes d'autorisation.

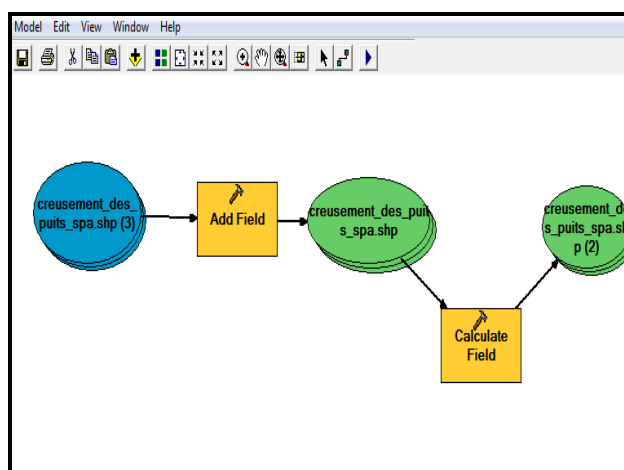


Figure 3 : Modèle du processus de l'intégration de la procédure administrative

3. RESULTATS ET DISCUSSION

Le résultat final est une interface interactive et simple à utiliser par les agents concernés qui leur permet d'optimiser le traitement géographique et administratif des demandes. En effet l'outil Access permet de saisir les données à travers les formulaires, ainsi que la création d'une interface pour simplifier son utilisation par l'agent administratif, le traitement des demandes s'effectue par le biais de la connexion établie avec ArcGIS et donc permet de les localiser, le ModelBuilder et la barre d'outil crée facilitent le traitement au niveau d'ArcGIS et offre plus d'interaction et guide la manipulation.



Figure 4 : interface d'accueil proposée.

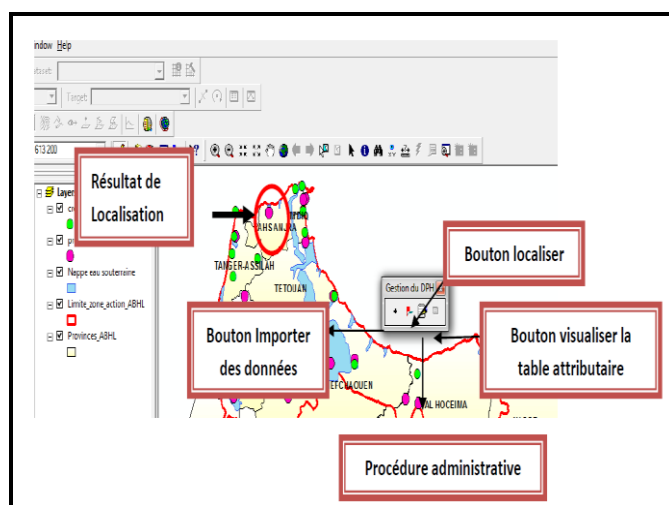


Figure 5 : Application GestionDPH

CONCLUSION

Le système automatisé de gestion du DPH à la base de l'exploitation de deux logiciels (Access et ArcGIS) et des outils de programmation, permet de répondre d'une manière satisfaisante aux besoins exprimés par l'Agence du bassin hydraulique du Loukkos en matière de la gestion du DPH.

En effet, les responsabilités de l'agence ne se limitent pas seulement aux demandes d'autorisation de creusement, le besoin d'un système intégré gérant toutes ses fonctions est donc nécessaire pour optimiser la gestion du DPH qui affronte désormais au Maroc des défis que notre pays doit relever pour assurer son développement et son équilibre.

Références bibliographiques

Arrêté du Ministre et de l'Equipement n° 1551.02 du 17 Octobre 2002, modifié par l'arrêté du Secrétariat d'Etat auprès du Ministère de l'Energie des Mines, de l'eau et de l'Environnement n°2249.08 du 1 Décembre 2008.

Loi 10/95 sur l'eau

Mission n°3 : Elaboration des outils de mise en œuvre des procédures d'octroi d'autorisation et de concession du DPH, de leur suivi et de leur contrôle.

LA MISE EN PLACE D'UNE SOLUTION SIG WEB-MAPPING POUR VALORISER LE GEOPATRIMOINE ET PROMOUVOIR LE GEOTOURISME EN HAUT ATLAS CENTRAL (MAROC): CAS DES COMMUNES D'AIT TAGUELLA ET DE MOULAY AISSA BEN DRISS

Halima KHAROUCH (1), Leila EL HADDAR (1), Yahia EL KHALKI (1), Hanane REDDAD(1) & Abdelghani BOUDHAR(2)

(1)Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Laboratoire " Dynamique des Paysages, Risques et Patrimoine (DPRP)" Béni Mellal, Maroc.

(2)Faculté des Sciences et Techniques, Département de Géologie, Béni Mellal, Maroc.

