

Axe 1
**Variabilité des risques
naturels: existe-t-il des
tendances affirmées?**

L'IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LACÉRÉALICULTURE DANS LE PLATEAU DE TAHLA

BELMAHI Mohamed, HANCHANE Mohamed

Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Laboratoire de territoire, Patrimoine et Histoire, Fès, Maroc,
belmahi.mohamed15@gmail.com

RÉSUMÉ: le Maroc fait partie de la rive sud méditerranéenne, n'a pas échappé au changement climatique dans le domaine de la céréaliculture. Cette étude vise à évaluer l'impact du changement climatique sur les rendements céréaliers dans le plateau de Tahla en se basant sur le modèle numérique Mosaicc Maroc. Les résultats montrent que le plateau de Tahla connaîtrait une légère régression dans le rendement du blé comprise à l'horizon 2050, et 2090 selon le scénario RCP 4.5. Alors que, l'écart du rendement céréalier baisserait significativement dans le scénario RCP 8.5 d'ici 2090 par rapport la période de référence 2010-2020. De ce fait, les techniques d'adaptation et d'atténuation sont les meilleures solutions pour diminuer l'impact du changement climatique sur la production agricole.

Mots clés : changement climatique - céréaliculture - modèle Mosaicc Maroc - adaptation - atténuation.

Abstract: THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON CEREAL CROPS IN THE TAHLA PLATEAU

Morocco is one of the regions of the southern Mediterranean rim that has not escaped climate change in the field of cereal growing. This study aims to assess the impact of climate change on cereal yields in the Tahla plateau based on the numerical model Mosaicc Morocco. The results show that the Tahla Plateau would experience a slight regression in wheat yields by 2050 and 2090 under the RCP 4.5 scenario. While the gap in grain yield would decrease significantly in the RCP 8.5 scenario by 2090 compared to the reference period 2010-2020. Therefore, adaptation and mitigation techniques are the best solutions to reduce the impact of climate change on agricultural production.

Keywords: climate change - cereal crops - Mosaicc model Morocco - adaptation - mitigation

Introduction

Le CC est qualifié par certains chercheurs le problème majeur pour le XXI^e siècle (Gameren, Weikmans, & Zaccai, 2014). Les changements de température attendus au cours des 30 à 50 prochaines années devraient se situer dans la plage de 2 à 3 °C (GIEC, 2007). Les vagues de chaleur ou les événements de températures extrêmes deviendraient plus intenses, plus fréquents et dureraient plus longtemps que ce qui est observé ces dernières années (GIEC, 2014).

L'agriculture est l'activité humaine la plus concernée par le CC, parce qu'elle est liée au climat. Ainsi, elle est une activité humaine qui peut réduire ses émissions de gaz à effet de serre, et fixer le carbone dans le sol ou la biomasse. Cette activité contribue également à ce changement de 24% des émissions de gaz à effet de serre (Torquebiau E., 2015). Le risque climatique dans le secteur agricole sera plus sérieux dans le futur parce que la demande alimentaire devrait augmenter de 70 à 100% d'ici 2050 et presque doubler dans les pays en développement en raison d'accroissement de la population mondiale (FAO, 2009), ce qui entraîne l'augmentation de la demande en terres, la déforestation, la dégradation de certains sols, etc. en 2050 (Mirza H., 2020).

Plusieurs travaux de recherche ont été effectués sur le CC et ses impacts sur le secteur agricole. Au Maroc, Balaghi et Benaouda (2009) ont montré que le CC se traduit par une augmentation de l'aridité, une diminution de la capacité des terres agricoles à être cultivées et la longueur de la période de croissance. Cependant, Gommès et al. (2008) ont conclu que le rendement des céréales d'automne pluviales demeura de plus ou moins fixes jusqu'à l'horizon 2030, ensuite, il baissera brusquement à l'horizon 2050 et 2080 dans le scénario A2 (scénario pessimiste). Cependant, dans le scénario B2 (scénario optimiste), le rendement des céréales d'automne pluvial baissera légèrement. Le rendement projeté du blé et de l'orge conduits en pluvial diminuera plus dans les

zones agroécologiques favorables et défavorables dans les deux scénarios. Il est proche de 30% avec une probabilité d'un rendement nul pendant une année sur cinq.

Plus récemment, Houssa et al., (2017) ont montré que le réchauffement climatique entraîne le déplacement des systèmes d'élevage et de culture un peu plus vers le centre et le Nord du pays à cause de la sécheresse et peut conduire à une redistribution variétale pour des espèces nécessitant le froid comme les rosacées. De surcroît, Halima, Ikich, Karfati, & Msadaq, (2019) ont évalué l'impact du CC sur plusieurs variables tels ETo, la productivité de l'eau de pluie, et la pluviométrie dans la région de Rommani et Doukkala en utilisant la modélisation agroclimatique.

L'objectif de ce travail est d'évaluer l'impact du CC sur le rendement du blé et de l'orge dans le plateau de Tahla en se basant sur le modèle Mosaicc Maroc et de déterminer les techniques d'adaptation de la céréaliculture pluviale au changement climatique dans le plateau de Tahla et plus généralement au Maroc.

1. Description de la zone d'étude

Le plateau de Tahla fait partie intégrante du plateau de Saïs. Il est classé au premier rang au niveau de la production céréalière dans la province de Taza. Il se situe à l'Ouest de la province de Taza, entre 33°53' et 34°09' N et entre 4°22' et 4°35' W, avec la suprématie de la surface agricole utile (77%).

La zone d'étude est située dans l'étage bioclimatique semi-aride selon l'indice d'Emberger, et appartient au régime semi-humide selon l'indice d'aridité de De Martonne. De plus, elle a un climat semi-aride selon la classification de Köppen. La moyenne de la pluviométrie est de 590 mm/an.

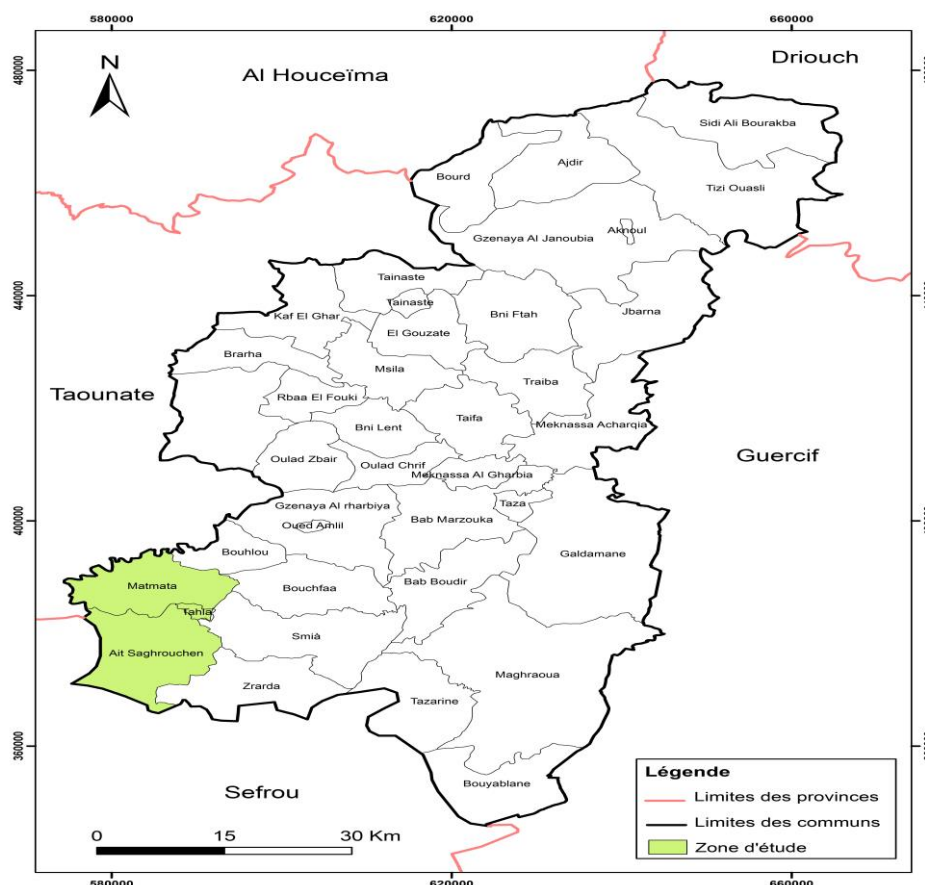


Figure 1: la localisation du plateau de Tahla dans la province de Taza

2. Matériel et Méthodes

Nous nous sommes basés sur la plateforme MOSAICC Maroc (Modelling System for Agricultural Impacts of Climate Change) mis en place en 2015 pour estimer l'impact du CC sur le secteur agricole à l'échelle du plateau de Tahla. La plateforme est le fruit de la collaboration entre la FAO et les institutions nationales de divers secteurs tels que l'Institut National de la Recherche

Agronomique et la Direction de la Météorologie Nationale, etc. (Portail Mosaicc Maroc, 2015). Elle permet de visualiser les effets du CC selon quatre modèles proposés par le GIEC, parmi eux le modèle japonaise MIROC-ESM (Model for Interdisciplinary Research on Climate – Earth System Model) qui est utilisé dans cette étude.

L'évaluation du rendement du blé et de l'orge dans les communes territoriales du plateau de Tahla a été effectuée selon deux scénarios du modèle MIROC-ESM par rapport au rendement référentiel 2010-2020 : le premier scénario est optimiste, il correspond à un scénario d'émissions de gaz à effet de serre (GES) extrêmement stable (RCP 4.5), le deuxième scénario, caractérisé pessimiste, correspond à des émissions élevées de gaz à effet de serre (RCP 8.5), Ce modèle de simulation est disponible sur le site web <http://www.changementclimatique.ma/>.

3. Résultats et Discussion

L'évolution de l'écart du rendement du blé de 2050 à 2090, et pour le modèle climatique MIROC-ESM par rapport à la période de référence 2010-2020, montre que l'ensemble des communes territoriales du plateau de Tahla connaîtraient une légère oscillation entre -9 et -4% à l'horizon de 2050, et un recul de 19 à 21% du rendement à l'horizon de 2090 selon le scénario RCP 4.5, c'est-à-dire le scénario d'émission de gaz à effet de serre stable (pessimiste). Ce résultat presque semblable au résultat obtenu par Gommès et al. (2008), il varierait de 19% à 36% selon le même scénario d'ici 2080, mais à l'échelle nationale. Alors que, l'écart du rendement baisserait significativement dans le scénario RCP 8.5 en 2090. Il reculerait de -69 à -75 en comparaison avec la période de référence 2010-2020 (figure 2).

Concernant le rendement de l'orge dans les communes territoriales du plateau de Tahla, le résultat du simulateur montre que cette céréale sera plus influencée par le réchauffement climatique par rapport au blé tendre parce qu'elle est cultivée dans les terres marginales et elle a un cycle de croissance long que le blé tendre. En effet, il sera plus exposé au risque de sécheresse climatique à la fin de la saison agricole (Avril- Mai). L'écart entre le rendement projeté par rapport au rendement de la période de référence sera catastrophique. Il varierait de 49% à 63% d'ici 2050 et de 58% à 79% en 2090 selon le scénario RCP 4.5. Cependant, l'écart du rendement en 2090 selon le scénario RCP 8.5 baissera très significativement de 93% à 96%. Donc chaque pourcentage du CC devient un changement de rendement (figure3).

L'abaissement du rendement agricole peut être expliqué par la diminution de la pluviosité, la succession des périodes sèches et la régression de la fertilité des terres arables, ainsi la régression de la période de croissance et le déplacement l'aire de la céréaliculture vers les régions montagneuses.

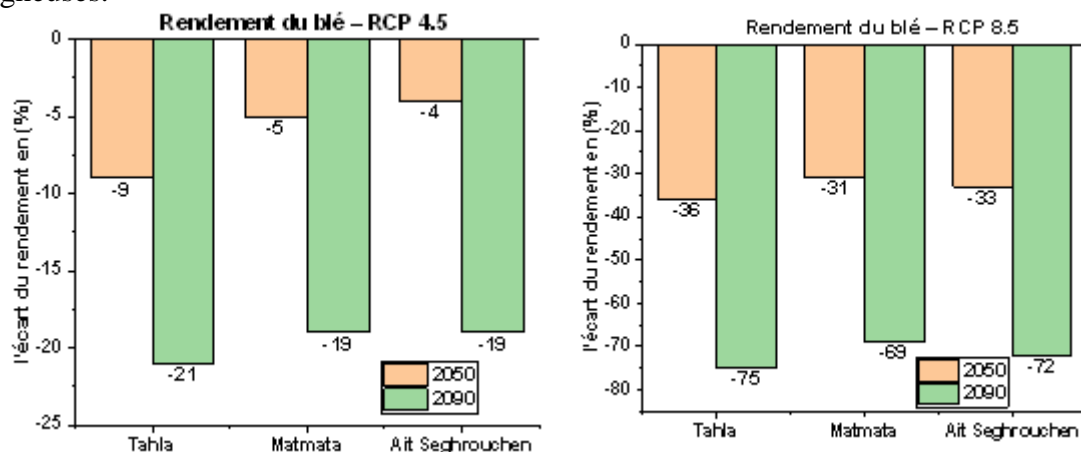


Figure 2: Écart de rendement du blé dans le plateau de Tahla par le modèle MIROC-ESM selon le scénario RCP4.5 et le scénario 8.5 de 2050 à 2090 par rapport à la période de référence de 2010-2020 (Source des données statistiques: www.changementclimatique.ma), Belmahi et Hanchane 2021

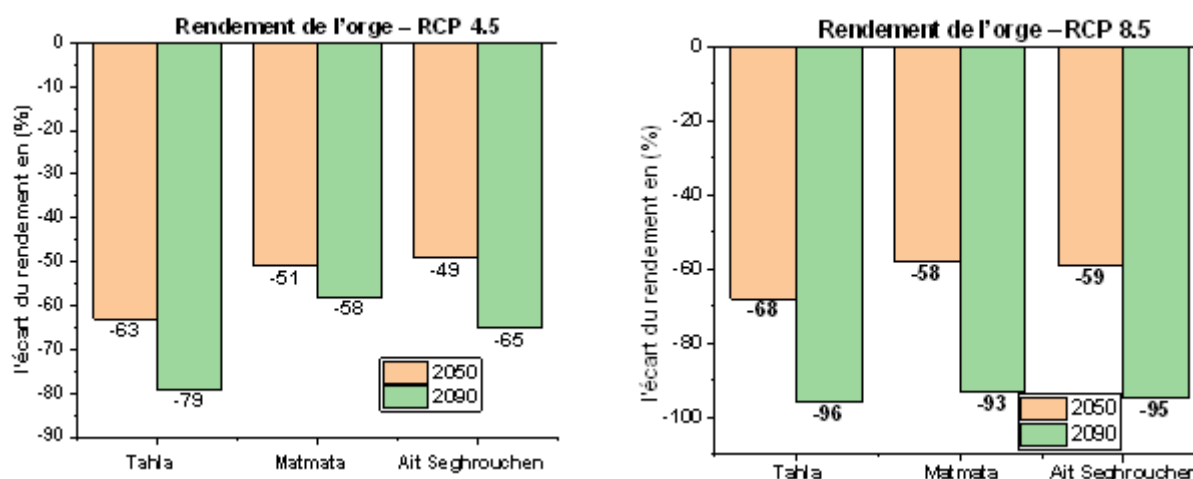


Figure 3: Écart de rendement de l'orge dans les communes territoriales du plateau de Tahla par le modèle MIROC-ESM selon le scénario RCP4.5 et le scénario 8.5 de 2050 à 2090 par rapport à la période de référence de 2010-2020 (Source des données statistiques: www.changementclimatique.ma), Belmahi et Hanchane 2021.

4. La question de la lutte contre le réchauffement climatique dans le secteur agricole au Maroc

Le Maroc est un pays faiblement émetteur de gaz à effet de serre, mais il reste vulnérable aux effets du CC (Halima, Ikich, Karfati, & Msadaq, 2019). Pour cela, il a mis en place deux approches : l'approche d'adaptation et l'approche d'atténuation.

1.4. L'adaptation en agriculture marocaine

L'adaptation est l'ensemble des initiatives et des mesures prises pour réduire la vulnérabilité des systèmes naturels et humains aux effets réels ou prévus du CC. (GIEC, 2007)). L'agriculture adaptée au dérèglement climatique est dite résiliente, c'est-à-dire qu'elle est capable de continuer à produire malgré les perturbations imprévues. L'adaptation au changement climatique appelée la tendance technologique (Gommes, Hairech, Rosillon, Balaghi, & Kanamaru, 2008). Elle est basée sur la diversification des cultures, l'assurance climatique, l'insertion des nouvelles techniques adaptées au climat futur, la modification des dates de semis, la prédiction météorologique fournie par les services publics, la mécanisation de travail du sol et le remplacement de la céréaliculture par l'arboriculture dans quelques zones semi-arides les plus menacées par la sécheresse (figures 4,5 et 6).

✓ **L'agroforesterie:** l'agroforesterie est un terme générique désigner les systèmes d'utilisation des terres et les pratiques à associer volontairement des arbres ou des arbustes à des cultures et/ou des parcours sur la même parcelle pour s'adapter au changement climatique. Le mot dérivé est d'origine anglais « **agroforestry** » apparu dans les années 1970 (Moussadek et Mrabet, 2013).

✓ Les propositions de l'agriculture climato- intelligente (ACI)

L'ACI est diffusée par la FAO dans le cadre de la conférence de La Haye sur l'agriculture, la sécurité alimentaire et le CC en 2010 (FAO, 2018). C'est une démarche intégrée qui permet de définir les mesures nécessaires pour transformer et réorienter les systèmes agricoles dans le but de soutenir le développement de l'agriculture et d'assurer la sécurité alimentaire face au CC. L'ACI vise à traiter trois objectifs principaux : L'augmentation durable de la productivité, des revenus agricoles, l'adaptation et le renforcement de la résilience face aux impacts des changements climatiques et la réduction des émissions de gaz à effet de serre (l'atténuation). L'ACI est un système qui vise à produire plus sain, mieux avec moins de terre, moins d'eau et moins d'énergie. Parmi ces techniques essentielles au Maroc dans le domaine de la céréaliculture on trouve :

✓ **La mise en place d'un système national de suivi de la campagne agricole et de prédiction agrométéorologique des récoltes céréalières** : L'histoire de la prédiction opérationnelle du rendement des céréales a débuté pour la première fois au Maroc en 1994 dans le cadre du projet AGRIMA afin d'élaborer un modèle de prévisions des rendements du blé dans la région de Chaouia (Bazza et Tayaa 1998). Une deuxième tentative personnelle est effectuée par Bennani S., Ouattar S. et EL Mourid M. (1993) par le modèle STIMAG pour la simulation du rendement du blé (Balaghi et al., 2015). En outre, l'essai du Jlibene et al. (2003) pour prédire le rendement céréalier au Maroc (Balaghi, 2006). Le Maroc a mis en place le premier système de prédiction agrométéorologique « CGMS-MAROC » en 2012. (Balaghi et al., 2013 ; Balaghi et al., 2015). Mais, malheureusement, il n'est pas accessible aux publics. On ajoute également le système Mosaicc Maroc qui est utilisé pour la simulation du rendement céréalier dans cet article.

✓ **L'initiative Al Moutmir du semis direct**: Cette technique est intégrée dans le contexte de L'ACI, et encouragée par le groupe de l'OCP qui est engagé dans les efforts d'adaptation de l'agriculture marocaine au changement climatique. Elle est considérée l'une des piliers de l'agriculture conservatrice, qui vise à maintenir la productivité agricole lorsqu'elle est soumise à la sécheresse (El Mourid et Karrou, 1996).

2.4. *L'atténuation et l'agriculture marocaine*

L'atténuation signifie la mise en œuvre de politiques destinées à réduire les émissions de gaz à effet de serre et à renforcer les puits (GIEC, 2007). Les options les plus rentables d'atténuation les gaz polluants sont la gestion des terres cultivées, la restauration de sols organiques, la reforestation, la réduction de la déforestation pour stocker le carbone dans la biomasse, etc. parmi celles-ci au Maroc, on trouve:

✓ **La rotation culturale** : ce système a plusieurs avantages visant à atténuer les effets du CC (Assini, 2019) : Sur le plan agronomique, il s'agit surtout d'une augmentation du rendement, d'une amélioration du lit de semence et de la capacité de rétention en eau du sol. Tandis que sur le plan environnemental, il permet de diminuer l'érosion, de réduire les pertes des éléments nutritifs et des pesticides et enfin, d'atténuer les gaz à effet de serre.

✓ **Le Projet d'Intégration du Changement Climatique dans le Plan Maroc Vert** : Ce projet a été lancé en 2011 par le MAPMDREF et financé par la banque mondiale. Il est basé sur la promotion de technologies agricoles climato-résilientes et le renforcement des capacités des agriculteurs. Ces technologies sont subdivisées en deux types (Balaghi, 2014) : le premier, est l'amélioration de la productivité de l'eau de pluie et d'irrigation (l'irrigation d'appoint et la fertilisation, etc.). Le deuxième est les bonnes pratiques culturales telles que l'utilisation raisonnée des désherbants et pesticides selon les normes sanitaires de l'Organisation Mondiale de la Santé.



Figure 6: La mécanisation agricole dans le plateau de Tahla



Figure 5: L'agroforesterie dans le plateau de Tahla



Figure 4: le remplacement de la céréaliculture par l'oléiculture dans la commune de Taifa (Taza)

Conclusion

Le plateau de Tahla serait plus touché par le CC dans les deux scénarios de prévision. Le chute du rendement du blé peut atteindre -9 et -4% à l'horizon de 2050, et une régression de 19% à 21% à l'horizon de 2090 selon le scénario RCP 4.5, sachant que la moyenne de la production nationale des blés par tête atteint 123 Kg/hab sur la période 1960 à 2020, tandis que la consommation atteint 200 Kg/hab. Donc, le déficit entre la production et la consommation sera accentuée par le changement climatique. Cela résulte de la récurrence des épisodes sèches et

l'augmentation de la température. Le changement climatique est le défi actuel de la céréaliculture parce qu'il affectera le rendement et, par conséquent, la sécurité alimentaire. Il est prévu d'exacerber les pertes des terres arables par l'érosion du sol et la gestion non durable des terres agricoles, mais aussi par l'urbanisation dans cette région.

Une stratégie locale et nationale multiforme, durable et équitable est nécessaire pour atténuer de façon durable ces impacts économiques et environnementaux. L'accent doit être mis sur l'ACI et l'amélioration génétique des variétés, l'encouragement des cultures arboricoles qui sont plus résilientes que les grandes cultures et la réduction des gaz à effet de serre reste la clé d'adaptation au changement climatique. Ainsi, le renforcement des outils de prévisions météorologiques. Enfin, il faut noter que les estimations de l'impact du changement climatique sur la production agricole à l'horizon de 20 années prochaines restent raisonnables, mais pour une période plus lointaine, les projections sont peu probables.

Bibliographie

- Assini, O. (2019). Agro-météorologie et modélisation au Maroc. ENA, Meknès.
- Balaghi, R. (2006). Wheat grain yield forecasting models for food security in Morocco: Thèse de doctorat. Université de Liège, Belgique.
- Balaghi, R. (2014). Évaluation de la productivité de l'eau en agricultures pluviales et irriguées au Maroc. doi:10.13140/2.1.3551.1363.
- FAO. (2018). le guide de l'agriculture Intelligente, résumé de la deuxième édition, FAO, Rome. Récupéré sur <http://www.fao.org/3/I7994AR/i7994ar.pdf>.
- Gameren, V. v., Weikmans, R., & Zaccai, E. (2014). L'adaptation au changement climatique. Paris: La découverte.
- GIEC. (2007). Change, I. C. (2007). Impacts, adaptation and vulnerability. Summary for policymakers. Working Group II contribution to the intergovernmental panel on climate change fourth assessment report, Brussels, April 2007..
- GIEC, R., & Pachauri, A. R. (2014). Changements Climatiques 2014 : Rapport de Synthèse.
- Gommes, R., Hairech, T. E., Rosillon, D., Balaghi, R., & Kanamaru, H. (2008). Impact of climate change on agricultural yields in Morocco, World Bank,doi:http://www.fao.org/nr/climpag/pub/FAO_WorldBank_Study_CC_Morocco_2008.pdf.
- Halima, O. I., Ikich, H., Karfati, A., & Msadaq, R. (2019). Évaluation de l'impact des changements de l'eau disponible sur la productivité agricole. Rapport d'étude de cas au Maroc. Beireut: Nations Unies, ESCWA .
- Houssa, A., A., Drissi, S., Asehraou, A., Asfers, A., Oubaki, L., & Chraïbi, H. (2017). Changements climatiques au Maroc: quels systèmes de culture et quelles biotechnologies pour s'y adapter? *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 5(3), 12.
- Torquebiau, E., Tissier, J., & Grosclaude, J. Y. (2015). Comment le changement climatique modifie la donne agricole. Torquebiau E., *Changement climatique et agricultures du monde*, 1, 9-24.
- Verner, D., Treguer, D., Redwood, J., Christensen, J., McDonnell, R., Elbert, C., . . . Belghazi, S. (2018). Climate variability, drought, and drought management in Morocco's agricultural sector. Banque mondiale. <https://doi.org/10.1596/30603>.

ESTIMATION DES DEBITS DE CRUE DE L'OUED ZIZ (ZONE PRESAHARIENNE DU SUD-EST MAROCAIN)

Yassine CHANYOUR⁽¹⁾, Khalid OBDA⁽¹⁾, Ouafaa EL ACHARI⁽²⁾

⁽¹⁾Université Sidi Mohamed Ben Abdellah LAGEA-DD, FLSH Saï's, Fès, Maroc.

yassinechanyour@gmail.com

⁽²⁾Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, LTPH, FLSH-DM, Fès, Maroc

RESUME: Les crues sont des phénomènes hydrologiques aux gros apports liquides et solides bénéfiques et profitables aux territoires et leurs occupants présahariens mais parfois peuvent causer des dommages catastrophiques lors des aménagements et gestion non adéquats. Souvent dans les montagnes, les crues éclair répondent à une forte précipitation pluviométrique, concentrée dans le temps et dans l'espace avec un caractère torrentiel. Dans ces circonstances, ces crues constituent un grand défi pour la population et pour les gérants des risques. Leur intensité et leur occurrence posent souvent des problèmes à la population et aux autorités publiques à défaut d'un aménagement intégré à l'échelle de l'ensemble du bassin versant de l'oued Ziz.

Dans ce travail, nous allons essayer d'estimer la grandeur des valeurs des crues en utilisant une loi statistique de Gumbel bien adaptée aux événements extrêmes telles les crues de l'oued Ziz. Cette approche nous permet de mesurer l'ampleur des débits générés principalement par les hauts reliefs du Haut Atlas. Ces estimations se basent sur des séries chronologiques de tailles comprises entre 30 et 36 ans en fonction de la disponibilité des données hydrométriques.

Mots-clés : Estimation- Crues- Sud-est marocain- Oued Ziz.

ESTIMATION OF FLOOD FLOWS IN THE PRESAHARAN ZONE: CASE OF THE ZIZ WATERSHED (SOUTH-EAST MOROCCO)

ABSTRACT: Floods are hydrometeorological phenomena with often dramatic and catastrophic consequences from a material, human and environmental point of view. Often in the mountains, flash floods respond to a strong rainfall, concentrated in time and space with a torrential character. These floods are also a great challenge for the population and for the managers. Their occurrence often poses problems for managers, especially in undeveloped basins such as the Ziz watershed.

In this work, we are going to present some methods of estimation of floods, namely: the statistical method of Gumbel. These estimates will be based on time series of varying sizes between 30 and 36 years depending on the availability of hydrometric data.

Keywords: Estimation- Floods- Watershed- South-East Morocco- Ziz.

INTRODUCTION

Les caractéristiques climatiques jouent un rôle déterminant dans le fonctionnement hydrologique des oueds méditerranéens en général et des oueds présahariens en particulier tel l'oued Ziz, surtout que les précipitations sont souvent orageuses et voir parfois diluviennes engendrant des grosses crues touchant la zone d'étude telles les crues dévastatrices des années 1965, 2006, 2008, 2014..., ces crues ont causé de nombreux dégâts matériels. Actuellement le bassin de l'oued Ziz connaît une dégradation continue des ressources en eau suite à la succession des années sèches mais cela n'empêche pas des événements orageux produisant des grosses crues surprenant les riverains.

La mémoire des populations retient des crues inondant la vallée de Ziz dont la plus importante est observée dans la région le 5 novembre 1965 avant la construction du barrage Hassan Addakhil sur l'oued Ziz. Récemment, des événements de crues sont survenus démontrant que le risque d'inondation persiste dont certaines crues sont liés principalement au bassin intermédiaire de l'Oued Ziz en aval du barrage Hassan Addakhil.

Les méthodes de prédiction des débits de pointe sont diverses. De nos jours, l'analyse fréquentielle des crues est la méthode la plus utilisée pour prédire les débits de pointe pour les différents temps de retour. Cette méthode se base sur l'analyse statistique des débits maximums instantanés sur une période assez longue. En l'absence de données hydrométriques, la méthode

rationnelle propose des équations pour estimer les débits de pointe (REMENIERAS, 1986). Cette méthode se base sur le coefficient de ruissellement, l'intensité horaire des précipitations et la superficie du bassin versant. Bien que la méthode rationnelle ait été acceptée par la plupart des hydrologues (pour les petits bassins versants et les projets de canalisation urbaine pour l'évacuation des eaux de pluie), il est important de connaître les limites de cette méthode pour notre cas, car elle suppose que l'intensité de la précipitation est uniforme sur le bassin versant en entier pendant toute la durée de l'épisode pluvial, ce qui est très loin des caractéristiques pluviométriques dans notre zone d'étude (LASRI, M.,2015). Face à toutes ces contraintes, nous nous sommes limités à l'utilisation de la méthode empirique de Gumbel, afin d'estimer les débits de pointe de tous les oueds qui drainent le bassin versant de l'oued Ziz dans les différentes sections et pour les différents temps de retour.

1. DESCRIPTION DE LA ZONE D'ÉTUDE

La zone d'étude correspond au bassin versant de l'oued Ziz, d'une superficie de 13000 Km². Limitée au nord par le bassin de la Moulouya, au nord-ouest par le bassin de l'Oum Errabia, à l'ouest par le bassin de Rhériss, à l'est par le bassin de Guir et au sud par le bassin de Daoura, elle couvre les provinces d'Errachidia et de Midelt (Fig.1).

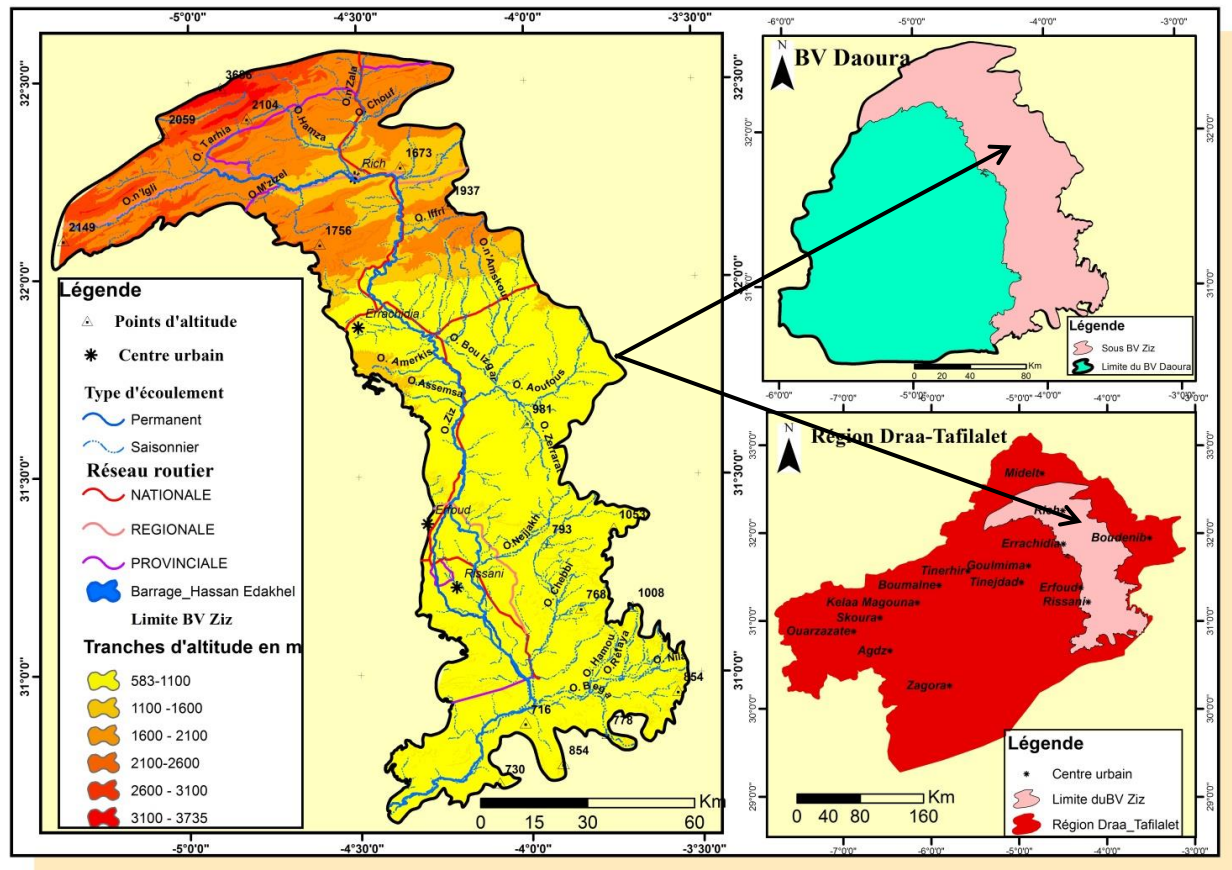


Figure 1: Présentation géographique du bassin versant de l'oued Ziz

Le bassin versant de l'oued Ziz est l'un des principaux oueds du Sud-est marocain. De ses sources, dans le cœur du Haut Atlas oriental à sa confluence avec l'oued Rhériss, possède une longueur d'environ 250 km et s'étend sur une superficie totale de près de 13000 km². Il est formé par la réunion de plusieurs oueds comme Outerbate, M'zizel, N'zala, Aoufous... Ce bassin est caractérisé par des périodes de crues plus ou moins fréquentes et violentes. Elles sont liées à des averses de courte durée et aux grandes crues qui se produisent généralement en automne et en printemps. Très violentes et dévastatrices (1965, 2006, 2008 et 2014.), elles sont dues à de fortes pluies généralisées et de courtes durées. Certaines, plus longues, surviennent en printemps et elles

sont liées à la fonte des neiges et aux précipitations brutales (ILAHIANE H., 1996, JOLY F., 1962).

Située vers une latitude de 31°N, la zone d'étude est soumise en permanence à la branche descendante de la circulation intertropicale de la cellule de Hadley. Ceci lui confère une certaine stabilité atmosphérique, marquée par une élévation de la température et une faible humidité de l'air. Ainsi, en plus du vent desséchant de Chergui, la demande climatique en vapeur d'eau est hautement élevée et dépasse de très loin l'offre en eau de pluie. Si ce déficit climatique prime au niveau de la zone d'étude, cette dernière connaît, en revanche, l'avènement de pluies convectives durant la saison chaude qui marque surtout les mois de septembre et octobre; ils sont à l'origine de crues au niveau du bassin versant de l'oued Ziz.

2. MATERIEL ET METHODES

Les données de base de cette étude sont recueillies à partir des annuaires de l'Agence Hydraulique de Guir-Ziz-Rhériss (A.H.G.Z.R). D'une part, il est souhaitable de disposer de séries de données sur au moins 30 ans pour fournir une information utile (CIGB, 1992). D'autre part, la fiabilité des données constitue toujours un élément important et essentiel. Les données hydrométriques des débits maximums annuels (ou les débits de pointe) collectés ont concerné 4 stations dont la période d'observation est un peu plus de 30 ans (Tab.1).

Tableau 1: Liste de différentes stations hydrométriques avec leurs principales caractéristiques du bassin versant de l'oued Ziz

Bassin	Station	Superficie (km ²)	N°IRE	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Ziz	Foum Tillicht	1240	1508/38	32°32'	4°55'	1600
	M'zizel	1355	1585/38	32°26'	4°76'	1441
	Foum Zaabel	3980	867/48	32°16'	4°36'	1230
	Radier d'Erfoud	1954	2029/57	31°53'	4°18'	823

Le traitement statistique des données hydrométriques employées a été traité à l'aide des logiciels (tableur Excel, SPSS, Statistica, R, HyfranPlus, Kronostat...). Dans ce travail, nous allons utiliser la méthode empirique de Gumbel pour estimer les débits de pointe aux périodes de retour : T = 5 ans, T = 20 ans, T = 50 ans, T = 100 ans (GUMBEL E. J. 1954). Afin de réaliser cette étude, nous allons opter pour la démarche méthodologique suivante:

- 1- Préparation de la série statistique des débits de pointe dans l'Excel;
- 2- Classer les valeurs dans l'ordre croissant;
- 3- Donner un rang à chaque valeur X_i ;
- 4- Calculer la fréquence d'après l'équation de **Hazen** $F(r) = \frac{r - 0.5}{n}$
- 5- Calculer les valeurs de la variable réduite « U » d'après l'équation de **Gumbel** $u = -\ln(-\ln(F(x)))$;
- 6- Dessin du graphique de nuage de points (U_i, X_i);
- 7- Estimer les débits maximaux (débits de pointe) correspondants au temps de retour (T = 5 ans, T = 20 ans, T = 50 ans, T = 100 ans);

3. RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats acquis sont illustrés dans les figures et les tableaux ci-dessous qui démontrent des valeurs acceptables et plus proches par rapport aux séries statistiques de différentes stations hydrométriques du bassin de l'oued Ziz (CHANYOUR Y, 2018). Les résultats obtenus sont présentés comme suit:

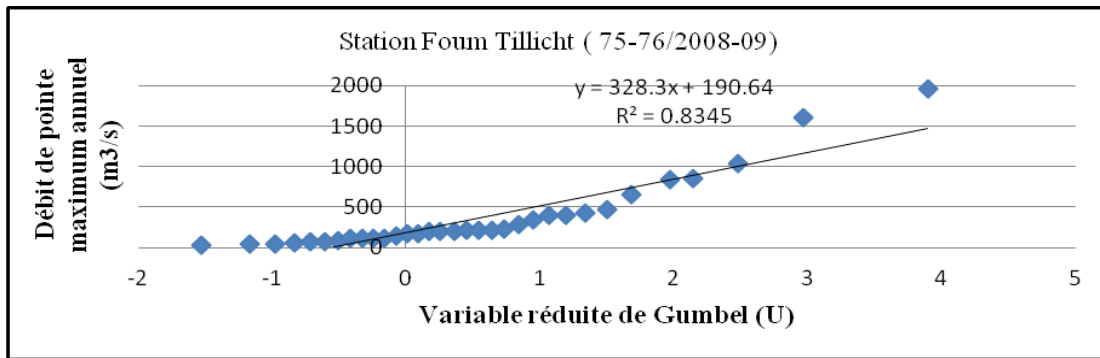


Figure 2: Représentation graphique des couples (u_i, x_i) des séries à ajuster de la station de Fom Tillicht

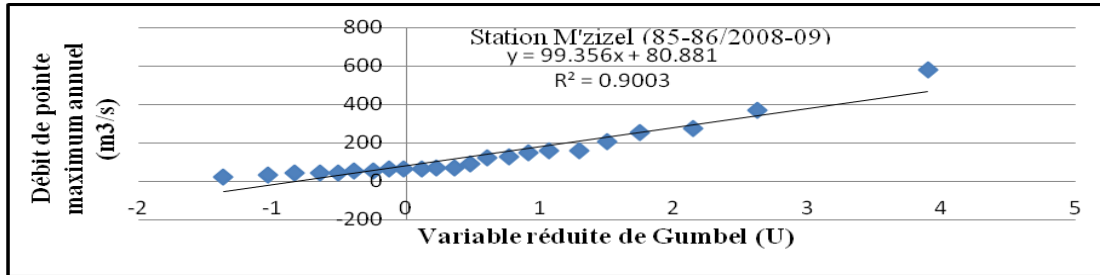


Figure 3: Représentation graphique des couples (u_i, x_i) des séries à ajuster de la station de M'zizel

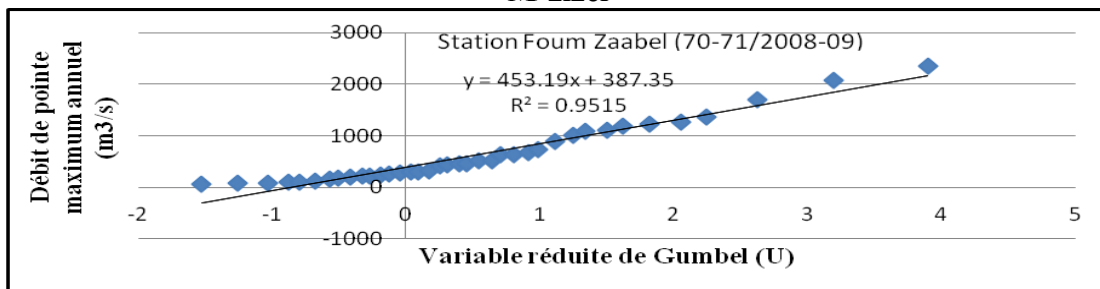


Figure 4: Représentation graphique des couples (u_i, x_i) des séries à ajuster de la station de Fom Zaabel

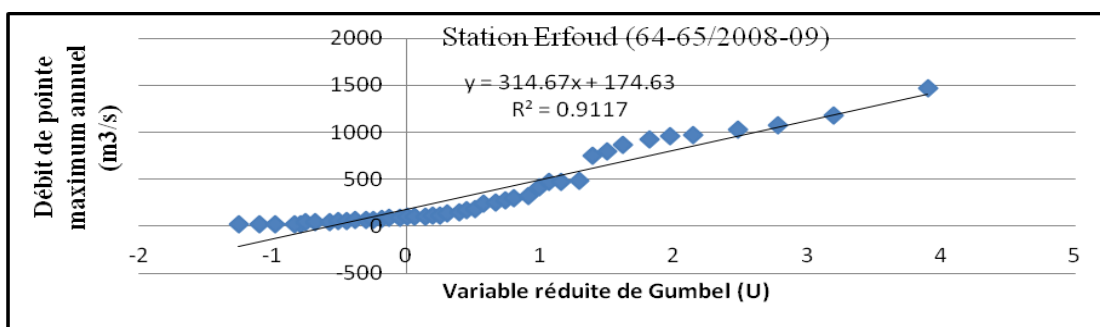


Figure 5: Représentation graphique des couples (u_i, x_i) des séries à ajuster de la station d'Erfoud

Tableau 2: Débits de pointe de différents temps de retour de la station de Fom Tillicht (75-76/2008-09)

Période de retour	100	50	20	5
P non dépassement	0,99	0,98	0,95	0,8
Variable U	4,6001	3,9019	2,9702	1,4999
Q m ³ /s	1205	1072	894	614

Tableau 3: Débits de pointe de différents temps de retour de la station de M'zizel (85-86/08-09)

Période de retour	100	50	20	5
P non dépassement	0,99	0,98	0,95	0,8
Variable U	4,6001	3,9019	2,9702	1,4999
Q m ³ /s	471	414	339	220

Tableau 4: Débits de pointe de différents temps de retour de la station de Foum Zaabel (70-71/2008-09)

Période de retour	100	50	20	5
P non dépassement	0,99	0,98	0,95	0,8
Variable U	4,6001	3,9019	2,9702	1,4999
Q m ³ /s	2235	1964	1603	1034

Tableau 5: Débits de pointe de différents temps de retour de la station d'Erfoud (64-65/2008-09)

Période de retour (Erfoud)	100	50	20	5
P non dépassement	0,99	0,98	0,95	0,8
Variable U	4,6001	3,9019	2,9702	1,4999
Q m ³ /s	1117	996	833	576

D'après les tableaux ci-dessus, nous pouvons dire que la méthode d'ajustement de Gumbel donne des résultats relativement proches des débits de pointe qui ont touché la ville d'Errachidia et ses régions pendant les inondations les plus dévastatrices (1965, 2006, 2008 et 2014). Selon les données illustrées en haut on a pu élaborer une comparaison entre les débits de pointe estimés dans les stations hydrométriques du bassin de l'oued Ziz:

* Sur l'oued Hamza à la station de Foum Tilicht (amont de Ziz) nous avons enregistré un accroissement important entre les crues quinquennales (614,25 m³/s) et les crues cinquanteennes (1072,17 m³/s). L'intensité des crues quinquennales est due essentiellement aux pluies de forte concentration dans le temps et dans l'espace, et à la fonte des neiges des sommets de Jbel Ayyachi au début du mois de mai;

* Les valeurs enregistrées à M'zizel sont relativement faible (414,95 m³/s) pour la crue cinquanteenne et (471,42 m³/s) pour la crue centennale, ce qui présente un rapport très faible;

* Sur l'oued Ziz à la station de Foum Zaabel, nous remarquons des débits de pointe très forte, pour les crues quinquennales (1964,61 m³/s) et les crues centennales (2235,06 m³/s). La récurrence des crues dangereuses est liée par la brutalité, la soudaineté et la concentration spatiotemporelle des précipitations orageuses localisées dans le secteur Haut-atlasique d'une part, et la confluence des principaux affluents de la partie amont du bassin par le Ziz au niveau de la station de Foum Zaabel d'autre part;

* Dans la station d'Erfoud à l'entrée de la plaine alluviale du Tafilalet, la diminution des débits de pointe par rapport à la station de Foum Zaabel est due généralement à la construction du barrage Hassan Addakhil en 1971. Nous avons enregistré (576,60 m³/s) pour la crue quinquennale et (1117,99 m³/s) pour la crue centennale, avec un rapport de 1,93. le faible rapport est lié à la combinaison des facteurs physiques (la faiblesse des précipitations, l'augmentation d'évaporation...) et anthropiques (construction du barrage Hassan Addakhil, irrigation...);

La genèse et la récurrence des crues dans le bassin de Ziz sont produites par l'interaction très complexe des facteurs intervenant dans l'organisation alluviale de Ziz: imperméabilité des roches, reliefs accidentés, pentes raides, formes allongés, densité de drainage forte, taux de couverture végétale faible; qui favorisent la compétence du ruissellement. Et sans oublier également le rôle du facteur anthropique qui est très accélère la réponse hydrologique et amplifie le risque des crues inondables le long de la vallée de Ziz.