Email: halima.kharouach@gmail.com, leila201091@gmail.com

RÉSUMÉ: La situation de la zone d'étude présente une diversité de paysages impressionnante, ajoutée à un patrimoine naturel très riche. En plus, le tourisme représente une source de revenus non négligeable pour les populations locales. Donc il est nécessaire de valoriser le géopatrimoine et promouvoir le géotourisme dans cette région, Cela bien sûr, nous a poussés à chercher une nouvelle technique afin de mettre en valeur et de contribuer à la découverte des richesses naturelles des deux communes étudiées (Ait Taguella et Moulay Aissa Ben Driss). Il s'agit ici d'utiliser la technologie géo-spatiale et plus précisément mettre en place une application Web Mapping qui permet de mettre à la disposition du grand public et aux gestionnaires des patrimoines toute information concernant le géopatrimoine et de pouvoir y accéder après leurs identification et description

Mots-clés : WebMapping, géo-tourisme, géopatrimoine, Ait Taguella et Moulay Aissa Ben Driss

THE ESTABLISHMENT OF A SOLUTION GIS WEB MAPPING TO ENHANCE THE GEOHERITAGE AND PROMOTE UP GEOTOURISM, CENTRAL HIGH ATLAS (MOROCCO): CASE OF COMMONS: AIT TAGUELLA AND MOULAY AISSABENDRISS

ABSTRACT: The study area is endowed with a remarkable variety of landscapes, combined with a rich natural heritage. In addition, tourism in this particular region is considered an important source of income for local population. Therefore, developing and promoting both geotourism and geoheritage is of crucial importance to the region and to the welfare of its community. To cater for this need, new techniques were developed contributing to the discovery and valorization of the richness of nature in the two studied areas (Ait Taguella and Moulay Aissa Ben Driss). Geo-spatial technology and a Web Mapping application were used with the aim of providing valuable geoheritage information to the general public and managers.

Keywords: Web Mapping, Geotourism, geoheritage, Ait Taguella and Moulay Aissa Ben Driss

INTRODUCTION

Les SIG sont devenus incontournables dans le contexte actuel avec l'évolution de la technologie. Ils permettent la gestion, la représentation des données en 2D et 3D et le partage des informations géographiques entre plusieurs utilisateurs. La présente étude s'inscrit dans ce contexte, autrement, cette étude permet la mise en place d'une solution SIG Web Mapping pour valoriser le géopatrimoine et promouvoir le géotourisme dans les deux communes rurales d'Ait Taguella et de Moulay Aissa Ben Driss.

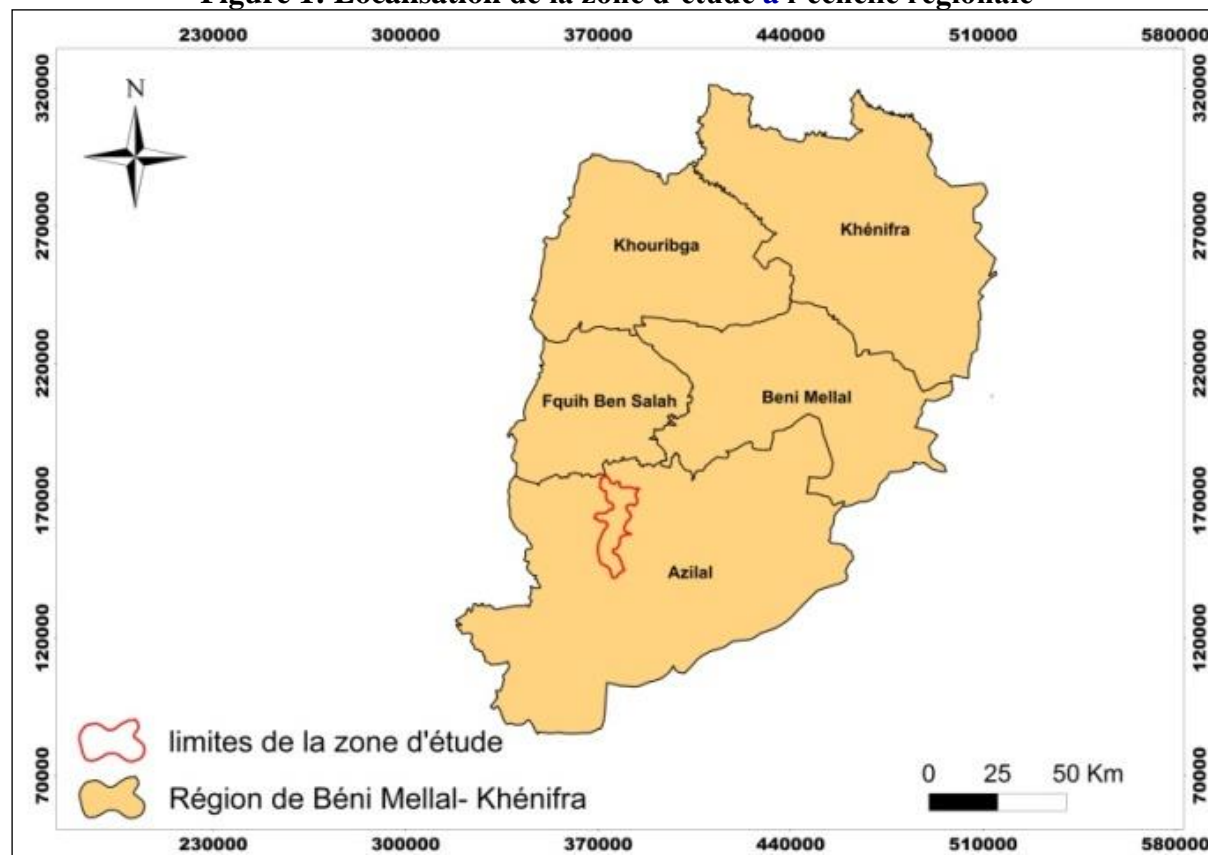
La zone d'étude se caractérise par un patrimoine géologique et géomorphologique très distingué, qui se manifeste dans les paysages géomorphologiques originaux. Aussi, on peut dire qu'elle est parmi les régions montagnardes les plus favorables pour le tourisme.