CONCLUSION

En général, les résultats obtenus à partir de cette approche empirique de Gumbel montrent des débits de pointe très élevés surtout pour la récurrence rare telle centennale. L'étude statistique donne des résultats relativement proches des débits de pointe qui ont affecté la ville d'Errachidia durant les inondations historiques. Tout de même, ces résultats ne sont que des estimations approximatives qui doivent être confrontées avec d'autres méthodes et surtout avec les mesures hydrométriques fiables.

En parallèle, selon les données étudiées des quatre stations hydrométriques de Ziz, on remarque que les crues dévastatrices, de récurrence cinquantennale (1965-2008) sont rares.

L'intégration de l'approche participative dans la conception des projets de mobilisation des ressources en eaux et l'aménagement du bassin versant est indispensable entre les différents acteurs afin d'élaborer une stratégie efficace, fiable et solide pour la gestion rationnelle des crues. Malgré ça, la gestion des crues touchant le bassin étudié se heurte à des contraintes liées essentiellement à l'urbanisation anarchique de la vallée de Ziz et ses Qsour.

Références bibliographiques

- CHANYOUR Y. (2018). Hydrologie des milieux arides et présahariens du Sud-est marocain (cas du bassin versant de l'oued Daoura. Thèse de Doctorat en géographie physique, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fès, 414p.
- CIGB.(1992). Choix de la crue de projet, Comité International des grands Barrage, bulletin 82,
- GUMBEL E. J. (1954). Statistical theory of extreme values and some practical applications. Applied Mathematics Series, 33.
- ILAHIANE H. (1996). Small-Scale Irrigation in a Multiethnic Oasis Environment: the Case of Zaouit Amelkis Village, Southeast Morocco. Journal of Political Ecology, Vol. 3 : 89-106.
- JOLY F. (1962). Études sur le relief du Sud-Est marocain. Rabat, Travaux de l'Institut Scientifique Chérifien, Série Géographie physique, 10, 578 p.
- LASRI. M. (2015). Les inondations menaçant l'agglomération de Fès: De l'étude hydrologique et du risque à la cartographie des dangers d'inondation. Thèse de doctorat, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines Saïs, Fès, 268 p
- REMENIERAS G. (1986). L'hydrologie de l'ingénieur, collection de la direction des études et recherches d'Electricité de France.

REALISATION DE LA CARTE DU RISQUE D'INONDATION DE L'OUED BOUFEKRANE DANS LA VILLE DE MEKNES

Idrissi Soumia*, Taous Ali* et Lahrach Abderrahim**

*FLSH Saïs-Fès (USMBA) **FST (USMBA)

Résumé: Cette étude présente la méthode et les étapes de la réalisation d'une carte de risque d'inondation, qui sont engendrée par les crues de l'oued Boufekrane à sa traversée dans l'espace urbain de la ville de Meknès. Elle s'est basée sur le croisement de la carte de l'aléa d'inondation et celle de la vulnérabilité du milieu. L'aléa est cartographié en considérant la simulation de la crue centennale (débit de pointe: 120m³/s) à l'aide du modèle HEC-RAS 3.1.1. La vulnérabilité est évaluée à partir de la densité d'occupation et des activités socio-économiques. En exploitant le SIG, une zonation de l'espace fluvial est proposée à l'échelle des quartiers riverains, en différenciant des zones à risque fort, des zones à risque moyen et des zones à risque faible.

Mots-clés: Meknès, Oued Boufekrane, aléa d'inondation, vulnérabilité, carte de risque d'inondation, SIG.

Introduction

Dans plusieurs villes marocaines, l'extension progressive de l'urbanisation dans les espaces fluviaux implique des menaces de plus en plus fortes engendrées par le risque d'inondation lors des périodes de fortes pluies. D'où la nécessité d'étudier ces phénomènes et de cartographier les zones potentiellement submersibles afin de lutter contre le danger de l'inondation (Taous et *al.*, 2010). A l'instar des autres agglomérations riveraines du Maroc, certains quartiers de la ville de Meknès sont menacés par les inondations de l'oued Boufekrane. L'objectif de ce travail est la réalisation d'une carte de zonage du risque d'inondation le long de cet oued à sa traversée de la zone urbaine de Meknès. L'objectif final est de spatialiser les zones à risque fort, nécessitant une intervention prioritaire, afin d'atténuer les menaces et les dégâts.

1. Présentation de la zone d'étude

La zone étudiée se trouve sur le plateau du Saïs de Meknès aux coordonnées géographiques 5°33 de longitude et 33°52 de latitude. Elle appartient au lit majeur de l'oued Boufekrane, qui traverse l'agglomération de la ville de Meknès (fig.1), en séparant l'ancienne Médina de la Ville nouvelle. Cet oued prend sa source au sud-ouest d'El Hajeb, et draine les formations de calcaires lacustres pliocènes et les sables miocènes du plateau de Meknès (P. Taltasse, 1953; D. Fassi, 1999). Il traverse la ville de Meknès après avoir drainé un bassin versant de 288km², pour confluer avec oued Ouisslane au nord de la ville en donnant naissance à oued R'dom (affluent du bas Sebou).

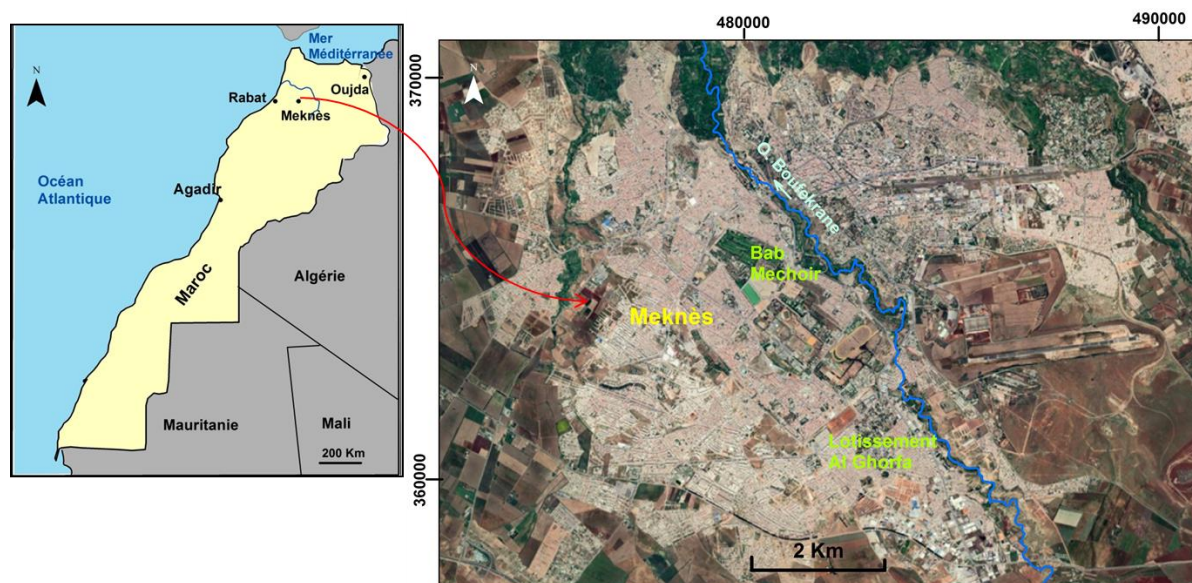


Figure.1. Situation géographique du secteur étudié (Image d'après Google Earth, 2021)

Le bassin versant de l'oued Boufekrane se caractérise par un climat méditerranéen semi -aride marqué par deux périodes: i) Une période relativement humide qui s'étale entre octobre et coïncide avec la période la plus fraîche. ii) Une période à la fois sèche et chaude, qui s'étale de mai à septembre. Durant les mois de juillet et août, en marquant le pic de la saison sèche, les pluies sont rares et apparaissent assez souvent sous formes d'averses violentes. La moyenne annuelle des précipitations est de l'ordre de 625mm à la station de Meknès; leur répartition saisonnière est caractérisée par une forte irrégularité ; elles sont abondantes en automne et en hiver (37%), et très réduites en été (4%).

2. Méthodologie et matériels

La méthodologie est fondée sur la combinaison des concepts d'aléa et de vulnérabilité, selon la formule classique suivante (A. Dauphiné, 2000):

$$\text{Risque} = \text{Aléa} \times \text{Vulnérabilité}$$

L'aléa d'inondation est étudié et cartographié en prenant la crue centennale comme « crue de référence », puisqu'on n'a pas de données sur la plus forte crue historique. Les simulations de la crue ont été effectuées à l'aide du modèle HEC-RAS 3.1.1 du Corps des Ingénieurs de l'Armée Américaine (USACE). La modélisation du cours d'eau de l'oued Boufekrane a nécessité, en tout point du cours d'eau pour la crue centennale, la détermination de: la cote maximale atteinte, des points de débordement et les zones submergées. Le débit de pointe de la crue théorique centennale a été déterminé par modélisation des écoulements des eaux depuis l'usine électrique dans la zone industrielle jusqu'à Al Fekharate au nord de Lahdim (fig. 2). Il a atteint $120\text{m}^3/\text{s}$, ce qui correspond à des apports de l'ordre de $6,48\text{Mm}^3$. Pour une crue de ce type 62,294 ha de la vallée sont inondés (ABHS, 2003). La vulnérabilité est cartographiée en évaluant la densité des habitations et le type des activités qui existent dans l'espace le long du cours d'eau (Idrissi S., 2012; Razi A. et al., 2017). La carte de risque d'inondation finale est obtenue en croisant les deux cartes d'aléa d'inondation et de vulnérabilité (fig. 2). Les documents de base utilisés pour réaliser ces cartes sont : le plan urbain de Meknès à l'échelle 1/10000 (édition 2002), le plan d'ensemble de la vallée de l'oued Boufekrane dans la ville de Meknès avec la délimitation de la crue centennale, en utilisant des fichiers de dessin Auto Cade (ABHS, 2011). La réalisation des cartes s'est basée sur le SIG (Arc-Gis 9.3), Global Mapper et Google Earth.

3. Résultats et discussions

3.1. Réalisation de la carte de l'aléa inondation

La carte d'aléa inondation (fig. 2a) est réalisée à partir des résultats de la simulation ayant déterminé l'extension de submersion de la crue de références et les hauteurs moyennes d'eau sur

les lits mineur et majeur de l'oued Boufekrane. En moyenne, la hauteur varie selon les tronçons, entre 2,35 et 3,08m dans le lit mineur et entre 0,97 et 1,82 m sur lit majeur (tab.1). Les degrés d'aléa inondation sont déterminés en fonction des paramètres physiques de la crue en considérant la hauteur moyenne d'eau et les vitesses approximatives simulées, et en comparant aux données du tableau 2 obtenues par la Société Grenobloise d'Études et d'Applications Hydrauliques (Sogreah, 2009).

Tableau.1. La hauteur moyenne d'eau dans le lit mineur et le lit majeur de Boufekrane (ABHS, 2003)

Tronçon	Hauteur moyenne lit mineur (m)	Hauteur moyenne lit majeur (m)
Tronçon 1 en amont de la pépinière municipale	2,35	0,97
Tronçon 1 en aval de la pépinière municipale	3,08	1,65
Tronçons 2, 3 et 4	3,06	1,82

Tableau.2. Les degrés d'aléa inondation en fonction des hauteurs d'eau et de la vitesse (Sogreah, 2009)

Hauteur moyenne d'eau	Vitesse < 0,5 m/s	Vitesse >0,5 m/s
H<0,5 m	Aléa faible	Aléa fort
0,5 m<H<1m	Aléa moyenne	Aléa fort
H> 1m	Aléa fort	Aléa fort

La carte d'aléa d'inondation établie (fig. 2a) montre deux degrés d'aléa : moyen et fort pour les deux lits de l'oued:

i). Dans le lit mineur, le degré d'aléa d'inondation est considéré fort, dans tout le tronçon, depuis l'usine électrique jusqu'à Al Fekharate, puisque la hauteur moyenne d'eau dépasse largement 1m (elle est de l'ordre de 2 à 3m), et la vitesse du courant est forte dépassant 0,5m/s. ii). Dans le lit majeur, le degré d'aléa inondation est considéré moyen dans le tronçon qui s'étend depuis l'usine électrique jusqu'à l'amont de la pépinière municipale. Du fait que la hauteur moyenne d'eau est comprise entre 0,5 m et 1m et la vitesse est faible, inférieure à 0,5m/s. Le degré d'aléa inondation devient fort depuis l'amont de la pépinière municipale jusqu'à El Fekharate, car même si la vitesse reste faible, la hauteur moyenne d'eau au niveau de ce tronçon est supérieure à 1m.

3.2. Réalisation de la carte de vulnérabilité

Les degrés de vulnérabilité ont été déduits selon la densité approximative des habitants des bâtis implantés dans le lit majeur de l'oued et le type de l'occupation de la vallée de Boufekrane. La carte de vulnérabilité qu'on a réalisée (fig.2b) montre trois classes de vulnérabilité : i) Les zones à forte vulnérabilité correspondent aux quartiers « Belle vue 3 », sur la rive gauche de Boufekrane et «Al Andalous» sur la rive droite, bâtis en partie sur le lit majeur du cours d'eau et aussi le carrefour de « Bou Ameir » qui est une zone à grande activité, renfermant le complexe sportif, le club des pharmaciens et la piscine municipale. Les poches de l'habitat non réglementaire, qui sont implantées à l'intérieur des parcelles maraichères en aval du pont Portugais sont des zones à forte vulnérabilité. ii) Quant aux zones à moyenne vulnérabilité, elles correspondent à la pépinière municipale et les parcelles maraichères. iii) Les espaces à faible vulnérabilité sont limités à la zone des carrières.

3.3. Carte de risque d'inondation

Le croisement de l'aléa d'inondation et de la vulnérabilité nous a permis de réaliser la carte de risque d'inondation (fig. 3) selon laquelle on distingue:

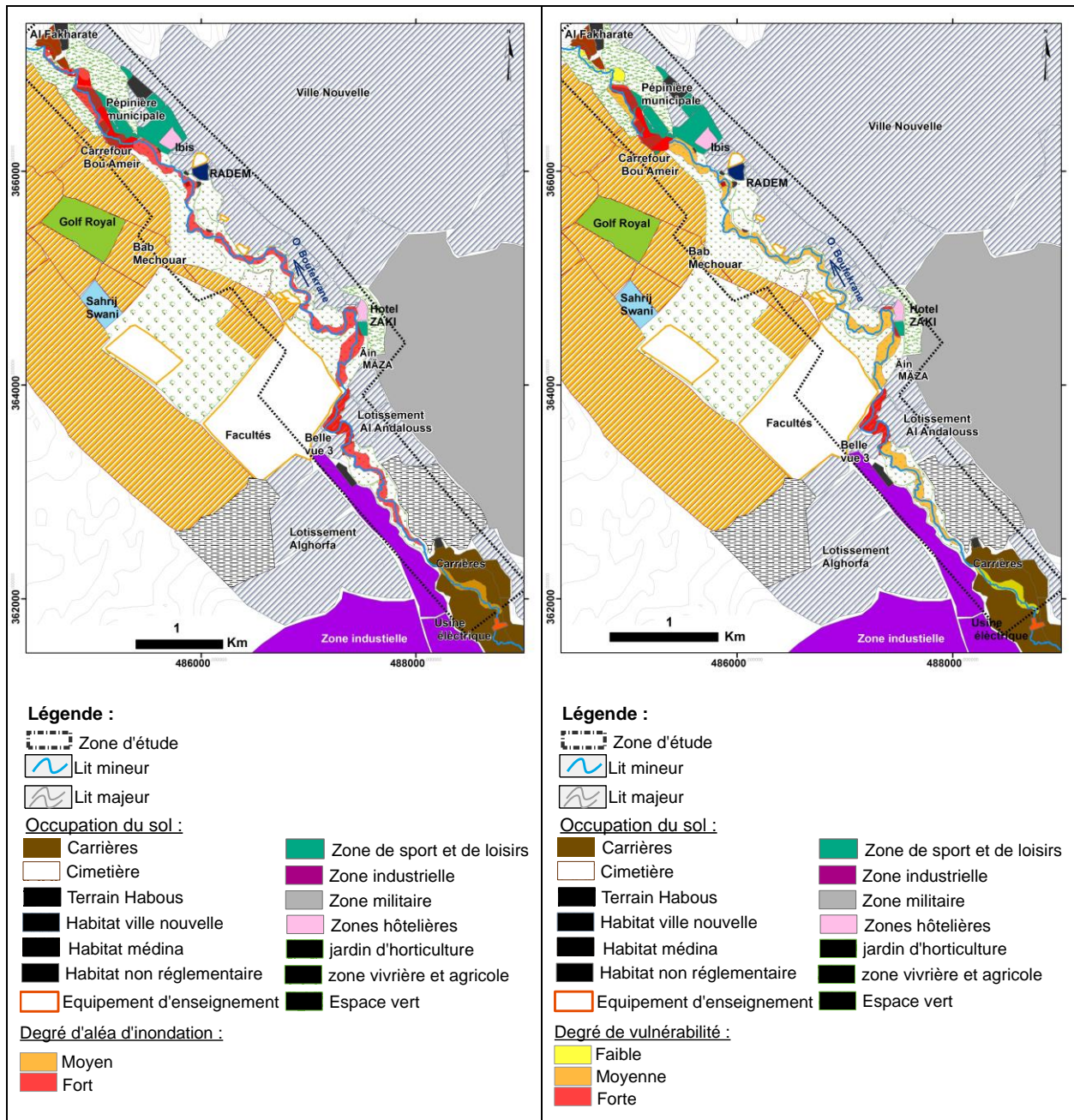


Figure 2. Cartes de l'aléa d'inondation (a) et de la vulnérabilité (b) dans la vallée urbaine de Boufekrane à Meknès

i) les zones à fort risque sont simultanément des zones à fort degré d'aléa et à forte vulnérabilité ; ii) celles à risque moyen ont une moyenne vulnérabilité et un moyen degré d'aléa ; iii) les zones à faible risque sont conjointement à faible vulnérabilité et à fort degré d'aléa, ou bien à forte vulnérabilité et à faible degré d'aléa. Les zones à risque fort sont localisées au niveau de la pépinière municipale, les deux quartiers Belle vue 3 et Al Andalouss et en aval d'Al Fekharate. Les zones à risque moyen correspondent à la pépinière municipale, aux parcelles maraîchères depuis Ain Mâza jusqu'au pont de Carrefour Bou Ameir. Les zones à risque faible s'étendent depuis l'amont de Ain Maâza jusqu'à Bab Mechouar.

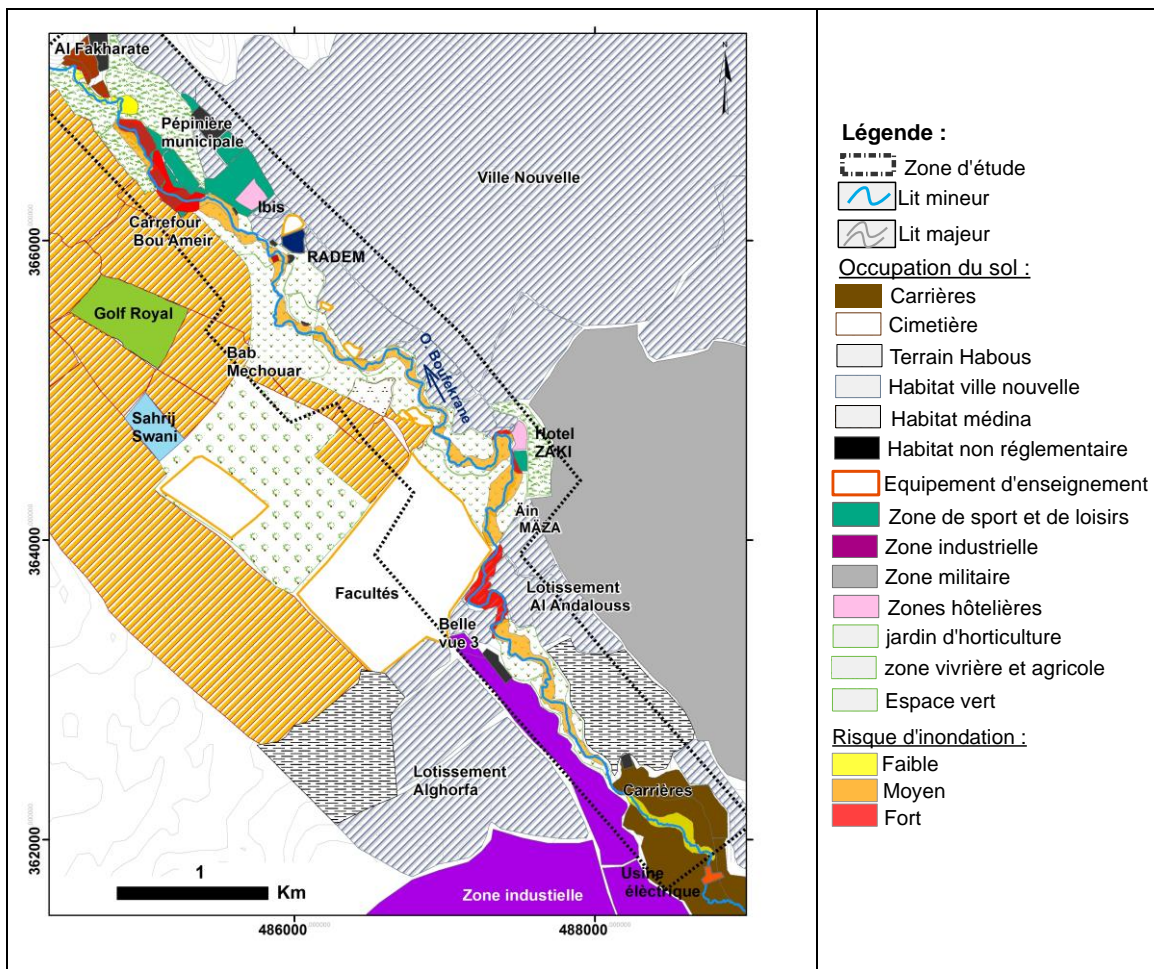


Figure 3. Carte de risque d'inondation de l'oued Boufekrane à Meknès

Conclusion

Le croisement des informations relatives à l'aléa d'inondation et à la vulnérabilité socio-économique nous a permis de cartographier avec précision le risque d'inondation le long de l'oued Boufekrane dans le périmètre urbain de la ville de Meknès. La carte obtenue, réalisée à l'échelle des quartiers, constitue un document cartographique de base, utile pour l'aménagement, la gestion et la restauration intégrée des tronçons les plus menacés le long de la vallée de Boufekrane.

Références

- ABHS (Agence du Bassin Hydraulique de Sebou), 2003. Rapport portant sur la délimitation des zones inondables de l'oued Boufekrane dans la ville de Meknès. Rapport interne, 21p. Fès
- ABHS (Agence du Bassin Hydraulique de Sebou), 2011. Rapport portant sur l'état actuel d'écoulement de l'oued Boufekrane et de la qualité de ses eaux, 145p. Fès.
- Dauphiné A., 2001. Risques et catastrophes. Observateur-Spatialiser-Comprendre-Gérer. Paris, Armand Colin (Coll. « U Géographe »), 288 p. *André Dauphiné, Damienne Provitolo*
- Fassi D., 1999. Les formations superficielles du Sais de Fès et de Méknès. Notes et mémoires du service. 453 géologique. 389, pp. 527.
- Idrissi S., 2012. Elaboration de la carte de risque de l'oued Boufekrane dans le périmètre urbain de la ville de Meknès (Inondation et pollution) - Mémoire de Master, FLSH Sais-Fès. 81p.
- Razi A., Essahlaoui A, El Hmadi A., El Ouali A., 2017. Etude de la vulnérabilité aux risques d'inondations dans la ville de Meknès. Apport des Sig, du Mnt et des modèles empiriques. European scientific Journal. Doi. 10.19044/esj. v13n36 p102.
- Société Grenobloise d'Études et d'Applications Hydrauliques (Sogreah), 2009. Plan de prévention au risque d'inondation. Hers Mort Moyen. Etude des aléas inondation N°4330652-volume3, 18 p.
- Taltasse P., 1953. Recherches géologiques et hydrogéologiques dans le bassin lacustre de Sais de Fès - Meknès. Notes et mémoire du service géologique. Rabat, Maroc, 300p.
- Taous A., Obda K, Amyay M., Laouane M, Tribak A, Akdim B, Marques M. A., Furdada G., Julia R., 2010. Cartographie et zonation de l'aléa d'inondation à Taza (Maroc) : application de la méthode géomorphologique intégrée. Geomaghreb , 6, pp 1-19.

DYNAMIQUE EROSIVE ET RISQUES DE CRUES, INTERACTIONS ET EFFETS DE LA GESTION CONSERVATOIRE DES TERRES

Abdellah LAOUINA

Univ. Mohamed V, laouina.abdellah@gmail.com

Résumé: La « GCT » Gestion Conservatoire des Terres (eau, sols et biomasse) est déterminante pour la résilience des ressources, car elle développe des démarches d'exploitation alternatives et adaptées au nouveau contexte climatique. Pour démontrer cela, des recherches sont menées à la fois sur l'analyse spatiale du risque de crue et celle des espaces affectés par le ruissellement et l'érosion, dans le but d'apporter des réponses au sujet des relations dynamiques entre les deux phénomènes, crues et érosion et au sujet de leur combinaisons spatiales. Quelles relations entre la dégradation érosive des terres en amont et les phénomènes extrêmes de crue plus en aval et l'extension et le succès de la Gestion conservatoire des terres permettent-ils d'instaurer des situations de réduction des crues? -Quelles peuvent être les marges de fourniture d'eau supplémentaire aux barrages, si on applique des actions bien réparties et bien ciblées de GCT en amont? Ou bien faut-il s'attendre à l'inverse, c'est-à-dire une réduction des apports? - Quelle relation aura l'utilisation de plus d'eau en amont: plus d'ETP de la biomasse, plus d'irrigation des nouveaux terroirs mis en culture, exigences en eau plus fortes des nouvelles cultures introduites, soit de nouvelles pistes de développement, en termes de maintien des terres et off site d'apports en eau et en sédiments?

Mots-clés: Erosion, crues, Gestion durable des terres, Bouregreg

Erosive Dynamics and Flood Risks, Interactions and Effects of Sustainable Land Management

Abstract: Sustainable Land Management (water, soil and biomass) is critical to resource resilience, as it develops alternative operating approaches adapted to the new climate context. To demonstrate this, research is conducted on both spatial analysis of flood risk and that of areas affected by runoff and erosion, with the aim of providing answers about the dynamic relationships between the two phenomena, floods and erosion, and their spatial interaction. What is the relationship between erosive degradation of upstream land and extreme flood events further downstream and the extension and success of Conservatory Land Management to create flood reduction situations? What can be the margins for supplying additional water to dams, if well-distributed and well-targeted actions of SLM are applied upstream? Or should we expect the opposite, i.e. a reduction in the income? What relationship will the use of more water upstream: more biomass ETP, more irrigation of new soils under cultivation, stronger water requirements of new crops introduced, new development paths, in terms of land maintenance and off-site water and sediment inputs?

INTRODUCTION

Depuis 1980, la variabilité du climat semble s'être accentuée, avec des sécheresses qui durent plusieurs années consécutives, entrecoupées d'épisodes pluvieux à l'origine de crues d'une rare violence. Ces crues sont responsables de pertes en vies humaines et des destructions d'habitat et d'infrastructures. Elles concernent la totalité de l'espace marocain, des vallées rifaines les plus humides, aux glaciers du Maroc saharien. Des lits de rivière restés secs plusieurs années et ayant de ce fait accueilli de l'habitat ou des infrastructures peuvent se transformer en torrents dévastateurs. Dans la seule année 2019, on a enregistré en été, un immense mouvement de masse à Ijoukak qui a enterré un bus en entier, une crue qui a emporté un terrain de football installé dans le fond d'une vallée en amont de Taroudant et une lave torrentielle qui a entraîné des blocs de plusieurs m³ à Imlil. Ces divers événements coïncident avec des épisodes d'érosivité exacerbée, liés à des ruptures d'équilibre (Laouina et al., 2004) amenant la totalité d'un bassin versant de taille petite ou moyenne à produire du ruissellement violent et fortement chargé. Mais toutes les terres ne sont

pas forcément affectées. En fonction de l'occupation des sols et de la densité de la biomasse qui les recouvre, l'ablation a plus ou moins d'effets en surface, avec des incisions plus ou moins profondes et étendues.

1. DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE

La meseta atlantique, au SE de Rabat-Salé et en amont du barrage SMBA, correspond aux plateaux Zaër et Zemmour, incisés par les vallées du Bouregreg, du Grou et du Korifla. Il s'agit d'un milieu fragile, où les manifestations érosives sont actives. Les formations superficielles à sols limoneux peu profonds et à faible teneur en matière organique, offrent une faible résistance à l'érosion, surtout en automne lorsque les sols sont dénudés de végétation ou fraîchement labourés. On y assiste à différentes formes d'érosion, allant de l'érosion aréolaire (Nafaa, 2002) qui laisse en place des pavages de cailloux à des ravines assez profondes qui stérilisent les versants et les rendent inappropriés à toute activité agropastorale.

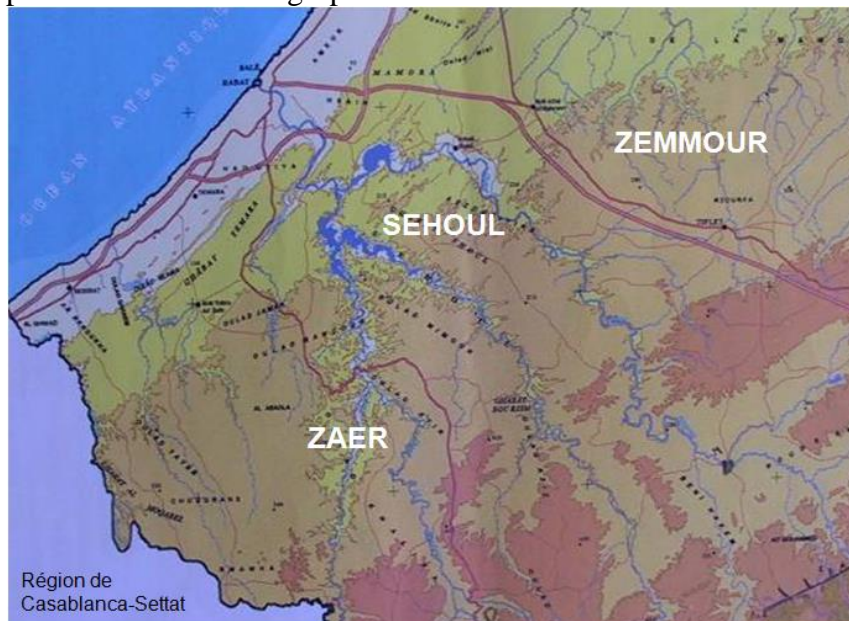


Fig.1. Le relief de la basse meseta atlantique

2. METHODES

Pour étudier la dynamique érosive des terres, nous nous sommes basés en premier sur l'évolution diachronique de l'utilisation des sols et des formes de dégradation. L'érosion diffuse est évaluée par le suivi des changements des états de surface des sols, des quantifications sur microparcelles et la simulation des pluies. Les mesures de terrain, à l'échelle de deux micro-bassins, ont concerné la morphométrie et le suivi des formes d'érosion, leur relevé cartographique, le recouvrement végétal du sol, l'état de surface du terrain, la matière organique, la structuration et la fertilité du sol et la dynamique de l'eau. Des bilans hydrologiques spatio-temporels, à l'échelle de micro-bassins, ont été corrélés à différentes causalités naturelles et anthropiques, ce qui a permis de déterminer la responsabilité des évolutions sociales et des comportements dans la dégradation. La mesure des pluies a été réalisée avec un pluviographe doté d'un data logger. Le ruissellement est enregistré au débouché du micro bassin-versant, sur un déversoir en V, équipé d'un limnigraphe à pression.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

La meseta atlantique en amont du barrage SMBA, fortement incisée par les vallées du Bouregreg, du Grou et du Korifla, est un milieu fragile, où les manifestations érosives sont multiples, de l'érosion aréolaire qui laisse en place des pavages de cailloutis, à des ravines qui rendent des portions de versants inaptés à toute activité agropastorale.

3.1- Les processus

L'étude spatialisée de bassins-versants expérimentaux permet de mettre en relation la dynamique de versant et le fonctionnement hydrologique (Laouina et al., 2004, Chaker et al., 2013).

L'érosion aréolaire décape l'horizon organique, mais demeure assez lente dans les parcelles fermées, notamment celles clôturées de figuier de barbarie ; sur les champs ouverts, elle peut se transformer rapidement lors des événements exceptionnels, en une érosion en rigoles, avec exportation massive de matériel. Dans quelques situations favorables à l'incision, notamment du fait de l'épaisseur de matériel colluvial meuble, des ravines se sont creusées, en même temps que les chenaux axiaux de tous les petits bassins-versants.

Cette évolution qui date d'une quarantaine d'années s'explique par l'augmentation des volumes ruisselés sur les versants, du fait du parcours excessif et de la mise en cultures de portions en pente forte, ce qui accentue la déstabilisation des versants et accroît le volume et la fréquence des épisodes de transport solide massif. Des ruissellements importants à la suite des événements pluviométriques particuliers entraînent de grosses quantités de matériel, avec des blocs décimétriques, malgré la modestie de taille des bassins-versants. Les hydrographes des événements de pointe montrent la réaction immédiate du ruissellement à l'intensité maximale.

Il semble donc que les transformations du paysage agraire et des activités agro-pastorales, peuvent expliquer, les crises hydrologiques à cause de la faible stabilité structurale des sols (faible apport organique), la réduction du couvert végétal permanent, suite aux défrichements, le surpâturage des chaumes et la consommation excessive des résidus de cultures pour répondre aux besoins d'un troupeau de plus en plus nombreux et le fort piétinement des champs dénudés.

L'érosion aréolaire appauvrit le sol de son horizon supérieur contenant de la matière organique et des nutriments, ce qui à long terme finit par l'ablation du sol et l'affleurement des niveaux inférieurs. Cette érosion aréolaire paraît assez lente à l'intérieur des parcelles clôturées, mais sur les champs ouverts, elle peut se transformer rapidement lors des événements exceptionnels, en une érosion ravinante. Les terres délaissées ou à cultures printanières paraissent d'ailleurs plus affectées par l'érosion concentrée alors que les terres de cultures annuelles et les reboisements semblent moins vulnérables au ravinement.

Mais, les pluies agressives et abondantes de certaines saisons ont montré le caractère aléatoire de cette règle. Les griffes et les ravines peuvent alors se former sur les versants quelle que soit leur pente. Elles se concentrent dans la partie moyenne du versant, tandis que vers la convexité d'amont, les ravines deviennent rares à cause de la faiblesse de la pente et la quantité faible des eaux accumulées.

Les griffes et les rigoles ont un aspect saisonnier sur les champs cultivés, parce que les labours ultérieurs et la poussée des plantes, peuvent temporairement les effacer. Mais sur les terres nues et délaissées, sur les versants pâturés, entre deux exploitations, ou sur les sentiers, ces rigoles évoluent continuellement.

Après leur encaissement qui survient généralement après les premières pluies de l'automne alors que la surface est encore nue, la recolonisation par la végétation n'arrive pas à estomper les traces des rigoles même si elle peut réussir à ralentir leur évolution.

L'anthropisation a un effet important dans le changement de la perméabilité de la surface. Tant que les versants et les bordures des plateaux connaissent un équilibre entre la quantité des eaux infiltrées et les eaux ruisselées en relation avec la pente et le couvert végétal, on peut parler d'équilibre. Mais l'utilisation dans ces espaces fragiles déclenche la rupture. Le labour est un exemple d'utilisation généralisée dans la région; la semelle de labour favorise une différenciation de perméabilité et de cohésion entre les niveaux supérieurs labourés et les niveaux de la semelle à 15 - 25 cm. Une pluie de forte quantité et intensité (à partir de 20mm/heure) déclenche un ruissellement hypodermique au niveau du contact entre les deux niveaux; de micro-foirages se constituent et favorisent la naissance de griffes et de rigoles.

L'évaluation du ravinement, s'avère très difficile parce que d'un versant à l'autre, plusieurs facteurs locaux déterminent le sens et l'amplitude du phénomène érosif comme la pente, la forme

du versant, la nature du sol et sa perméabilité, l'utilisation des terres. La mesure des formes de ravinement a permis de montrer qu'il ne se produisait presque aucun changement tant que les chutes de pluie sont restées faibles en quantité et en intensité.

Le labour semble être le facteur déterminant dans l'amplification de la dégradation, puisque les champs récemment labourés sont tous affectés par des griffes et des rigoles lorsque des épisodes intenses succèdent à des phases pluvieuses qui ont bien humecté le sol.

Le micro-bassin se caractérise par un écoulement instantané avec une réaction immédiate du ruissellement à l'intensité de pluie de pointe, alors que dans la majorité des cas, le chenal d'écoulement reste à sec. Un événement pluvieux d'automne, d'une intensité de 48 mm/h, sur un sol dépourvu de végétation a provoqué une crue instantanée mobilisant à l'exutoire un débit de 467 l/s et des quantités importantes de sédiments. Cet événement montre que le ruissellement prend moins de temps que l'intervalle d'enregistrement (5 minutes) pour arriver à l'exutoire.

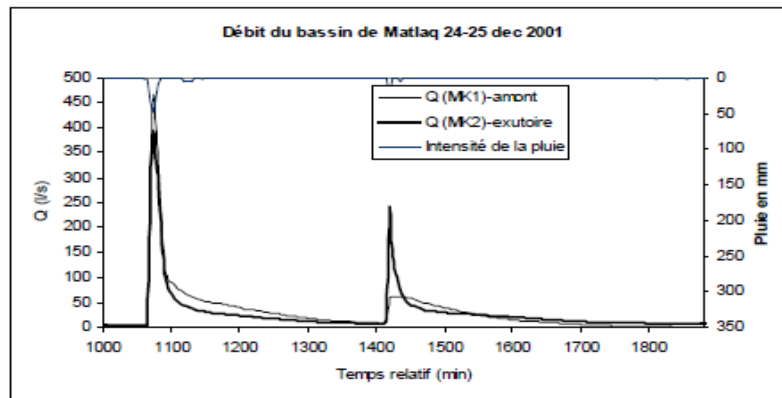


Fig 2. Hydrogramme de la crue de décembre 2001

Malgré leurs intensités, les précipitations enregistrées ultérieurement en saison hivernale ou printanière sur des surfaces protégées par un couvert végétal dense, dépassant les 60% de recouvrement, n'ont provoqué que des ruissellements modestes.

Le changement climatique risque de générer surtout les processus de chutes pluvieuses intenses et d'écoulement à débit élevé, à travers ce que l'on appelle communément les événements extrêmes. Les modèles projettent une baisse des pluies d'hiver, celles qui normalement produisent l'eau en abondance, en superficie comme en souterrain, et une hausse des événements intenses estivaux, avec des orages en accentuation sur des terres dénudées, causant une érosion très importante. Dans les recherches menées sur le bassin du Rhéraya (Simonneaux & al., 2015), il ressort des simulations du modèle météorologique ARPEGE pour la période 2070-2100, en comparaison avec 1960-1990 que malgré la réduction des précipitations annuelles de 10 à 14 %, mais avec plus de chutes en été et en automne, la production de sédiments pourra s'accroître de 4,7 à 10,1 %. Les auteurs considèrent néanmoins que les changements d'utilisation des terres pourraient potentiellement induire des changements beaucoup plus importants.

3.2- La gestion durable – ou conservatoire - des terres

Certaines formes d'occupation des terres, comme le surpâturage (Chaker et al., 2013) dégradent l'état de surface du sol et aggravent sa vulnérabilité, induisant le ruissellement direct en crue. Par contre, une gestion conservatoire des terres (Roose, 1994) constitue le moyen d'en relever la résilience. C'est ce que nous avons cherché à montrer en opérant deux essais de gestion conservatoire, à l'intérieur de l'un des deux micro-bassins expérimentaux sur lesquels nous avons travaillé (Aderghal et al., 2012).

- La première expérimentation a porté sur la réhabilitation d'un terrain raviné, abandonné depuis longtemps, sur un versant qui connaît une dégradation rapide, par recul de tête des ravins qui y sont incisés. Cette réhabilitation s'est basée sur la mise en défens d'un champ raviné dont le couvert végétal, uniquement constitué de maigres herbacées annuelles, a été enrichi par la plantation d'arbustes fourragers. En deux ans, on a pu observer la densification du couvert végétal

et le début de cicatrisation des ravines, alors qu'en dehors du champ expérimental, la dégradation a continué d'empirer.

- La seconde expérimentation a porté sur la restauration d'un versant au sol appauvri par effet d'érosion aratoire (labour), abandonné à la jachère depuis 3 ans, grâce à la mise en défens et l'adoption du semis direct, dans le but de remobilisation de la dynamique organique du sol.

Dans les deux cas, l'effet biomasse est fondamental car l'action de mise en défens des espaces pâturés est essentielle pour restaurer la résilience des écosystèmes et rétablir un bilan hydrique plus équilibré.

Plus globalement, la gestion conservatoire des terres représente une option aux effets positifs à court et à long terme, comparée aux interventions de « LAE » ou lutte antiérosive qui cherche à éviter les crues et l'envasement excessif des infrastructures de retenue; ce concept signifie l'adoption de techniques d'aménagement et d'ingénierie, en particulier des seuils et des terrassements, coûteuses et exigeant une expertise technique que les paysans ne possèdent pas. C'est pourquoi on a obtenu très peu de résultats démonstratifs jusqu'à présent

Par contre, la « GCT » ou gestion conservatoire des terres réduit le départ du ruissellement direct en relevant la part de l'infiltration, ce que permet la réhabilitation de la biomasse; Cela va générer, certes, plus d'ETP et peut être moins d'écoulement en moyenne; mais aussi moins de charge en matériaux solides et plus d'eau de drainage. Les étiages seront relevés. Globalement le débit sera plus régulier et pas forcément amoindri.

Le choix pour cette option exige une action combinée sur la totalité du paysage et non pas limitée aux superficies agricoles. La forêt, les parcours, les badlands sont au moins aussi fortement concernés. C'est ce qui fait que, souvent on peut être découragé devant l'immensité de la tâche.

On peut alors se poser la question: la déprise – abandon - des terres vulnérables représente-t-elle une option envisageable et est-elle une solution bénéfique ? Il est vrai que dans les portions de terrain ayant conservé un sol équilibré, on peut arriver à une certaine restauration écologique, dès l'arrêt des activités d'exploitation de la biomasse et du pâturage, ce qui renforce la résilience du terrain pour résister aux événements habituels et même face aux événements intenses. Mais, dans des terroirs aménagés avec terrassement, l'abandon des dispositifs existants sans entretien, peut mener à des formes de dégradation inattendues, avec notamment des mouvements de masse. Enfin, dans les terrains dénudés et au sol dégradé, l'arrêt de la mise en culture ne permet pas automatiquement la reprise du couvert végétal; des griffes et ravines peuvent succéder à un événement extrême et accélérer ainsi la dégradation en créant des paysages de bad lands.

L'option doublement gagnante réside dans une intensification raisonnée du couvert végétal, fondée sur l'exploitation des potentiels productifs du terrain ; cela permet d'améliorer les états de surface du sol, augmenter l'infiltration et donc l'alimentation hydrique de la biomasse et en même temps réduire le ruissellement direct et donc le risque de crue en aval.

L'évaluation des pratiques permet de tirer un certain nombre de recommandations. La régénération assistée de chêne liège (Machouri et al., 2008) présente plusieurs avantages, avec amélioration du taux de recouvrement, de la qualité fourragère et de la biodiversité floristique. Mais son coût élevé de mise en place et les contraintes sociales de parcours font que les opérations de régénération restent pratiquement de l'ordre de l'expérimentation. La pratique de la rotation culturale contribue à la conservation de l'eau et à l'amélioration de la structure du sol et de sa stabilité structurale ainsi que l'amélioration de sa fertilité. Elle a aussi des avantages économiques, notamment la diversification de la gamme des cultures pratiquées.

L'arboriculture exige du temps pour atteindre un taux suffisant d'efficacité et peut être en conflit avec le pâturage qui donne un revenu immédiat. Cependant ces recommandations restent théoriques tant qu'elles n'ont pas été appropriées par les acteurs locaux.

On peut se demander si, avec moins de ruissellement et surtout une évapotranspiration renforcée, ne risque-t-on pas de créer les conditions d'un déficit d'écoulement plus accusé ? Quelles peuvent être alors les marges de fourniture d'eau aux retenues de barrages en aval ? En fait, si on applique des actions bien réparties et bien ciblées de Gestion conservatoire en amont,

couplées avec une certaine extension de l'arrosage des cultures et l'adduction d'eau pour la population et de nouvelles activités, le bénéfice socio-économique tiré du développement de l'amont et l'équité territoriale que l'on aura obtenue ne pourra être que satisfaisante. L'amont aura rendu à l'aval un service écosystémique important, en réduisant les risques de crue d'une part et d'envasement des retenues d'autre part. Améliorer la gestion des terres et de l'eau renforce la productivité agraire et la biomasse, retient les sols, mais aussi les « hommes » et peut même créer des emplois supplémentaires.

Les petits exploitants considérés aujourd'hui comme les principaux responsables de la dégradation de la biomasse, par la surexploitation de bois d'énergie et le surpâturage en forêt comme dans les parcours, seront les seuls restaurateurs possibles de ces écosystèmes si on les implique dans le processus de gestion et si on arrive à les mobiliser dans cet objectif. Sinon, toute autre opération lancée en dehors de leur participation, ne pourra être que vaine.

Se pose alors le problème du financement des opérations de gestion conservatoire en amont. On peut évoquer l'instrument que peut représenter le paiement des Services environnementaux rendus par l'amont au bénéfice de l'aval. Mais il faut avoir préparé une stratégie acceptable par tous et avoir estimé un coût pour ces services.

CONCLUSION

L'évolution diachronique montre que les formes d'érosion ont nettement progressé depuis les années 1960. L'érosion ravinante est devenue la plus active. Par érosion en nappe, les terres fraîchement labourées perdent plus de sol que les jachères et les friches, notamment lors des crues automnales suite aux averses de forte intensité et de courte durée, responsables du dépassement de la capacité d'infiltration. Le ruissellement d'hiver peut être le résultat d'une saturation du sol. Les fortes intensités de pluie réduisent le temps de réponse à quelques minutes seulement, alors que la décrue est presque aussi rapide. Le coefficient de ruissellement, très moyen d'habitude, peut à l'échelle de l'averse, atteindre des valeurs très élevées.

Or, la lutte contre les crues est loin d'être une simple affaire d'ingénierie et de technique. Il est important de recenser et d'analyser les facteurs de risques et de prendre en considération leurs interactions. Les choix d'implantation urbanistique et des équipements doivent tenir compte des risques encourus et choisir des localisations sujettes au minimum d'impacts. Surtout, un levier fondamental doit être garanti : la responsabilisation des acteurs locaux vis-à-vis de l'ensemble des ressources naturelles de leur terroir.

Références bibliographiques

- ADERGHAL M., CHAKER M. et LAOUINA A. 2012, Evaluation des projets de lutte contre la dégradation des terres: la commune des Sehoul (Maroc), Sécheresse vol. 23, n83, p. 211 -218
- CHAKER M., LAOUINA A. & EL MARBOUH M. 2013: Changement agropastoral et dégradation des terres dans le plateau Sehoul, in Proceedings de la Réunion multi-acteurs, sur le bassin du Bouregreg, ARGDT – SIGMED, p. 85-102
- LAOUINA A., COELHO C., RITSEMA C., CHAKER M., NAFAA R., FENJIRO I., ANTARI M., FERREIRA A. & VAN DIJCK S. 2004: Dynamique de l'eau et Gestion des terres dans le contexte du changement global, analyse agro-hydrologique dans le bassin du Bouregreg (Maroc), Sécheresse, vol. 15, n° 1, p. 66-77.
- MACHOURI N., NAFAA R., LAOUINA A., 2008. Problématique de dégradation des subéraies atlantiques Marocaines. Les deuxièmes Assises de la Recherche Forestière: Réhabilitation des forêts de chêne liège. Annales de Recherche Forestière au Maroc. Tome (spécial) 39. pp 74- 84
- NAFAA, R. 2002. Dynamique du milieu naturel de la Mamora. Paléo environnements et évolution actuelle de la surface. Thèse de Doctorat, Université Hassan II, Mohammedia. Publications de la Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Mohammedia. Série Thèses No 3, 321 p.
- ROOSE E., 1994. Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). Bull. Pédol. FAO. N°70, 420 p.
- SIMONNEAUX V., CHEGGOUR A., DESCHAMPS C., MOUILLOT F., CERDAN O. 2015: Land use and climate change effects on soil erosion in a semi-arid mountainous watershed (High Atlas, Morocco). Journal of Arid Environments, Elsevier, 2015, 122, pp.64-75

RUISELLEMENT, INFILTRATION ET DYNAMIQUE DES ETAS DE SURFACES DES SOLS FERSIALITQUES DU RIF CENTRAL (MAROC) : CAS DU BASSIN DE L'OUED SRA

EL-OMMAL Mouhssine¹ (m.elommal@gmail.com), TRIBAK Abdellatif¹, AMHANI Zakariae¹, ARARI Khalid¹, ABAHROUR Mohamed²

¹ Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fès, Maroc.

² Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Taza, Maroc.

Résumé: L'objectif de la présente étude est de déterminer la dynamique d'infiltration et de ruissellement ainsi que la charge solide sur des micro-parcelles de sols fersiallitiques (1m²) à l'aide d'un mini-simulateur de pluies à rampe. Les essais de simulation effectués en été et en hiver concernent aussi bien des terrains cultivés que ceux en jachère ou totalement abandonnés. Avant chaque simulation, l'état de surface des parcelles concernées a été vérifié, il s'agit de relever le taux de surfaces fermées ou ouvertes, couvertes ou nus selon la méthode des points quadrats (Roose., 1996). Les résultats obtenus montrent que l'infiltration finale se caractérise par une fluctuation apparente, entre (10,80 mm/h et 71,92 mm/h). Les terrains abandonnés ou destinés à la cannabiculture représentent de faibles valeurs, tandis que des valeurs très élevées sont enregistrées sur les terrains de céréaliculture et les jachères. Par ailleurs, le transport solide varie entre (8,12 et 74,27 g/l); les valeurs maximales sont enregistrées dans les terrains de cannabiculture suivis et les terrains abandonnés.

Mots clés : Rif Central, Simulation de pluie, Infiltration, Ruissellement, érosion, état de surface.

Abstract: The objective of the present study is to determine the infiltration and runoff dynamics as well as the solid load on micro-plots of fersiallitic soils (1m²) using a mini-simulator of rainfall with ramp. The simulation tests carried out in summer and in winter concern both cultivated and fallow or totally abandoned lands. Before each simulation, the surface condition of the concerned plots was checked, it is a question of raising the rate of closed, open, covered or bare surfaces according to the quadrat point method (Roose, 1996). The results obtained show that the final infiltration is characterized by an apparent fluctuation, between (10.80 mm / h and 71.92 mm / h). Land abandoned or intended for cannabis cultivation represents low values, while very high values are recorded on land for cereals and fallow land. In addition, the solid transport varies between (8.12 and 74.27 g / l); the maximum values are recorded in the cannabis and the abandoned fields.

Keywords: Central Rif, Rain simulation, Infiltration, Runoff, erosion, surface conditions.

1 - Introduction

Le bassin versant de l'Oued Sra d'une superficie d'environ 553 km², situé au cœur des montagnes du Rif Central (Fig-1), connaît une dynamique érosive très prononcée, en raison de la vulnérabilité du milieu physique et la forte pression anthropique. Cette dynamique engendre de impacts néfastes sur l'environnement et les ressources en eau et en sol, notamment l'envasement du barrage Bouhouda situé à l'aval du bassin. Le présent papier propose d'étudier la dynamique d'infiltration et du ruissellement des sols fersiallitiques en fonction des utilisations des sols et de l'évolution de leurs états de surface sur différentes périodes de l'année agricole sous des pluies simulées. La méthode préconisée consiste en l'utilisation d'un mini-simulateur de pluie à rampe sur des micro-parcelles (1 m²), permettant d'obtenir, de façon expérimentale et dans un temps relativement court, de nombreuses données mesurées quant au comportement de l'eau en surface et dans le sol sous des averses artificielles (Morsli 2012; Meddi *et al.* 2005) et de tester la détachabilité superficielle d'un sol (Roose, Smolikowski, 1997).

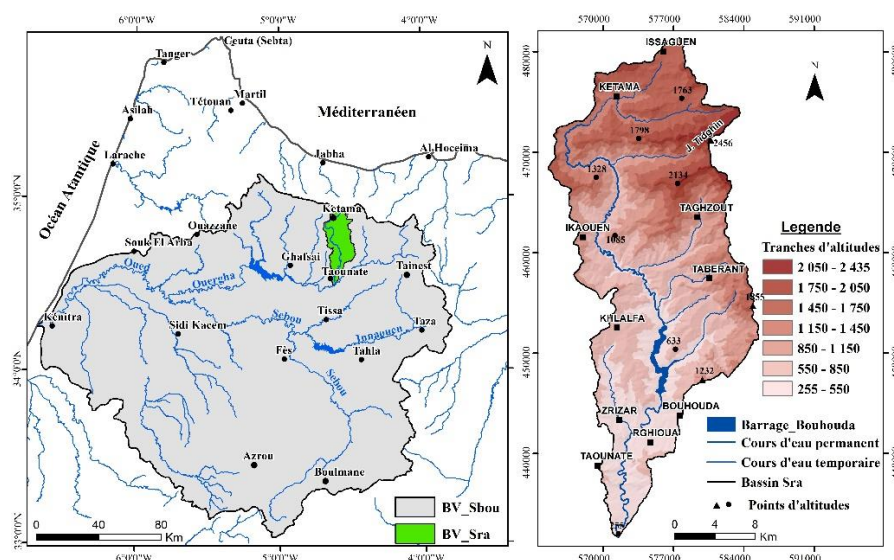


Figure 1. - localisation géographique et hypsométrie du bassin de l'oued Sra

2 - Un milieu fragile et propice aux risques d'érosion

Le bassin versant de l'Oued Sra constitue un milieu fragile et vulnérable intensément affecté par les processus d'érosion. Ce milieu se caractérise par une topographie accidentée de montagnes qui offrent un modèle de versants irréguliers en rapport avec la structure géologique et l'importance des héritages quaternaires. Il évolue dans un climat méditerranéen semi-aride, associé à une forte irrégularité des précipitations annuelles et des contrastes saisonniers. Les moyennes annuelles sont de 663mm pour la station Bouhouda et 751mm pour la station Taghazout. Les densités humaines y sont importantes, elles dépassent le seuil de 200 h/km² dans certaines communes, avec des activités inadaptées exercées sur des versants raides où les sols sont fragiles et sensibles au ruissellement. Les surfaces occupées par les forêts/reboisement ont subi une régression significative entre 1986 et 2018 avec (-155%) et une augmentation prononcée des aires cultivées (+29,75%) et d'arboriculture (+33,90%) pour satisfaire essentiellement les besoins des populations en terre de culture (El-ommal., 2021), ce qui accélère les processus et les formes d'érosion hydrique.

3 - Matériels et méthodes

La dynamique d'infiltration et de ruissellement en fonction des conditions de surface du sol a été testée en utilisant la simulation des précipitations sur des micro-parcelles de sols fersiallitiques (1m²) à l'aide d'un mini-simulateur à rampe, avec des pluies simulées de 50 mm et des intensités de 80 mm / h (Abahrour et al., 2015; Sabir., 2007). Avant chaque simulation, les états de surfaces des parcelles concernées ont été vérifiées selon la méthode des points quadrats (Roose., 1996), dans l'objectif de déterminer les taux de surfaces couvertes ou nues et de surfaces fermées ou ouvertes.

Les tests de simulation ont été menés dans deux saisons différentes (l'été et l'hiver) afin de comparer et de déterminer les effets des types d'occupation du sol selon les saisons sur l'infiltrabilité, le ruissellement et les pertes en sol. De même, l'indice de rugosité (Ir %) a été bien relevé (trois répétitions) par une chênnette souple selon la méthode de Roose *et al.* (1997). Par ailleurs, des échantillons de sols ont été prélevés et séchés à l'étuve à 105°C pendant 24 heures afin de déterminer les propriétés de l'horizon superficiel pour chaque site choisi (l'état d'humidité préalable du sol, la densité apparente g/cm³ mesurée par un cylindre de volume à égale 269.3 cm³ et la porosité).

4 - Résultats et discussions

4.1 -Pluie d'imbibition selon les saisons en fonction du type d'occupation du sol

Les simulations de pluies montrent que la pluie d'imbibition selon l'occupation du sol et les saisons varient entre 1,43 et 7,20 mm/h, avec un déclenchement rapide du ruissellement dans l'ensemble des parcelles étudiées (Tab. 1). Les valeurs les plus élevées ont été enregistrées dans les terrains labourés (7,20 mm/h) et les parcelles de cannabiculture (5,67 mm/h); par contre les

valeurs les plus basses concernent surtout les terres abandonnées (moins de 2,95 mm/h). L'état de surface des terres de culture exerce, de son côté, une large influence sur les modalités de ruissellement et d'érosion. De manière générale le labour augmente la porosité des sols et, par conséquent, leur capacité d'infiltration. Il permet d'ouvrir la surface des sols, de casser les croûtes superficielles et de renforcer leur rugosité dont l'indice (Ir%) présente des valeurs plus de 10% dans les terrains cultivés au cours des deux saisons. Cependant, sur les parcelles à jachère périodique et abandonnées, la dégradation structurale de surface est très poussée, réduisant au maximum la capacité d'infiltration. Leur compactage et leur durcissement superficiel, qui s'accroissent avec le temps, contrôlent pour une bonne part la nature des écoulements.

Occupation du sol	ETE							
	H%	Ir%	Da g/cm ³	SN%	SC%	SF%	SO%	Pi mm
Terrains Labourés (Cannabiculture)	1.68	4	1.17	96.15	3.85	93.36	6.64	5.67
Terrains Labourés (céréaliculture)	3.03	10.55	1.05	11	91	88.5	11.5	7.20
Terrains Jachères	3.68	5	1.15	52.85	37.85	80	20	5.60
Terrains Abandonnés	1,77	3,33	1,70	81,7	18,3	91,36	8,64	2,95
HIVER								
	H%	Ir%	Da g/cm ³	SN%	SC%	SF%	SO%	Pi mm
Terrains Labourés (Cannabiculture)	7.9	3.33	1.46	87	13	85	15	4.00
Terrains Labourés (céréaliculture)	17.27	12.21	1.20	11	89	61.17	39.83	1.47
Terrains Jachères	17.04	6	1.41	45	55	34.6	65.4	2.67
Terrains Abandonnés	12,05	2,77	1,39	57,44	42,56	98,34	10,66	1,43

Tab. 1- Caractéristiques des états de surface des parcelles et Pluie d'imbibition selon les saisons en fonction de l'occupation du sol

Pi: Pluie d'imbibition (mm/h); **Hi** : humidité préalable du sol (%); **Ir** (%): Indice de rugosité; **Da**: Densité apparente (g/cm³); **SN**: surface nu (%); **SC**: surface couverte (%); **SF**: surface fermée (%); **SO**: surface ouverte (%).

Par ailleurs, la pluie d'imbibition a enregistré un grand contraste d'une saison à l'autre, avec des quantités nettement plus basses en hiver qui ne dépassent pas 2,39 mm/h en moyenne. Ceci reste proportionnel aux propriétés hydriques du sol notamment l'humidité initiale qui présente des valeurs plus élevées allant de 7,9 au 17,27%. Par contre l'été, qui marque des quantités de pluie d'imbibition très élevées, présente les basses valeurs de l'humidité initiale du sol qui restent inférieures à 3,68% dans toutes les types d'occupations du sol (Tab.1). Cela est confirmé par (Morsli 2012 ; Meddi *et al.* 2005) en Algérie qui ont indiqué des valeurs de déclenchement du ruissellement très faibles dans les sols humides (1.6-2.6 mm) et les sols très humides (0.5-1.3 mm).

4.2 - Dynamique de l'infiltrabilité en fonction des utilisations du sol selon les saisons

Les différents tests de simulations de pluie ont permis de constater que l'infiltration finale se caractérise par une fluctuation apparente, entre (10,80 et 71,92 mm/h). Les valeurs très élevées sont enregistrées dans la saison d'été sur les terrains labourés par la céréaliculture et la jachère par rapport aux terrains abandonnés et de cannabiculture qui ont enregistrés des valeurs faibles (Fig. 2-3). Cela s'explique par leur état de surface qui présente des paramètres favorables à l'infiltration, liés essentiellement aux labours qui augmentent la rugosité qui présente des indices situés entre 10,55 à 12,21. A titre de comparaison, Abahrour *et al* (2015) dans le bassin versant de l'Oued Telata indiquent que les taux d'infiltration restent nettement très élevés sur les terrains labourés (plus de 50 mm/h).

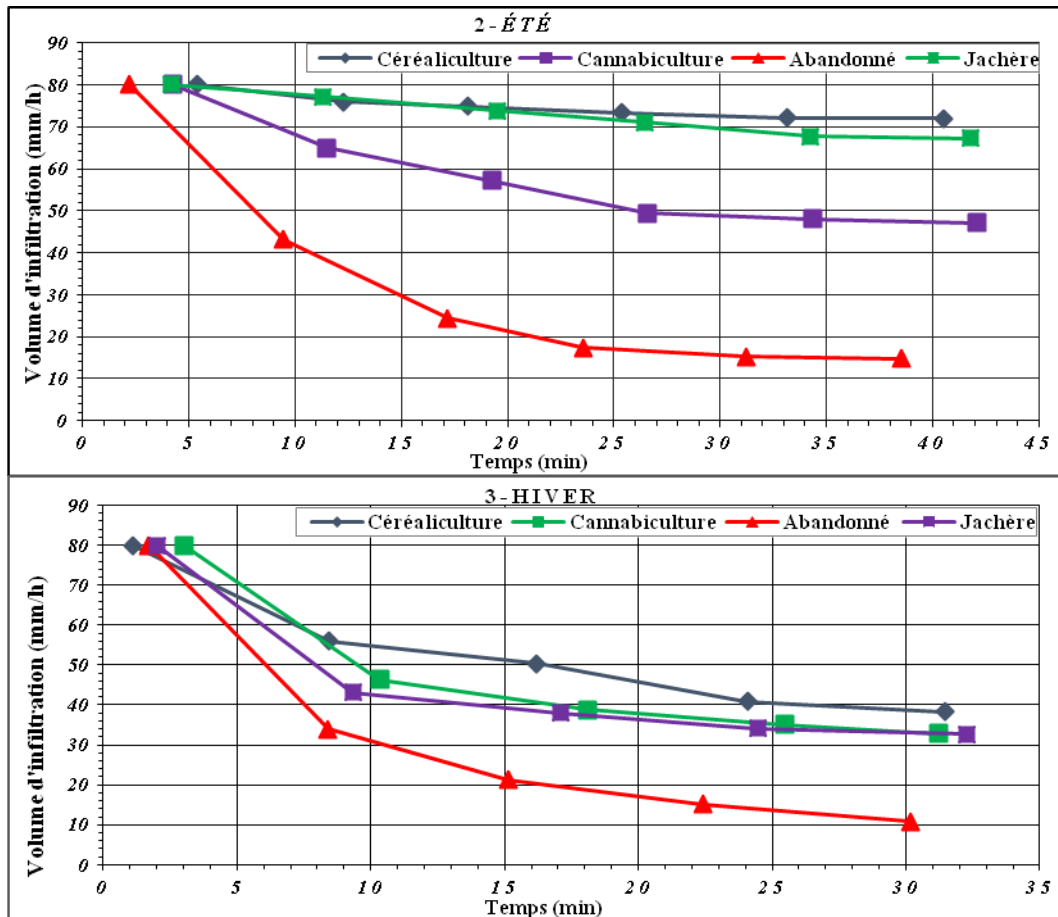


Fig. 2-3-. Evolution de l'infiltrabilité selon les saisons en fonction de l'occupation du sol dans les sites expérimentaux

Par contre les terres abandonnées et la cannabiculture donnent des valeurs plus basses de l'infiltration finale qui descend jusqu'à 10,80 mm/h dans les terrains abandonnés. Elle marque une diminution significative après le déclenchement du ruissellement jusqu'à la fin de simulation et l'augmentation du coefficient du ruissellement. Ceci s'explique par la prédominance des états de surfaces nues qui dépassent 80% dans la saison d'été, avec une très faible rugosité (moins de 3,33 % pour les terrains abandonnés et 4% pour la cannabiculture). La densité apparente aussi est très élevée dans ces deux types d'occupation du sol (entre 1,17 et 1,70 g/cm³); valeur qui signifie un tassement du sol qui limite largement l'infiltration et favorise le ruissellement. Ces résultats sont similaires au constat souligné par certains auteurs dans d'autres régions du Maghreb. Abahrour (2009) dans le Prérif oriental indique que les taux du ruissellement dans les terrains abandonnés restent extrêmement élevés (68.60 % mm/h); de même, Morsli *et al* (2004) en Algérie ont trouvé que le ruissellement maximum sur sol nu et tassé a atteint des valeurs relativement élevés: jusqu'à 56% à Tlemcen et 80% à Médéa.

4.3 - Estimation du transport solide

Les transports solides qui ont été mesurés à l'aval des parcelles montrent clairement la fragilité des sols fersiallitiques avec une moyenne de 32,16 g/l. Néanmoins, on assiste à une grande variabilité selon les saisons en fonction de types d'occupation du sol allant du 8,12 au 74,27 g/l (Fig 4). La comparaison entre les types d'occupation fait apparaître que les zones consacrées à la cannabiculture ont marqué la valeur la plus élevée de transport solide, suivies des terrains abandonnés puis les jachères et la céréaliculture avec des valeurs moyennes respectives de 60,79 ; 29,69 ; 21,92 et 16,24 g/l.

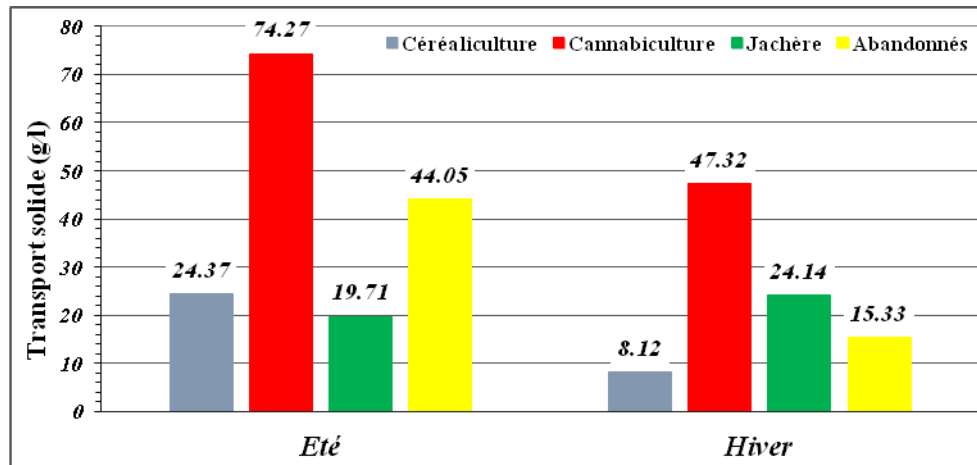


Fig.4. Volume de la perte en sol selon les saisons en fonction d'occupation du sol

Les mesures des transports solides ont mis en évidence le rôle prépondérant des états de surface du sol, particulièrement les surfaces couvertes et nus dans la variabilité des pertes en sols. La valeur la plus basse a été enregistrée dans la parcelle de céréaliculture allant de 8,12 à 24,37 g/l. Ces parcelles présentent une couverture dense pendant les deux saisons estimée en moyenne à 90%; elle se compose des herbes et des adventices en hiver et par un mulch résiduel de paille et des végétaux morts qui présentent une bonne protection du sol en été. Par contre le cannabiculture présente 96.15% de surface nus en été et 87% en hiver, ce qui augmente les pertes en sols. L'importance des surfaces couvertes dans la diminution des pertes en sols a été confirmée par plusieurs chercheurs (Wischemier *et al.* 1978; Roose 1994, 1996; Tribak 2000; Moufadal 2001 ; Abahrour 2009; Moussadak *et al.* 2011; Roose *et al.* 2012; Abahrour *et al.* 2015; Morsli *et al.* 2015, Nadoum *et al.* 2015). En effet, la couverture du sol ralentit l'écoulement de l'eau à la surface, lui donnant plus de temps pour s'infiltrer dans le sol et représente aussi une forte barrière physique vis-à-vis de la pluie qui induit une réduction significative des pertes en terre par rapport à des sols nus (Aserar *et al.* 2019).

5. Conclusion

La présente étude nous a permis de déterminer le comportement hydrodynamique du sol et le transport solide dans le bassin versant de l'Oued Sra sous pluies simulées. Les résultats ont mis en évidence la fragilité des sols fersiallitiques, qui constituent aussi une source importante des sédiments dans cette région du Rif Central. Également, ces résultats confirment l'effet des activités anthropiques sur le comportement hydrodynamique et la détachabilité des sols, qui se traduit par les caractéristiques des états de surface, notamment les surfaces nues, dont les parcelles destinées aux cannabiculture par leur mode d'utilisation inadapté sont les plus exposés à la dégradation par les processus d'érosion. Par contre les couvertures des sols influencent nettement la réduction des coefficients de ruissellement et par conséquent les pertes en sols. .

Références bibliographiques

- ABAHROUR, M. (2009). Contribution à l'évaluation quantitative de l'érosion hydrique dans le Prérif Oriental (Cas du bassin versant de l'Oued Teleta). (Thèse de doctorat en Géographie). FLSH Sais – Fès, 291 p. (Texte en Arabe).
- ABAHROUR, M., TRIBAK, A., EL GAROUANI, A. (2015). Dynamique du ruissellement et de l'érosion sur les terrains labourés du Prerif Oriental : cas du bassin de l'Oued Tleta. In Acte du colloque international : Eau et Climat: Regards croisés Nord/Sud (p. 99-106). Publication FLSH sais-Fès, 52.
- ASERAR N., MOUSSADAK R., DOUIRA A. (2019). Étude quantitative de l'érosion hydrique des sols dans le bassin versant de Ben Ahmed (Maroc Central). Rev. Mar. Sci. Agron. Vét. 7 (2): 385-389.
- COLLINET J., LAFFORGUE A. (1979). Mesures de ruissellement et d'érosion sous pluies simulées pour quelques types de sol de Haute-Volta. ORSTOM. Abidjan. 129p.

- EL-OMMAL M. (2021). Dynamiques des versants: l'évaluation quantitative et quantitative de l'érosion hydrique et la problématique d'aménagement spatiale dans le Rif Central: Cas du bassin versant de l'Oued Sra. (Thèse de doctorat en Géographie). FLSH Sais – Fès, 409 p. (Texte en Arabe).
- MORSLI B., MAZOUR M., MEDEDJEL N., HAMOUDI, A., ROOSE E. (2004). Influence de l'utilisation des terres sur les risques de ruissellement et de l'érosion sur les versants semi-arides du nord-ouest de l'Algérie. *Sécheresse* 2004 ; n°15, pp. 96-104.
- MORSLI, B., HABI, M. 2015. Effet du comportement hydrodynamique des sols argileux sur les risques de ruissellement et d'érosion du sol: cas des sols des montagnes méditerranéennes de Beni-Chougrane Algérie. *Zeitschrift für Geomorphologie*; Appeared or available online. Pp. 355-376.
- MORSLI, B., HABI, M., MAZOUR, M., HAMOUDI, A. HALITIM, A. (2012). Erosion et ruissellement en montagnes méditerranéennes d'Algérie du Nord: analyse des facteurs conditionnels sous pluies naturelles et artificielles. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 1, pp. 33-40.
- MOUFFADAL K. (2001). Les premiers résultats des parcelles de mesures des pertes en terre dans le bassin versant d'Oued Nakhla dans le rif occidental. *Bull Réseau Erosion*, 21, pp. 244 - 254.
- MOUSSADEK R., MRABET R., ZANTE P., LAMACHERE J-M., PEPIN Y., LE BISSONNAIS Y., YE L., VERDOODT A. & VAN RANST E. (2011). Effets du travail du sol et de la gestion des résidus sur les propriétés du sol et sur l'érosion hydrique d'un Vertisol Méditerranéen. *Rev. Canadian Journal of Soil Science*, 91, n°4, pp. 627-636.
- ROOSE E. (1996). Méthodes de mesure des états de surface du sol, de la rugosité et des autres caractéristiques qui peuvent aider au diagnostic de terrain des risques de ruissellement et d'érosion, en particulier sur les versants cultivés des montagnes. *Bull Réseau Erosion*, 16, pp. 87-97.
- ROOSE E., SABIR M., ARABI M., MORSLI B., MAZOUR M. (2012). Soixante années de recherches en coopération sur l'érosion hydrique et la lutte antiérosive au Maghreb. *Physio-Géo*, Vol. 6,1, pp. 43-69.
- TRIBAK A. (2000). L'érosion hydrique en moyenne montagne du Prérif oriental : étude des agents et des processus d'érosion dans une zone de marnes tertiaires. Thèse d'état. 350p.

LE RISQUE D'ÉROSION HYDRIQUE : CAS DU SOUS BASSIN DE LAKHDAR

Fatiha AIT EL HAJ, Latifa OUADIF, Ahmed AKHSSAS

Laboratoire de Géophysique appliquée, de Géotechnique, de Géologie de l'Ingénieur et de l'environnement (L3GIE), Ecole Mohammedia d'ingénieurs (EMI), Université Mohamed V de Rabat, fatihaaitelhaj12@gmail.com

RESUME: Le risque d'érosion hydrique résulte de plusieurs facteurs tel que le facteur climatique, qui favorise et accélère les pertes en sol et menacera gravement les potentialités en eau et en sol. L'objectif de cette étude est l'évolution de l'érosivité des précipitations, comme étant un facteur déterminant de l'érosion hydrique, à travers des données annuelles et mensuelles de pluie. Comme cadre spatial, nous avons choisi un sous bassin qui appartient au bassin hydraulique de Oum Er-ERbia situé au Moyen Atlas du Maroc.

L'estimation de l'indice d'érosivité des précipitations (R) (nombre d'unité caractérisant l'érosivité de la pluie pendant un temps donné) nécessite le calcul de l'érosivité d'un événement pluie. Ce dernier se calcule selon l'équation universelle des pertes en sol (USLE) établie par Wischmeier, qui est l'un des indices les plus utilisés actuellement. Il considère l'effet des deux paramètres à savoir la hauteur et la durée de précipitation, et qui nous procure une information importante sur le phénomène de l'érosion hydrique du sol. En vue de prédire les pertes en sol dues à l'agressivité climatique dans cette zone, les valeurs de cet indice peuvent être Interpolées et cartographiées par les SIG en vue d'estimer la variabilité et l'influence spatiale à la fois des précipitations et de facteur d'érosivité (R) des précipitations.

Mots clés: Erosion hydrique, facteur climatique, érosivité des pluies, SIG, bassin Oum er-rbia

THE RISK OF WATER EROSION: CASE OF THE LAKHDAR SUB-BASIN

ABSTRACT: The risk of water erosion results from several factors such as the climatic factor, which favors and accelerates soil losses and will seriously threaten water and soil potentialities. The objective of this study is the evolution of rainfall erosivity, as a determining factor of water erosion, through annual and monthly rainfall data. As spatial framework, we have chosen a sub-basin belonging to the hydraulic basin of Oum Er-ERbia located in the Middle Atlas of Morocco.

The estimation of the rainfall erosivity index (R) (number of units characterizing the erosivity of rain during a given time) requires the calculation of the erosivity of a rain event. The latter is calculated according to the Universal Soil Loss Equation (USLE) established by Wischmeier, which is one of the most widely used indices today. It considers the effect of the two parameters, i.e. the height and duration of precipitation, and provides us with important information on the phenomenon of soil water erosion. In order to predict soil losses due to climatic aggressiveness in this area, the values of this index can be interpolated and mapped by GIS to estimate the variability and spatial influence of both precipitation and precipitation erosivity factor (R).

Keywords: Water erosion, climatic factor, rainfall erosivity, GIS, Oum er-rbia basin

INTRODUCTION

L'érosion des sols est un processus naturel progressif qui se produit sous l'impact de l'eau et qui provoque le détachement, le transport des particules terreuses dû à un ensemble des facteurs le plus agressive est le facteur climatique (pluie). Le phénomène d'érosion constitue l'un des principaux facteurs de dégradations des sols au Maroc, qui a pour conséquence une exportation et perte de potentiel de production des sols, et qui influence gravement la fertilité des sols et réduit le rendement des cultures et provoque l'envasement des retenues.

Pour estimer l'érosion des sols et élaborer des plans de gestion de ce risque, il est nécessaire d'évaluer l'influence de chacun des facteurs de l'érosion sur ce phénomène, tels que le facteur: climatique, l'occupation de sol, la topographie... La présente étude a pour objectif principal l'établissement d'un diagnostic général sur l'impact de l'érosivité de pluie sur ce phénomène, comme étant le facteur majeur de la prédiction des pertes en sol. Ce facteur peut être déterminé par plusieurs modèles, mais le modèle le plus utilisé dans le monde est le modèle R.U.S.L.E (équation universelle Révisée de perte en sol), qui combine l'impact de chaque facteur contrôlant l'érosion hydrique à travers des modèles empiriques. Un ensemble des données pluviométrique de la zone d'étude, va être analysé et traité pour déterminer l'indice d'érosivité de pluie et qui va être intégré dans un environnement SIG(les systèmes d'information géographique) afin d'estimer et analyser les pertes de sol de sous bassin Lakhdar à l'intérieur de grand bassin de Oum Er –Rbia Le résultat de cette analyse et de présenter une carte qui donne une idée sur l'hétérogénéité spatiale de l'érosion et qui présente les zones les plus vulnérables aux phénomène de dégradation des sols dû à l'effet de pluie.

1. Description de la zone d'étude

Le sous bassin de Lakhdar appartient au système hydraulique d'oued Oum Er-Rbia d'une superficie de 3503 Km².

Le sous bassin Lakhdar est situé à l'extrémité Est du bassin Haouz Mejjate, il est délimité au Sud et au Sud-Est par les montagnes du Haut-Atlas et à l'Ouest par le sous bassin de Tassaout.

Le sous bassin Lakhdar est drainé par le cours d'eau principal (oued lakhdar) qui draine les parties Ouest et Sud-Ouest du bassin, son principal affluent est Oued Bernat qui draine les parties Nord et Nord-Est. Il comprend le barrage Hassan 1^{er} (mis en service en 1986) et le barrage Sidi Driss (mis en service en 1984), qui assurent l'irrigation du périmètre agricole et l'alimentation en eau potable de la population de la zone.

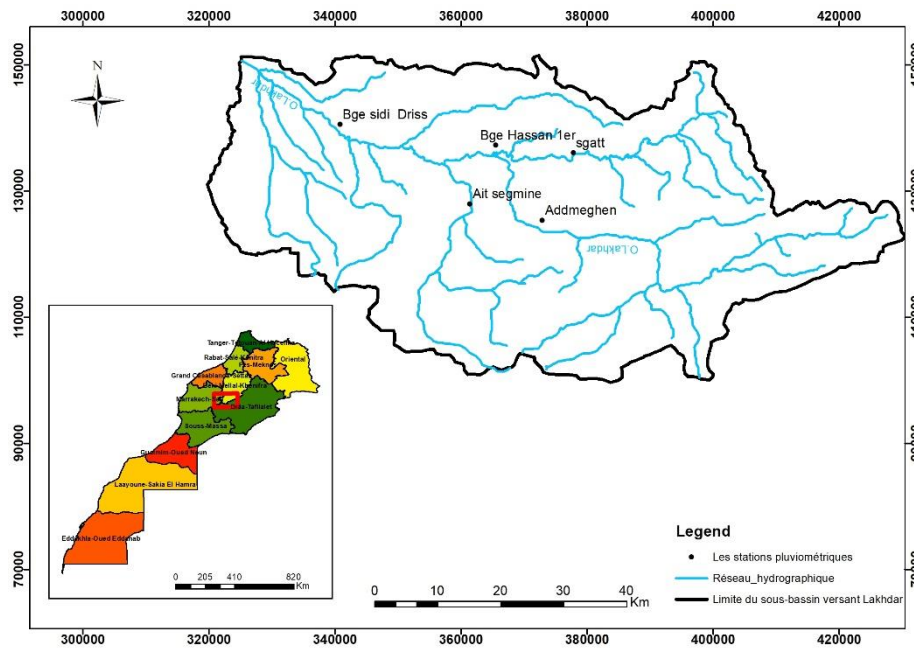


Figure 4: Carte de localisation du sous bassin Lakhdar

La topographie du terrain au niveau du sous bassin de Lakhdar est relativement accidentée, qui se caractérise par la variation d'altitude entre 488 m au niveau de l'oued Tensift à 4017 m au niveau du Haut Atlas. On distingue trois grandes zones morphologiques :

- Une zone de montagne (altitude > 1500 m) représentant environ 52% en superficie de l'ensemble du sous bassin et qui coïncide avec la zone d'alimentation de l'oued Lakhdar et de ses principaux affluents.
- Une zone de piedmont (800m<altitude<1500m) représentant environ 31% en superficie du bassin et qui correspond à la zone de disponibilité relative des eaux de surface et de l'irrigation traditionnelle à partir de prélèvement au fil de l'eau sur les cours d'eau.
- Une zone de plaine (altitude<800m) et qui correspond généralement aux zones d'agriculture bour et développement de pompage à partir de la nappe. la zone de plaine occupe environ 17% de la superficie du sous bassin de Lakhdar.