L'objectif de cette étude consiste à intégrer de nouvelles fonctionnalités de Web Mapping dans un projet pour la valorisation des informations relatives aux géopatrimoine de notre zone d'étude et la promotion de géotourisme qui présente une forme de tourisme qui se veut durable et qui doit donc promouvoir le développement économique des régions concernées tout en préservant au maximum l'environnement naturel (*Pralong, 2006*).

1. DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE

Notre zone d'étude se répartie sur les deux communes rurales : Ait Taguella et Moulay Aissa Ben Driss, qui font partie de la province d'Azilal, appartenant à la région de Béni Mellal-Khénifra. La répartition des altitudes dans la zone d'étude variée entre 500 à 1500 m.

Figure 1: Localisation de la zone d'étude à l'échelle régionale



La région présente un climat semi-aride, sec et chaud en été et humide en hiver. Avec des précipitations annuelles moyennes qui sont de l'ordre de 41,05 mm, et des températures atteignent une valeur moyenne de l'ordre 23°.

La position géographique de la région d'étude dans le Haut Atlas Central a permis l'existence d'un réseau hydrographique très dense (Oued d'Ouzoud, Oued El Abid, Oued Tissakht). « Les traits de la topographie ont toujours une origine » (*Burri, 1998*). En effet, la géologie très particulière de cette région permet de faciliter dans certains cas la compréhension de la morphogénèse des formes géomorphologiques qui constituent le géo-patrimoine de la zone d'étude. De point de vue géologique, le terrain d'étude est constitué des formations géologiques du Trias jusqu'au Quaternaire,

Le paysage géomorphologique est marqué par une alternance de reliefs et de vallées avec une diversité des formes naturels karstiques, fluviales, gravitaires, voire anthropiques.

Le tourisme est la première activité économique de la zone d'étude qui offre une grande variété de culture, de gastronomie, de traditions et de patrimoine. Une spéculation de la population bénéficie directement de cette ressource à travers des activités telles que la restauration, l'hôtellerie et la vente d'objets artisanaux. Mais le nombre de personnes vivant du tourisme et des activités qu'il induit comme guides, approvisionneurs de campements, petites boutique, etc., est en réalité bien plus élevé et a été estimé à environ 450 personnes (Marie Lopoukhine, 2005).

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

La présente étude consistait à créer une application Webmapping pour valoriser le géopatrimoine et promouvoir le géotourisme dans la zone d'étude. Afin de délimiter notre projet nous avons utilisé trois composantes d'un pur produit de la société américaine ESRI. Il s'agit de logiciel ArcGis Desktop 10.2.2, ArcGIS for Server 10.2.2 et ArcGIS Viewer for Flex 10.2.2.

Dans un premier temps, le traitement des données concernant les coordonnées de chaque site inventorié, le code d'identification, le type de processus..., a été réalisé avec le logiciel ArcGis Desktop 10.2.2 qui constitue deux puissantes plateformes, la gestion et l'administration des données se font par ArcCatalog alors que la réalisation des cartes et des outils de géo-traitement, le traitement des données existantes ainsi que l'interaction avec les attributs de la base de données se réalisent sur ArcMap formes centrales de traitement de données à référence spatiale (création des shapefiles qui représentent les sites géomorphologique et géologique de l'aire d'étude).

Ensuite, ArcGIS 10.2.2 for Server nécessite une machine capable d'exécuter un système d'exploitation 64 bits. Dans cette étape ArcGIS for Server propose des services pour toutes les tâches SIG, y compris la cartographie, le géocodage, le géotraitement, etc. Il permet d'accéder à une grande variété d'options de sécurité, de connexion et de réglage.

Finalement, ArcGIS Viewer for Flex est une application Web configurable intégrée à l'API ArcGIS for Flex. Elle nous permet de créer des applications cartographiques Web SIG sans programmation. Cette étape permet de spécifier le contenu de la carte, les widgets, l'aspect de l'application. Une fois paramétrée, l'application est automatiquement hébergée sur serveur web choisi.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

L'application développée, propose toutes les fonctionnalités essentielles de SIG. C'est également une solution très légère à installer, avec une architecture simple. Elle ne nécessite pas de

programmation et donne de très nombreux services avantageux permettant une multitude manière d'amélioration du contenu. On cite ci-dessous quelques fonctionnalités de cette application :

- **Localisateur** : permet de localiser une adresse sur la carte



- **Légende** : Une légende donne le sens des symboles utilisés pour représenter les caractéristiques sur la carte à un lecteur.