Sur le plan géologique, le sous-bassin de Lakhdar se trouve dans la partie orientale du bassin du Haouz-Mejjate (Figure 2). La partie Nord-Est du sous-bassin est constituée de la terminaison orientale du bassin sédimentaire du Haouz Mejjat. Il s'agit des formations continentales de remplissage, d'âge Mio-Plio-Quaternaire, très hétérogènes, comportent notamment :

- Des conglomérats dans une bande de seulement 2-3 km de haut alignée au pied de l'Atlas qui se prolonge vers le Nord dans l'axe du cours actuel de l'oued Lakhdar.
- Des formations alluviales remaniées au quaternaire, constituées de galets, graviers et sables à forte perméabilité correspondant à d'anciens lits d'oueds.
- Ces formations perméables passent en allant vers le Nord à des formations limoneuses, parfois encroûtées en surface.

Le reste de la partie nord du sous-bassin Lakhdar est constitué d'une alternance du Jurassique (Lias, jurassique moyen et jurassique gréseaux rouge du haut Atlas). Dans la partie sud, des formations du secondaire plus ancien (Trias) et du primaire affleurent, il s'agit notamment du Dévonien non subdivisé et de l'Ordovicien non subdivisé.

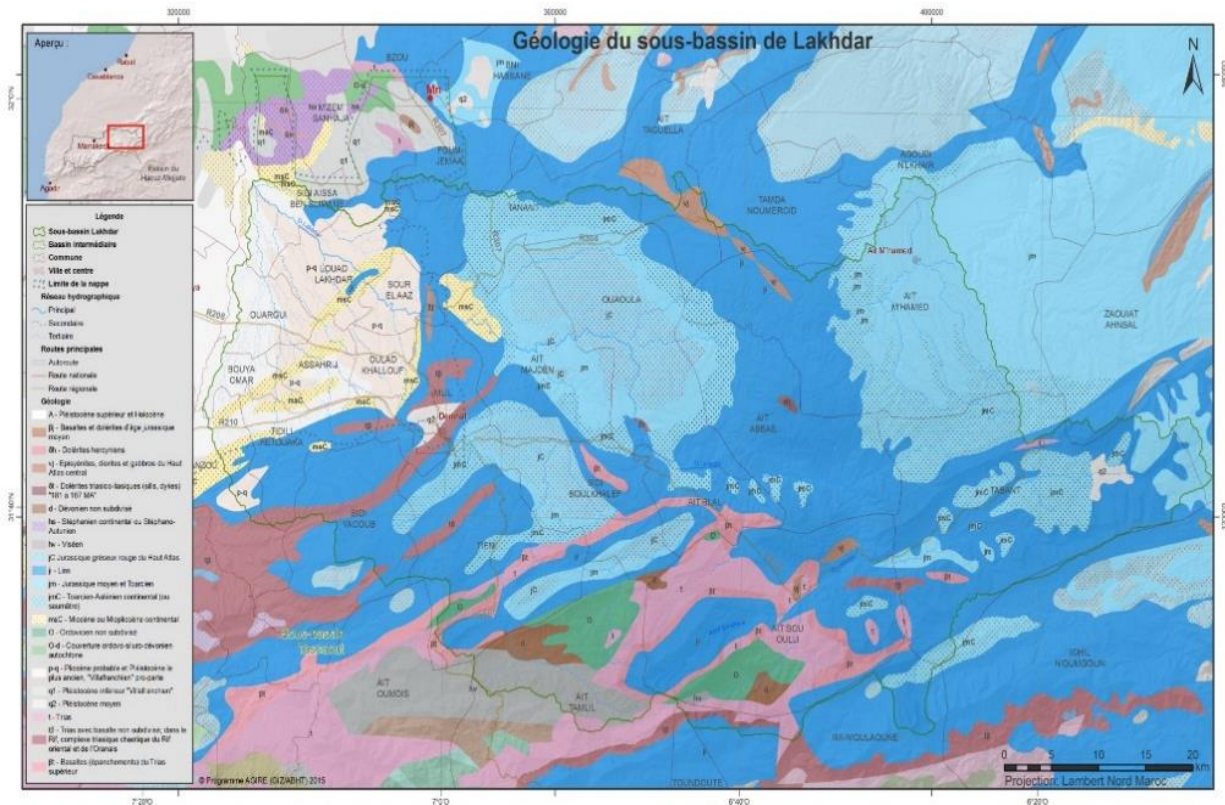


Figure 5: Carte géologique du sous bassin Lakhdar (réf: convention eau Haouz)

Le bioclimat de la zone d'étude se subdivise en cinq étages:

- L'étage aride à hiver tempéré couvrant toute la zone de plaine du sous bassin (18% du sous bassin en termes de superficie),
- L'étage semi-aride à hiver frais occupant la zone de piedmont (12% du sous bassin),
- L'étage humide à hiver tempéré ne couvre que 3% de la superficie du sous bassin,
- L'étage humide à hiver frais, qui couvre 46% de la superficie du sous bassin et la grande partie de la zone montagne,
- L'étage semi-aride à hiver froid qui couvre une partie de la zone montagne du sous bassin et s'étend sur 18% de la superficie de celui-ci. La haute montagne à hiver froid occupe 4% de la superficie du sous bassin Lakhdar.

2. MATERIEL ET METHODES

Le modèle empiriques RUSLE est basé sur l'Equation universel des pertes de sols de Wischmeier et représente une révision de l'ancien modèle USLE. L'équation universelle de perte de sol a été développée par Wischmeier et Smith en 1978 pour évaluer la distribution spatiale du risque d'érosion des sols, ce modèle est compatible avec l'environnement SIG. Il permet d'estimer les pertes en terres pour des prédictions à long terme (>20 ans) et concernant l'érosion en nappe et en rigole des parcelles agricoles. Il s'agit d'un modèle empirique qui réunit les facteurs ayant une incidence sur la vitesse de l'érosion par l'eau, à savoir l'énergie cinétique des pluies intenses, les propriétés du sol, les caractéristiques du terrain, la protection du sol par la couverture végétale et les pratiques anthropiques. L'USLE est une équation empirique combine six facteurs, comme indiqué ci-dessous:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

Où:

A: Perte annuelle de sol (t.ha-1.an-1);

R: facteur d'érosivité des pluies (MJ.mm.ha-1.h-1.an-1);

K: facteur d'érodibilité du sol (t.ha.h.ha-1.MJ-1.mm-1);

L: Longueur de la pente (m);

S: Inclinaison de la pente (%);

C: facteur sans dimension de la couverture végétale et des pratiques culturales, et

P: facteur sans dimension de contrôle de l'érosion et des pratiques de conservation du sol.

Facteur d'érosivité de la pluie (R)

L'érosivité de la pluie est définie comme la capacité potentielle de pluie à causer de l'érosion et donnée comme le produit (E*I30) de l'énergie totale de pluie (E) et l'intensité maximale pendant 30 min (I30). Les seules données disponibles concernant les précipitations dans les stations dans le bassin ou sa proximité sont des moyennes mensuelles et annuelles. C'est la raison pour laquelle on a utilisé la formule alternative de Rango et Arnoldus (1987) la plus adoptée au Maroc, dont l'expression est :

$$\log R = 1.74 * \log \sum \left(\frac{P_i^2}{P} \right) + 1.29$$

Où Pi représente les précipitations moyennes mensuelles et P les précipitations annuelles en mm. Il est calculé en utilisant un nombre important de stations pluviométriques, par la suite les résultats ont été interpolés sur le reste du bassin. Le calcul du facteur d'érosivité R est appliqué sur une série de trente-trois (33) années de précipitations.

Les valeurs calculées de facteur R au niveau de chaque station, doivent être extrapolées sur l'ensemble de bassin versant en utilisant la méthode déterministe de la pondération par l'inverse de la distance (IDW).

Ainsi, des données de précipitations de 5 stations climatologiques réparties dans la région et étalées sur une période de 33 ans ont été utilisées dans le cadre de cette étude.

Le facteur R a été calculé au niveau de chaque station, et interpolé par la méthode IDW, afin d'avoir la carte du facteur d'érosivité du bassin. Le choix de cette méthode d'interpolation parmi d'autres revient à son adaptation aux variations de terrains.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

L'érosivité de la pluie a été calculé à partir des mesures de 5 stations météorologiques situées au niveau du bassin en appliquant l'équation de Rango et Arnoldus (1987) (Tableau 1).

L'interpolation de ces données a permis de dresser une carte de répartition des indices d'érosivité de pluie R dans le sous bassin versant d'oued lakhdar (Fig. 2). Les valeurs de R varient de 60 (MJ mm/ ha.h.an) au barrage Sidi Driss au Nord-Ouest du bassin à environ 86 (MJ mm/ha.h.an) au Nord-Est à sgatt.

Nom	X	Y	Z	R
Addemaghene	372.900	125.400	1.125	83
Ait Segmine	361.400	128.000	1.025	79
Barrage Hassan 1	365.500	137.300	825	80
BARRAGE SIDI DRISS	340.800	140.600	640	60
Sgatt	377.800	136.100	1.150	86

Tableau 1: Indices de l'érosivité des pluies R calculés à partir des stations météorologiques au niveau de sous bassin versant oued Lakhdar

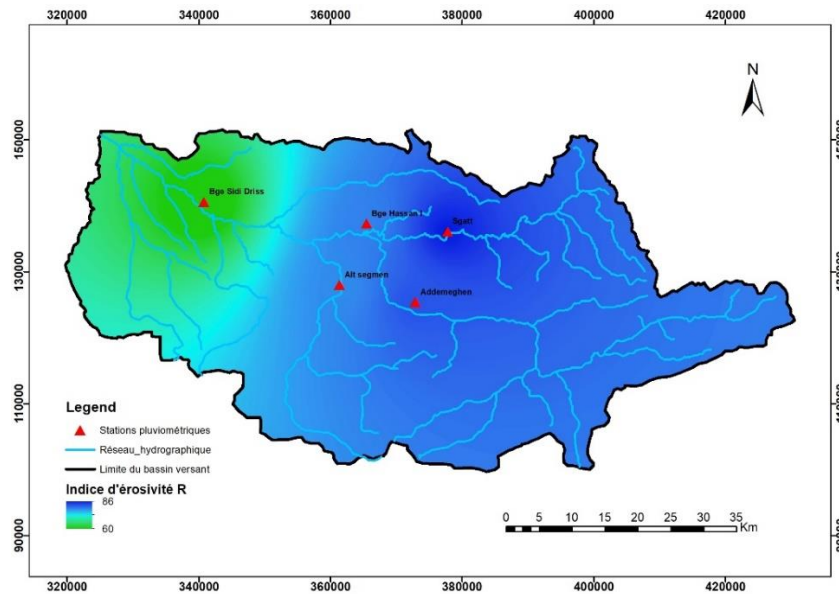
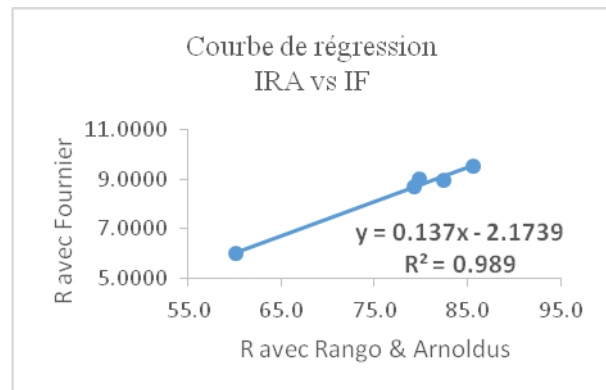
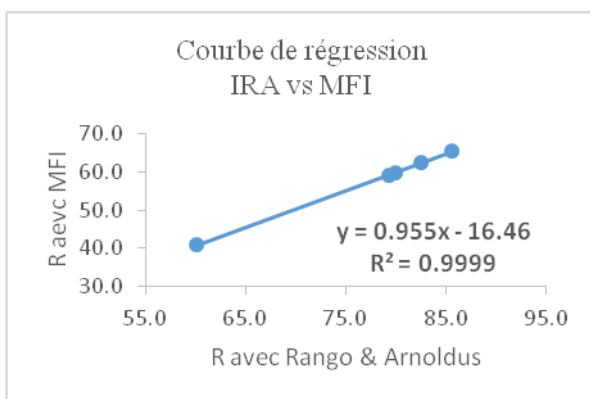


Figure 6: Carte d'indice d'érosivité de pluie R

Coefficient de détermination entre l'indice de Rango & Arnoldus (IRA), de Fournier (IF) et Fournier Arnoldus (MFI)

En effectuant l'étude de régression linéaire entre les valeurs de R calculées avec la méthode de Rango & Arnoldus (IRA), Fournier Arnoldus (MFI) et Fournier (IF) nous constatons que le facteur de régression R^2 sur les deux courbes est très proche de 1 donc nous avons une relation statistique forte de linéarité entre les valeurs étudiées (Figure 3 et 4).

Le choix d'une méthode entre les trois n'impactera pas les résultats dans l'étude du facteur de l'érosivité R ce qui justifie notre choix de la



méthode de Ringo & Arnoldus par la suite.

Figure 7: Courbe de régression IRA avec MFI Figure 8: Courbe de Régression IRA avec IF

CONCLUSION

L'utilisation de l'indice de Rango & Arnoldus pour l'évaluation de l'érosivité des pluies et la prédiction de l'érosion des sols, nous amène aux conclusions suivantes:

Les valeurs de l'indice d'érosivité des pluies les plus élevées sont enregistrées au niveau des stations au Nord-Est, caractérisées par des fortes précipitations. Et on a plus de la moitié de la

superficie totale du sous bassin Lakhdar est exposée à une pluviométrie de 500 à 570 mm et une érosivité de pluies de la classe [70-80], localisée dans les stations de mesure. La distribution spatiale de l'indice d'érosivité à l'échelle du bassin est d'un grand intérêt, car les valeurs obtenues indiquent les stations qui présentent des risques d'érosivité faibles à moyens, cette érosivité augmente généralement de l'ouest vers l'est.

Références bibliographiques

- Ait Fora 1995. Modélisation spatiale de l'érosion hydrique dans un bassin versant du Rif marocain : validation de l'approche géomatique par la sédimentologie, les traceurs radioactifs et la susceptibilité magnétique des sédiments. Thèse de PhD, Université de Sherbrooke, Québec, Canada.
- ANYS, H ; BONN, F & MERZOUK, A., 1992. Cartographie et calcul de l'érosion hydrique a l'aide de télédétection et du SIG, cas du bassin versant d'oued Aricha (Settat, Maroc), *Géo Observateur*, 2 :37-51.
- Arnoldus H.M.J. 1980. Methodologie used to determine the maximum potential average soil loss due to sheet and rill erosion in Morrocco, *Bulletin F.A.O.*, 34.
- Pujos A. 1958. Etude des érosions dans le bassin de la Moulouya. SOGETIM, Maroc. Administration des Eaux et forêts, 5 volumes, 1 carte de la couverture végétale.
- WISCHMEIER W.H. et SMITH D.D. 1978. Predicting Rainfall Erosion losses, *Agriculture Handbook no. 57*, US Department of Agriculture. Washington DC. USA., 58p.

CARTOGRAPHIE DES RISQUES POTENTIELS DE L'ÉROSION HYDRIQUE PAR L'UTILISATION DES SIG ET LA TÉLÉDÉTECTION : CAS DU BASSIN VERSANT DE L'OUED AOULAI (RIF CENTRAL, MAROC)

HMAMOUCHE Mostafa¹, El MAZI Mohamed¹, El ALAMI Younes¹, HOUARI Abdelghani².

mstafahmamouchi@gmail.com

- (1) Docteur chercheur en géographie, FLSH Sais-Fès, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah.
(2) Enseignant chercheur en géographie, FLSH Sais-Fès, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah.

RÉSUMÉ

L'érosion hydrique constitue la principale cause de la dégradation des sols dans les montagnes rifaines et particulièrement dans le bassin versant de l'Oued Aoulai au Rif central. Ce bassin connaît une dynamique érosive prononcée, en raison de la vulnérabilité du milieu physique et la forte pression anthropique. L'érosion acharnée du sol engendre des impacts néfastes sur l'environnement et la présence humaine. Le contexte structural est marqué par la prédominance de matériaux tendres, essentiellement des argiles des marnes et des formations schisteuses en amont de bassin versant. L'objectif de cette étude vise d'une part, de quantifier l'érosion hydrique en se basant sur la modélisation spatiale, et d'autre part, d'hiérarchiser et de classer la sensibilité du milieu à la dégradation. La méthodologie adoptée repose sur l'utilisation du modèle EPM qui intègre les principaux facteurs contrôlant l'érosion hydrique aux SIG. Les résultats obtenus montrent que le taux moyen d'érosion généré par ruissellement au niveau du BV Aoulai est de 13500 m³/Km²/an, du fait de la prédominance de la lithologie fragile, les pentes fortes, l'agressivité des précipitations et la faible couverture végétale.

Mots clés: SIG, érosion, EPM, Rif, Oued Aoulai.

ABSTRACT

Water erosion is the main threat to soil degradation in the Rif mountains and particularly in the Oued Aoulai watershed in the central Rif. This basin is experiencing a pronounced erosive dynamic, due to the vulnerability of the physical environment and strong anthropic pressure. The incessant erosion of the soils causes negative impacts on the environment and the human presence. The structural context is marked by the predominance of loose materials, mainly clays, marls and shale formations upstream of the catchment area. The objective of this study is, on the one hand, to quantify water erosion based on spatial modelling, and on the other hand, to rank and classify the sensitivity of the environment to degradation. The methodology adopted is based on the use of the EPM model, which integrates the main factors controlling water erosion into the GIS. The results obtained show that the average erosion rate generated by runoff in the Aoulai BV is 13500 m³/Km²/year, due to the dominance of the fragile lithology, the high slopes, the aggressiveness of rainfall and the limited vegetation cover.

Key words: GIS, erosion, EPM, Rif, Wadi Aoulai.

1- Introduction

L'érosion hydrique est une problématique majeure à l'échelle mondiale dans le contexte de la dégradation de l'environnement et du changement climatique. Ce phénomène menace le territoire national avec une ampleur variable d'une région à l'autre. Ceci est remarquable dans les montagnes du Rif au nord du Maroc; le Rif, qui ne représente que 6% de la superficie totale du pays, contribue à environ 60% de la perte de sol (Heusch, 1970). La dégradation des sols causée par l'érosion hydrique augmente les teneurs en sédiments en suspension dans les rivières, ce qui entraîne l'envasement des barrages en aval et endommage les infrastructures routières.

Le bassin versant de l'Oued Aoulai situé dans le Rif central qui est fortement érodable à cause de la combinaison des agents naturels et anthropiques. La prédominance des roches tendres (marnes, argiles, schistes...) conjuguée aux fortes pentes et la faible couverture végétale ont augmenté cette fragilité. De plus, l'accroissement démographique rapide associé à la rareté des terres à vocations agricoles a entraîné une forte déforestation et augmente le risque érosif. L'extension de la culture du cannabis depuis 1980, a contribué à la fixation de la population dans la région, mais aussi à l'accroissement du rythme de défrichement pour satisfaire leurs besoins en terres agricoles, provoquant ainsi une disparition de la majorité des forêts du Rif.

Le Système d'Information Géographique (SIG) permet de cartographier la dégradation des sols en combinant les facteurs responsables de cette dégradation. Le modèle de classement de Gavrilovic (1954) est parmi les modèles empiriques les plus utilisés pour quantifier l'érosion en nappe (Chaaouan, 2015). L'intégration des facteurs de ce modèle dans le SIG a permis la quantification des pertes en terre et la hiérarchisation de la fragilité du milieu à la dégradation.

Plusieurs études ont porté sur l'érosion du sol dans le Rif (Heusch. 1970, Tribak. 2009. Al Karkouri 2003. Faleh. 2004, Chaouane. 2015). Ces études ont montré que les bassins versants du Rif sont très sensibles à l'érosion hydrique et que le processus de ce phénomène est fortement lié à l'énergie du ruissellement et aux facteurs responsables de sa génération. L'objectif de cette étude vise d'une part de cartographier les risques potentiels de l'érosion hydrique dans le BV d'Alaoui en se basant sur l'utilisation du modèle EPM et la télédétection spatiale. Elle vise également de créer une base de données interactive des facteurs de l'érosion et d'hiérarchiser la sensibilité du milieu à la dégradation afin d'orienter les décideurs de prendre les meilleures mesures possibles de conservation des eaux et des sols.

2- Matériel et Méthode

2-1 La zone d'étude

Le bassin versant de l'Oued Aoulai couvre une superficie de 812 km². Il appartient administrativement aux provinces de Taounate et Chefchaouen. Il est limité au nord par les bassins méditerranéens, au sud par le Prérif, à l'ouest par le bassin versant de l'Aoudour et à l'est par celui de l'Amzaz. Sa morphologie est relativement accidentée avec des altitudes qui oscillent entre 165 m en aval et 1600 m au sommet du Jbel Outka. Le climat est un type méditerranéen avec une pluviométrie annuelle moyenne allant de 600 mm/an dans les vallées abritées à plus de 1400 mm dans les sommets abritées (ABH Fès. 2018). La saison des pluies est étalée d'octobre à avril. Ce bassin est caractérisé par une densité de population importante (plus de 100 habitants/km²) (HCP. 2014). Cette démographie exerce une forte pression sur les ressources territoriales (eau, forêt, sol).

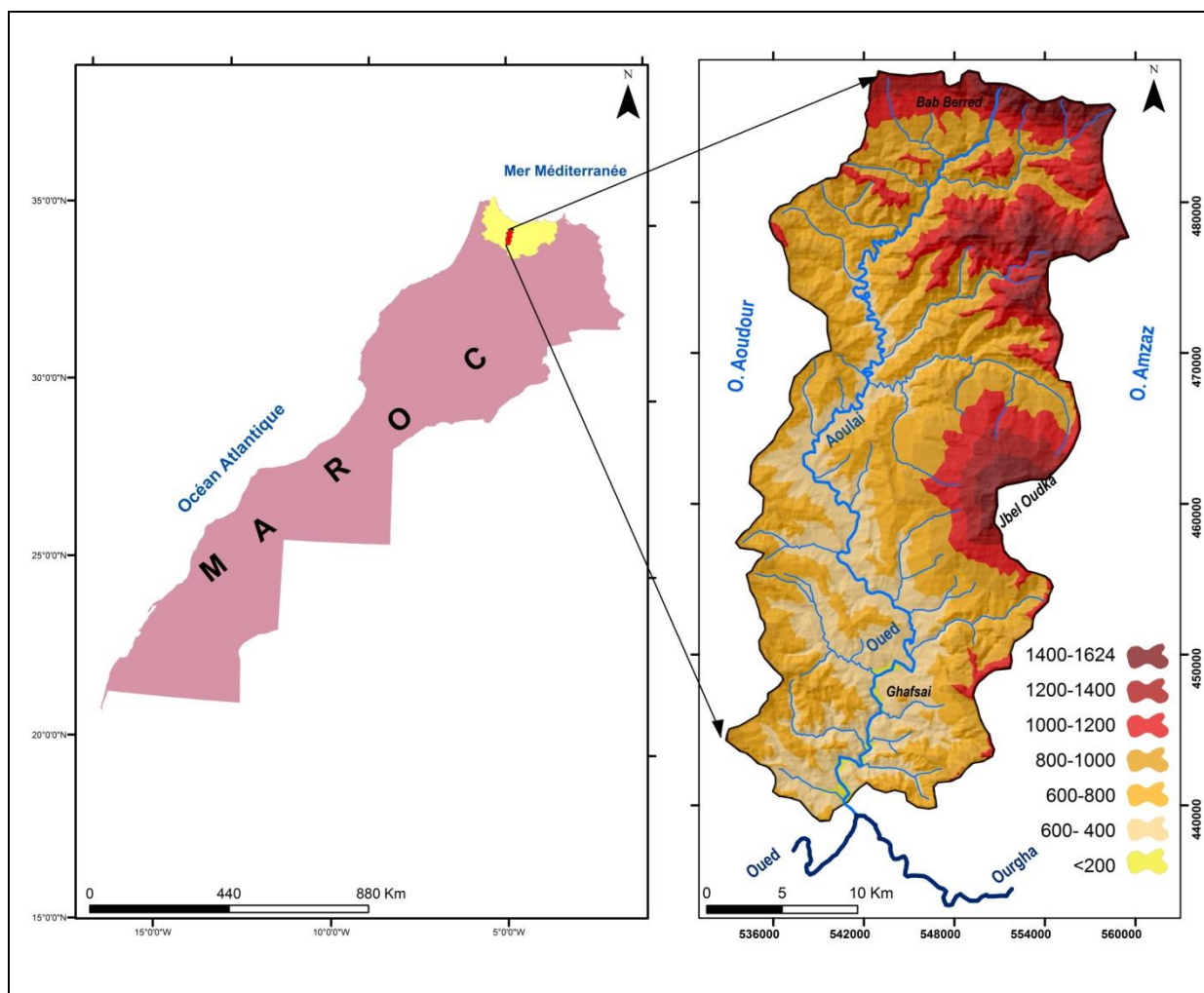


Figure 1. Localisation et carte hypsométrique du bassin versant Aoulai

2-2 Méthodologie

Le modèle EPM proposé par Gavrilovic (1998) a été utilisé pour quantifier l'érosion hydrique et hiérarchiser la vulnérabilité du milieu du bassin versant de l'Aoulai à la dégradation. Ce dernier, est uniquement destiné à quantifier les pertes de sol en zone montagneuse et intègre dans un SIG les principaux facteurs qui contrôlent l'érosion hydrique, à savoir: le facteur climatique (précipitations et température), l'état de surface, les pentes et les types de sol. Le schéma suivant illustre les étapes de l'élaboration de la carte finale des pertes en sol selon le modèle EPM.

Deux images Landsat-8 (prises le 12-04-2016 et le 09-08-2016) ont été utilisées pour cartographier le coefficient d'occupation des sols (Xa). Ces images ont été traitées à l'aide du logiciel ENVI. Les modes d'utilisation des terres ont été évalués en utilisant l'indice de végétation normalisé (NDVI) et la classification supervisée par maximum de vraisemblance. Pour le facteur climatique (précipitations) nous avons utilisé les données climatiques de six stations hydroclimatiques situées dans le bassin et ses bordures (Outka, Ourtzagh, Bab Berred, Retba, Hajria). Le modèle EPM intègre la température comme facteur dans l'évaluation quantitative de l'érosion hydrique. Il n'existe pas de valeurs relatives à cet élément du climat issues d'observations ou de mesures instrumentales sur le bassin versant. Les températures de surface issues d'images satellitaires ont été considérées. Celles-ci montrent de grandes variations spatio-temporelles à l'échelle du bassin versant introduisant une dimension supplémentaire dans la variation spatiale de l'érosion hydrique dans le bassin versant d'Aoulai.

Le coefficient d'érosion (Z) est utilisé pour évaluer le potentiel érosif des bassins versants. Il combine quatre facteurs (Gavrilovic, 1972, 1998) :

(Ja) : la pente est obtenue par l'utilisation du modèle MNT de type ASTER avec une résolution spatiale de 30 m.

(Y) : la sensibilité des sols à l'érosion;

(Xa) : le coefficient de la couverture du sol;

(Φ) : le coefficient du type d'érosion (ou type du sol).

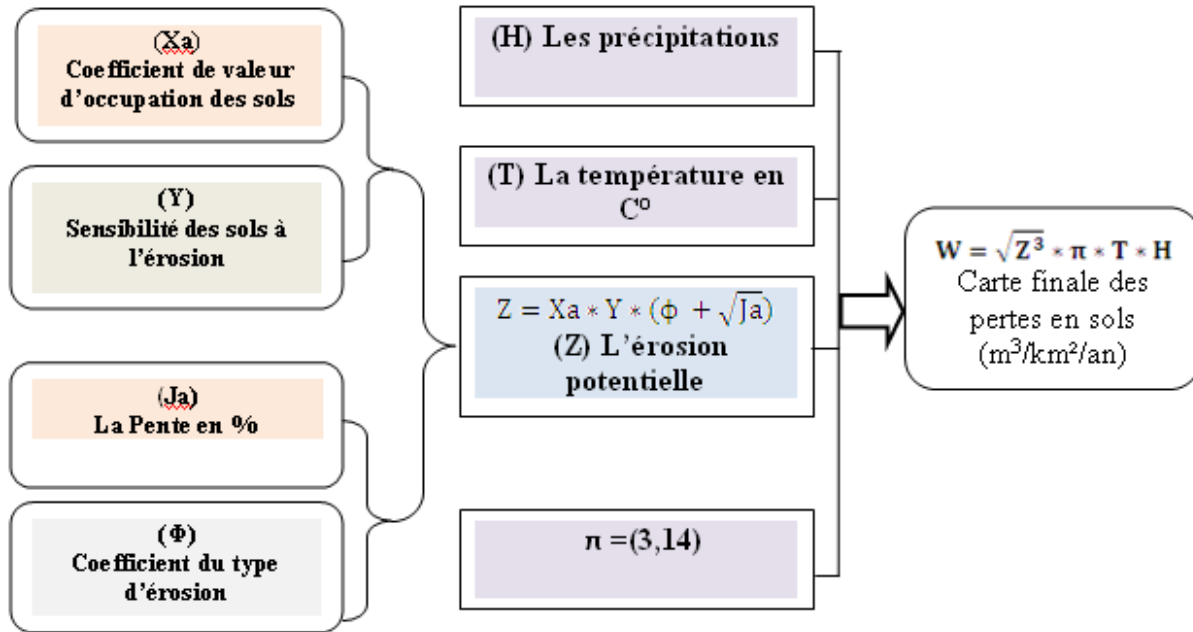


Figure 2. Schéma méthodologique de l'application du modèle EPM.

RESULTATS ET DISCUSSION

La figure 3 présente la perte en sols dans le bassin d'Aoulai selon le modèle EPM et fournit des indicateurs importants sur le risque érosif. Elle montre que la perte moyenne en sol varie de 100 m³/km²/an comme valeur minimale à 108000 m³/km²/an comme valeur maximale, avec une moyenne de 13500 m³ / km² / an. Les taux d'érosion différents d'une zone à l'autre, selon l'influence des facteurs responsables de sa génération. Les zones les plus sensibles à l'érosion où le taux de pertes est supérieur à 5000 m³/km²/an sont plus étendues avec 60% de la superficie de ce bassin et correspondant les terres cultivées à pentes moyennes à fortes. De ce fait, des interventions s'avèrent indispensables pour sauvegarder les sols de ces zones. 29% de la superficie du bassin sont sujettes à une érosion entre 1500 et 5000 m³/km²/an, et correspondant aux terrains de reboisement et de plantations à pente moyenne, alors que les zones relativement stables (taux d'érosion inférieur à 500 m³/km²/an) ne représentent que 2% de la superficie du bassin et correspondant aux forêts naturelles et matorrals denses. Ces résultats sont cohérents avec plusieurs études dans le Rif. En effet, Chaaouan (2015) a trouvé que le taux moyen de perte en terres dans le bassin versant d'Amzaz est de 10500 m³ / km² / an.

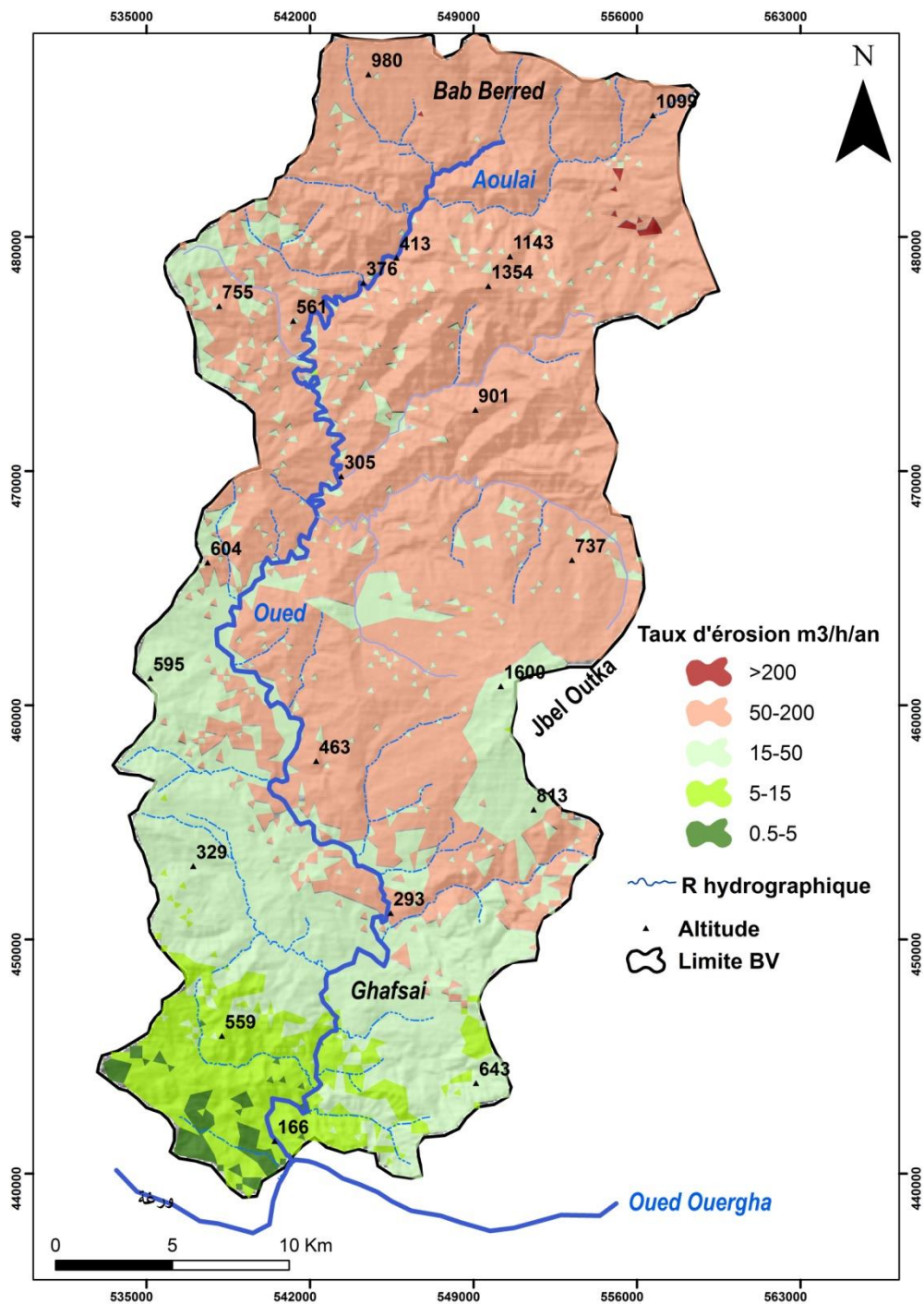


Figure 3. La carte des pertes en sols dans le bassin versant Aoulai.

La confrontation des résultats avec la répartition des différents facteurs influençant la stabilité des versants et conditionnant la dynamique des formations superficielles et de l'activité érosive montre la prédominance de l'influence du couvert végétal et de la nature lithologique des formations géologiques:

- ✓ Les zones qui sont bien protégées par le couvert végétal et là où des roches résistantes (formations calcaires) sont présentes n'enregistrent qu'un faible taux d'érosion;
- ✓ Les secteurs qui sont caractérisés par l'absence du couvert végétal ou sa faible densité (faible protection) et par la présence de formations lithologiques tendres (formations marneux) connaissent une érosion forte à catastrophique;
- ✓ Le rôle de la pente varie en fonction du couvert végétal et de la roche. Les agents érosifs sont extrêmement efficaces sur les terrains tendres et pentus dépourvus de végétation.

Le modèle empirique EPM évalue l'érosion hydrique provoquée par les effets directs de la pluie et non pas l'érosion dans les cours d'eau. Une fois que le ruissellement de surface est enclenché, l'impact des gouttes est de plus en plus réduit au fur et à mesure que l'épaisseur de la lame d'eau à la surface du sol augmente.

CONCLUSION

Le bassin versant de l'oued Aoulai présente un milieu très sensible à l'érosion. La dégradation des terres causée par l'érosion des sols implique non seulement la perte de la couche arable fertile et la réduction de la productivité des sols, mais entraîne également la sédimentation des réservoirs et augmente les concentrations de sédiments en suspension dans les cours d'eau, diminue la capacité des réservoirs et des barrages. Le taux de perte de sol estimé par l'application du modèle EPM est de $13500 \text{ m}^3 / \text{km}^2 / \text{an}$. Plus de 89% de la superficie de ce bassin sont sujettes à une dynamique érosive intense du fait de la prédominance de terrains tendres, des pentes fortes et l'agressivité climatique. Les activités humaines incompatibles mises en œuvre localement telles que le défrichage de la végétation ou le surpâturage accélèrent ce phénomène. Pour cette raison, la prévention du ruissellement et de l'érosion des sols est d'une importance capitale dans la gestion et la conservation des terres agricoles.

Références bibliographiques

- ABHROUR M., 2009. Contribution à la quantification de l'érosion hydrique dans le Prérif Oriental (Cas du bassin versant de l'oued Tlat). Thèse de doctorat, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines SaisFès. (En Arabe)
- AL KARKOURI J., ROOSE E., LAOUINA A., SABIR M., (2000). État de surface, infiltration et risque d'érosion dans la vallée de Béni Boufrah. *Bull Réseau Érosion, ORSTOM*, Montpellier, France ; 20, pp. 342-356.
- GAVRILOVIC, Z., STEFANOVIC, M., MELOJIVIC, M., COTRIC, J. (2006): Erosion Potential Method an Important Support for Integrated Water Resource Management. Balwois Conférence 2006. Ohrid. Macedonia, pp : 14.
- HEUSCH B., (1970): L'érosion du Pré-rif, une étude quantitative de l'érosion dans les collines marneuses du Pré-rif occidental. Recherche Forestière au Maroc t. 12, Rabat, pp : 9-176.
- HMAMOUCHE M., 2019 : LA dynamique des milieux naturels entre la fragilité des espaces et la pression anthropiques dans le bassin versant de l'oued Aoulai Rif centrale méridionale (Etude réalisée par SIG et Télédétection). Thèse de doctorat, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines Sais Fès, PP, 350. (En Arabe)
- Sadiki A., 2005. Estimation de l'état de dégradation des sols dans le bassin versant de l'oued Boussouab, Maroc nord oriental: Application du modèle empirique (USLE), de la technique du radioisotope ^{137}Cs et de la susceptibilité magnétique, Thèse de doctorat, Université Mohammed Premier faculté des sciences Oujda, 287p.
- TRIBAK A., & All (2015): Quantitative assessment of the hydric erosion and the deposition in a Marly catchment of the eastern Rif (case of Wadi Tarmast- Morocco). *Annals of Valahia University of Targoviste*. Geographical Series Tome, Issues 2: 101-24, pp: 101-111.

MODELISATION DES EXTREMES A PARTIR DES DONNEES ERA5-LAND ET LEURS IMPACTS SUR LA DEGRADATION DES SOLS

Ibtissam KHALLOUQI¹ ibtissamkhalloouqi97@gmail.com, Mohamed CHIKHAOUI¹ mchikhaoui@gmail.com, Marco BRAUN² Braun.Marco@ouranos.ca, Mustapha NAIMI¹ mnaimi2005@gmail.com, Marc-André BOURGAULT³ marc-andre.bourgault@ggr.ulaval.ca, Said EL KHATRI⁴ elkhatri@gmail.com

¹ *Département des Ressources Naturelles et Environnement, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc*

² *Consortium Ouranos, Montréal, Canada*

³ *Département de géographie, Université Laval, Québec, Canada*

⁴ *Direction Générale de la Météorologie, Casablanca, Maroc*

RESUME: L'objet de cette étude est d'évaluer et d'analyser la performance des données ERA5-Land et leurs applicabilités. Des résultats significatifs ont été obtenus pour les trois paramètres étudiés à savoir les précipitations, la température minimale et la température maximale. L'utilisation des données ERA5-Land a permis d'examiner également la variabilité spatiale et temporelle des événements extrêmes de précipitations sur la base de dix indices de précipitations extrêmes en utilisant le test de rang non paramétrique de Mann-Kendall. Aussi, les relations linéaires entre les extrêmes de précipitations et les indices d'agressivité des précipitations ont été explorées en utilisant la corrélation de Pearson sur la période 1981-2010 dans le nord du Maroc. Généralement, les tendances des extrêmes de précipitations ont varié entre les différents indices, l'ensemble des indices de précipitations extrêmes a été dominé par des tendances positives, tandis que l'indice des jours secs consécutifs a été principalement dominé par des tendances à la baisse. Ces résultats permettront de mieux localiser les régions où les précipitations pourraient considérablement affecter l'état des sols. La présente étude montre aussi que la région a une érosivité moyenne de 144 MJ.mm/ha.h.an. Cette valeur correspond à une érosivité non tolérée par les sols qui subissent un climat agressif. En outre, l'étude a révélé l'existence de nombreuses corrélations entre le facteur d'érosivité et les indices de précipitations extrêmes ainsi qu'entre l'indice de Fournier modifié MFI et ces mêmes indices, ce qui explique la dépendance de l'érosion vis-à-vis des événements de précipitations extrêmes.

Mots-clés: ERA5-Land, Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme, Événements de précipitations extrêmes, Érosion des sols, Facteur d'érosivité (R), Maroc.

ABSTRACT

The purpose of this study is to evaluate and analyze the performance of the ERA5-Land data and its applicability. Significant results were obtained for the three parameters studied, namely precipitation, minimum temperature and maximum temperature. The use of ERA5-Land data allowed to examine also the spatial and temporal variability of extreme precipitation events based on ten extreme precipitation indices using the non-parametric Mann-Kendall rank test. Moreover, the linear relationships between precipitation extremes and precipitation aggressiveness indices were explored using Pearson correlation over the period 1981-2010 in northern Morocco. Generally, the trends of precipitation extremes varied between the different indices, the whole extreme precipitation indices were dominated by positive trends, while the index of consecutive dry days was mainly dominated by decreasing trends. These results will help to better locate areas where precipitation could significantly affect soil conditions. This study also shows that the region has an average erosivity of 144 MJ.mm/ha.h.yr. This value corresponds to an erosivity not tolerated by soils that undergo an aggressive climate. In addition, the study revealed the existence of many correlations between the erosivity factor and the extreme precipitation indices, as well as between the modified Fournier index MFI and these same indices, which explains the dependence of erosion on extreme precipitation events.

Keywords: ERA5-Land, European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, Extreme precipitation events, Soil erosion, Erosivity factor (R), Morocco.

1. Introduction

Selon l'Organisation météorologique mondiale (OMM), 70 % des catastrophes naturelles dans le monde sont causées par des événements hydrométéorologiques extrêmes. Les impacts profonds des variations de l'intensité des précipitations se manifestent par une augmentation de la perte en sol (Sauerborn et al. 1999). Par conséquent, la compréhension des variations spatiales et temporelles de l'intensité, de la fréquence et de la durée des événements de précipitations extrêmes, à l'échelle régionale, est cruciale pour le développement de mesures efficaces et appropriées contre les pertes potentielles de sol causées par ces événements extrêmes (Kao et al. 2017; Harris et al. 2018). La modélisation de ces phénomènes climatiques extrêmes nécessite que les données soient disponibles sur de longues périodes et sur un large domaine spatial. Le jeu de données de réanalyse actuellement doté de la plus haute résolution intitulée ERA5-Land, a été produit par le Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (ECMWF) et a été mis à disposition par l'intermédiaire du Copernicus Climate Change Service (C3S) (Muñoz Sabater et al. 2018). Dans cette étude, nous examinons la validité des données ERA5-Land pour évaluer les changements climatiques qui se sont accélérés au cours des dernières décennies, à savoir les événements de précipitations extrêmes qui deviennent de plus en plus intenses afin de déterminer sa valeur pour une éventuelle utilisation dans les simulations climatiques futures. Et vu que l'érosivité dépend principalement de l'énergie cinétique des précipitations, qui est évaluée à partir de l'intensité des précipitations et que le Maroc est caractérisé par une faible densité de stations pluviométriques mal réparties, de sorte que la méthode de Thiessen, souvent utilisée pour la spatialisation des précipitations, n'est pas très précise. Nous testons donc notre hypothèse qui consiste à dire qu'ERA5-Land pourrait être utile pour cartographier l'érosivité à long terme dans la région nord du Maroc.

2. Matériel et méthodes

2.1. Zone d'étude

Située à la jonction de deux océans à l'extrême nord du Royaume du Maroc, la région de Tanger-Tétouan-Al Hoceïma est délimitée au nord par le détroit de Gibraltar et la mer Méditerranée, à l'ouest par l'océan Atlantique, au sud par les deux régions Rabat-Salé-Kénitra et Fès-Meknès et à l'est par la région de l'Oriental. On distingue principalement trois zones homogènes dans cette région qui s'étendent sur une superficie de 16 010 km² à savoir le Tangérois, les bassins côtiers méditerranéens et le Bas Loukkos.

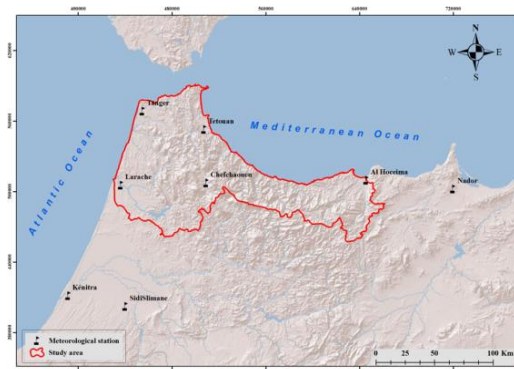


Figure 9. Les stations sélectionnées superposées sur la zone d'étude

2.2. Données

Les données utilisées dans cette étude sont fournies par les stations d'observation du réseau synoptique de la Direction Générale de la Météorologie (DGM) et les données de réanalyse sont fournies par l'ECMWF. Il s'agit des données ERA5-Land, le produit le plus récent du centre, qui peut être considéré comme l'une des réanalyses ayant la plus haute résolution au monde, soit une résolution spatiale de 9 km et un pas de temps horaire couvrant l'ensemble du globe. Elle fournit

des informations sur une multitude de variables météorologiques à différents niveaux verticaux (ECMWF 2019). L'approche utilisée consiste à rechercher le point de grille le plus proche par rapport aux coordonnées de chaque station (Robeson 2008).

2.3. Méthodologie

Dans cette étude, nous évaluons le biais moyen des données de réanalyse en soustrayant les données observées. La distribution des deux échantillons de données est décrite par le ratio des écarts-types (SD ratio): plus ce ratio est proche de 1, mieux la dispersion des champs d'observation est assimilée par la réanalyse ERA5-Land. L'erreur quadratique moyenne (RMSE) mesure la différence entre deux champs indépendamment de la tendance. Dans notre cas, la valeur du RMSE va nous renseigner sur la qualité de l'estimation de l'observation par la réanalyse (Taylor 2001). Pour une meilleure représentation des résultats statistiques de cette étude, nous utilisons le nuage de points et les diagrammes quantile-quantile ou Q-Q afin de comparer deux populations de données et déterminer leur similitude (Pardoux et al. 2005). Les diagrammes de Taylor sont aussi utilisés pour indiquer graphiquement le réalisme des données (Taylor 2001). Les diagrammes cibles sont également utilisés pour tracer à la fois le biais et l'erreur quadratique moyenne sur deux axes perpendiculaires, afin de visualiser en même temps l'ordre de grandeur de la déviation du modèle des observations et l'erreur associée (Taylor 2001).

L'équipe d'experts sur la détection et les indices du changement climatique (ETCCDI) propose une série d'indices climatiques, dont 11 indices de précipitations extrêmes. Ces indices sont déterminés sur la base des relevés quotidiens de précipitations (Jiang et al. 2019). Nous utilisons dix indices de précipitations extrêmes issus des indices de précipitations ETCCDI pour quantifier les extrêmes pluviométriques pour la période 1981-2010 dans le nord du Maroc. Les indices ont été calculés à l'aide de la bibliothèque Xclim (Logan 2019). L'indice de précipitation (PI), l'indice de concentration moyenne annuelle des précipitations (PCI annuel), l'indice de concentration moyenne saisonnière des précipitations (PCI saisonnier) et l'indice de Fournier modifié (MFI) ont été également calculés pour la période 1981-2010 sur la base des données ERA5-Land. L'estimation du facteur R selon la formule de Wischmeier & Smith nécessite la connaissance des énergies cinétiques (E_c) et de l'intensité moyenne sur 30 minutes (I_{30}) des gouttes de pluie de chaque averse. Certains auteurs (Kalman, 1967 ; Arnoldus, 1980 ; Rango & Arnoldus, 1987) ont développé des formules alternatives qui n'impliquent que les précipitations mensuelles et annuelles pour déterminer le facteur R. La formule de Rango & Arnoldus (1987) a été appliquée pour étudier l'agressivité pluviale dans la région nord du Maroc.

$$\text{Log}R = 1.74 \cdot \log \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{p_i^2}{P} \right) + 1.29$$

Où P_i représente les précipitations mensuelles et P les précipitations annuelles en mm.

Pour tous les indices calculés, nous utilisons le test non-paramétrique de Mann-Kendall pour la détection des tendances qui est largement utilisée dans les études impliquant des séries temporelles hydrométéorologiques (Yilmaz 2015). Dans cette étude, une tendance a été considérée comme statistiquement significative à une valeur p de 0,05, c'est-à-dire que si $|Z| > 1,96$, l'hypothèse nulle d'absence de tendance serait rejetée. Le test de corrélation de Pearson a été également utilisé pour mesurer la dépendance linéaire entre les variables des deux séries de données.

3. Résultats et discussion

3.1. Validation des données ERA5-Land

Les températures maximales et minimales sont globalement bien représentées par la réanalyse, mais quelques particularités peuvent être distinguées. Les stations qui existent en altitude sont aussi bien représentées que les stations des villes côtières: le ratio des écarts-types est très faible, de l'ordre de 0.5 et l'erreur quadratique moyenne ne dépasse pas 1,5 °C dans toutes les

stations. En termes de tendance des précipitations annuelles, ERA5-Land a une tendance à une légère sous-estimation des précipitations pour toutes les stations du nord du Maroc. On constate également que le coefficient de corrélation est supérieur à 0,7 pour 70% des cas. A l'échelle saisonnière, les biais de précipitations sont plus faibles en hiver prolongé (hiver et printemps) qu'en été prolongé (été et automne). Une diminution de 0,3 mm/jour du biais annuel réduit le biais saisonnier à 0,1 mm/jour près. La corrélation des précipitations est plus forte en hiver étendu qu'en été étendu. Dans cette étude, les résultats obtenus montrent que les précipitations sont très bien représentées par ERA5-Land dans la période humide de l'année. La bonne couverture des précipitations de la période humide par ERA5-Land sera utile pour l'étude de l'érosivité des précipitations et des événements extrêmes.

3.2. Tendances des indices climatiques dans la région nord du Maroc

Les deux indices de fréquence R10mm et R20mm ont montré des tendances positives pour toutes les stations, et certaines d'entre elles ont montré des tendances statistiquement significatives. Un quart de toutes les stations ont eu des tendances à la hausse statistiquement significatives pour R10mm à un niveau de signification de 5% et 50% de toutes les stations ont eu des tendances à la hausse statistiquement significatives pour R20mm pour la période 1981-2010. Pour le CDD, le test de Mann Kendall a montré des valeurs négatives et donc des tendances à la baisse dans 75% des stations sauf pour les stations de Tanger et de Tétouan, où une tendance à la hausse a été trouvée. Cependant, pour le CWD, le test de Mann Kendall a présenté des valeurs positives et donc des tendances à la hausse dans 75% des stations sauf pour les stations de Chefchaouen et Kenitra, où des tendances à la baisse ont été trouvées. Pour un niveau de signification de 5%, aucune tendance n'a été détectée pour les deux indices dans toutes les stations. Pour un niveau de signification de 5%, l'indice R95p a eu une tendance à la hausse statistiquement significative dans la station d'Al Hoceima, les indices RX1day, RX5day et PRCPOT ont eu une tendance positive significative dans 25% de toutes les stations, R99p a eu des tendances à la hausse statistiquement significatives dans 37% de toutes les stations et l'indice SDII a eu des tendances significatives positives dans 62% de toutes les stations pendant la période 1981-2010. L'indice pluviométrique moyen a montré des tendances positives dans toutes les stations avec des tendances croissantes, statistiquement significatives dans les stations de Nador et Al Hoceima au niveau de confiance donné. Selon les indices de FI et MFI, la zone étudiée appartient à la classe érosive de faibles valeurs avec un PCI indiquant qu'il existe une distribution uniforme des précipitations dans la zone d'étude.

3.3. Suivi spatial et temporel de l'érosivité des précipitations

L'utilisation des données ERA5-land dans le calcul du facteur R d'érosivité des précipitations a permis d'obtenir une évaluation globale de l'agressivité des précipitations dans la zone d'étude. La carte de l'érosivité climatique du Nord du Maroc permet une estimation rapide du facteur R. Si les coordonnées (latitude et longitude) sont disponibles pour un endroit donné de la région, une précision de la valeur R est possible en utilisant la carte SIG développée.

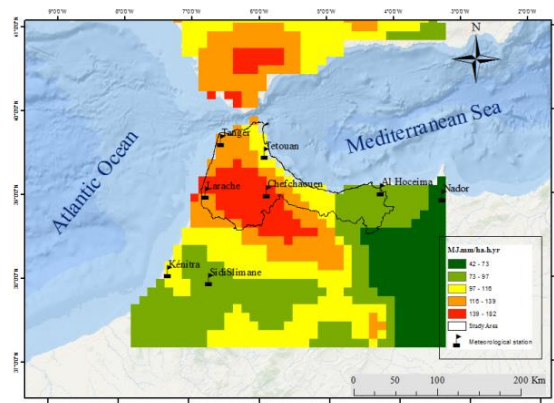


Figure 2. Carte d'érosivité basée sur la grille ERA5-Land sur la période 1981-2010

L'érosivité saisonnière a été calculée pour chaque station. Le résultat montre clairement que la tendance intra-annuelle est variable d'une saison à l'autre et d'une station à l'autre. On constate dans toutes les stations que la valeur de l'érosivité en été est la plus faible. La saison la plus érosive est l'automne suivie du printemps puis de l'hiver. En moyenne dans la région nord, la part de l'érosivité automnale dans l'érosivité annuelle est de 42%. Les premières averses d'automne généralement brutales arrivent sur un sol nu et imperméable. Il en résulte un fort ruissellement initial, tandis que l'eau s'infiltre dans les fissures et prépare des plans de glissement qui agiront par la suite. Les pluies d'automne arrivant sur des sols fraîchement labourés présentent le plus de danger pour l'érosion dans les champs et elles sont souvent fréquentes. Au printemps, les pluies tombent sur des sols déjà saturés en hiver et encroûtés en surface provoquent de forts ruissellements, des rigoles évoluant rapidement en ravines (Roose, 1994). C'est ce qui justifie le fait qu'au printemps, dans cette région, l'érosivité augmente. La saison d'hiver se caractérise par les crues qui dévastent les berges des oueds et entraînent des inondations, des glissements de terrain, l'envasement rapide des barrages, la destruction des routes et d'autres ouvrages d'art. En été, l'influence des fortes températures qui coïncide avec le minimum pluviométrique prend le relais. Ce qui provoque un excès d'évaporation et exerce une forte influence sur le régime hydrique des sols. Ces derniers se dessèchent, se durcissent et/ou se fendillent faisant que le pouvoir érosif en été devient très faible.

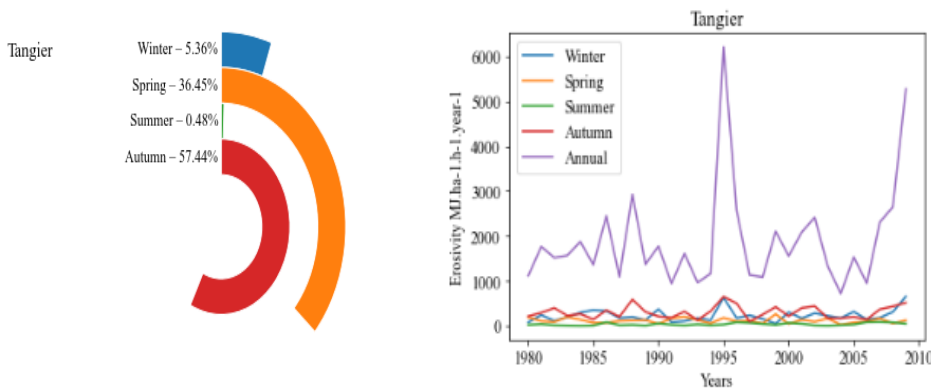


Figure 3. Variabilité saisonnière de l'érosivité à Tanger

Afin de quantifier davantage les impacts des événements extrêmes, des corrélations entre les différents indices calculés ont été analysées. En général, les coefficients de corrélation varient pour les différents IPE. Chaque indice est positivement corrélé aux autres indices étudiés, à l'exception du CDD qui est corrélé négativement. Les indices de précipitations extrêmes sont corrélés de manière statistiquement significative à d'autres indices, notamment à MFI et au facteur R.

4. Conclusion

Les résultats de cette étude sont instructifs en termes de variabilité spatiale de l'érosivité des événements de précipitations extrêmes. Un taux d'érosion hydrique plus élevé est attendu dans les régions de haute latitude. Ils peuvent être très utiles pour comprendre la combinaison des paramètres qui influencent la dégradation des sols afin de mieux prévoir la conservation des sols et de l'eau dans les régions à haut risque. L'utilisation de données validées dans la région nord du Maroc qui ont donné de bonnes représentations des précipitations dans la période humide pour la modélisation des événements extrêmes ainsi que pour l'étude de l'érosion hydrique souligne la force de cette étude et repose sur la bonne représentation des conditions météorologiques passées par les données ERA5-Land. Il est nécessaire de mener des recherches supplémentaires pour évaluer l'utilisation de ces données afin d'améliorer le développement de scénarios climatiques futurs.

Remerciement

Nous remercions le projet GISEC (gestion de la conservation des eaux et des sols pour un développement agricole durable dans un contexte de changement climatique dans la région nord du Maroc), l'Académie Hassan II des Sciences et Technologies, l'Institut Agronomique et Vétérinaire

Hassan II, ainsi que le Consortium Ouranos pour les appuis financiers multiformes consentis pour la réalisation jusqu'à nos jours des différentes phases de notre étude. Nous tenons à remercier également la Direction générale de la météorologie (DGM) pour son soutien technique et l'accès aux données d'observation et l'Université Laval pour son assistance technique.

Références

- Arnoldus H.M.J (1980) Methodologie used to determine the maximum potential average soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco, Bulletin FAO., 34.
- Harris R.M.B, Beaumont L.J, Vance T.R, Tozer C.R, Remenyi T.A, Perkins-Kirkpatrick S.E, Mitchell P.J, Nicotra A.B, McGregor S, Andrew N.R (2018) Biological responses to the press and pulse of climate trends and extreme events. *Nat. Clim. Chang*, 8, 579–587. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0187-9>.
- Jiang R, Wang Y, Xie J, Zhao Y, Li F, Wang X (2019) Assessment of extreme precipitation events and their teleconnections to El Niño Southern Oscillation, a case study in the Wei River Basin of China. *Atmospheric Research* 218, 372-84. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.12.015>.
- Kalman R (1967) Le facteur climatique de l'érosion dans le bassin de Sebou. *Rapp.Projet Sebou*,40p.
- Kao L.S, Chiu Y.H, Tsai C.Y (2017) An evaluation study of urban development strategy based on of extreme climate conditions. *Sustainability*, 9, 284.
- Kao L.S, Chiu Y.H, Tsai C.Y (2017) An evaluation study of urban development strategy based on of extreme climate conditions. *Sustainability*, 9, 284.
- Logan T. (2019) Xclim Documentation Release 0.7-beta https://xclim.readthedocs.io/_/downloads/en/beta/pdf
- Muñoz Sabater J, Dutra E, Schepers D, Albergel C, Boussetta S, Agusti-Panareda A, Zsoter E, Hersbach H (2018) ERA5-Land: An improved version of the ERA5 reanalysis land component. Joint International Surface Working Group and Satellite Applications Facility on Land Surface Analysis Workshop, Lisbon, Portugal, IPMA, 20 pp., <https://landsaf.ipma.pt>.
- Pardoux C, Goldfarb B (2005) Méthodes d'ajustements graphiques : Diagramme quantile-quantile. *Revue MODULAD*, (33): 1-6. <https://doi.org/10.1111/j.0033-0124.1980.00300.x>.
- Rango A, Arnoldus H.M.J (1987) Aménagement des bassins versants. *Cahiers techniques de la FAO*.
- Robeson L (2008) Statistical characteristics of daily precipitation: Comparisons of gridded and point datasets. *American Meteorological Society*. <https://doi.org/10.1175/2008JAMC1757.1>.
- Roose E (1994) Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). Rome: FAO, (70), 438 p (Bulletin Pédologique de la FAO ; 70). ISBN 92-5-203451-X.
- Sauerborn P, Klein A, Botschek J, Showronek A (1999) Future rainfall erosivity derived from large-scale climate models - methods and scenarios for a humid region. Volume 93, Issues 3-4, Pages 269-276. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(99\)00068-3](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(99)00068-3).
- Taylor K (2001) Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *Journal of geophysical research*, 106(D7): 7183-7192. <https://doi.org/10.1029/2000JD900719>.
- Wischmeier W.H, Smith D.D (1978) Prediction rainfall erosion losses, a guide to conservation planning Science. U.S. Dept. Agriculture. *Agric. Handbook* 537, 60 p.
- Yilmaz A.G, Perera B.J.C (2015) Spatiotemporal trend analysis of extreme rainfall events in victoria, Australia. *Water Resour Manage* 29, 4465-4480. <https://doi.org/10.1007/s11269-015-1070-3>.

**SPATIAL DISTRIBUTION OF SOIL EROSION RISK USING PAP/CAR & GIS
TECHNIQUES AT ASSIF GHZAF CATCHMENT/CENTRAL HIGH
ATLAS/MOROCCO**

ENNAJI Nadia¹OUAKHIR Hasan² HALOUAN Mohamed¹ ABAHROUR Mohamed³

¹ PhD student, Sidi Mohamed ben Abdellah University, Faculty of polydisciplinary, Taza.

² PhD student, Sultan Moulay Slimane University, Faculty of Arts and Human sciences, Beni Mellal.

³ Professor, Sidi Mohamed ben Abdellah university, Faculty of polydisciplinary, Taza.

Corresponding autor* (Ennaji.nadia89@gmail.com)

Abstract: The present work is an application of the predictive phase of PAP/CAR model within the catchment of Assif Ghzaf. This approach was used mainly for the integration of factors influencing soil erosion, such as slopes, hydrographic networks, lithology and land uses, and erosion control structures to determine susceptibility to erosion. The predictive approach is the first phase of the PAP / CAR method which provides a synthetic map of the distribution of erosive states; while the descriptive cartography of the forms of erosion is the second phase. In addition, the superimposition of the results of the predictive and descriptive approaches constitutes the third phase of PAP / CAR and gives a thematic map showing the areas of soil loss in the study area. The results have identified factors and areas requiring rapid and effective intervention to counter the effect of soil erosion.

Key Words: soil erosion, PAP/CAR, descriptive method - predictive method,
spatial distribution .

Résumé: Le présent travail est le résultat de l'application de la première phase de PAP/CAR qui a pour objectif de réaliser une répartition spatiale de l'état de l'érosion hydrique dans le bassin versant d'Assif Ghzaf par l'utilisation du modèle PAP/CAR. Cette approche utilisée portait surtout sur l'intégration des facteurs influençant l'érosion hydrique, tels que les pentes, les réseaux hydrographiques, les lithologies et l'occupation du sol et finalement les structures antiérosives pour déterminer la susceptibilité à l'érosion. L'approche prédictive est la première phase de la méthode PAP/CAR, fournit une carte synthétique de la répartition des états érosifs, La cartographie descriptive des formes d'érosion est la deuxième phase. De plus la superposition des résultats des approches prédictives et descriptives constitue la troisième phase de PAP/ CAR, qui donne une carte thématique montre les zones de perte en sol dans la zone d'étude. Par conséquent Les résultats obtenus ont permis de détecter les facteurs et les zones nécessitant une intervention rapide et efficace pour contrecarrer l'effet de l'érosion hydrique ainsi que de prévoir l'évolution future de l'érosion et des paysages.

Mots clés: Erosion hydrique, PAP/CAR, approche prédictive, approche descriptive.

Introduction

Soil erosion by water is a worldwide environmental problem which degrades soil productivity and water quality, causes sedimentation and increases the probability of flood (Zhou et al., 2008). It is a dynamic process of detaching, transporting and depositing soil particles under the effect of the kinetic energy of water (Ouakhir et al., 2020). Different methods and approaches have been developed to detect eroded areas and assess soil erosion (Dunjó et al., 2004). For instance, the qualitative classification of soil erosion can be assessed by FAO (2006); large and middle-size eroded areas can be directly identified with Landsat and SPOT imagery (Langran, 1983; Millington and Townshend, 1984); the quantitative soil loss can be modeled with the universal soil loss equation (USLE) (Wischmeier and Smith, 1978), its revised version (RUSLE) (Renard et al., 1997), the Soil Erosion Model for Mediterranean regions (SEMMED) (De Jong, 1994), 137CS techniques (Zhang et al., 2003), and the Water Erosion Prediction Project (WEPP) hill slope model (Grønsten and Lundekvam, 2006). Of these models, the USLE, RUSLE and PAP/CAR are the most widely used, providing a convenient tool for soil loss evaluation by taking into consideration rainfall factor (Fu et al., 2005). The major aims of this article is to determine the spatial distribution of soil erosion risk by applying the first phase of PAP/CAR model with different factors in a small mountainous catchment located in the Central High Atlas of Morocco.

1. STUDY AREA:

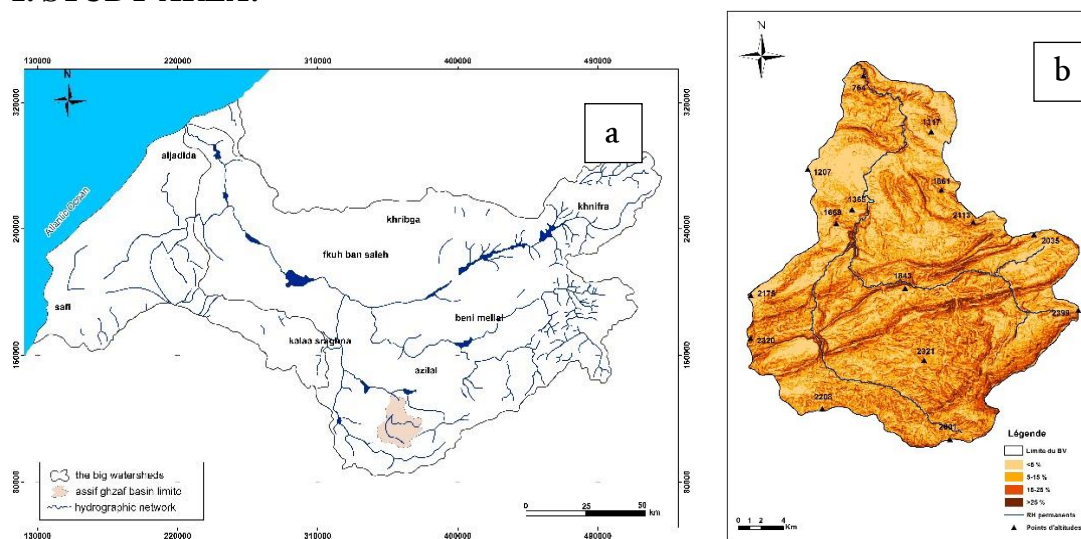


Figure 1:a) Localisation of the catchment at Oum Er-Rabia basin..b) the studied catchment .

Assif Ghazaf catchment is located in the central high atlas of Morocco; extend over an area of 577km^2 . This catchment is characterized by a semi-arid climate with rains frequently grouped during a few days per month. Rainfall is irregular in space and time, starting from October to April with a predominance in January, and marked rainstorms from May to August. The mean annual of rainfall in the studied catchment is 475 mm at Ait Segmine gauging station. The temperature varies between 5 and $45\text{ }^{\circ}\text{C}$. The lithology of the catchment is composed of dolomitic limestone, marls and red clays. While quaternary deposits are covering the down parts of the catchment. Furthermore, soils and their evolution follow essentially the lithological substrate, which under the influence of environmental factors (climate, vegetation, exhibition, topography...) gives birth to different soil types. However, the studied area is located in mountainous areas characterized by a great irregularity of the precipitation amounts and a regression of land cover due to human activities. The Assif Ghzaf river is a tributary of Oued Lakhder which is an important tributary of the big Oum Er Rbia river.

2. METHODOLOGY

PAP / CAR approach is a tool aims to improve the use of the surface and giving a good exploitation of natural resources. Besides this method lead to improve the food security statement for population. This approach is based on the integration of the factors influencing the soil erosion phenomenon such as the topography, slope, the hydrographic network, soil types, lithology, type of vegetation cover, and finally the measures and anti-erosive practices. Thus, an assessment of qualitative erosion has been established through various crossings of thematic maps. This information made it possible to draw up a balance sheet and diagnosis, of the physical degradation of the environments for the chosen catchment. The final results will present in a map with the stable and unstable areas in term of erosion. (ABOULABESS, O 2005).

The methodological steps of the PAP / RAC model include three steps:

- The predictive approach which covers 7 aspects (slope, lithology, land use and vegetation cover...), Applied to get an erosive state map.
- The descriptive approach which gives spatial distribution of the different forms of erosion spread in the study area as well as its degree of degradation.
- The integrated approach is the final step at PAP/CAR model; it is a qualitative map resulting from the superposition of maps obtained from the predictive and descriptive approach.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3-1 Soil erodibility map

This predictive phase in PAP/CAR model aims to evaluate and integrate all the natural and human parameters such as slopes, lithology and land use and vegetation cover in order to determine the actual status of soil erosion risk. The obtained map is carried out from the superposition of the erodibility map and soil protection. The results are classified according to the degree of soil protection and the degrees of soil erodibility.

First, the realization of the erodibility map is based on obtaining the slop map which needs a digital elevation model (DEM) with a high resolution. Second, a lithological map is elaborated using the geological maps of Demnat and Azilal 1/100000 to determine the resistance map. The superposition of these two maps using the GIS platforms offers the erodibility map.

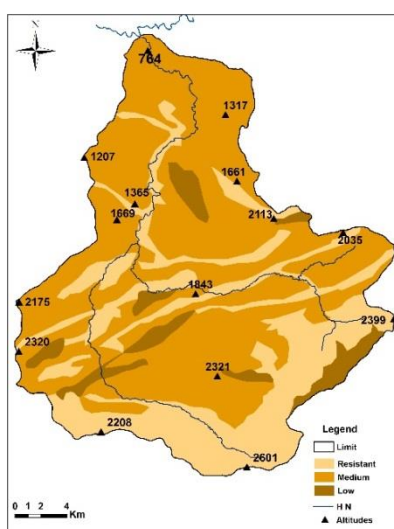


Figure 2: resistance map.

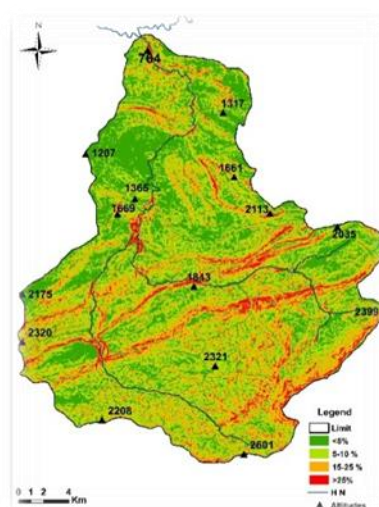
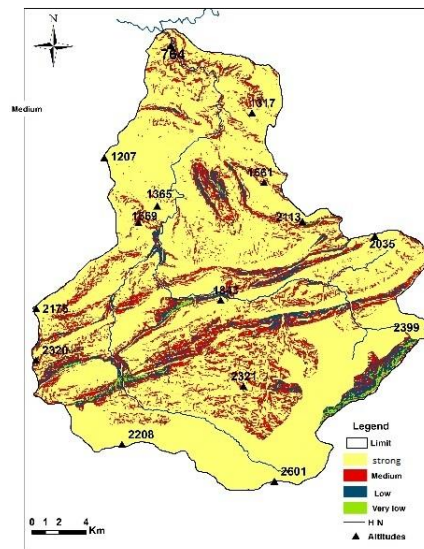


Figure 3: slop map.

The strong erodibility is the representative class at the catchment(Fig 4). This class characterized by a high slop to meduim, which plays an important role in rainfall generation. However, a low resistant lithology was observed and composed by cly and shal which occupies 80 % throughout the catchment .

Otherwise,the class with low to very erodibility (I,e 20%) is observed in the middle part of the catchment. Consequently, the presence of low slope and forest cover play a crucial role in term of protecting soil surface .

Figure 4: Erodibility map



3-2 Soil protection map:

The elaboration of the soil protection map requires the superposition of land use and vegetation cover in order to classify the catchment according to the degree of land protection. This step is very important to determine the zones that need emergency intervention.

A very low protection of the surface was shown in the upstream part of the studied catchment being the percentage is 75% (fig 7), This very low protection of the soil can be explained by the existence of the cereal crops.

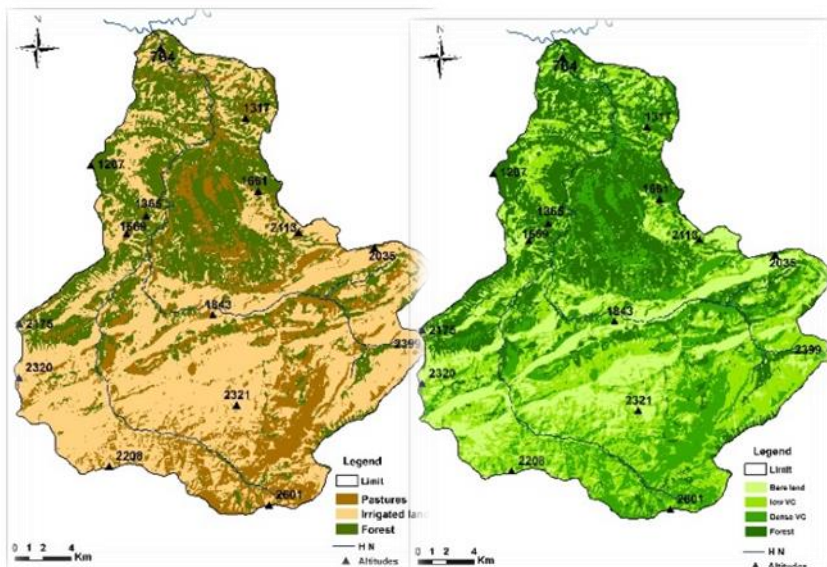


Figure 5: land uses map.

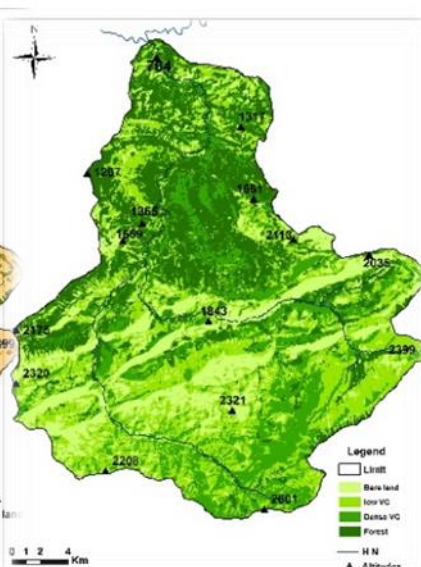


Figure 6: vegetation cover map.

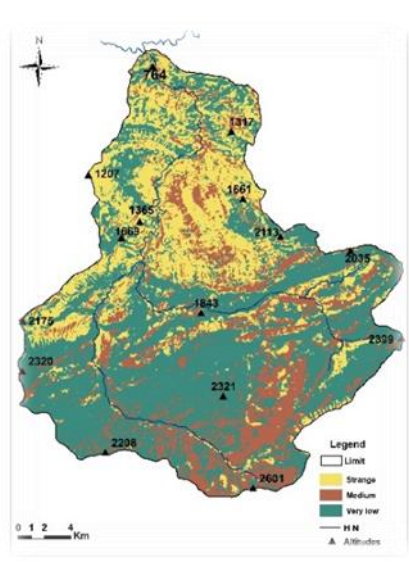


Figure 7: soil protection map.

3-3 Erosion status map.

The erosion status map consists of evaluating and integrating all the parameters such as slopes, lithology land use and vegetation cover to determine the preliminary hypotheses concerning the risk of erosion. The erosive states map is the result of the superposition of the erodibility map and that of soil protection, the method used to classify the zones according to the risk of erosion depending on overlaying the codes are given to of each factor (topography, lithology, land use, vegetation) using the overlying tool within the ArcGIS platform.

The processing of the database extracted from the erosion status map (figure 9), shows two representative classes: the low areas threatened by the risk of erosion with 78 km² and a percentage of 13.40 %. The very strong areas that have a big sensibility to the risk of erosion and which represent 255 km² with a percentage of 43.96 %.

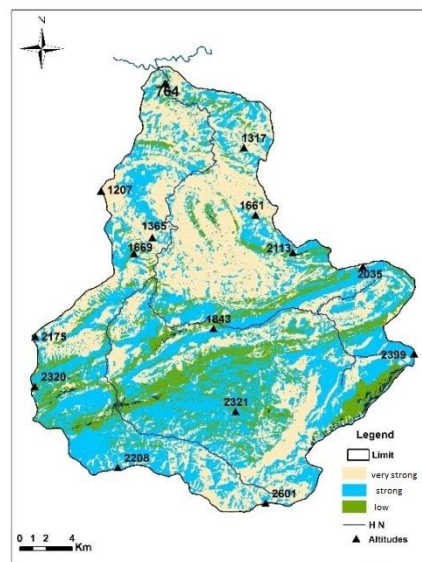
The spatial distribution of soil erosion risk shows that the areas with strong and very strong ability to erosion are located in the upstream and downstream part of the catchment that match an opened vegetation cover and agricultural land exploited by the people which makes a pressure on soil.

Erosion risk classes	Area (km ²)
Very Strong	255
Strong	247
low	78

Figure 8: spatial distribution of soil erosion risks.

The dense vegetation cover at the downstream part is an area which shows a spreading of low erosion risk, the low slopes, and the resistance lithological material which are factors protecting the surface from the erosion risks.

Figure 9: Erosion risks map.



Conclusion

Mapping and estimating soil erosion risk using PAP / RAC method based on natural factors (slope, vegetation covers, and lithology) allowed to analyze and understand the problem of soil erosion within the studied area. The predictive approach map applied in this article provides information about the current state of degradation soil based on the degree and influence of the different factors that control erosion water.

REFEENCES

- Charkaoui, M.(1996): utilisation d'un système d'information géographique pour l'évaluation des risques d'érosion international archives of photogrammetry and remote sensing ,part B4.170-172 pp.
- El Garouani, A.(2007): Apport de la Télédétection et du SIG pour le suivi spatio-tempore de l'occupation du sol et de l'érosion nette dans le bassin de l'Oued Tlata (Maroc), Actes des JSIRAUF, Hanoi,9p.
- FALEH, A. (2014): cartographie des zones vulnérables à l'érosion hydrique à l'aide de la méthode pap/car et sig en amont du barrage allal el fassi, moyen atlas (maroc), papel de geografia, 71-82
- Fu, B. J., Zhao, W. W., Chen, L. D., Zhang, Q. J., Lü, Y. H., Gulinck, H., & Poesen, J. (2005). Assessment of Soil Erosion at Large Watershed Scale Using RUSLE and GIS: a Case Study li the Loess Plateau of China. *Land Degradation and Development*, 16(1), 73–85. <https://doi.org/10.1002/ldr.646>
- Grønsten, H.A., Lundekvam, H., 2006. Prediction of Surface Runoff and Soil Loss in Southeastern Norway Using The WEPP Hillslope Model. *Soil and Tillage Research* 85, 186–199.
- Langran, K.J., 1983. Potential for Monitoring Soil Erosion Features and Soil Erosion Modelling Components from Remotely Sensed Data. Proceedings of IGARSS'83. IEEE, San Francisco, CA, pp. 2.1–2.4.
- MABIT,L.(2007) : Etude de la dégradation des sols par l'érosion hydrique a l'échelle des bassins versant en utilisant la méthode du 137 CS ,vol 18 N° 1. 1-5 pp.
- Millington, A.C., Townshend, J.R.G.,1984. Remote Sensing Applications In African Erosion and Sedimentation Studies. In: *Walling, D.E., Foster, S.S.D., Wurzel, P. (Eds.), Challenges in African Hydrology and Water Resources: Proceedings of the Harare Symposium. . IAHS Publication, vol. 144. IAHS Press, pp. 373–384*
- Ouakhir, H., Ghachi, M. El, Goumih, M., Ennaji, N., (2020). Fluvial Dynamic in Oued El Abid Basin: Monitoring and Quantification at an Upstream River Section in Bin El Ouidane Dam - 2016 / 2017- (Central High Atlas / Morocco) To cite this version: HAL Id: hal-02931241 *Fluvial Dynamic in Oued El Abid Basin: M. December.* <https://doi.org/10.11648/j.ajma.20200804.11>
- Ousmana,H. (2017): Modélisation et cartographie du risque de l'érosion hydrique par l'application des SIG et des directives PAP/CAR. Cas du bassin versant de l'Oued Zgane (Moyen Atlas tabulaire, Maroc), Section Sciences de la Terre, n° 39, 103-119 pp.
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K., Yoder, D.C., 1997. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Soil Loss Equation (RUSLE). U.S. Dept. of Agriculture. Agric. *Handbook No. 703*, 404pp.
- SADIKI,A.(2009):quantification de l'érosion en nappe dans le bassin versant de l'oued sahla Rif Central Maroc, cahiers géographique N°6/2009,59-70pp.
- WANG,B.(2013): Comparison Of Soil Erodibility Factors In USLE, RUSLE2, EPIC And Dg Models Based On A Chinese Soil Erodibility Database, *Soil and Plant Science*, Vol. 63, No. 1, 69-79pp.
- Wischmeier, W.H., Smith, D.D., 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses - A Guide to Conservation Planning. U.S. Dept. of Agriculture. Agric. *Handbook No. 537*, 58 pp
- Zhou, P., Luukkanen, O., Tokola, T., & Nieminen, J. (2008). Effect of Vegetation Cover on Soil Erosion in a Mountainous Watershed. *Catena*, 75(3), 319–325. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2008.07.010>

ESTIMATION DE LA PHYTOMASSE AERIENNE DE LA STEPPE A ALFA (*STIPA TENACISSIMA*) PAR L'APPORT DE LA GEOMATIQUE DANS LA COMMUNE DE MAAMOURA (SAIDA, ALGERIE)

Anteur Djamel¹, Badi Salima Meriem², Benaradj Abdelkrim³, BELHACINI Fatima⁴

¹ Laboratoire de recherche Eau et Environnement. Université Dr Moulay Tahar de Saida (Algérie)

² Laboratoire de proteomic. Université Djilali liabes Sidi Bel Abbas

³ Department of Natural Sciences and Life, Institute of Sciences and Technology, Salhi Ahmed University Center of Naama.

⁴ University Hassiba Benbouali of Chlef Algeria
djamel.anteur@univ-saida.dz

Résumé: Dans la région de Saida, la steppe à alfa (*Stipa tenacissima*) couvre une aire de 600000 ha, qui représente un exemple de la dégradation rapide où la désertification progresse surtout sous l'effet du surpâturage et de la surexploitation des ressources naturelles.

L'objectif principal de cette étude est de déterminer l'état des parcours d'alfa dans trois zones différentes. Nous avons calculé la phytomasse théoriquement en utilisant l'indice SAVI et dans le terrain on calcule le poids sec dans une zone de 100m² pour dix échantillons aléatoires dans trois régions différentes.

Les sorties sur terrains effectuées le mois de Juin nous ont permis de faire un diagnostic de l'état actuels des écosystèmes des hautes steppes de la commune de Maâmora (W. Saida). Dans le présent travail nous nous intéressons à estimer l'état des parcours à alfa par calcul de phytomasse théoriquement par l'indice de végétation ajusté pour le sol à partir des images satellitales de différentes résolutions, et sur terre par calcul de poids sec par unité de surface.

L'étude statistique des deux variables poids sec et indice SAVI indique une forte corrélation entre elles, ce qui permet de déterminer la répartition de la couverture végétale et l'état de détérioration à l'aide de la télédétection.

Cette étude contribue à des solutions pour mieux maintenir le développement naturel des zones steppiques de la Wilaya de Saida et pour réduire sa dégradation croissante, en particulier ces dernières décennies. Donc, l'apport de la géomatique est utilisé pour évaluer la situation des régions de steppe et ainsi intervenir en fonction de la situation et des besoins de la région.

La bonne connaissance de cette état observée au niveau de ces écosystèmes fragilisés pourra faire l'objet de toutes initiatives ou projets visant à contrôler ces écosystèmes d'une part et de trouver des solutions d'aménagement ou de mise en valeur adéquates.

Mots-clés: phytomasse, indice SAVI, *Stipa tenacissima*, steppe, Maâmoura, Algérie.

Introduction

L'alfa (*Stipa tenacissima* L de la famille des Poaceae) est une herbe vivace qui se présente sous forme de touffes, comprenant une partie souterraine très importante pour la régénération de la plante et une partie aérienne atteignant 1m de hauteur (Kihal et Harche, 1989). En Algérie, l'aire de répartition de l'alfa est estimée à 4millions d'hectares. Elle peut être rencontrée sur le littoral oriental. Elle est répandue sur les pentes sud de l'Atlas tellien jusqu'à la bordure nord du Sahara. On la trouve soit sous forme de vastes peuplements sur les Hauts Plateaux, où elle domine physiologiquement de l'Atlas tellien et de l'Atlas saharien (Ozenda, 1982).