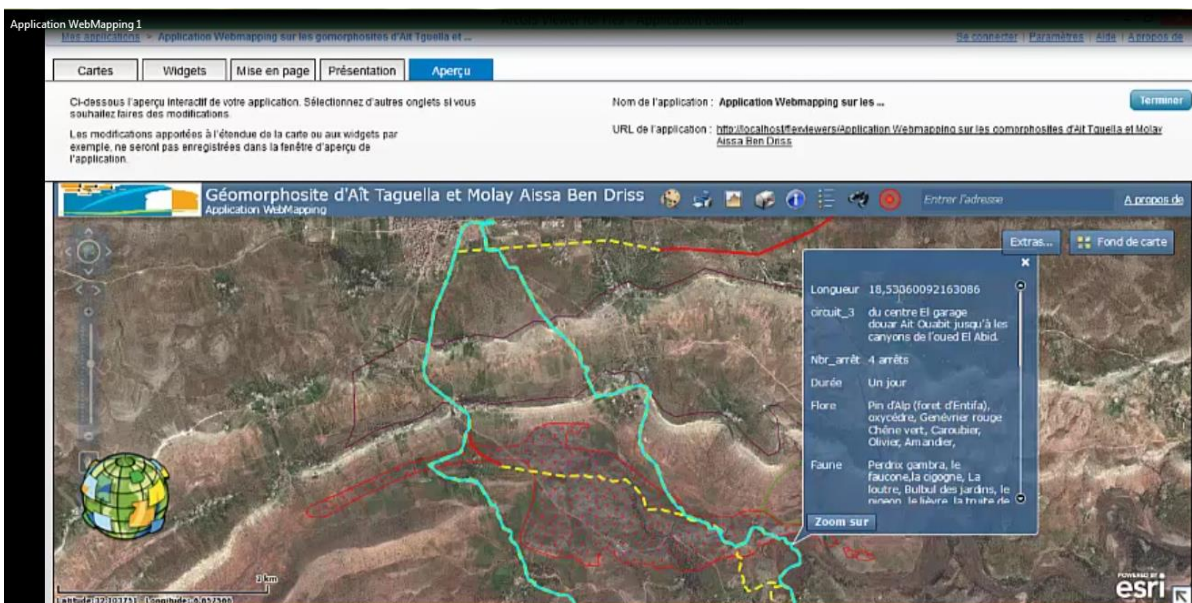
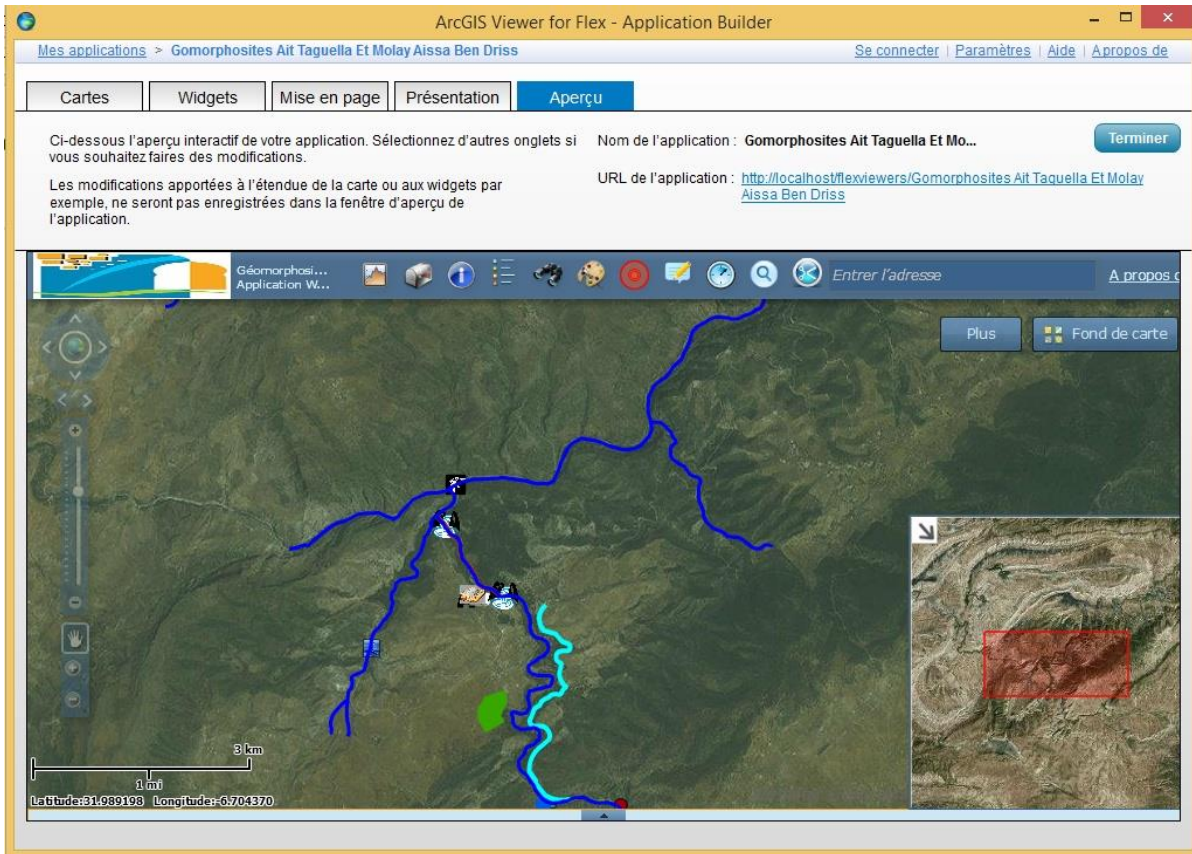
- **Header Controller widget** : Ce widget définit la partie supérieure de l'interface utilisateur de l'application de l'Observateur



- **Modifier** : permet d'effectuer des modifications/créations/suppressions de données.
- **Imprimer** : permet l'impression d'une carte
- **Extraction de données** : permet d'extraire des données pour une utilisation en local
- **Géotraitement** : permet d'effectuer un géotraitement sur les données d'un Webservice
- **Requête** : permet de rechercher des informations à partir d'un service de carte en exécution d'une requête prédéfinie.

3^{ème} Edition du Colloque International des utilisateurs du SIG. The 3rd International conference of GIS User. Oujda 22-23 Novembre 2016.

Dans un monde où L'internet est omniprésent, la création et la structuration des points d'accès à des informations utiles, quelle que soit la source, sous une forme compréhensible et parfaitement assimilable, va forcément devenir importante pour le développement d'une destination touristique. Donc, l'application Web Mapping est un model de valorisation géotouristique de patrimoine naturel de la zone d'étude.



CONCLUSION

Le patrimoine géologique et géomorphologie est une richesse qu'elle faut le conserver et le protéger contre toute dégradation. La mise en valeur de ce patrimoine nécessite l'adaptation des solutions convenables. A ce propos, notre travail s'appuie sur la mise en place d'une solution SIG application Web Mapping concernant la valorisation de géopatrimoine et la promotion de géotourisme afin d'utiliser les sites naturels d'intérêt pour les sciences de la Terre et le développement touristique dans un contexte géologique et géomorphologique.

En raison de sa richesse et sa diversité géologique et géomorphologique la zone d'étude offre un terrain privilégié pour la mise en valeur des Sciences de la Terre. De notre point de vue, une combinaison de géopatrimoine, géotourisme et fonctionnalités de SIG est une offre intéressante en terme de valeur ajoutée pour l'ensemble de notre projet.

Références bibliographiques

- BLOMAC (1994) : « *ARC/INFO- Concept et applications en géomatique* ».
- GRAY, M.GORDON, J. E. & BROWN, E. J, (2013): « *Geodiversity and the ecosysteme approach: the contribution of geoscience in delivering integrated environnemntal management. Proceeding of the Geologists' Association* » 124 (2013), p 659-673.
- IOSIF. D, (2013), « *une proposition de circuit géotouristique avec un guide des gorges du DANUBE en ROMANIE* », *Faculté de géographie, université de BOCARIST, Numéro 7, Pp 116 – 121.*
- JEAN-PIERRE PRALONG (2006): « *Géotourisme et utilisation de sites naturels d'intérêt pour les sciences de la Terre: « Les régions de Crans-Montana-Sierre (Valais, Alpes suisses) et Chamonix-Mont-Blanc (Haute-Savoie, Alpes françaises).*
- MAGUIRE (1991) « *An overview and definition of GIS* » page 19.
- OULD AHMED, D. NOUEDOU, A. DJIBO AMADOU, G. NGANGUE TCHANGOUE, F. DIALLO (2005) : « *Etat de l'art sur la conception et la mise en oeuvre d'un SIG* » page 73-78.
- PIERRE THOMAS (2002) : « *Reliefs karstiques* » ENS Lyon - Laboratoire des Sciences de la Terre, page 1-4.
- PERRET AMANDINE (2008) : « *Inventaire de géomorphosites du Parc jurassien vaudois, Essai d'intégration des geotopes spéléologiques et valorisation géomorphologique des réserves naturelles* » Université de Lausanne, faculté de géosciences et de l'environnement » page 17.
- QUENTIN LAURY, JESSY UFR SAYSANASY (2011-2012): « *Sciences et Techniques Licence professionnelle Systèmes informatiques et logiciels spécialité conception et développement orientés objet d'applications multi-tiers* »

APPORT DE LA TECHNOLOGIE OPEN SOURCE (BIG-DATA ET SIG) À LA GESTION DE LA QUALITÉ DE SERVICE DES RÉSEAUX TELECOMS.

Otmane YAZIDI ALAOUI, Salaheddine HAMDOUNE, Hassan ZILI

1. Laboratoire d'Informatique, Systèmes et Télécommunications, FST-Tanger
yazidiotmane@gmail.com.

RESUME:

Dans un contexte multidimensionnel, les principales perspectives d'analyse sont le temps et l'espace, ce travail propose un prototype géo-décisionnel s'appuyant sur des outils open source.

Ce prototype permet de gouverner, de gérer dans le temps le trafic radio électrique transitant par les antennes émettrices-réceptrices du réseau d'accès de la téléphonie mobile; et, de prévoir l'extension de ce réseau en tenant compte des plans d'aménagement du territoire.

L'architecture de ce prototype repose sur 2 piliers:

1) un entrepôt de données spatiales (EDS) organisé en prévision d'une analyse multidimensionnelle;

2) un outil SOLAP. Cet outil conjuguant lui-même les capacités d'analyse et de représentation géographique des SIG aux capacités d'analyse statistique et de navigation dans un cube multidimensionnel des OLAP.

Mots clé : SIG, BI, OLAP, SOLAP, Spatial, Datawarehouse, DataMart, Open Source.