Les steppes algériennes connaissent de sérieuses modifications depuis plus de 30 décennies; la mer d'alfa décrite par de nombreux explorateurs aux XIXe et XXe siècles, ne figure plus que dans les archives (Laumont et Berbigier, 1953).

Face à cette dégradation, de nombreux auteurs se sont intéressés aux travaux d'aménagement pour remédier à ce déséquilibre, parmi eux: Benrebiha (1984, 1987) Khaldoun (1993).

Pour tenter de comprendre le comportement et l'état d'écosystèmes steppiques à alfa, nous avons mené cette étude dans trois zones différents, l'une représentant un espace non dégradé, l'autre moyennement dégradé et le dernier dégradé. Notre hypothèse est d'estimer la phytomasse par utilisation d'outil géomatique.

Présentation de la zone d'étude (Maamora)

La commune de Mâamora est localisée au Sud-est de la wilaya de Saïda ; elle s'étend sur une superficie de 127100 hectares (11,5% de la surface de la wilaya), et dépend de la daïra d'ElHassasna qui est l'une des plus importantes daïra de la wilaya du point de vue potentialités agricoles et forestières. Elle est considérée comme une zone à vocation agropastorale.

Le présent travail consiste à estimer la phytomasse aérienne (partie aérienne de la plante: tige, feuilles, fruits) de la zone steppique à alfa (*Stipa tenacissima* L.) de la commune de Maâmora (wilaya de Saïda, ouest d'Algérie).



Figure 1. Localisation de la zone d'étude

Approche méthodologique

Choix des stations

Pour cela, nous avons choisi trois stations d'échantillonnage qui diffèrent par le taux de recouvrement et l'état de dégradation de l'alfa (Tab.1 et Fig.2):

- **Station 1: Non Dégradée (ND):** c'est une station bien venant où l'alfa est bien développé (taux de recouvrement = 58%),
- **Station 2: Faiblement Dégradée (FD):** une station où l'alfa est moyennement dégradé (taux de recouvrement est de 28%) ;
- **Station 3: Très Dégradée (TD):** une station où l'alfa est dégradé, soumise à une forte pression anthropique (taux de recouvrement = 14%).

Tableau 1. Localisation géographique des 3 stations à *Stipa tenacissima* en fonction de leur état de dégradation

N°	Etat de dégradation		Taux de recouvrement (%)	Coordonnées géographiques		
				X	Y	Z
Station(1)	Non dégradée	ND	58%	0°34'56,4'' E	34°41'45,3'' N	1136m
Station(2)	Faiblement dégradée	FD	28%	0°37'10,6'' E	34°39'46,0'' N	1099m
Station(3)	Très dégradée	TD	14%	0°36'11,5'' E	34° 40'13,6'' N	1115m



Figure 2. Etat des formations steppiques à *Stipa tenacissima* dans les stations d'étude

Dans notre cas, l'échantillonnage choisi est de type subjectif: l'emplacement des relevés est fait sur des zones floristiquement homogènes, la surface du relevé est bien précisée. Cette valeur représente l'aire optimale dans le travail. Selon Gounot (1969), le quadrat se fait sur une longueur de 10m sur 10m ou une surface de 100m² (on peut installer un carré de 1m² ou 25m² à but de faciliter la réalisation si le terrain est homogène comme le cas de notre étude), compter le nombre d'individus (nombre des touffes) dans chaque quadrat, estimer visuellement la couverture en % de la surface totale, effectuer 10 quadrats (placettes) de 1m² en différents points répartis dans le milieu étudié.

Pour chaque station, nous avons effectué 10 relevés floristiques.

3. Evaluation de la phytomasse

La phytomasse aérienne de la strate herbacée des espèces pérennes, et des arbustes d'un périmètre sylvopastoral, est définie comme étant « la quantité de végétation (verte ou sèche) sur pied par unité de surface à un instant donné » (Aidoud, 1983). Elle est exprimée en kilogramme de matière sèche par hectare (Kg.MS/ha). Nous avons choisi pour cette mesure une méthode directe dite destructive, adaptée pour les pérennes et les annuelles. La phytomasse est la quantité de végétation par unité de surface à un instant donné. Elle s'exprime en Kg de matière sèche à l'hectare (Lasloudji et al., 1990).

L'espèce est coupée au ras du sol, cette approche de la coupe au ras du sol permet à la végétation de se régénérer puisqu'on n'a pas dégradé toute la plante d'une part et permet de quantifier la biomasse aérienne des différents faciès d'autre part.

Une fois les coupes réalisées, elles seront placées dans des sacs en plastique ou en toile, transportées au laboratoire et pesées immédiatement afin qu'elles ne fanent pas. Les pesées rapides nous donnent des informations fiables quant à la quantité d'eau contenues dans les plantes.

Une fois pesées, les plantes sont mises à sécher dans une étuve à 105°C. Cette opération nous permet de quantifier la teneur en eau contenue dans les plantes et dégager le poids sec.

La durée du séchage des plantes est variable (24h...48h) et l'opération ne s'arrêtera que lorsqu'on obtient un poids sec constant.

Mesurer le poids de la végétation sec par Balance

Une fois les plantes séchées sont pesées, nous les récapitulons dans le tableau, poids à état frais (avant séchage), poids à état sec (après séchage) et la différence des poids.

Estimation de la phytomasse aérienne par l'indice de SAVI

En télédétection, les indices font parties des méthodes de traitement que l'on appelle les transformations multi spectrales. Ils consistent à convertir les luminances mesurées au niveau du capteur satellitaire en grandeurs ayant une signification dans le domaine de l'environnement. Basés sur le caractère multi spectral des données satellitaires, ils permettent de décrire l'état d'un phénomène. Un indice de végétation par exemple, peut rendre compte du stade de croissance végétale à un moment donné.

A l'aide d'outil géomatique, on estime l'état d'évolution de l'écosystème steppique représenté par l'espèce d'alfa à l'aide de l'indice de végétation ajusté pour le sol SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index).

Les indices de végétation sont très utilisés pour identifier et suivre la dynamique de la végétation, mais aussi pour estimer certains paramètres biophysiques caractéristiques des couverts végétaux, comme la phytomasse, l'indice de surface foliaire, la fraction de rayonnement photosynthétique actif, etc.

L'Indice « SAVI » introduit un paramètre d'ajustement, noté L, qui caractérise le sol et son taux de recouvrement par la végétation. Le paramètre L prend la valeur de 0,25 pour une forte densité et de 1 pour une très faible densité de végétation. Pour des densités intermédiaires, il est égal à 0,5.

$$\text{SAVI} = (\rho_{\text{PIR}} - \rho_{\text{R}}) / (\rho_{\text{PIR}} + \rho_{\text{R}} + L) (1+L)$$

ρ_{R} : Réflectance dans la bande rouge

ρ_{PIR} : Réflectance dans la bande proche infrarouge

Où L est une constante égale à 0,5.

Résultats obtenus

Recouvrement

A l'aide des résultats obtenus, on peut estimer le recouvrement d'alfa en pourcentage par station en fonction de l'état de dégradation (Fig3).

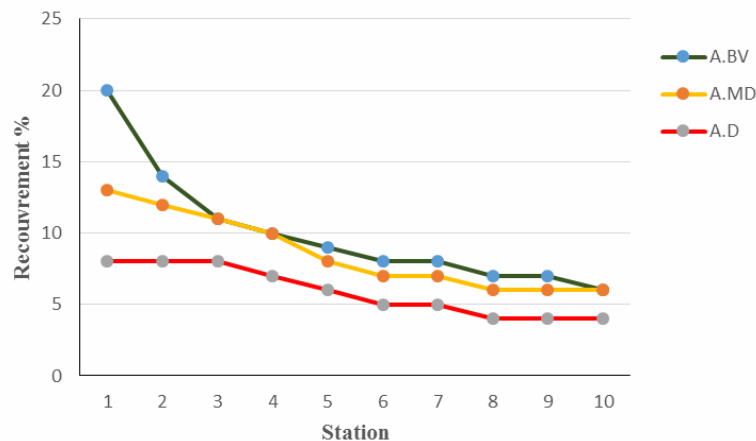


Figure 3. Recouvrement de l'alfa (*Stipa tenacissima*) par station

D'après les résultats obtenus (Fig. 4) le recouvrement d'Alfa est très important dans la station bien venante, environ 70% et varie entre (20 - 06%) dans la station moyennement dégradée, environ 30% et entre (13 - 06%) pour la station dégradée, le recouvrement est faible, il atteint 10% seulement.

Cette dégradation dite forte est liée en premier lieu aux conditions climatiques: faibles précipitations et longue durée de sécheresse, en deuxième lieu au labour aléatoire et le surpâturage anarchique, et en troisième lieu aux planifications stratégiques réalisées pour lutter contre la désertification et l'augmentation de la densité de la population et l'urbanisme dans les zones steppique.

Estimation de la phytomasse des faciès à alfa

On constate que la phytomasse obtenue dans chaque site est variable d'une station à l'autre et dans la même station avec une moyenne entre 522et 1668 kg/ha dans le site à alfa bien venant. Il varie entre 250kg/ha et 517 kg/ha dans le site à alfa moyennement dégradée et entre 60-250 kg/ha dans le site à alfa dégradée. La moyenne de la phytomasse totale de ces sites varie respectivement entre 835,1- 394,8-139,2 kg/ ha où le site d'alfa bien venant présente la grande moyenne par rapport au deux autres sites et le site d'alfa dégradé est classé toujours en dernière position.

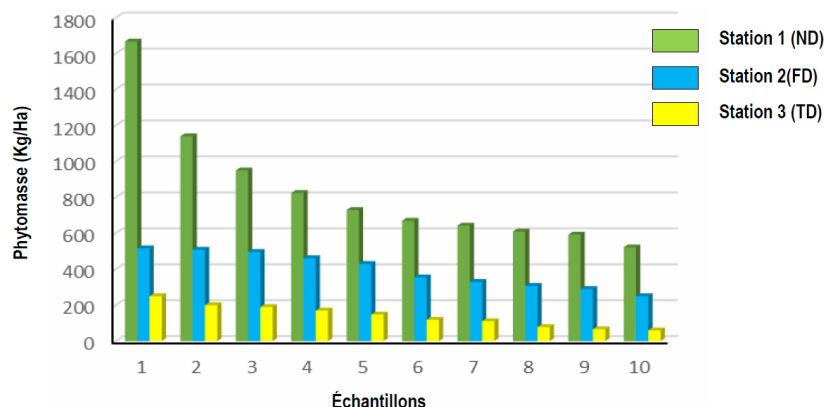


Figure 4. Comparaison de la phytomasse entre les 3 stations

L'analyse des résultats d'évaluation de la phytomasse dans les différentes stations à Alfa montre une grande différence entre chaque station (Fig.4).

La station à Alfa bien venante présente une moyenne de 838,1 kg. Ms/ha. Pour la station moyennement dégradée, elle présente une moyenne de 394,8 kg. Ms/ha. Par contre dans la station dégradée, elle présente une faible productivité de 139,2 kg. Ms/ha.

D'après les valeurs obtenues dans les différentes stations, on constate une différence importante entre la production en phytomasse d'une station bien venante et d'une station dégradée. Ces valeurs obtenues montrent la dynamique régressive des formations à alfa dans la zone de Maâmora à cause d'une forte action anthropique et des conditions climatiques (faibles précipitations, sécheresse). Selon Saidi (2012), la suppression du pâturage a permis la résilience des parcours et favorise la reconstitution et la régénération de la végétation, ce qui est le cas de la station où l'alfa est bien venante. Lapeyronie (1982) souligne que les conditions climatiques, notamment la sécheresse et surtout une succession d'années éliminent un grand nombre de plantes, en favorisant d'autres.

Les formations à *Stipa tenacissima* dans le Sud-Oranais n'occupaient que 2200000 ha dominés par 1 700000 ha de formations très claires et 500000 ha de formation moyennement dense (Benabdeli, 1989). La pression anthropique que subit en permanence cette formation s'est traduite par une perte remarquable de biomasse verte de l'alfa qui est passée en moyenne de 1750 à moins de 100 kg/MS/ha (Aidoud et Touffet, 1996). Ces chiffres sont confortés par l'inventaire du CNTS en 1989 qui souligne que plus de 50% des nappes alfatières ont disparu.

La phytomasse d'Alfa estimée par indice SAVI

Les résultats sont représentés dans le tableau suivant:

Tableau 4: Résultats d'indice SAVI.

	Station 1 Non dégradée (ND)	Station 2 Faiblement dégradée (FD)	Station 3 Très dégradée (TD)
Echantillon 1	0,280536	0,14822	0,077999
Echantillon 2	0,279249	0,12059	0,076576
Echantillon 3	0,386633	0,13054	0,078401
Echantillon 4	0,295671	0,149416	0,072832
Echantillon 5	0,288157	0,170028	0,068029
Echantillon 6	0,387214	0,179612	0,092758
Echantillon 7	0,301577	0,09919	0,066948
Echantillon 8	0,301577	0,176142	0,07729
Echantillon 9	0,284755	0,09947	0,086615
Echantillon 10	0,184755	0,081016	0,056238
Moyenne			

L'analyse des résultats d'évaluation d'indice SAVI dans les différentes stations à Alfa montre une différence entre chaque station (Tab.4).

La station (ND) présente les valeurs les plus élevées entre 0,184755 et 0,387214. Pour la station moyennement dégradée, elle présente une moyenne entre 0,18422- 0,081016 et par contre dans la station dégradée, elle présente les faibles valeurs de 0,092758 à 0,056238. Pour estimer si ces valeurs sont représentatives et ont une relation avec la phytomasse estimée par quantité de matière sèche, on fait une étude statistique de régression (Fig.6).

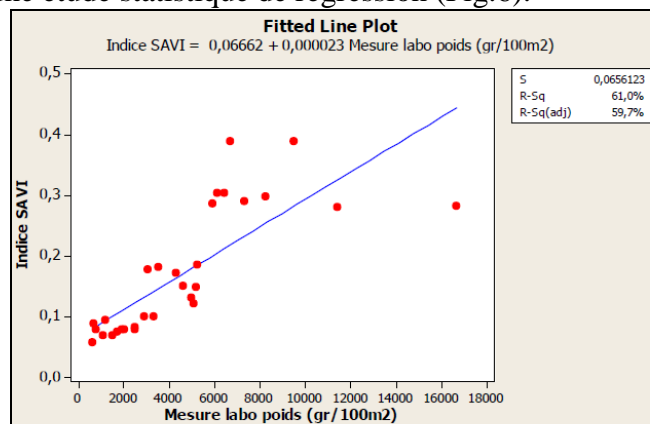


Figure 5. Corrélation entre la phytomasse et l'indice SAVI

L'alfa présente une faible valeur fourragère de 0,3 à 0,5 UF/Kg MS. Cependant, les inflorescences sont très appréciées et recherchées par le bétail surtout en période de disette (Harche, 1978). La productivité pastorale moyenne de ce type de steppe varie de 60 à 150 UF/ha selon le recouvrement et le cortège floristique (Aidoud et Nedjraoui, 1992).

L'interprétation entre la phytomasse aérienne d'alfa et l'indice SAVI, nous a donné une corrélation positive (bonne corrélation) entre les deux variables avec un coefficient de détermination $r^2 = 0,781$ et un degré p-value = $0,000 < 0,05$ hautement significatif entre le poids et SAVI. L'augmentation d'indice SAVI indique une augmentation à la phytomasse, donc une confirmation que l'utilisation d'indice SAVI peut exprimer la phytomasse d'une zone quelconque. Si on utilise les coordonnées géographiques (longitude, latitude et l'altitude), on peut estimer facilement le recouvrement végétal des terres pour l'aménagement (Fig.5).

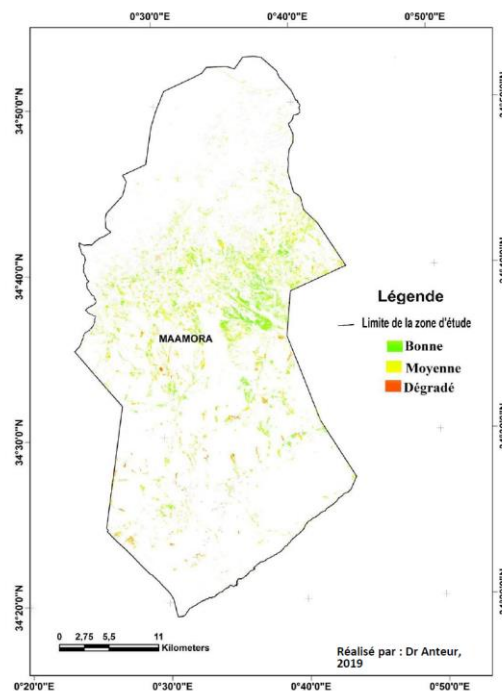


Figure 6. Etat actuelle de steppe de *Stipa tenacissima* par station

L'alfa est un élément essentiel de l'équilibre pastoral. Elle présente un intérêt écologique considérable sur le plan de lutte contre l'érosion éolienne et par conséquent la désertification. Elle contribue à la protection du sol, favorise l'infiltration de l'eau et constitue une réserve des graines et un abri pour une flore et une faune spécifique (Aidoud, 1996). Elle joue un rôle dans la

protection du sol et dans la biodiversité et peut servir d'abri pour les plants annuels dont les graines peuvent germer à son ombre, ce qui améliore ainsi la qualité pastorale des parcours. Les brins morts sont utilisés comme paillage, contre la désertification, et aussi pour constituer un milieu forestier (Bourahla et Ghittoneau, 1978).

Conclusion

L'étude de la phytomasse d'Alfa (*Stipa tenacissima*) au niveau de la zone steppique de la wilaya de Saïda a permis d'avoir une idée sur le fonctionnement de l'écosystème steppique basée sur différents facteurs écologiques intervenant dans la distribution et le développement du couvert végétal.

L'analyse de la végétation de la zone d'étude montre un taux de recouvrement variant entre 70% pour la station bien venante à 30% pour la station moyennement dégradée et 10 % pour la station dégradée qui est exposée à une forte pression anthropique

Les mesures réalisées au niveau des différents faciès en utilisant la technique de dégradation (coupe de la biomasse aérienne) a permis de quantifier la phytomasse des principales formations de la zone d'étude. Ainsi on remarque que la phytomasse poids sec à l'hectare et l'estimation de SAVI sont en nette régression. L'alfa bien venant 835,1 (0,184755 - 0,387214); l'alfa moyenne dégradée 394,8 (0,18422- 0,081016), et l'alfa dégradée 132,2 (0,092758 à 0,056238). Cette quantification régressive confirme que l'utilisation de SAVI exprime les mêmes régressions et l'état atteste la dégradation des écosystèmes.

Le recouvrement de la végétation, la richesse floristique et la phytomasse sont principalement influencés directement ou indirectement par la pression anthropique, la surexploitation et les conditions climatiques qui accentuent de plus en plus la régression du couvert végétal et sa valeur pastorale.

L'exploitation des résultats obtenus par l'apport de la géomatique a pour bénéfice de protéger et développer la surface des végétations de la zone steppique de la wilaya de Saïda. Il est proposé de :

- Instituer des législations et créer des associations en vue de la protection de la steppe.
- Instituer des législations et des politiques d'utilisation de la télédétection.
- Organiser le pâturage et élaborer des programmes de pâturage compte tenu de la durée de recouvrement de la végétation.
- Mise en défens des parcours dégradés avec un système de rotation.
- Lancer des programmes de multiplication des plantes autochtones au niveau des pépinières pour permettre la reconstitution du couvert végétal à base des plantes steppiques.
- Impliquer les riverains dans les programmes de lutte contre la désertification en créant des postes d'emploi.

Références Bibliographiques

- Aidoud A., 1996. La régression de l'alfa (*Stipa tenacissima* L.), graminée pérenne, un indicateur de désertification des steppes algériennes. *Sécheresse*, 7: 187-93.
- Aidoud A., 1983. Contribution A L'étude des écosystèmes steppiques du Sud Oranais. Thèse 3ème cycle, U.S.T.H.B, Alger, 232p
- Aidoud, A. et Nedjraoui, D., 1992. The steppes of alfa (*Stipa tenacissima* L) and their utilisation by sheeps. In *Plant animal interactions in Mediterrean-type ecosystems Medecos VI*, Grèce. 62-67.
- Aidoud, A. et Touffet, J., 1996. La régression de l'alfa (*Stipa tenacissima* L.) graminée pérenne, un indicateur de désertification des steppes algériennes. *Sécheresse* 7(3):187-193
- Benrebiha A 1984. Contribution à l'étude de l'aménagement pastoral dans les zones steppiques: cas de la coopérative pastorale d'Ain Oussera (W. Djelfa). Mémoire de Magister, INA, Alger (Algérie), 160p

- Benrebihia F Z., 1987. Contribution à l'étude de la germination de quelques espèces d'Atriplex locales et introduites. Mém. Mag. Agr. I.N.A. 160 p
- Benguerai A. 2010 - Evolution du phénomène de la désertification dans le sud oranais. Thèse de doctorat en sciences, université de Tlemcen, département agro foresterie, 148p.
- Boussaid, M., 2013. Diversité des populations naturelles de *Stipa tenacissima* L en Algérie: Approches Phénotypique, Caryologique et Moléculaire. Mémoire Doctorat, Université d'Oran. 180p.
- Bourahla, A. et Guittoneau, G.G., 1978. Nouvelles possibilités de régénération des nappes alfatières en liaison avec la lutte contre la désertification. Bull. Ins. Ecol. Appl. Orléans, 1 : 19-40 p.
- CNTS (Centre National de Télédétection Spatiale, Arzew). 1989. Inventaire des nappes alfatières des wilayates. Rapp CNTS, 15p. + cartes
- Gounot M., 1969. Méthode d'étude quantitative de la végétation. Ed. Mass. 314p.
- Kihal N, Harche M. 1989. Contribution à l'étude des composés azotés de la feuille d'alfa (*Stipa tenacissima* L.). Bull Ecol Terr; 4 : 62-6
- Harche M., 1978. Contribution à l'étude de l'alfa (*Stipa tenacissima* L.): germination; croissance des feuilles, différenciation des fibres. Thèse 3ème cycle; Univ. P. et M. Curie, Paris. 88 p.
- Laumont, P. & Berbigier, A., 1953. L'alfa et l'expérimentation alfatière en Algérie. Rev. Int. Bot. Appl. Agric. Trop., 33: 125-140.
- Lasloudji K., et al., 1990. Contribution à l'évaluation phytoécologique et pastorale dans une mise en défens dans la région d'Ain Skhouna (wilaya de Saïda). Univ-Alger. pp85-90.
- Lapeyronie A., 1982. Les productions fourragères méditerranéennes. Tome I. Généralités caractères botaniques et biologiques. Maisonneuve et Larose. Paris. 425p

APPORT DU SIG À LA QUANTIFICATION DE LA DYNAMIQUE FLUVIALE DANS UN TRONÇON EN AMONT DU BARRAGE BIN EL OUIDANE -BASSIN VERSANT OUED EL ABID/ HAUT ATLAS CENTRAL/MAROC

Hassan OUAKHIR* Mohamed EL GHACHI* Mimoun GOUMIH* Nadia ENNAJI**

*Laboratoire « Dynamiques des Paysages, Risques et Patrimoine » Université Sultan Moulay Slimane, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Béni Mellal, Maroc.

wa5irhassan@gmail.com

**Laboratoire « Dynamiques des territoires, Histoire et développement durable. Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, faculté poli-disciplinaire/Taza.

Résumé: L'érosion des sols par l'eau est devenue une question pertinente à l'échelle mondiale. Dans les dernières années ce phénomène a connu une extension spectaculaire et cause des effets de plus en plus inquiétants. Les études qui existent sur l'érosion fluviale et la dégradation des sols au Maroc dans leur grande majorité n'intègrent pas ou très peu les techniques d'analyses spatiales par un SIG pour la connaissance et la cartographie de ces phénomènes. Situé au Haut-Atlas Central Marocain, le bassin versant de Oued El Abid, évolue dans un contexte climatique méditerranéen semi- aride, avec une pluviométrie très variable dans le temps et dans l'espace. Les sols sont de plus en plus dégradés, en amont, et la mise en place des accumulations sédimentaires issues de l'érosion, conduisent à l'envasement du barrage de Bin El Ouidane en aval du bassin. Cet envasement est le résultat de l'érosion des sols et la dynamique fluviale, le sapement et l'incision des berges de Oued El Abid. Dans cet article, les systèmes d'information géographique ont été utilisés pour quantifier le taux de la dynamique fluviale dans un tronçon en amont de la retenue de Bin El Ouidane. La méthodologie adoptée se focalise sur la réalisation des « Modèles Numériques de Terrain (MNT) » à très haute résolution spatiale et la réalisation des profils en travers pour deux campagnes (2016 et 2017), c'est-à-dire avec des résolutions de quelques centimètres à quelques mètres et avec des qualités de restitution en Z (altitude).

Mots clés : Amont Barrage Bin El Ouidane - Dynamique fluviale - MNT (2016-2017) – profil en travers- Suivi – Quantification- SIG

CONTRIBUTION OF GIS TO THE QUANTIFICATION OF FLUVIAL DYNAMICS IN A SECTION AT UPSTREAM PART OF BIN EL OUIDANE DAM - EL ABID BASIN / CENTRAL HIGH ATLAS/MOROCCO.

ABSTRACT: Soil erosion by water has become a relevant issue worldwide. During recent years, this phenomenon has grown dramatically and is causing more and more worrying effects. The studies that exist on fluvial erosion and soil degradation in Morocco for the most part do not integrate the techniques of spatial analyzes by a GIS for the knowledge and mapping of these phenomena. Located in the Moroccan Central High Atlas, El Abid basin evolves in a semi-arid Mediterranean climate context, with very variable rainfall over time and space. The soils are increasingly degraded upstream and the generation of sediment accumulations resulting from erosion, lead to the silting of the Bin El Ouidane dam downstream of the basin. This siltation is the result of soil erosion and fluvial dynamics, the undermining and incision of the banks of El Abid river. In this article, geographic information systems were used to quantify the rate of fluvial dynamics in a section at upstream part of Bin El Ouidane reservoir. The adopted methodology focuses on the realization of "Digital Terrain Models (DEM)" at very high spatial resolution and the production of cross sections for two campaigns (2016 and 2017), in order to get a high resolutions of a few centimeters to a few meters and with qualities of restitution in Z (altitude).

Keywords: Upstream Bin El Ouidane Dam - Fluvial dynamics - DEM (2016-2017) - Cross section - Monitoring - Quantification – GIS

INTRODUCTION

Les rivières subissent des modifications géomorphologiques en fonction des variations spatiotemporelles des flux liquides et sédimentaires (Ramoul et *al.*, 2016). Comprendre et gérer

l'évolution des rivières est devenu aujourd'hui un objectif de première importance, alors que les fonds de vallée sont de plus en plus densément habités et/ou aménagés (Bravard et al., 2008). Même les aménageurs et les gestionnaires du risque d'inondation s'intéressent à la dynamique spatio-temporelle des rivières et leurs impacts sur le développement et dégradation des plaines alluviales, force est de constater que de nombreux plans d'aménagement et de prévention du risque d'inondation négligent ce paramètre (Bravard et al., 2008). Les études sur l'érosion et la dynamique fluviale à l'échelle mondiale ont connu un grand développement durant les dernières années (Snoussi et al., 1990). Les changements climatiques et les paysages, sous l'influence de la pression démographique et l'extension des cultures d'exploitation, ont contribué à l'augmentation de l'exposition des terres au processus de ruissellement, et par conséquent, à la perte et la dégradation des sols par l'érosion (Alaoui. et al., 2017). Au Maroc, les sols diffèrent selon leur résistance à l'érosion, en fonction de la texture, de la structure, de la rugosité, de la teneur en matière organique et du degré d'humidité du sol (Toumi, et al., 2013, Yehiaoui, 2012). Dans le contexte des changements climatiques, on estime qu'une grande partie des barrages Marocains, ont été envasés durant les 20 dernières années (Milewski. et al., 2020). Selon le rapport publié par le Comité International des Grands Barrages (CIGB), plus de 50.000 grands barrages existant dans le monde avec une capacité très importante de stockage, souffrent des problèmes de l'envasement, et un taux moyen de 0,5 à 1 % de leur capacité de stockage est perdu chaque année à cause de la sédimentation (El Ghachi et al., 2019). Par conséquent, l'étude géomorphologique à l'échelle du tronçon fluvial, confirme que ceux-ci sont de très bons enregistreurs sédimentaires des fluctuations de la dynamique fluviale à l'Holocène (Bravard, 1991) et des zones idéales pour bien comprendre le phénomène de la dynamique fluviale (Ouakhir et al., 2019). Donc, La Télédétection et les SIG sont des outils particulièrement performants pour l'étude de ces risques naturelles à l'échelle d'un vaste site ou d'une région ou d'une parcelle (Marc Salmon et al., 2010).

1. Présentation de la zone d'étude

Le bassin versant de Oued El Abid s'étend sur une grande zone montagneuse, avec un potentiel important de ressources en eau qui assure l'alimentation du barrage de Bin El Ouidane et la recharge des nappes de la plaine du Tadla en aval. Les reliefs de ce bassin sont marqués par trois formes à savoir, les massifs montagneux, les plateaux et les dépressions (Figure.1 ; Ouakhir et al., 2019). D'un point de vue administratif, le domaine d'étude se situe dans la Région Béni-Mellal – Khénifra et s'étend sur plusieurs communes rurales (Ouaouizeth, Bin El Ouidane, Ait Mazigh, Tagleft, Rfala, Bezou, Tissgui ...). Géologiquement, le bassin fait partie du Haut- Atlas central calcaire, où le relief est marqué par une série d'anticlinaux et de synclinaux, coupés par des vallées étroites (Ouaouizerth) et profondes (Missenard, 2006). Il se développe successivement dans de vastes cuvettes, correspondant aux terrains marneux du Crétacé et franchit des gorges profondes, creusées dans les séries calcaires du Jurassique et du Lias (Saidi 2011, Leveque 1952). En plus, cette zone est établie sur une diversité lithologique, qui joue un rôle important dans la vitesse de la circulation de l'eau (El Ghachi et al., 2019). Les caractéristiques hydrogéologiques du substratum sont liées à l'épaisseur et à la nature lithologique, qui déterminent la capacité de stockage de l'eau (Babault et al., 2012). En aval du site étudié, le barrage de Bin El Ouidane est en effet, établi dans la partie aval d'une gorge creusée par Oued El Abid, dans un banc de calcaires jurassiques, appartenant au flanc sud du jebel Tazerkount, premier chaînon de l'Atlas en lisière de la plaine du Tadla (El Ghachi et al., 2019).

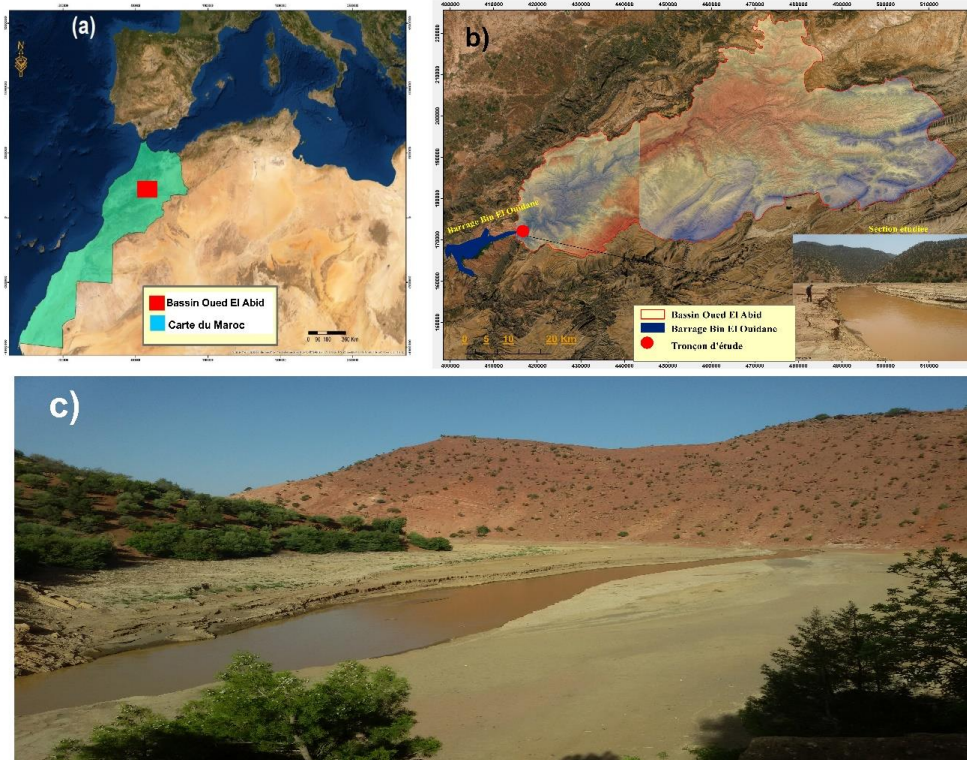


Fig.10:a) Place du bassin de l'Oum Er Rbia au Maroc.b) Présentation du bassin de l'Oued El Abid. c): Tronçon d'étude

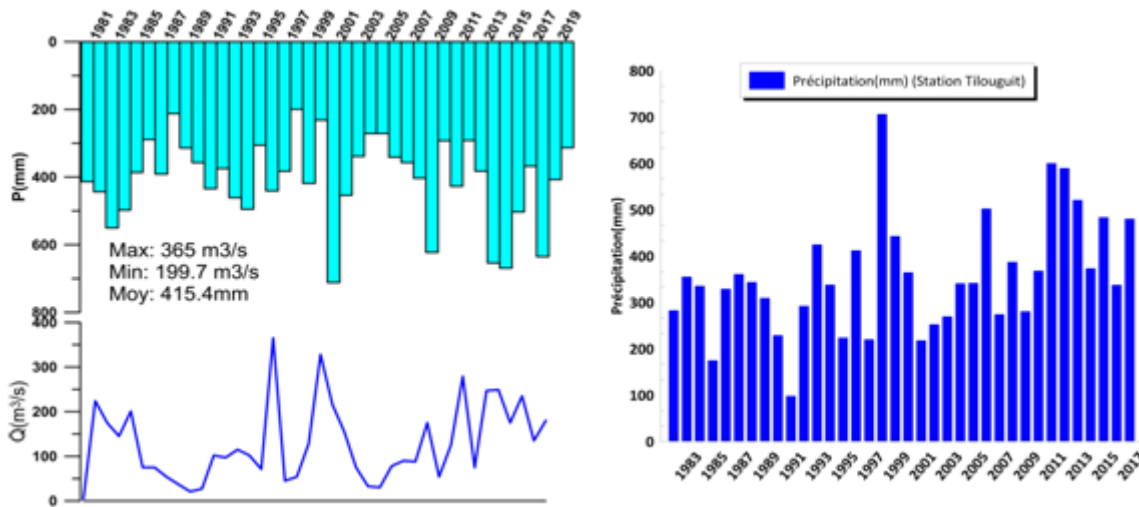


Fig.11: Précipitations et débits annuels des stations représentatives (Ait Ouchène, Ouauirnth et Tilouguit 1991-2019).

D'un point de vue hydrologique, les écoulements passent progressivement du régime pluvial à nivo-pluvial, puis nival au fur et à mesure que l'altitude augmente. Les relevés hydrologiques à long terme de Oued El Abid à la station Ouauirnth (1991-2019), montrent des variations annuelles et saisonnières importantes du débit, avec les périodes d'hiver et de printemps, qui représentant généralement 83% de l'écoulement (Cherifi et Loudiki, 2002). Ces caractéristiques pluviométriques sont dues, à l'importance des effets orographiques et la répartition géographique du relief dans le bassin. Cette variabilité spatio-temporelle des apports, joue un rôle essentiel dans la diversité observée dans les régimes hydrologiques. La température est sensiblement influencée par l'altitude élevée du Haut-Atlas Central (Van Den Dries et *al.*, 2012). Selon l'indice d'Emberger, au niveau des stations météorologiques étudiées (Tilouguit, Ait Ouchène, Ouauirnth (1991-2019), figure.2), on constate que le bassin de Oued El Abid a une progression

climatique à caractères semi-aride, avec une tendance vers le sub-humide (Ouakhir.et El Ghachi.2015, El Ghachi et *al.*, 2019).

2. Méthodes et matériel:

L'intérêt grandissant des études de l'érosion à l'échelle plurikilométrique et la détermination des problématiques environnementales associées à l'érosion hydrique et la dynamique fluviale, ont stimulé l'utilisation des méthodes topographiques très pointues pour la réalisation des Modèles Numériques de Terrain (MNT), à très haute résolution spatiale pour la représentation en 3D des ravines d'érosion en amont du barrage de Bin El Ouidane et aussi de réaliser des profils en travers pour suivre ce phénomène. Sur la base de la connaissance des états de surface et de leur comportement vis-à-vis des ruissèlements et de l'érosion par expérimentation, nous avons testé une approche d'observation spatiale afin de répondre au besoin d'une approche sectorielle. Cette approche consiste à réaliser des profils en travers dans l'ensemble du cours d'eau jusqu'à la conjonction avec le barrage de Bin El Ouidane durant 2016 et 2017. La deuxième consiste à réaliser modèle numérique de terrain (MNT) sur la base des profils en travers dans un tronçon au bassin versant Oued El Abid (El Ghachi et *al.*, 2019).

Ce modèle (MNT) a été effectué en une série d'étapes. – première étape : on a, tout d'abord, procédé à des levés topographiques pour la représentation de la surface étudiée, ses points caractéristiques, tels que les sommets, les ruptures de pentes et autres.... - La deuxième forme est une représentation "vecteur", constituée par un ensemble de polygones qui constituent une planche de courbes de niveau. - La troisième forme, constitue 'une représentation "raster", formée d'un champ, ' d'altitudes connues aux nœuds d'une grille régulière à mailles carrées. - la quatrième étape, repose sur la superposition des données des deux MNT (2016 et 2017), avec l'usage du système d'information géographique (SIG), pour des opérations d'analyse et de modélisation des processus d'érosion. Le choix de cette méthode va nous permettre de réaliser un modèle numérique de terrain, qui couvre 180 m en aval du bassin versant Oued El Abid.

3. Résultats et discussion

L'interprétation des profils et les MNT réalisés pour les deux missions (2016 et 2017), a permis d'extraire des résultats importants sur la dynamique fluviale dans le bassin Oued El Abid.

2.1 Comparaison de deux compagnes des profils en travers de 2016 et 2017

L'objectif de cette analyse est de mettre en évidence les modifications du lit intervenues en une année à partir de la comparaison des deux compagnes de profils en travers de l'année 2016 et 2017. D'après le tableau n°1, les profils anciens (2016) font apparaître des contrastes similaires à ceux mis en évidence à partir de profils récents (2017). Ils permettent d'évaluer un certain nombre de caractéristiques géométriques, pentes et sections mouillées et de déterminer ainsi un calibre du lit du tronçon étudié de Oued El Abid. Ils sont donc représentatifs des caractéristiques du lit de la rivière mises en évidence ultérieurement dans l'analyse des deux compagnes et peuvent ainsi servir pour le calcul des paramètres hydrauliques afin d'établir le lien avec les morphologies fluviales (Ouakhir et *al.*, 2020).

Tableau 2: comparaison entre largeur / profondeur dans les profils en travers 2016 et 2017

Numéro du profil en travers	Largeur (m)	Profondeur (m)	Type de la dynamique
P1- 2016-2017	2	04	Latérale
P2-2016-2017	2.5	0.71	Verticale (creusement)
P3-2016-2017	1	0.97	Latérale
P4-2016-2017	-0.5	0.45	Dépôt/ creusement
P5-2016-2017	1	-0.35	Dépôt /Latérale
P6-2016-2017	1	0.16	Latérale
P7-2016-2017	0.79	0.87	Verticale (creusement)
P8-2016-2017	-1	0.37	Dépôt/ creusement
P9-2016-2017	2.5	-0.9	Dépôt /Latérale
P10-2016-2017	0.05	- 0.72	Dépôt /Verticale
P11-2016-2017	0.76	- 0.79	Dépôt/(creusement)
P12-2016+-2017	0.5	0.79	Verticale (creusement)

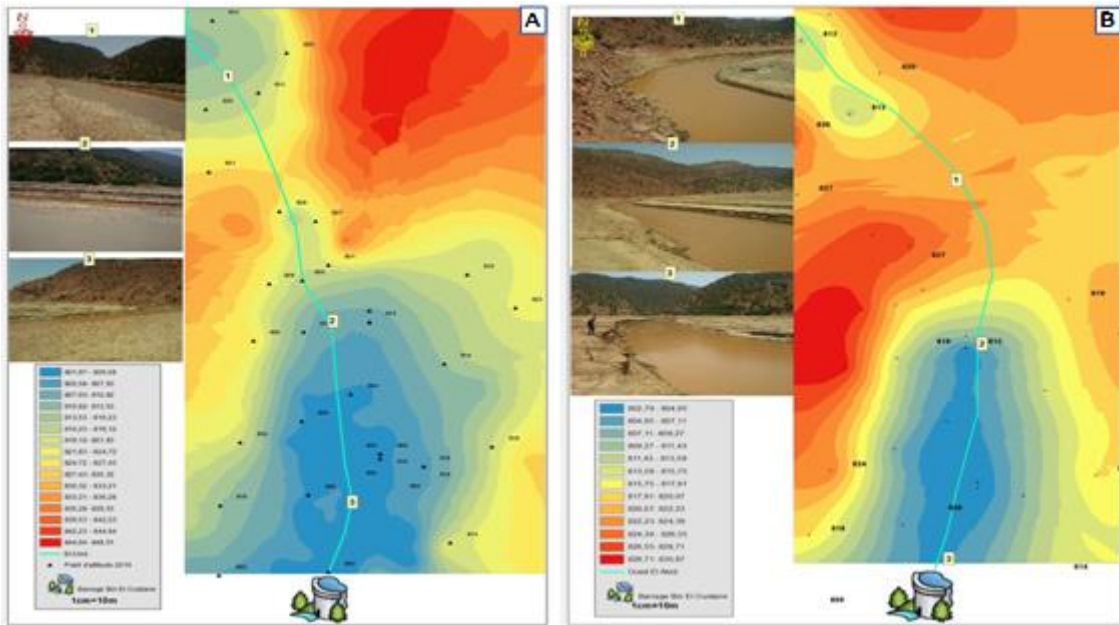


Figure 12 : les MNT de deux levés topographiques (A) 2016 et (B) de 2017

En général et selon les résultats présentés par le tableau n° 1, le tronçon étudié a connu, le long des deux années, une dynamique importante, cela signifie que ce tronçon est une zone de dépôt et de transport en même temps, mais selon l'énergie de Oued El Abid. L'évolution de la forme du chenal (largeur/profondeur) à l'échelle annuelle nous a permis de caractériser une forte dynamique de la profondeur, de la largeur et de la section mouillée du tronçon étudié à proximité du barrage de Bin El Ouidane. Ces résultats laissent clairement envisager une rapide tendance aux réajustements morphologiques de Oued El Abid. Cette forte érosion est conjuguée à une dynamique progressive des berges, ce qui agisse à celles-ci de connaître un changement dynamique pendant une post-crue. Par conséquent, la dynamique de l'érosion contribue à l'envasement du barrage de Bin El Ouidane, ce qui menace sa capacité de stockage et aussi sa durée de vie (Ouakhir et *al.*, 2020; El Ghachi et *al.*, 2019)

2.2 les « MNT » de 2016 et 2017: Comparaison et explications

La superposition des deux MNT sur ArcGIS à l'aide de l'outil « Fuzzy Overlay » a permis d'obtenir des résultats importants sur la dynamique fluviale et l'érosion des berges. Les bilans d'érosion, évalués à travers la comparaison entre les deux MNT de 2016 et celui de 2017, deviennent significatifs dans le tronçon étudié et servent à extraire des conclusions intéressantes: (*) La dynamique de l'érosion dans les deux MNT étudiées, est présentée dans les figures 3.A et B et tableau 1, le MNT de l'année 2017 montre une évolution de la largeur, qui ne peut alors être expliquée que par la sédimentation dans le lit et la végétalisation des berges qui piègent les sédiments. Plus en détail, cette évolution est également inscrite dans la forme des sections mouillées. (**) A partir de la superposition des deux MNT de 2016 et 2017, on note que le tronçon a été modifié favorablement, ce qui justifie un temps de réponse très court (figure.3).