TECHNOLOGY OPEN SOURCE (BIG-DATA AND GIS) FOR THE MANAGEMENT OF THE QUALITY OF SERVICE OF TELECOM NETWORKS.

ABSTRACT

In the context multidimensional, the main opportunities of analysis are time and space.

This Work offers a prototype business intelligence based in open source tools

This prototype allows us to govern and manage in real time the radio traffic transmitting of network telecom, and provide the extension of network in taking into the account, territory management of plans

The architecture of this prototype is based on two pillars:

1) Data warehouse organized in anticipation of spatial analysis multidimensional.

2) SOLAP: this tool combines between two abilities: the ability analysis of geographic representation of GIS and the ability of statistical analysis and navigation in a multidimensional cube OLAP .

Key Word : SIG, BI, OLAP, SOLAP, Spatial, Datawarehouse, DataMart, Open Source.

INTRODUCTION

Les Techniques de l'information et Communication (TIC) sont de plus en plus utilisées, non comme de simples supports de communication ou d'outils améliorant les conditions de travail ou plus généralement la vie quotidienne; mais comme de réels facteurs de développement et de promotion d'un territoire, d'enrichissement de la qualité des systèmes éducatifs et du développement économique et social des pays. Dans cette perspective, le Maroc en tant que pays en voie de développement a lancé un projet courageux dans cette direction « Maroc numérique 2020 »

Depuis le début des années 1970, l'informatique propose aux entreprises et aux chercheurs plusieurs types d'applications favorisant l'aide à la décision. Parmi celle-ci nous avons distingué 3

groupes de technologie : 1 — Les Systèmes d'Information Géographique (SIG) conçus pour recueillir, stocker, traiter, analyser, gérer et représenter sur des cartes, tous les types de données ayant trait à l'infrastructure spatiale. 2— Les OLAP (en anglais Online Analytical Processing, « OLAP ») qui permettent l'analyse en ligne des données en produisant des rapports de synthèse qui offrent une vue transversale de l'activité de l'entreprise. 3— Les SOLAP qui résultent du couplage des fonctions propres aux deux outils précédents (« Data Warehouse Definition - What Is a Data Warehouse » 2014).

STRUCTURE D'UN RESEAU TELECOM

La gestion courante et l'entretien du patrimoine mobilier relatif au réseau d'accès (Figure 1), peuvent être réalisés avec les méthodes et les outils de la géomatique par contre, les décisions à moyen et long terme relatives au déploiement territorial du réseau d'accès relèvent des méthodes et des outils de l'informatique décisionnelle ou business intelligence (BI) et plus précisément des méthodes et outils de l'informatique géo-décisionnelle.



Figure 1 Schéma générique d'un réseau de téléphonie mobile (Source : (« EVOLUTION_MOBILE_EFORT.pdf » 2016, 1)

SYSTEME D'AIDE À LA DÉCISION

Le processus d'aide à la décision (Figure 2) est constitué par des outils, qui permettent la sélection, le stockage et l'analyse des informations pertinentes pour l'entreprise.

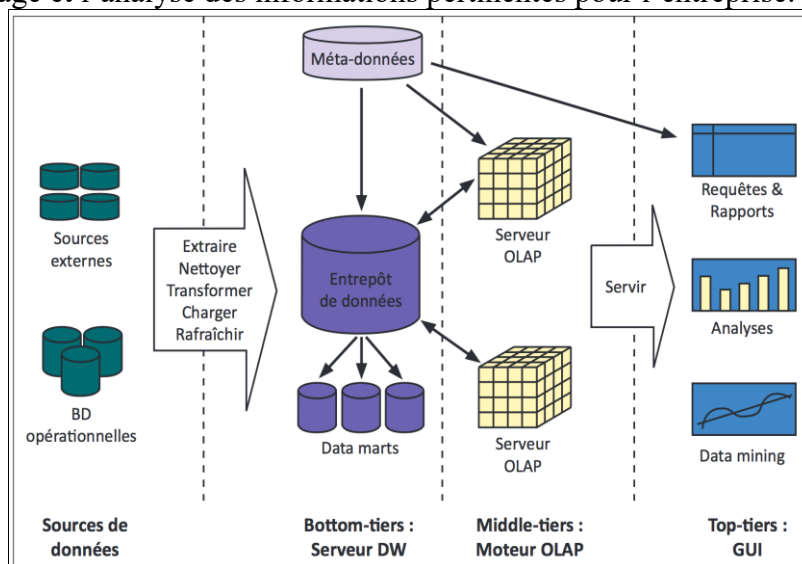


Figure 2: ensemble des éléments constituant un système décisionnel {Source : ((ADULLACT 2015))}

OUTILS ET MÉTHODES

Afin de pouvoir développer notre Prototype « GouvRes », nous avons utilisé les outils et les plateformes suivants :

- ✓ **QTcreator** : Cet outil est nécessaire afin d'accéder au code source de QGIS. C'est une bibliothèque multiplateforme permettant de créer des GUI (programme employant des fenêtres).

- ✓ **Cubes** :Cubes est une architecture Python légère. Il se présente comme un ensemble d’outils pour le traitement analytique en ligne (OLAP), l’analyse multidimensionnelle et la navigation de données agrégées.
- ✓ **SQLAlchemy**:C’est une bibliothèque de Mapping Objet-Relationnel (ORM) qui permet aux développeurs d’applications de disposer de la puissance et de la flexibilité de SQL. Elle fournit une gamme complète de modèles, autorisant un accès efficace et performant aux bases de données.
- ✓ **Matplotlib**:C’est une bibliothèque de traçage 2D/3D qui produit des graphes de qualité pouvant être exploité dans des scripts Python. À la faveur d’une interface orientée objet et à travers un ensemble de fonctions familières aux utilisateurs MATLAB.

MODÈLE DE L’ENTREPÔT DE DONNÉE PROPOSÉ

L’EDS constitue le cœur du système décisionnel incluant des caractéristiques géométriques. Mais ainsi que le souligne, il ne suffit pas de posséder le modèle de données parfait ou la meilleure technologie, il s’agit d’ordonner les multiples facettes du projet de EDS en faisant en sorte que ses éléments soient placés dans le bon ordre au bon moment.

Ce modèle (Figure 3) est conçu sur une conception orientée objet, basée sur le langage UML. Le but est d’exploiter les représentations cartographiques de manière interactive, de telle sorte que les informations topographiques qui sont habituellement mises en exergues par les SIG soient complétées par des informations géométriques et des mesures qui s’afficheront sur les cartes. Pour ce faire, le modèle proposé prend en charge les données spatiales à travers la dimension Planification Urbaine qui constitue l’un des facteurs prépondérants de l’analyse ultérieure(TEKAYA et ABDELLATIF 2015).

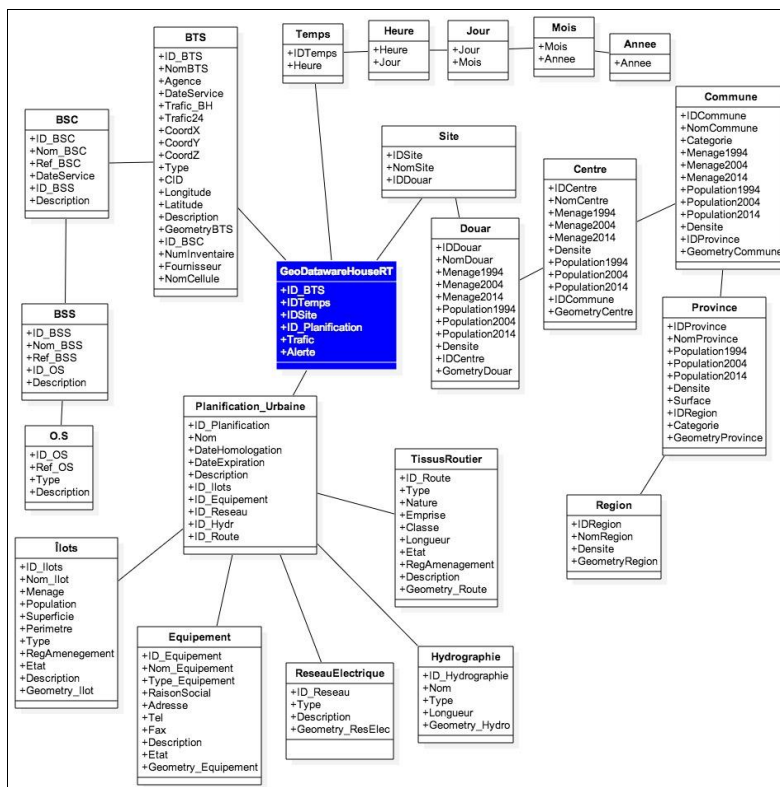


Figure 3: Modèle conceptuel du EDS

ALIMENTATION D’UN EDS : OUTILS ETL

Ces outils sont cruciaux pour assurer la mise à jour d’un entrepôt. Ils extraient les données des systèmes composites sources, puis leur appliquent des transformations en vue de les rendre

intégrables dans la structure multidimensionnelle. Afin d'atteindre le but désiré en matière d'organisation et de granularité des données, ainsi qu'au niveau des performances, de nombreuses opérations doivent être appliquées (« SOLAP = Décisionnel + Géographique - Michaël Tranchant » 2015): Filtrage des données aberrantes ; Dé-doublonnage ; formatage (attribution d'un même référentiel, codification, etc.) ; Dé-normalisation (aplanissement des relations entre entités afin de n'en garder que des données pertinentes) ; Synchronisation (garantir la cohérence des agrégats) ; Désagrégation (transformer les données en changeant leur support) ; Agrégation: (effectuer une ou plusieurs opérations sur les données :somme, somme cumulée, moyenne, comptage, comptage distinct, etc.).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

le Prototype permet d'établir des requêtes statistiques relatives d'une part, au comportement des BTS et d'autres parts, à l'intensité du trafic dans différents environnements géographiques : région, ville quartier et dans des périodes de temps dont la granularité peut varier, de l'heure à l'année. Ces requêtes mettent en œuvre les opérateurs, Slice et Drill-Down.

Exemple 1: Dans le centre d'Oulmes, afficher les Espaces verts de type V (Verdure) ayant une surface minimale de 3300 m² située sur une zone tampon de 1000 m de rayon autour de BTS ayant enregistré 10 alarmes dans le premier semestre de l'année 2012 (Figure 4).