CONCLUSION

Le tronçon étudié montre une évolution dynamique multiple. Cette variation se représente essentiellement par les variables de contrôle. Il faut noter que les grandes crues à l'échelle annuelle sont conduites à une modification de ces variables. En effet et à partir de la combinaison des paramètres de contrôle par rapport aux débits de Oued El Abid, on distingue un pouvoir d'érosion et de transport qui accélère la dynamique et l'évolution de ces variables. On peut distinguer cette évolution à travers la discussion et l'interprétation de différentes variables selon

leurs dynamiques entre 2016 et 2017. En marge de cet article, la question de la lutte antiérosive, ne doit pas se limiter à l'espace étroit du tronçon étudié, mais à l'ensemble du bassin versant, en tenant en compte des méthodes et des techniques culturales, de l'aptitude des sols, de la fertilisation et aussi, des aspects socioéconomiques.

Références bibliographiques

- ALAOUI, M., HOUSNI, F., NAJINE, A., BRACAMONTESDEL, H., & WAFIK, A. (2017): Impact of Climate Change on the Landslide in the Central High Atlas of Morocco: Case of Tit N'Ziza, El Ksiba. *International Journal of Advanced Research*, 5(12), 584–592.
- BABAULT, J., VAN DEN DRIESSCHE, J., & TEIXELL, A. (2012): Longitudinal to transverse drainage network evolution in the High Atlas (Morocco): The role of tectonics. *Tectonics*, 31(4), 1–15.
- BRAVARD, J.-P., LIPPMANN-PROVANSAL, M., ARNAUD-FASSETTA, G., CHABBERT, S., GAYDOU, P., DUFOUR, S., RICHARD, F., VALLETEAU, S., MELUN, G., & PASSY, P. (2008): Un atlas du paléo-environnement de la plaine alluviale du Rhône, de la frontière suisse à la mer. *Collection EDYTEM. Cahiers de Géographie*, 6(1), 101–116.
- CHERIFI, O., LOUDIKI, O. (2002): Impact of El Abid River Basin Loads on Water Quality of the Bin El Ouidane dam. *Hydrobiologia* 410: 287–294, 1999. J. Garnier & J.-M. Mouchel (eds), *Man and River Systems*. © 1999 Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands. Flood.
- EL GHACHI, M., OUAKHIR, H., GOUMIH, M., & LAMTI, H. (2019): Dynamique fluviale dans l'oued El Abid: Suivi et quantification d'un tronçon fluvial à l'amont du barrage de Bin El Ouidane - 2016 / 2017- (Haut Atlas Central / Maroc). 3, 45–63. *revue geomorphologie*.
- MARC SALMON M., SBAI, A., BOUMEAZA, T., BENATA, M., ET OZER, A. (2010): L'érosion des côtes meubles de l'extrême nord-est du Maroc. *Acticl, BSGLg*, 54, , 97-106 pp.
- MISSENARD, Y. (2006): le relief des atlas marocains: contribution des processus asthénosphériques et du raccourcissement crustal, aspects chronologiques. 225p.
- MILEWSKI, A., SEYOUM, W. M., ELKADIRI, R., & DURHAM, M. (2020). Multi-scale hydrologic sensitivity to climatic and anthropogenic changes in northern Morocco. *Geosciences (Switzerland)*, 10(1), 1–22. <https://doi.org/10.3390/geosciences10010013>
- OUAKHIR, H., EL GHACHI, M., & GOUMIH, M. (2019): Caractérisation de la dynamique des lits fluviaux par la cartographie des morphologies fluviales: Amont du barrage Bin El Ouidane du Haut Atlas Central Marocain. 7, 379–384.
- OUAKHIR, H., EL GHACHI, M. EL, GOUMIH, M., & HAMID, L. (2020): Fluvial Dynamic in Oued El Abid Basin: Monitoring and Quantification at an Fluvial Dynamic in Oued El Abid Basin: Monitoring and Quantification at an Upstream River Section in Bin El Ouidane Dam - 2016 / 2017- (Central High Atlas / Morocco). December. <https://doi.org/10.11648/j.ajma.20200804.11>
- RAMOUL, S., BENZAOUZ, M. T., & CEMALI, N. (2016): Évolution de la dynamique fluviale d'oued El Klab Dans la plaine de Sigus de 1959 a 2014 (Oum El Bouaghi, Algérie). *Geografia Fisica*.
- SNOUSSI, M., JOUANNEAU, J. M., & LATOUCHE, C. (1990): Flux de matières issues de bassins versants de zones semi-arides (Bassins du Sebou et du Souss, Maroc). Importance dans le bilan global des apports d'origine continentale parvenant à l'Océan Mondial. *Journal of African Earth Sciences*, 11(1–2), 43–54. [https://doi.org/10.1016/0899-5362\(90\)90076-Q](https://doi.org/10.1016/0899-5362(90)90076-Q).
- TOUMI, S., MEDDI, M., MAHÉ, G., & BROU, Y.T. (2013): Cartographie de l'érosion dans le bassin versant de l'Oued Mina en Algérie par télédétection et SIG. *Hydrological Sciences Journal*, 58.
- Van Den Driessche, J., & Teixell, A. (2012): Longitudinal to transverse drainage network evolution in the High Atlas (Morocco): The role of tectonics. *Tectonics*, 31(4), 1–15.
- YAHIAOUI, A. (2012): Inondations torrentielles. Cartographie des zones vulnérables en Algérie du Nord (cas de l'oued Mekerra, Wilaya de Sidi Bel Abbès). Thèse de doctorat: École Nationale Polytechnique El Harrach, Alger (Algérie).

**RISQUES NATURELS LIES AUX SOLS ET AUX MOUVEMENTS DE TERRAIN:
DETECTION, RECONNAISSANCE ET PREVENTION**

Zainab SEGHIOUAR* et Latifa OUADIF

Laboratoire de Géophysique Appliquée, de Géotechnique, de Géologie de l'Ingénieur et de
l'environnement, Ecole Mohammadia d'Ingénieurs, Université Mohammed V, Rabat.

*zainabseghiouar@gmail.com

RESUME: Les risques liés aux sols et aux mouvements de terrain occupent une place de choix parmi les risques naturels générateurs de dommages et préjudices pour la stabilité des ouvrages et la sécurité des personnes. Leur prise en compte dans la politique globale de gestion et de prévention des risques naturels constitue une préoccupation majeure pour les aménageurs et les acteurs du Génie Civil.

Ce travail consiste donc à élaborer une démarche méthodologique adaptée à la détection et la reconnaissance des risques liés aux sols et aux mouvements de terrain en vue d'en prévenir les conséquences. Cette démarche s'appuie sur des méthodes d'investigations géotechniques et géophysiques convenables en fonction du site concerné et son environnement afin de prédire sa probabilité d'occurrence et d'évaluer sa portée.

L'objectif de ce travail est d'aider les ingénieurs à la détection et à la reconnaissance des risques liés aux sols et aux mouvements de terrain et au choix des méthodes d'investigations appropriés d'une part, et d'autre part, d'orienter et d'éclairer les décideurs vis-à-vis des potentialités de détection de ces risques.

Mots clés: Risques naturels – sols – mouvement de terrain – méthodes de détection.

**NATURAL HAZARDS RELATED TO SOIL AND GROUND MOVEMENTS :
DETECTION, RECOGNITION AND PREVENTION**

ABSTRACT: Hazards related to soil and ground movements have a special place among natural hazards that cause damage to the structural stability and human security. Their inclusion in the overall policy of management and natural hazards prevention is a major concern for planners and civil engineering actors.

This work therefore consists in developing a methodological approach adapted to the detection and recognition of soil hazards and land movements in order to prevent their impact.

This approach is based on suitable geotechnical and geophysical investigation methods depending on the site and its environment in order to predict its probability of occurrence and assess its scope.

The aim of this work is to assist engineers in the detection and recognition of soil hazards and ground movements, also in the choice of appropriate investigation methods, on the one hand, and, on the other hand, to guide and enlighten decision-makers on the potential for detecting these hazards.

Keywords: Natural hazards – Soils – Ground movements – Detection methods.

INTRODUCTION

La maîtrise des risques naturels et en particulier des risques liés aux sols et aux mouvements de terrain constitue l'un des enjeux majeurs pour les aménageurs et les acteurs du Génie Civil. L'objectif recherché consiste évidemment à minimiser les coûts de construction et d'entretien éventuels tout en garantissant la stabilité des ouvrages et la sécurité des personnes. La détection de ces risques, à priori, nécessite des techniques de reconnaissance efficaces faisant appel à des compétences et disciplines très diversifiées. Tout d'abord, les études géologiques préliminaires permettent de définir et délimiter l'aléa lié au sol et au mouvement de terrain, parallèlement aux études historiques via l'analyse des archives existantes, ensuite, vient, les méthodes de télédétection telle que la photo-interprétation qui permettent de reconnaître et d'identifier le risque à étudier. Et enfin, les sondages d'investigation géotechniques et géophysiques en dernier lieu, qui viennent pour confirmer les conclusions de des reconnaissances préliminaires par le biais d'un contrôle sur site.

1. Définition, description et classification des mouvements de terrains

Les mouvements de terrains regroupent des phénomènes divers et complexes qui impliquent une rupture et un déplacement simultané de matériaux (Flageollet, 1989). Ce sont les manifestations du déplacement gravitaire de masses de terrain déstabilisées sous l'effet de sollicitations d'origine naturelle (séisme, fonte de neiges, pluviométrie torrentielle, diminution de butée par érosion de la mer, etc.) ou anthropiques (terrassement, déboisement, vibration, exploitation de matériaux, pompage de nappes aquifères, etc.).

Les formes et l'ampleur des mouvements de terrain sont très diverses en raison de la multiplicité des mécanismes d'initiation et d'évolution (érosion, dissolution, déformation, et rupture sous charge statique ou dynamique, etc.) d'une part, et d'autre part, de la complexité des comportements géotechniques des matériaux sollicités, de leurs structures géologiques et conditions de gisement (pendage, fracturation, lithologie, fracturation, etc.), de leur topographie (pente de versant, dénivelée, etc.), de leur teneur en eau et présence de nappes aquifères. Il faut noter que ces facteurs sont dans la plupart des cas interdépendants ou interférents.

Il existe plusieurs classifications des mouvements de terrains selon différents critères, toutefois, dès que l'on s'intéresse aux aléas ou aux risques, la vitesse de déplacement devient le critère de classification le plus judicieux car elle traduit directement l'ampleur ou la gravité du phénomène.

Ainsi, selon ce critère, deux ensembles peuvent être distingués (Tableau.1):

- Les mouvements de terrain lents : pour lesquels la déformation est progressive pouvant être accompagnée de rupture ou non, mais d'aucune accélération brutale. Ces mouvements peuvent être surveillés et contrôlés, et ne menacent pas directement la sécurité des personnes, et
- Les mouvements de terrains rapides : caractérisés par une accélération brutale, eux-mêmes, divisés en deux sous-ensembles, selon le mode de propagation des matériaux, en masse ou remaniés.

Tableau 1. Classification des mouvements de terrains selon le critère de la vitesse de déplacement

Mouvements de terrain <i>lents</i>	Mouvements de terrain <i>rapides</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Les <i>affaissements consécutifs</i> à l'évolution de cavités souterraines naturelles ou artificielles de mines ou de carrières, évolution atténuée par le comportement souple des terrains de surface ; - Les <i>tassements</i> par retrait de sols argileux et par consolidation de certains sols compressibles (tourbes, vases, remblais). - Le <i>fluage</i> des matériaux plastiques sur faible pente, - Les <i>glissements</i>, qui résultent du déplacement en masse, le long d'une surface de rupture plane, courbe ou complexe, de sols cohérents (marnes et argiles) - Le <i>gonflement</i> ou le retrait de certains matériaux argileux en fonction de leur teneur en eau. 	<p>Le premier sous-ensemble comprend :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Les <i>effondrements</i>, qui résultent de la rupture brutale de voûtes de cavités souterraines naturelles ou artificielles, sans amortissement par les terrains de surface ; - Les <i>chutes de pierres</i> ou de blocs provenant de l'évolution mécanique de falaises ou d'escarpements rocheux très fracturés ; - Les <i>éboulements</i> ou <i>écroulements</i> de pans de falaise ou d'escarpements rocheux selon les plans de discontinuité préexistants ; - Certains <i>glissements</i> rocheux. <p>Le second sous-ensemble comprend :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Les laves torrentielles, qui résultent du transport de matériaux en coulées visqueuses ou fluides dans le lit de torrents de montagne ; - Les <i>coulées boueuses</i>, qui proviennent généralement de l'évolution du front de glissements. Leur mode de propagation est intermédiaire entre le déplacement en masse et le transport fluide ou visqueux.

2. Définition des zones susceptibles aux risques liés aux mouvements de terrain

Une zone est déclarée susceptible aux mouvements de terrain lorsque les conditions du terrain de ce site sont similaires à celles d'une zone dans laquelle un mouvement s'est déjà produit antérieurement.

Ainsi, selon Varnes (1984), le zonage de l'aléa mouvements de terrain peut être scindé en deux phases :

- L'évaluation de la susceptibilité des terrains à la rupture. La susceptibilité, ici, traduit la possibilité qu'un phénomène donné se produise pour certaines conditions de terrain, et
- La détermination de la probabilité de rupture où la probabilité exprime la possibilité qu'un événement en fonction des conditions initiales et de seuils devienne un facteur déclenchant.

L'évaluation et la cartographie de l'aléa mouvements de terrain sont, en général, basées sur quatre principes fondamentaux (Varnes, 1984 ; Hutchinson, 1995) :

- 1) tous les types de mouvements peuvent être identifiés et classés,
- 2) les mouvements se reproduiront si les mêmes conditions géologiques, géomorphologiques, hydrogéologiques et climatiques qui ont déclenchés un mouvement se représentent,
- 3) les facteurs déclenchants et ceux contrôlant l'évolution ultérieure du mouvement sont connus et mesurables ;
- 4) l'aléa peut être évalué en plusieurs niveaux de risques (fort, moyen, faible)

3. Méthodologie générale pour la détection et la reconnaissance des risques liés aux sols et aux mouvements de terrain

La méthodologie de recherche proposée est basée sur un travail d'inventaire et sur un ensemble de techniques de mesure physique et de caractérisation du terrain in-situ. La démarche adoptée pour la détection et la reconnaissance de l'aléa « mouvement de terrain » est basée sur deux phases de reconnaissances : une phase des reconnaissances préliminaires comprenant les études géologiques, la consultation d'archives, éventuellement une enquête sur site et la recherche d'indices de surface. Et une phase de reconnaissances secondaires basées sur les méthodes d'investigations géophysiques et géotechniques.

3.1. Reconnaissances préliminaires :

Placée en amont de tout projet de Génie Civil, la reconnaissance géologique consiste, en effet, à collecter toutes les informations relatives aux caractéristiques du sol en place, notamment celles relatives à la présence de risques liés aux mouvements de terrain.

La détection des zones à risques est organisée selon un schéma bien défini. Ce schéma commence par la réalisation d'une expertise géologique de la zone du projet. Cette étape préalable permet de caractériser la nature des sols et de relever la structure du terrain en place dans le but de recueillir suffisamment de données et d'informations sur le contexte du site pour pouvoir se prononcer sur la présence potentielle de zones prédisposées aux risques.

En cas de résultats concluants, une enquête est déclenchée sur l'existence d'accidents antérieurs similaires survenus sur site et citées dans les archives disponibles afin d'en exploiter toute information utile et pertinente.

Au risque que les informations récoltées de cette enquête, soient insuffisantes, elles seront complétées, par la suite, par une *phase de recherche d'indice de surface* tels que des anomalies topographiques, traces de déformations, des instabilités superficielles et/ou profondes. A l'issue de ces deux phases de reconnaissance préliminaire, les zones potentiellement prédisposées aux risques se trouveront, à priori, bien localisées.

La dernière étape des reconnaissances préliminaires, est basée sur une technique de télédétection : la photo-interprétation est une technique destinée à détecter les anomalies du relief et qui consiste en l'analyse des photos aériennes de la zone étudiée afin de rechercher des indices géomorphologiques, géologiques et hydrogéologiques de surface.

In fine, la phase de validation sur le terrain permet de confirmer la présence des anomalies éventuelles et de délimiter les zones à risques.

3.2. Reconnaissances secondaires :

Le premier zonage du terrain délimitant les zones à risque défini à l'issue de la phase des reconnaissances préliminaires, permet de définir les méthodes géophysiques et/ou géotechniques appropriées à l'investigation du sol et du sous-sol.

Le choix de la méthode adaptée dépend principalement des facteurs suivants:

- L'étendue de la zone d'étude et son environnement,
- La nature du terrain en place,
- La nature du risque lié aux mouvements de terrain identifié,
- Les moyens disponibles en fonction de la nature du projet.

Le but est d'aboutir à la définition d'un second zonage du terrain qui va constituer la base d'implantation des sondages de la campagne de reconnaissance géophysiques et/ou géotechniques accompagnés éventuellement d'enregistrement de paramètres physiques (diagraphie) et de prélèvement d'échantillons pour analyse en laboratoire. Ces sondages permettront d'affiner et de compléter le modèle géologique et le modèle géo-technico-physique du terrain étudié.

4. Méthodes géotechniques et géophysiques utilisées pour la détection et la reconnaissance des risques liés aux sols et aux mouvements de terrain

La phase de reconnaissances secondaires par l'intermédiaire de méthodes d'investigation géotechniques et géophysiques va permettre, d'une part, de vérifier les indices et les résultats recueillis lors de la phase de reconnaissances préliminaires et d'évaluer la fiabilité des conclusions qui en sont déduites.

Les sondages sont implantés au droit des zones potentiellement à risques telles que délimitées dans le premier zonage issu de la phase des reconnaissances préliminaires.

Le but du sondage est d'identifier localement la nature des structures ou des couches responsables de l'anomalie détectée en surface. Les sondages seront réalisés selon un maillage défini en proportionnel à l'étendue de la zone étudiée.

On s'intéresse ici, aux sondages géotechniques carottés qui peuvent être accompagnées d'essais pressiométriques et complétés par des essais au laboratoire, couplés à des forages de diagraphies instantanées ou différées. Ces techniques sont particulièrement fiables et précises pour caractériser les propriétés physiques d'un terrain et se renseigner sur la structure stratigraphique des sols en place.

4.1. Les sondages:

Pour l'implantation des diagraphies en génie civil, on a recours au sondage destructif ou carotté. Dans les deux cas, les outils de sondage sont généralement instrumentés pour mesurer, en cours de foration, des paramètres physiques du sol. On réalise alors une diagraphie instantanée.

Le sondage destructif consiste à perforer le terrain à l'aide d'un outil (type tricône, à lames au carbure de tungstène, etc.). Les matériaux sont extraits du sondage au fur et à mesure de l'avancement à l'air comprimé ou à la boue argileuse. Les matériaux extraits sont remaniés et par conséquent, les informations qui en déduites ne peuvent être fiables.

Le sondage carotté consiste à perforer le terrain à l'aide d'un outil cylindrique creux qui permet d'extraire un échantillon sous forme de carottes intactes ou peu remaniées. Une observation visuelle directe aide à identifier la nature et les épaisseurs des matériaux, et des analyses plus approfondies peuvent être menés en laboratoire pour déterminer certains paramètres physiques de ces échantillons.

4.2. Les diagraphies:

La diagraphie est une technique d'investigation qui correspond à tout enregistrement continu en fonction de la profondeur et/ou du temps, d'un paramètre de forage ou d'une caractéristique donnée des formations traversées par un sondage et s'étend ainsi pour couvrir tous les domaines de la physique. Les méthodes et les types d'appareils et des sondes, développés initialement pour les recherches pétrolières et minières sont donc très nombreuses et ont fait déjà l'objet d'ouvrages complets (Serra, 2000) et (Boyer et Mari, 1994). On peut distinguer les diagraphies de vitesse d'avancement et de radioactivité naturelle. Il est à noter que ces méthodes sont peu onéreuses en termes de mise en œuvre, de traitement et d'interprétation, et sont très riches en matière d'informations sur la nature des sols traversés.

CONCLUSION

Quelle que soit le type et l'origine des mouvements de terrain, les accidents qui en résultent peuvent être désastreuses, et leur caractère très aléatoire les rend difficiles à prévoir et à maîtriser. C'est pourquoi la détection et la reconnaissance des risques liés aux mouvements de terrain s'avère primordiale. D'où la nécessité d'adopter une démarche méthodologique préalable aux travaux de réalisation des projets de génie civil.

La démarche proposée pour la détection et la reconnaissance des risques liés aux sols et aux mouvements de terrain est scindée en deux phases de reconnaissances. Une phase de reconnaissances préliminaires consistant en la réalisation des études géologiques, la consultation d'archives, une enquête in-situ et la recherche d'indices de surface via la photo-interprétation. Tandis que la phase de reconnaissances secondaires se base sur la réalisation de travaux d'investigations géotechniques et géophysiques sur le terrain. Ces deux phases complémentaires aboutissent d'une part, à la cartographie des zones prédisposées aux risques liés aux sols et aux mouvements de terrain et, d'autre part, à la caractérisation du terrain au droit de ces zones.

Le respect et la réalisation de l'ensemble des étapes de la démarche méthodologique de la détection et la reconnaissance des risques identifiés sont les garants de la qualité des résultats déduits. Il incombe, donc, aux responsables et aux décideurs en matière de gestion des risques d'exploiter les résultats d'investigations pour établir des plans de prévention des risques des zones vulnérables et d'envisager les solutions à préconiser en fonction de l'étendue du risque identifié : confortement, surveillance ou éloignement.

Références bibliographiques

- Besson Liliane, Durville Jean-Louis, Garry Gérard, Grasz Edmond, Hubert Thierry, Toulemont Marcel (1999): *Plan de prévention de risques naturels (PPR) Risques de mouvements de terrain Guide méthodologique*, Paris, la documentation française. pp 8,9
- Dionne Jean-Claude (1991): *Géographie physique et Quaternaire*, vol. 45, n° 2, 1991, p. 251-252.
- Fauchard Cyrille, Pothérat Pierre sous la direction de Philippe Côte et Marcel Mudet (2004). *Techniques et méthodes des laboratoires des ponts et chaussées. Guide technique du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées : Détection de cavités souterraines par méthodes géophysiques. Guide technique*. pp. 5-7, 18-20, 23-25
- Flageollet, Jean-Claude (1989): *Les mouvements de terrain et leur prévention*. Collection Géographie, Paris, Masson, pp. 156, 119, 224.
- MAQUAIRES Olivier (2002): *Aléas géomorphologiques (mouvements de terrains) – processus, fonctionnement, cartographie*. Mémoire de recherche, Université Louis Pasteur, Strasbourg I. pp. 31-47.

LES MOUVEMENTS DE MASSES DANS LE HAUT OUARGHA (RIF CENTRAL) ETUDE DE CAS

KAIY* Naima, AGHZAF** Abed Errahmane, FINIQ* Abedelouahed

* FLSH Ain Chock UH2C

** FLSH Meknès. naima.kaiy@gmail.com

Résumé: Les mouvements de masse dans les zones montagneuses méditerranéennes sont conditionnés par les facteurs climatiques, géologiques et topographiques. Ceci se traduit par une grande dynamique de la surface (glissements de terrains, coulées boueuses et écroulements). Ainsi les mouvements de masse ont des impacts néfastes touchant le contexte physique et humain en l'occurrence le côté socio-économique de la population rifaine.

Mots-clés: Structure géologique, climat, topographie, solifluxion, mouvement de masse, Rif central.

Summary: Mass movements in the Mediterranean mountainous areas are conditioned by climatic, geological and topographical factors. This results in a great dynamic of the surface (landslides, mudslides. Thus mass movements have harmful impacts affecting the physical and human context, in this case the socio-economic side of the Rif population.

Key words: Geological structure, climate, topography, landsliade, mass movement, Central Rif.

Introduction

Le Rif marocain en tant que zone montagneuse est considéré comme un exemple typique du développement des mouvements de masse. Le bassin versant du Haut Ouergha fait partie du domaine méditerranéen, par son contexte bioclimatique, par son héritage géologique et par son style structural rifain. En amont de l'Oued Ouergha, la morphogenèse actuelle se traduit par une forte morphodynamique affectant ce milieu: sommets rocheux, versants, bords de l'oued et terrasses (Maurer, 1962). Ce phénomène est conjugué aussi par une activité intense et permanente de la surface. Plusieurs impacts résultent des mouvements de masse, comme la dégradation des sols fertiles; la menace des habitats et des infrastructures...

I. L'amont de l'Oued Ouergha est une zone très accidentée

I.1. Situation géographique

L'Oued Ouergha, couvre une superficie de 7300 Km². Il a une longueur d'environ 1486.5 Km et se situe au Nord du Maroc (figure 1), entre les latitudes 34°5 et 34°36 N et les longitudes 4°00 et 5°45 W. Le bassin versant de l'Oued Ouergha a une forme allongée. Il ressemble à une gouttière dissymétrique dont le flanc Nord est beaucoup plus développé que le flanc sud puisque 70% de la superficie du bassin est situé au nord de l'Ouergha. (Maurer, 1968; Kay, 2000).



Figure 1: Situation de la zone d'étude

I.2. Les caractéristiques générales de la zone d'étude

I.2.1. La topographie

On est en présence d'un bassin dans lequel la superficie est faible par rapport au changement d'altitude et où les différences d'altitude sont très marquées (Fig. 2).

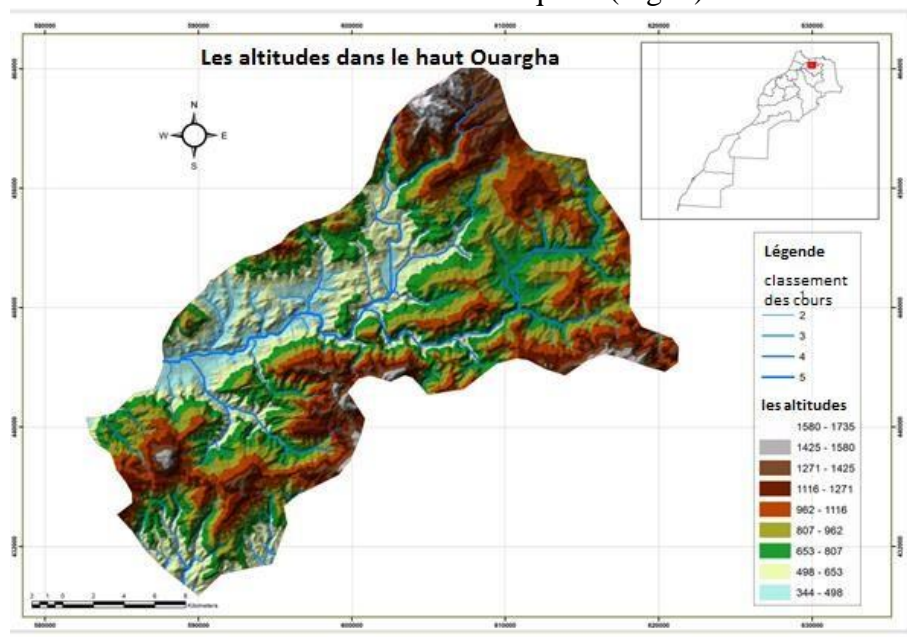


Figure 2: La topographie du haut Ouargha

I.2.2. Une géologie déterminant de la dynamique de la surface

La géologie du bassin versant du haut Ouargha est considérée comme un facteur déterminant de la dynamique de la surface. L'Ouargha au niveau de l'amont prend une direction N-S, selon une ligne de faille. On observe des failles dues aux déformations à des mouvements épirogéniques qui se sont produits au cours du secondaire et du tertiaire (Andrieux, 1971) notamment ceux qui ont provoqué la formation et la surrection du bassin structural Sud-rifain (Asebriy, 1994) avec une dominance des formations marneuses et marno-schisteuses (Fig.3).

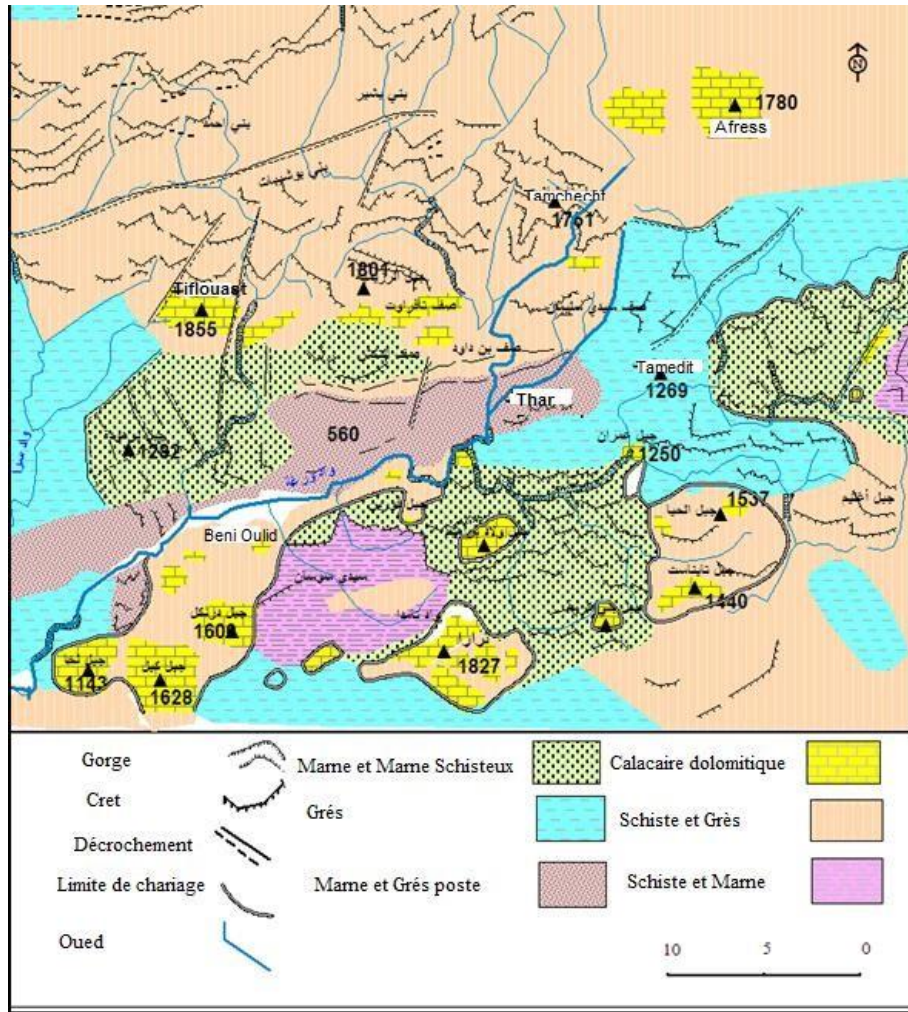


Figure 3: Esquisse Géologique de la zone d'étude

I.2.3. Un climat méditerranéen humide et sec

L'amont de l'oued Ouargha fait partie des zones les plus arrosées au Maroc, notamment au niveau des points culminants qui reçoivent des moyennes annuelles entre 700 et 1000 mm/an. Cela illustre un régime climatique méditerranéen saisonnier agressif, avec de fortes pluies et des saisons sèches prononcées.

I.3. Problématique

Le bassin versant du Haut Ouergha se distingue par la diversité de ses caractéristiques orographiques, géologiques et climatiques qui se traduisent sur sa morphologie par des formes d'érosion très variées. Cet article porte sur les formes d'érosion les plus répandues, notamment la solifluxion et le sapement des berges.

II. Les mouvements de masse dans le Haut Ouargha

Les mouvements de masses (les solifluxions, les éboulis, les éboulements et les coulées boueuses) sont considérés comme une des phases les plus avancées des formes d'érosion résultante d'une interaction de plusieurs facteurs à savoir la nature du socle géologique, le régime et l'agressivité climatique, la gravité et la continuité des mouvements tectoniques hérités des anciennes ères géologiques (Kaiy, 2000). Ces éléments jouent le rôle moteur de la morphodynamique de la surface notamment les mouvements de masse qui se manifestent par différents volumes et différentes profondeurs (Cailleux et Tricart, 1950). Ainsi les marnes et

les schistes constituent la base de développement des solifluxions. Tandis que les crêtes des calcaires dolomitiques sont concernées par les éboulements, et les éboulis se développent au niveau des plus hauts sommets et falaises (Elfalleh, 2000).

II.1. Les grands glissements

Ces formes sont liées aux roches marneuses, marno-gréseuses et marno-schisteuses (Flageollet, 1989, Mille la Croix, 1968).

II.1.1. Solifluxion Ras Dar (Fig.4).

Sur un complexe à base marneuse s'étale une masse de solifluxion, avec une longueur de 525m et une largeur de 360m. L'altitude du front d'arrachement est de 655m et se prolonge sur 256m avec des fissures tout au long de ce front, ce qui indique le développement futur des solifluxions secondaires dérivant de la grande masse.

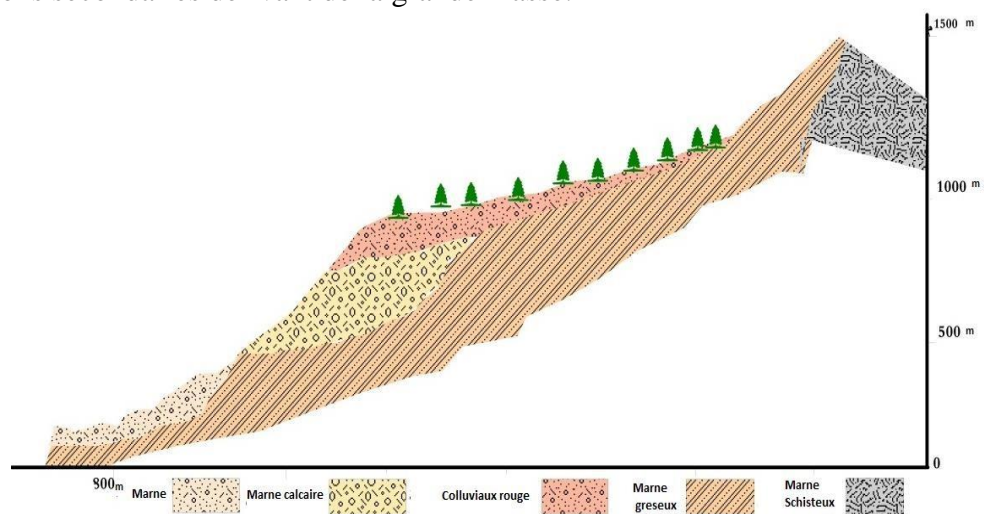


Figure 4 : Glissement de Ras DAR

Du haut du versant vers le milieu, on remarque la succession des zones d'arrachement (fig.5) à la forme des escaliers, vers le bas de la pente. Ces ruptures de pente/replats favorisent la stagnation des eaux et facilitent la saturation par les marnes, ce qui implique une préparation antérieure aux mouvements de solifluxions prochains.

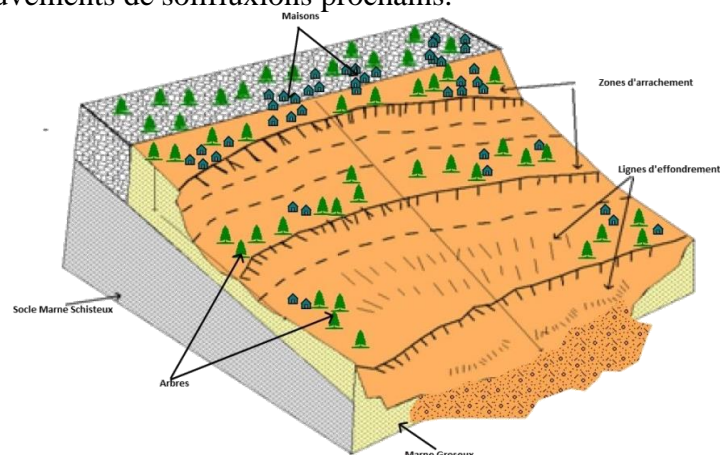


Figure 5 : la succession des zones d'arrachements

Les marnes représentent la roche la plus répandue dans la zone d'étude, c'est une roche imperméable et riche en argile et en limon et ceci se traduit par l'absorption d'une grande

quantité d'eau jusqu'à la saturation, ce qui facilite la transformation de l'état physique des roches et de la couverture superficielle à l'état visqueuse (Campy et Macaire, 1989). Vu l'importance de la gravité causée par la pente, ce processus se termine par le développement des mouvements de masse expliqués par la composition granulométrique (Tableaux 1 et 2) et la dominance des argiles et des limons qui représentent plus de 75% de la composition du substrat rocheux et des colluvions.

Tableau 1. Etude de la composition chimique des matériaux rocheux

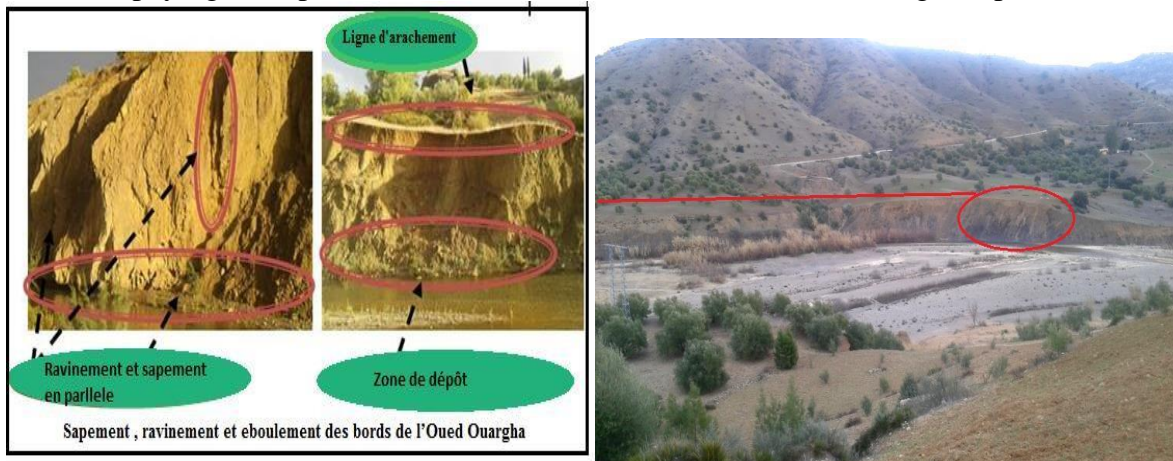
Niveau	K2O (ppm)	P2 O5 (ppm)	MO%	Ph (KI 1 N)	Ph (eau)	% CaCO3
Colluvions	226,9	18,09	0,8	7,73	7,13	2,3
Roche autochtone	208,3	28,7	0,3	7,81	7,59	0,8
Roche Nappe Koutama	117,27	20,8	0,4	7,44	7,81	3,7

Tableau 2. Etude de la composition Granulométrique

Niveau	% A	% LF	% LG	% SF	%H2O	S%	%LA%
Colluviaux	20,0	5,0	5,7	7,5	2,5	24,3	13,062,7
Roche autochtone	10,0	10,0	8,5	3,6	2,0	10,6	19,769,7
Roche Nappe Koutama	10,0	5,0	6,7	1,8	1,5	10,2	12,077,8

II.1.2. Le Sapement des berges

L'oued Ouargha est le principal transporteur des matériaux dans la zone d'étude. Il reçoit les charges fines et solides de ses affluents nord et sud. C'est une particularité liée aux caractéristiques de drainage des bassins versant dans les zones montagneuses humides (Laouina, 1978) où les débits sont très forts et la charge est trop élevée surtout pendant la saison pluviale durant laquelle cette opération est accentuée et se manifeste sur le terrain par des sapements de berge des bords de l'oued et par des éboulements des versants qui dominent directement l'oued. Cette dynamique contribue aussi à l'élargissement du lit de l'oued et la constitution des méandres libres. Il s'agit d'une activité instantanée est agressive en même temps, permettant ainsi le transport de grandes quantités de matériaux solides et soluble (Tribak, 1991). Cette activité des oueds se traduit par des sapements des bords de l'oued et l'éboulement des versants sous les effets combinés de l'activité de l'oued et le soulèvement tectonique des versants et se traduit sur le terrain par des ravins parallèles, avec des profondeurs qui dépassent les 4 mètres avec des solifluxions des marnes sableuses, ce qui donne un paysage complexe des formes d'érosion au bord de l'oued (fig 6 et photo 1).



Conclusion

Vu la topographie montagneuse et la dominance des substrats rocheux meubles et l'abondance des précipitations pluviales avec un couvert végétal ouvert, l'amont d'Oued Ouergha est reconnu comme siège de différentes formes d'érosion, les plus répandues sont les solifluxions et les sapements des berges.