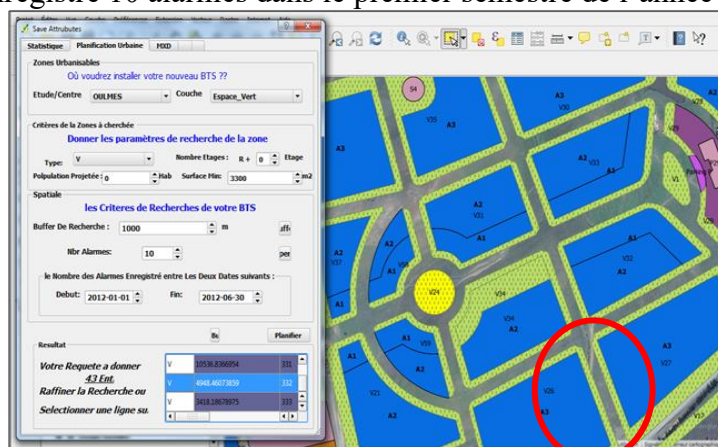


Figure 4 : Représentation de l'une des zones sélectionnées

Exemple 2 : une requête MXD permettant de récupérer la valeur moyenne de la densité du trafic pour les BTS de la région de Rabat, pendant l'année 2013 (Figure 5)



Figure 5 : Affichage sur une Image satellitaire « BingMap » de la densité relative du trafic des BTS de la région de Rabat pour l'année 2013

La visualisation des résultats constitue un atout primordial à la prise de décision. Notre prototype offre de multiples possibilités d'affichage par exemple :

- Les résultats statistiques sous forme de graphes en bâtons en 2D ou 3 D. Dans ce dernier cas, l'intensité mensuelle moyenne du trafic d'un BTS peut être observée simultanément pour chaque mois d'une année, et sur plusieurs années consécutives ;
- les résultats statistiques ou les graphes en bâton peuvent être projetés et localisés sur des fonds topographiques ou satellitaires à différentes échelles ;
- L'intensité relative du trafic des BTS pour une période et un secteur géographique déterminés peut être projetée sur des fonds satellitaires;
- Les sites propices à l'installation de nouveaux BTS peuvent être visualisés sur le plan d'aménagement à différentes échelles et projetés sur des fonds satellitaires.

CONCLUSION

Ce prototype étant un système open source conçu avec des langages de programmation orientés objet « Python » et C++ ; il possède donc une très large souplesse. Ce qui permet son adaptation immédiate aux nouvelles contraintes imposées par les orientations stratégiques impliquant des réformes en profondeur des infrastructures. Ainsi le passage à la technologie tout internet (full IP), nécessite une transformation des infrastructures aériennes, à savoir le remplacement des « BTS » par les « noteB » et les « eNoteB ».

Références bibliographiques

- ADULLACT. 2015. « Solutions Open Source de Business Intelligence ». Consulté le janvier 30.
http://www.performance-publique.budget.gouv.fr/sites/performance_publique/files/files/documents/performance/controle_gestion/fonctions_support/SI/5_adullact_etat_de_lart_osbi_1_.pdf.
- « Data Warehouse Definition - What Is a Data Warehouse ». 2014. Consulté le novembre 28.
<http://www.1keydata.com/datawarehousing/data-warehouse-definition.html>.
- « EVOLUTION_MOBILE_EFORT.pdf ». 2016. Consulté le septembre 30.
http://www.efort.com/r_tutoriels/EVOLUTION_MOBILE_EFORT.pdf.
- « SOLAP = Décisionnel + Géographique - Michaël Tranchant ». 2015. Consulté le janvier 27.
<http://tranchant.name/2011/11/solap/>.
- TEKAYA, Karima, et Abdelaziz ABDELLATIF. 2015. « MODELISATION DE LA REPARTITION DES DONNEES D'UN DATAWAREHOUSE ». Consulté le janvier 26. http://isdmln.fr/PDF/isdmln19/Special_issue_ISDM_MCSEAI04_N242.PDF.

**THE DETECTION OF SMELTER AND POWER PLANT EMISSION EFFECTS
ON TREES USING BIOGEOCHEMICAL AND MULTISPECTRAL
EVALUATION METHODS**

CWICK, Gary J., Department of Physics and Engineering Physics,
Southeast Missouri State University, Cape Girardeau, MO. 63701 USA

Abstract: Stack emission and deposition of heavy metals from industrial sites continues to be an environmental concern, and the effects of it on particular ecosystems need to be further investigated. This has become practicable with remote sensors and GIS. This research used Landsat TM imagery, biogeochemical sampling of black oak trees, and hyperspectral scanning of leaf reflectance to assess forests at a conservation area in Missouri and nature preserve in Illinois, both located downwind from a lead smelter facility and a coal fired power plant. Vegetation index models using multispectral images were derived to characterize tree health status at the time of leaf sample collection, and change detection analysis was conducted to quantify temporal variations over a 13 year period. Multivariate statistics were used to identify relationships between spectral reflectance, biogeochemistry, and forest attributes. Preliminary results found relatively high concentrations of several metals (e.g., Hg and Cd) accumulated in leaf tissue. These appear to induce discernible contamination effects in specific reflectance wavelength regions, and there is a notable difference in forest coverage that has occurred at these areas during the timeframe assessed.