Bibliographie

- ANDRIEUX J (1971): La structure du Rif Central. Etude des relations entre la tectonique de compression et les nappes de glissement dans un tronçon de la chaîne Alpine. Notes et Mem serv Geol Maroc N° 235, p155.
- ASEBRIY L (1994): L'Évolution technique et métamorphique du Rif central. Définition du domaine subrifaine. Thèse de doctorat d'état 283p université Mohammed V. Facultés des Sciences, Rabat.
- CAMPY M et MACAIRE J.J (1989) Géologie des formations superficielles. *géodynamique, faciès, utilisation*. Masson. 424p.
- FLAGEOLLET J-C (1989) Les mouvements de terrain et leur prévention 224 p Masson 1989
- LAOUINA 1992: L'Aménagement des régions de montagne. Univ MV Fac Lettres et SCi Humaines Dep Geogr Travaux de laboratoire de geomorphologie N°1 PP57-64
- LAOUINA (1993) Expériences de développement de la Montagne Rifaine. Essai d'évaluation Univ MV Fac Lettres et SCi Humaines Dep Geogr Travaux de laboratoire de geomorphologie N°02 PP 30-47
- MAURER G (1975): Les Mouvements de Masses dans l'évolution des Versants des régions Telliennes et Rifaines d'Afrique du Nord, Actes du symposium sur les versants en pays Méditerranéens, Aix en province 1979, G.E.G.E.M Vol V p 133-137.
- MAURER G (1962): L'évolution des versants du Rif occidental: Deux exemples de cartographie geomorphologie R.G.M N° 1-2 pp 63-66.
- MILLIES LACROIX (1968): Les glissements de terrains présentation d'une carte prévisionnelle des mouvements de Masse dans le Rif (Maroc Septentrional) Mines et géologie Rabat N0 27 pp 45-54.
- MILLIES LACROIX (1965): Instabilité des Versants dans le domaine Rifain Rev Geom, Dyn N° 7-8-9 XVe Année pp 97-109.
- TRIBAK A (1991): Dynamise et Typologie des versants, Essai sur l'intensité, la Fréquence et la location des processus d'érosion actuels dans quelques bassins pré-rifains du Nordde Taza (Maroc).
- الفلاح بوشنتي(2000): حركيات السفوح والمخاطر الطبيعية المرتبطة بها في الريف الأوسط. دكتوراه الدولة، جامعة محمد الخامس، كلية الآداب والعلوم الإنسانية الرباط. 324 صفحة.
- كبي نعيمة (2000): عالية حوض ورغة منطقة ظهر السوق دراسة جيومورفولوجية؛ التطور المورفولوجي- والدينامية الحالية. أطروحة الدكتوراه، جامعة محمد الخامس، كلية الآداب والعلوم الإنسانية الرباط 376 صفحة.

GLISSEMENT DE TERRAIN: ETUDE ET METHODES DE CONFORTEMENT

Rhita BENNOUNA*, Latifa OUADIF, Anas BAHI.

Laboratoire de Géophysique Appliquée, de Géotechnique, de Géologie de l'Ingénieur et de l'environnement, Ecole Mohammadia d'Ingénieurs, Université Mohammed V de Rabat.

[*bennounarhita@gmail.com](mailto:bennounarhita@gmail.com)

Résumé: Le glissement de terrain est un phénomène naturel qui résulte de la combinaison de plusieurs facteurs: géologiques, hydrogéologiques, hydrologique, sismique, ou autre. Il peut engendrer des dégâts humains et matériels considérables. Pour cela, il est nécessaire de réaliser des études de stabilité au niveau des zones à risques et surtout celles où une modification de l'aspect naturel du terrain a été réalisée.

Au Maroc, différentes méthodes de confortements sont adoptées, partant des techniques les plus simples tel que le gabionnage, la végétalisation avec ou sans blocs alvéolaires, jusqu'aux configurations les plus innovantes tel que les ancrages actifs et passifs des murs de soutènements, la technique des terres armées, la technique des remblais renforcées par géogrilles, les parois berlinoises,... La liste n'est pas limitative. Durant cette dernière décennie, pour un grand nombre de projet de confortement de talus, le choix du mode de confortement s'est orienté vers les tirants d'ancrage. L'avantage de cette technique est qu'elle reprend les efforts de poussée agissant sur la paroi et limite ses déplacements. Cette technique nécessite une mise en œuvre spéciale à suivre ainsi que des essais d'arrachements pour s'assurer de son bon fonctionnement.

Ce travail montre l'ensemble des étapes à suivre pour réaliser une mise en place et une mise en tension des tirants d'ancrage avec une application à un cas d'étude doté d'une formation en roche tendre qui présente un exemple pouvant être adapté à des situations similaires.

Mots clés: Glissement de terrain, tirant d'ancrage, efforts de traction, déplacement.

LANDSLIDE: STUDY AND METHODS OF REINFORCEMENT

Rhita BENNOUNA*, Latifa OUADIF, Anas BAHI.

Landslide is a natural phenomenon that results from the combination of several factors: geological, hydrogeological, hydrological, seismic, and others. It can cause considerable human and material damage. This is why it's necessary to carry out stability studies in risk areas and especially those where a modification of the natural appearance of the site has been carried out.

In Morocco, different methods are used for reinforcing soil, with a wide choice, from the simplest techniques such as gabion walls, revegetation with or without honeycomb structures, to the most innovative configurations such as active and passive anchoring for retaining walls, the technique of reinforced earth walls, the technique of reinforced embankments by geogrids, Berliner walls, etc. During the last decade, for a large number of reinforcing embankment projects, the choice of the reinforcement method has been oriented towards tie rods. The advantage of this technique is that it takes up the thrust forces acting on the wall and limits its movements. This technique requires a special implementation to be followed as well as pull-out tests to ensure that it works properly.

This work shows all the steps to follow to make an installation and a tensioning of the anchors with an application to a case study in soft rock formation, which presents an example that can be adapted to similar situations.

Keywords: Landslide, anchor tension, tensile forces, displacement.

Introduction

Un glissement de terrain est un phénomène qui affecte les pentes et les versants naturels, et qui consiste en un déplacement d'une masse de terrain d'un volume de quelques mètres cubes à quelques millions de mètres cubes, le long d'une surface de rupture. Le déplacement peut se faire généralement de quelques millimètres par an à quelques mètres par jour, provoquant par conséquent des dommages humains et matériels importants [4]. L'étude des glissements de terrains permet d'analyser de plus près les surfaces de rupture le long desquelles les résistances maximales au cisaillement du sol sont atteintes. Lorsque les forces motrices s'exerçant sur une pente dépassent la résistance des matériaux constitutifs de cette pente, celle-ci subit une rupture et un glissement de terrain se produit. La rupture de l'équilibre a pour origine soit l'augmentation des forces déstabilisantes, liées à la gravité, soit la diminution des forces stabilisantes. Ainsi, l'analyse des glissements est basée sur l'équilibre limite ou l'analyse limite.

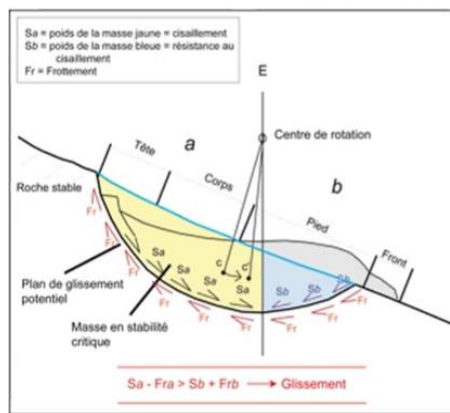


Figure 1 : Schéma représentatif d'un glissement de terrain

Confortement des talus prédisposés à un glissement :

De nombreuses techniques existent pour le confortement des zones instables [5] [6] [7] [11]. Toutes n'ayant pas le même effet ni le même degré de stabilisation, elles permettent de répondre au besoin d'assurer un facteur de sécurité optimal pour la stabilité de différents cas d'études variant en nature et en intensité : Ecoulements et chute de blocs pour les talus rocheux, glissement plan, glissement circulaire, ou autres pour les talus à formations meubles [8].

La maîtrise de la mise en œuvre de chacune des techniques est essentielle à l'efficacité du traitement.

Parmi les types confortements adoptés, on cite :

- La stabilisation des masses rocheuses par ancrage des grillages ou de filets, application d'un béton projeté ou mise en place d'un mur cloué.
- Les remblais renforcés par géogrille: La disposition des remblais en couches superposées et intercalées par des nappes de géotextiles offre au sol une résistance en traction plus ou moins importante en créant une adhérence optimale et un frottement entre le sol et le géotextile. L'ouvrage étant ainsi formé est très souple et assez résistants aux tassements différentiels du sol support.

- Les murs de soutènements: Les murs de soutènement sont des structures servant à retenir un massif de sol présentant un risque de glissement, et ceci à l'aide de matériaux résistants à la poussée des terres. L'effort de poussée exercé par le massif en terres retenu peut être repris de différentes manières. On en distingue trois méthodes : La reprise de la poussée à l'aide du poids de l'ouvrage tel que les mur poids en béton ou en maçonnerie, de l'encastrement du mur tel que les parois moulées et les rideaux de palplanches ou bien par ancrage du mur tel que les murs en béton ancré.
- Confortement par pieux et tirants d'ancrage : Il s'agit de la réalisation de pieux stabilisateurs pour soutènement de terre avec un espacement bien déterminé dépendamment de la nature des formations en place et ancré aux formations saines par le biais de tirants d'ancrages actifs, et ceci afin d'assurer à tenue des terrains instables en amont du traitement réalisé.

On se focalisera dans cette étude sur le confortement des talus par tirants d'ancrage actifs, leur mode de mise en œuvre et les procédures d'essais correspondants.

Mise en situation : confortement par Tirants d'ancrages

1. Confortement par tirants d'ancrages

Les tirants précontraints sont des dispositifs constitués par des armatures de précontrainte (barres ou ensembles de torons) ancrées dans le terrain par une injection de scellement et mises en tension en prenant appui sur l'ouvrage d'une part et sur l'ancrage d'autre part. Ils sont soumis à un effort de traction tout au long de sa durée de vie. Ce type de confortement est largement utilisé pour la stabilisation des talus et des structures tel que les palplanches, les barrages, les murs de soutènements, les parois moulées,...

Afin d'assurer un ancrage optimal, les tirants d'ancrage sont constitués de deux parties: une partie libre et une partie scellée, comme représentée sur la figure ci-dessous :

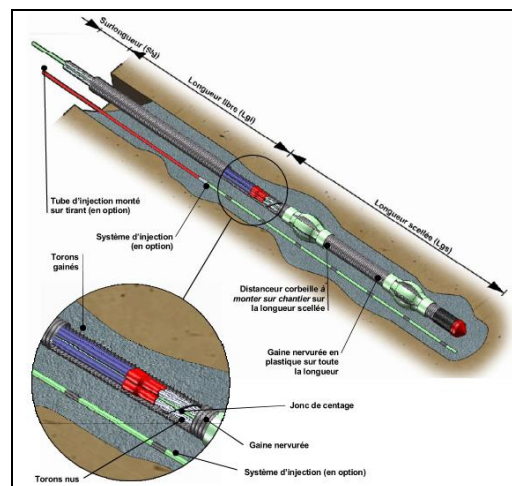


Figure 2 : Fiche technique d'un tirant : cas de tirant à câbles– DIWIDAG Systems

International

Les étapes de mise en œuvre d'un tirant tel que décrit par la norme NF EN 1537 [1] sont les suivantes:

- Perforation et mise en place de l'armature (tirant d'ancrage)
- Scellement du tirant au terrain
- Mise en tension du tirant

Au niveau d'un projet nécessitant la mise en place d'un ensemble de tirants d'ancrage, des essais sont réalisés pour examiner le comportement du terrain dans le temps et sous différentes sollicitations.

Définition du cas d'étude

Etant donné le vaste nombre de cas d'étude pour la mise en place des tirants d'ancrage, on adoptera pour cette étude le cas d'un confortement de talus constitué d'une formation schisteuse altérée sur une quinzaine de mètre et saine au-delà de cette profondeur, où une campagne de reconnaissance géologique et géotechnique a été réalisée en suivant les étapes des missions géotechniques [3]. L'étude aboutit à un choix de confortement par tirants d'ancrage alignés et espacés de 2,60m, qui reposent directement sur une lierne, disposée contre une file de pieux de diamètre 1,20m espacés entre eux de 1,30m et de 24 m de profondeur.

Chaque tirant d'ancrage est constitué de 5 torons précontraints de 500 kN/ancrage et ayant un diamètre extérieur de 15,7mm. Ces tirants sont dotés d'une longueur de 27m, assurant un ancrage dans la formation saine, dont 9m de longueur libre et 18m de longueur scellée. Ils sont inclinés de 25° descendant par rapport à l'horizontal.

A chaque phase d'une mission géotechnique, des études sur tirants d'ancrages ont été effectuées.

1) Perforation et mise en place de l'armature

Etant donné la nature schisteuse du sol en place, Le forage est effectué par la méthode marteau fond de trou pour ces forations. Pour le diamètre des trous, il est de 115 mm pouvant contenir à la fois l'armature du tirant et l'espace annulaire pour son scellement au terrain.

A la fin de la perforation, le trou est nettoyé par des jets d'air comprimé.

L'étape suivante consiste à mettre en place le tirant dans le forage. Il faut veiller, avant cela, à disposer les distanceurs (centreurs) le long de « la partie scellée » du tirant (partie qui sera disposée le long du fond du forage. On gardera une distance d'1 m de l'extrémité du tirant pour déposer le premier distanceur et on adoptera un espacement de 3m entre distanceurs pour le reste de « la partie scellée » afin d'assurer le centrage du tirant dans le forage et donc la répartition uniforme du coulis de scellement autour du tirant.

2) Scellement du tirant au terrain

Il est important de savoir qu'au niveau de la longueur libre, les torons sont revêtus individuellement d'un gainage et sont graissés. Cette opération permet, lorsque le tirant est soumis à une force de traction, un allongement du tirant d'ancrage sans dépasser son domaine élastique. L'ensemble des torons gainés sont disposés à l'intérieur d'une gaine s'étendant tout le long de la partie libre. Par contre, au niveau de la longueur scellée, les torons sont nus sans gainage individuel et l'ensemble de ces torons nus est rassemblé à l'intérieur d'une gaine et ceci sur toute la partie prévue à être scellée.

Pour le scellement du tirant au terrain, Le scellement du tirant au sol est réalisé par un coulis d'une composition de E/C=0,5 (En poids).

Le dispositif est constitué de deux tubes d'injection :

- Un premier tube est lié à l'intérieur de la gaine permettant de remplissage entre gaine et torons.
- Un deuxième tube est disposé à l'extérieur de la gaine afin d'assurer le remplissage entre gaine et le terrain en place et ainsi le scellement du tirant au sol.

Le mode de scellement consiste à remplir le trou de forage au coulis de ciment par le fond. Les tubes de remplissage sont installés le long de l'ancrage. Une fois l'ancrage introduit dans le forage, le coulis de ciment est injecté par les tubes (à partir du premier tube puis du deuxième tube), jusqu'à résurgence au niveau du forage. La pression d'injection correspond à la pression nécessaire à remonter la colonne de coulis.

3) Mise en tension du tirant

Une fois que le coulis durci, on procède à la réalisation des essais de conformité, de réception (mise en tension) et de contrôle du tirant d'ancrage [2] à l'aide d'un dispositif approprié comprenant principalement un vérin spécial pour mise en tension des torons, un manomètre et un comparateur.

Après avoir réalisé les essais de conformité, on procède à la mise en tension du tirant.

Une fois le dispositif en place et les réglages réalisés, nous entamons notre essai.

Cet essai consiste à réaliser une montée en pression pour la traction du tirant en place. Il est réalisé par paliers jusqu'à une valeur d'effort de traction préalablement fixée : traction d'épreuve. On effectue l'essai de réception pour une durée de 15 min (dernier palier), par la suite, on relâche la pression jusqu'à la traction de blocage, on bloque le tirant, on fixe bien les clavettes sur les torons pour garder leur mise en tension définitive, puis on relève la relaxation lors du déchargement.

Ci-dessous le mode d'exécution de l'essai :

- On procède aux réglages sous l'effort T_0 noté l'origine du déplacement. T_0 étant la traction de calage à partir de laquelle la prise de mesure commence. ($T_0 \leq 0,1 \times T_e$)

On prend : $T_0 = 0,1 \times T_e$

Avec T_e = Traction à laquelle le tirant est éprouvé : $T_e = 1,25 \times$ la Traction de service, pour des tirants définitifs

Pour le cas du projet, Application Numérique :

$$T_0 = 0,1 \times 500 \text{ KN} \times 125\% = 62,5 \text{ KN}$$

- On entame ensuite la mise en tension du tirant.

- On applique les efforts de traction par paliers ΔT comme suit :

La montée en pression se fait en 7 paliers: $0,1 T_e - 0,2 T_e - 0,4 T_e - 0,6 T_e - 0,8 T_e - 0,9 T_e - T_e$.

Ces efforts sont maintenus constants pendant 1 min pour tous les paliers.

Pour le cas du projet en cours, on fixe le temps de palier à 15 minutes.

Application Numérique : $\Delta T = 0,2 \times T_e = 0,2 \times 625 \text{ KN} = 125 \text{ KN}$

Puis $\Delta T = 0,1 \times T_e = 0,1 \times 625 \text{ KN} = 62,5 \text{ KN}$ (pour les paliers à partir de $0,8 T_e$)

Le premier palier est à appliquer à partir du palier : $0,1 T_e = 62,5 \text{ KN}$

- On restitue numériquement les mesures de force de déplacement de l'extrémité du tirant au temps $t=1$ minute pour chaque palier.

- On cessera la phase de chargement lorsque l'effort de traction T_e a été atteint et on maintiendra ce palier pendant 15 min avec enregistrement des valeurs aux temps :

$t = 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13$ et 15 minutes.

Pour le cas du projet, Application Numérique :

On cesse le chargement à l'atteinte de T_e avec $T_e = 625 \text{ KN}$

- On effectuera le déchargement jusqu'à la traction de blocage T_b .

$$\text{Avec } T_b = T_i + P_{ta} = 500 + 97,5 = 597,5 \text{ kN}$$

- On fixera les cinq torons à l'aide des clavettes montées avec le dispositif.
- On réalise le déchargement en relâchant la pression.

La pression est relevée en 4 paliers :

- $T'3 = 0,5 \times T_e = 0,5 \times 625 \text{ KN} = 312,5 \text{ KN}$
- $T'2 = 0,25 \times T_e = 0,25 \times 625 \text{ KN} = 156,25 \text{ KN}$
- $T'1 = 0,125 \times T_e = 0,125 \times 625 \text{ KN} = 78,12 \text{ KN}$
- $T'0 = 0 \times T_e = 0 \times 625 \text{ KN} = 0 \text{ KN}$

❖ Déplacement de la tête du tirant

La mesure du déplacement selon l'axe de symétrie du tirant se fait à l'extrémité libre du tirant et par rapport à un repère fixe placé hors de l'effet des sollicitations auxquelles est soumis le massif de réaction.

Il est à noter que pour un essai de réception, pour avoir un fluage conforme, il faut que le déplacement de fluage entre les mesures à 5 minutes et à 15 minutes ne dépasse pas la valeur de 1,5 mm. Il est nécessaire de retrouver la valeur de traction résiduelle à accorder afin de valider la mise en tension du tirant :

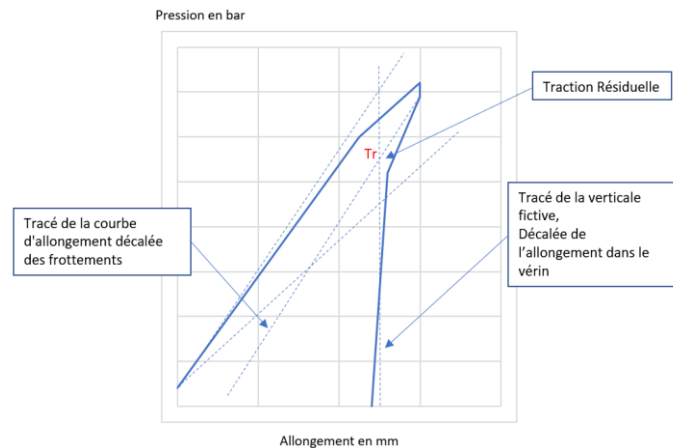


Figure 3: Courbe de la mise en tension du tirant en fonction de l'allongement

Il s'agit de la traction réelle subsistant dans le tirant après sa mise en tension. Elle est déduite des courbes de mise en tension.

Suite à cela, on assure la protection de la tête du tirant d'ancrage.

Il est à noter qu'il est important de veiller au bon dimensionnement des tirants, de maîtriser toutes les étapes de mise en place et mise en tension des tirants d'ancrage et de réaliser toutes les vérifications nécessaires pendant la phase de travaux afin d'éviter tout risque d'instabilité ultérieurement [10].

Tout au long de la durée de vie d'un tirant d'ancrage, il est nécessaire de procéder à une surveillance de la mise en tension du talus conforté. Pour cela, la réalisation de contrôles périodiques qui consistent à vérifier l'état du tirant doit être programmée [9].

Conclusion

Le confortement d'un talus par tirants d'ancrage est une technique nécessitant un soin particulier lors de la mise en tension en se référant aux normes et recommandations en vigueur et en observant le comportement du terrain. Les valeurs des efforts de traction à appliquer sont adaptables aux formations en place pour chaque cas d'étude et au besoin de conforter le talus.

Mise à part la mise en tension du tirant, des essais de conformité sont également réalisés afin de s'assurer du fonctionnement durable des tirants suite à leur mise en tension. Des essais de contrôles sont également réalisés. Tous ces essais sont nécessaires et adaptés aux types de sol en place afin d'examiner leurs comportements vis-à-vis des diverses sollicitations et éviter tout risque de ruptures de pentes.

Références bibliographiques

- [1] AFNOR – NF EN 1537: Exécution des travaux géotechniques spéciaux- Tirants d'ancrage, Avril 2000
- [2] AFNOR – NF P 94-153, Sols: Reconnaissance et essais, Essai statique de tirant d'ancrage, 1993.
- [3] AFNOR – NF P 94 500 : Missions d'ingénierie géotechnique, 30 novembre 2013
- [4] Alexander D: Landslide damage to buildings. Environmental Geology and Water Sciences volume 8, pages147–151(1986)
- [5] H. EJJAOUANI-LPEE, Les instabilités des talus – Expérience Marocaine, 28 Octobre 2011
- [6] H. LABIED- LPEE & Y. MOUNJI- ADM, Stabilisation de talus rocheux- Autoroute Marrakech- Agadir, 28 Octobre 2011
- [7] N. NOUARA- ADM, La technique Terre Armée, 28 Octobre 2011
- [8] USGS, Landslide Types and Processes, Fact Sheet 2004-3072, July 2004
- [9] Règles professionnelles T.A. 2020. Tirants d'ancrage- règles professionnelles relatives à la conception, au calcul, à l'exécution, au contrôle et à la surveillance, Ed. Eyrolles. Paris, 144p.
- [10] TECHNIQUES ET METHODES DU LCPC, Guide technique- Ouvrages de soutènement- Recommandations pour l'inspection détaillée, le suivi et le diagnostic des poutres et voiles ancrés par tirants précontraints, Juillet 2003.
- [11] T. EL MALKI – ICE & M. WOJNAROWICZ- SEPIAGC, Confortement du glissement de terrain au PK 32 de la ligne Ferroviaire Tanger – Ras R'mel, 28 Octobre 2011

ETUDE D'INSTABILITE D'UN TALUS DE DEBLAI : CAS DE BAB TARMAST SUR LA VOIE EXPRESS TAZA - AKNOUL

EL KHALFI Fouad et OUARHACHE Driss

Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Faculté des Sciences Dhar El Mahraz, Département de Géologie, Laboratoire GERA, Fès, Maroc. fouadgc@gmail.com

RÉSUMÉ: Le Prérif marocain se caractérise par sa forte hétérogénéité lithologique et est considéré comme un siège des mouvements de terrain de toutes natures. La présence des terrains marneux en abondance, à forte sensibilité à l'eau, la sismicité, et l'action anthropique sont parmi les facteurs déclenchants des glissements. En effet, l'aménagement des infrastructures linéaires est contraint à plusieurs difficultés géotechniques, vu le caractère évolutif des matériaux sur place. Un talus de déblai sur l'axe routier de la voie express reliant Taza à Aknoul au Pk 20+600, présente des problèmes de glissements majeurs qui ont perturbé les travaux, aussi bien durant la phase de terrassement qu'après leur achèvement. Les caractéristiques géotechniques du sol, nécessaires à la modélisation, ont permis d'évaluer la stabilité du talus de déblai suivant deux profils : 3H/2V (34°) et 2H/1V (27°). La simulation suivant le profil 3H/2V a donné des facteurs de sécurité faibles, avec une valeur critique de 1,23, alors que suivant le profil 2H/1V, les Fs sont supérieurs au seuil de sécurité avec une valeur minimale de 1,68. Cependant, cette dernière valeur de Fs qui est considérée théoriquement sécuritaire, le talus en question a connu plusieurs réactivations de glissements. Afin de mieux gérer les risques d'instabilité, des systèmes de parade solides et un drainage efficace, pour réduire l'influence du facteur hydrique sur la réactivation des surfaces de glissements, sont nécessaires.

Mots-clés : Glissement de terrain - talus de déblai - sol marneux - modélisation - Rif, Maroc.

INSTABILITY OF A CUT-SLOPE ON THE EXPRESSWAY BETWEEN TAZA AND AKNOUL: HISTORY OF SLIDES AND PERSPECTIVES

ABSTRACT: The Moroccan Prerif is characterized by its strong lithological heterogeneity and is considered as a seat of landslides of all kinds. The presence of abundant marly soils, with high sensitivity to water, seismicity, and human action are among the factors triggering landslides. Indeed, the development of linear infrastructures is constrained by several geotechnical difficulties, given the evolving nature of the materials in place. An embankment on the road axis of the expressway connecting Taza to Aknoul at Pk 20 + 600, presents major problems of landslides that have disrupted the building work, both during the earthmoving phase and after their completion. The geotechnical characteristics of the soil, necessary for the modelling, allowed to evaluate the stability of the excavation slope according to two profiles: 3H/2V (34°) and 2H/1V (27°). The simulation following the 3H/2V profile gave low safety factors, with a critical value of 1.23, while following the 2H/1V profile, the Fs are above the safety threshold with a minimum value of 1.68. However, this last value of Fs which is considered theoretically safe, the slope in question has experienced several reactivations of slides. In order to better manage the risks of instability, solid parrying systems and efficient drainage, to reduce the influence of the hydric factor on the reactivation of landslide surfaces, are necessary.

Keywords: Landslide – cut-slope - marly soil – modeling – Rif, Morocco.

Introduction

Dans le Rif marocain, les infrastructures routières enregistrent de nombreux cas d'instabilités de talus. Les déclenchements de ces glissements de terrain sont favorisés par la nature lithologique des terrains qui est dominée par des sols marneux, par le facteur hydrique vu les fortes précipitations que connaît la région et par l'action anthropique en concertation avec les travaux de terrassement routiers. Le façonnement des talus par les travaux de terrassement expose ces terrains aux risques de mouvements de terrain, suite à la modification des tracés naturels des cours d'eau, l'excavation de la couche végétale et le remodelage de la topographie. Au niveau du point kilométrique (Pk) 20+600 de la voie express (R505), entre les villes de Taza et d'Aknoul, au lieu-dit Bab Tarmast, un talus de déblai de forte pente a connu plusieurs glissements au cours de la réalisation du projet, et qui ont persisté même après l'achèvement des travaux. Le déclenchement de ces glissements après la mise en service de l'ouvrage a causé le déplacement d'un volume considérable de sol, provoquant ainsi une raideur de la pente, un changement de l'hydrologie et la destruction des dispositifs de drainage superficiel, ce qui menace la sécurité de la chaussée.

L'excavation de la couche superficielle expose directement la partie supérieure du talus, qui est composée par un sol marneux, aux risques d'érosions. Chaque déclenchement de rupture a été suivi par des travaux de stabilisation, mais les solutions adoptées, notamment l'adoucissement de la pente et le façonnement des risbermes et descentes d'eau, n'ont pas pu résoudre le problème à la racine. Il s'avère nécessaire d'opter pour des techniques adaptées pour stopper ces désordres.

Une modélisation numérique, intégrant les facteurs hydriques, géométriques, géotechniques et sismiques, a permis de mieux comprendre ce phénomène et de proposer des solutions adéquates.

CONTEXTE DU SITE DE BAB TARMAST

Le glissement de Bab Tarmast se trouve dans le territoire de la commune Jbarna, à une trentaine de kilomètres au nord de Taza vers Aknoul, au point GPS : latitude 34°28'9,72"N ; longitude 3°55'11,93"O. La morphologie des terrains est caractérisée par des collines arrondies, fortement façonnées par l'érosion.

De point de vue géologique, ce site se situe dans la zone de contact entre la Nappe de Bou Haddoud et la Nappe d'Aknoul. D'après la carte géologique 1/50000 d'Ain Bouklal-Msoun, et nos observations sur le terrain, ce secteur se caractérise par un mélange de marnes bleues et marnes blanches à intercalations calcaires, avec quelques traces du gypse triasique. Le talus glissé est positionné sur des terrains du Paléocène moyen p.p et supérieur et Éocène inférieur, constitués par des marnes blanches à silex avec des bancs calcaires (figure 1).

Dans le Nord marocain les conditions climatiques se caractérisent par de forts contrastes, avec une saison humide et une saison sèche (Avenard and Mouddi-hadfi, 1994). La région d'étude connaît une moyenne des précipitations annuelles autour de 600 mm, avec un climat de type méditerranéen semi-aride selon la classification des climats Köppen-Geiger (Hufty, 2001).

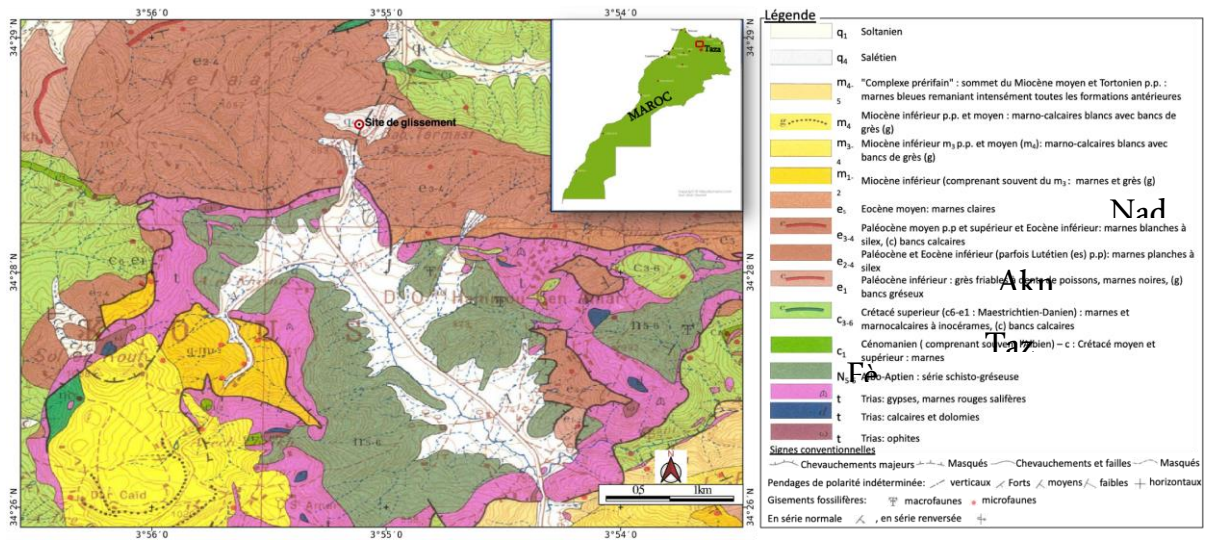


Figure 13: Localisation du site sur un extrait de la carte géologique 1/50 000 de Ain Bouklal-Msoun

MATERIELS ET METHODES

Après le façonnement du premier talus avec un nombre réduit de risbermes, au cours des travaux de terrassement en fin de 2014, un glissement a entraîné la déstabilisation du talus qui s'étalait sur environ 90 m de large et 100 m de long (figure 2.a). Après le déclenchement de ce dernier, des investigations géotechniques ont été menées et ont donné une nouvelle solution basée sur le reprofilage du talus. L'inclinaison de la pente est passée de 3H/2V à 2H/1V. En 2016, le glissement s'est réactivé et a gagné davantage en longueur avec 60 m de large et 115 m de long en générant le déplacement d'un volume considérable de sol (figure 2.b). L'excavation de l'ensemble des matériaux en mouvement a contribué à atténuation du risque d'aggravation du phénomène (figure 2.c). Lors de la dernière visite du site en février 2021, on a constaté l'apparition de plusieurs ruptures qui se développent (figure 2.d).

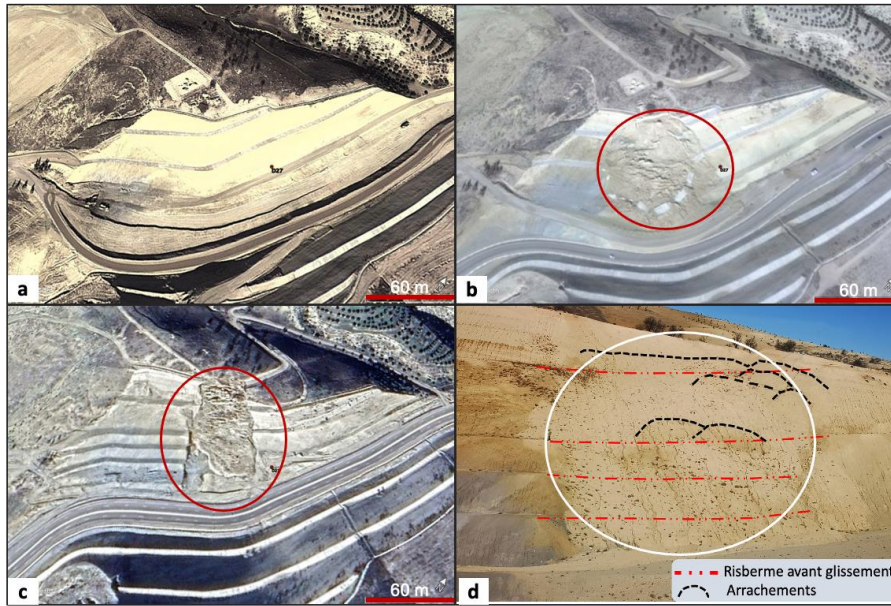


Figure 14: Chronologie des manifestations du grand glissement depuis 2014 jusqu'à 2021
Avec : (a) état de déblai au cours du chantier de terrassement ; (b) premier déclenchement de glissement en 2014 ; (c) deuxième déclenchement en 2016 après le reprofilage de la pente et (d) réactivation des ruptures après la solution de l'excavation.

ANALYSES & MODELISATIONS

Les échantillons analysés ont été prélevés au niveau des sondages carottés. L'identification des matériaux est faite, par le centre CES du LPEE, sur la base des essais de reconnaissance tels que l'analyse granulométrique, la limite de liquidité au cône, la détermination de la masse volumique des sols fins et la limite de plasticité au rouleau. Ces essais sont effectués respectivement selon les normes NM 13.1.008, NF P94-052-1, NF P94-053 et NF P94-051 (tableau 1). Les résultats obtenus des échantillons analysés rangent le sol comme argileux à plasticité élevée et présente une forte sensibilité à l'eau, selon la classification de SETRA et LCPC (2000).

Tableau 3: Résultats des essais d'identification

Caractéristique d'identification	Marne calcaire blanchâtres	Marnes verdâtres sableuses	Marnes grisâtres schisteuses
Pourcentage de fines ($\phi < 80 \mu\text{m}$)	57.6 à 69.9 %	76.3 à 97.4 %	41.2 à 65.7 %
Pourcentage des éléments $\phi > 2 \text{ mm}$	9.4 à 22.6 %	0.3 à 16.1 %	7.5 à 20.0 %
Limite de liquidité ($\square \square$)	34 à 37 %	44 à 55 %	33 à 51 %
Indice de plasticité (IP)	14 à 15 %	22 à 25 %	12 à 29 %
Classification LPC	Ap %	Ap-At	At à SA
Poids volumique sec γ_d ($KN/\square \square$)	15.3 à 15.6	15.2 à 17.4	17.2 à 18.5

Les essais mécaniques ont été réalisés pour trouver les caractéristiques intrinsèques effectives de Coulomb du sol (C' ; Φ') qui sont nécessaires à la modélisation. Les caractéristiques de rupture du sol sont indiquées dans le tableau 2.

Tableau 4 : Caractéristiques mécaniques du sol

Formation du sol	Lieu et profondeur de prélèvement	Cohésion C' (KPa)	Angle de frottement ϕ' (°)
Marnes blanchâtres avec intercalation de calcaire	SC1 (3.5m)	41.2	26.7
	SC2 (3.5m)	0	38
Marnes verdâtres sableuses	SC1 (17.5m)	42.2	33.6
Marnes grisâtres schistosées	SC1 (44.5m)	53.4	34.3

Des sondages carottés ont été réalisés sur site dans le cadre des études d'expertise ont permis d'extraire les paramètres pressiométriques et la lithologie du talus objet de ces instabilités. Les résultats ont permis de positionner le substratum qui se compose de deux couches résistantes, marne graveleuse et pélites grises, se trouvent respectivement à environ 10 m et 30 m de profondeur (tableau 3).

Tableau 5 : Synthèse mécanique des essais pressiométriques

Formation	P_l moyen (MPa)	E_M moyen (MPa)	E_M/P_l
Marne limoneuse de surface	-	-	-
Marne blanc-verdâtre graveleuse	1,9	33,7	17,9
Marne sableuse verdâtre indurée	2,8	59,2	5
Marne grisâtre schistosée (Substratum)	6,5	168,3	10

Les sondages pressiométriques ayant été réalisés au niveau de la plateforme de chaussée et du talus après les travaux de terrassements, ont confirmé le contexte géotechnique général du site, à savoir :

- un substratum sain composé d'une couche de marne grisâtre, schistosée, dure et généralement très fracturée;
- une couche marno-sableuse verdâtre indurée, très compacte et renfermant des nodules calcaires sur des épaisseurs variables qui dépassent 20 m;
- une couche de marne blanc-verdâtre graveleuse, compacte et renfermant de petites concrétions et nodules calcaires sur des épaisseurs qui varient autour de 10 m;
- une formation de surface de marne limoneuse jaunâtre plus ou moins indurée qui est fortement altérée.

La synthèse des sondages avec les caractéristiques géotechniques de chaque couche est présentée dans la figure 3.

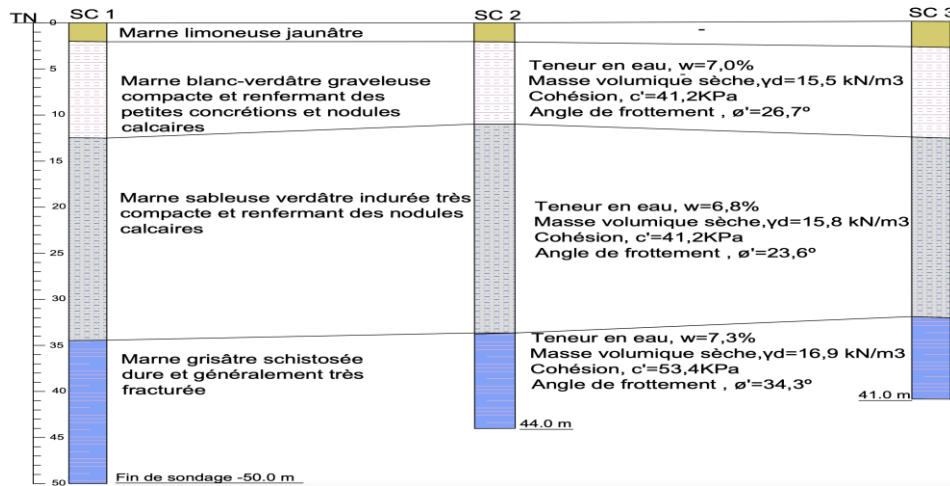


Figure 15: Colonne lithologique du talus

La modélisation du talus de déblai par le logiciel de calcul géotechnique TALREN, sans tenir compte du facteur sismique, pour le cas de la pente des risbermes adoptée dans la phase de projection de la route, 3H/2V (34°), a permis de simuler le degré de stabilité et de prévoir les éventuelles ruptures (figure 4.a). Dans le cas d'une pente de 2H/1V (27°) retenue dans la phase de stabilisation après le déclenchement du grand glissement, a donné des facteurs de sécurités aux éventuels glissements assez satisfaisants (figure 4.b).

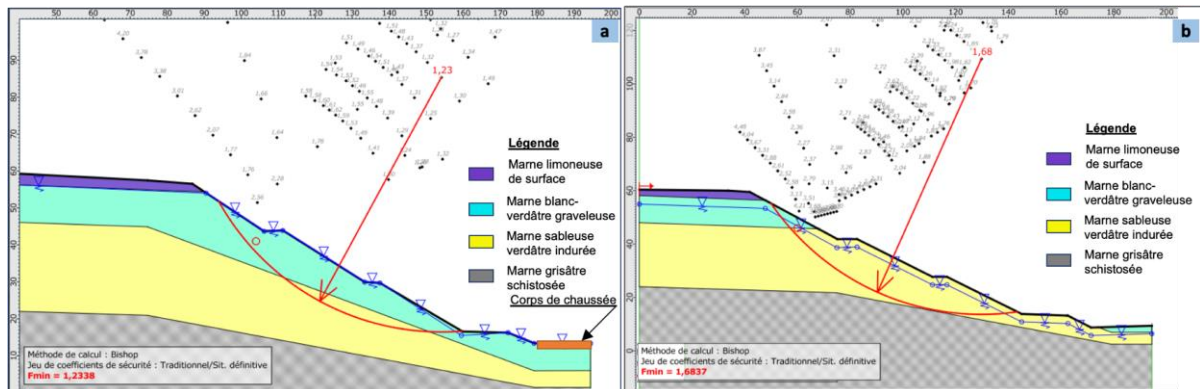


Figure 16: Comportement du talus pour deux profils différents

Avec : (a) cas de pente de 3H/2V ($F_s = 1,23$) ; (b) cas de pente de 2H/1V ($F_s = 1,68$)

La technique de reprofilage en adoucissant la pente de 3H/2V à 2H/1V, retenue après le déclenchement du glissement en 2014, a conduit à un $F_s = 1.68$ (figure 4.b). Malgré l'obtention d'un F_s largement sécuritaire qui permet de juger la stabilité du talus, un second glissement très consistant s'est déclenché en octobre 2016 même avant l'achèvement des travaux de confortement. Puisqu'il y a sur le terrain la réactivation du glissement avec plus d'ampleur. Il faut absolument se méfier des simulations basées sur la modélisation numérique, puisqu'il y a plusieurs paramètres qui rentrent dans le calcul. Ces paramètres sont parfois moins représentatifs et dans certains cas variables vis-à-vis du contexte. De même, il faut prendre en considération le facteur sismique de la région qui peut jouer grandement sur le F_s .

DISCUSSION & CONCLUSION

Les observations faites sur le terrain et les résultats des analyses sur les différentes couches du talus montrent bien que les caractéristiques mécaniques du sol sont relativement faibles et présentent une forte sensibilité au facteur hydrique. La réduction des caractéristiques mécaniques, causée par la saturation en eau des matériaux, engendre un changement d'équilibre entre les forces motrices et celles de résistance et par conséquent l'occurrence des glissements, notamment pendant la période pluvieuse. La mise en charge du sous-sol des terrains marneux par les eaux de pluie se fait généralement à travers les fentes de dessiccation, occasionnées par le phénomène de retrait-gonflement des marnes. Les conditions hydrologiques et pluviométriques sont parmi de nombreux facteurs dont on tient compte dans l'analyse et l'évaluation de la sensibilité et la susceptibilité des terrains au glissement (Azarafza et al., 2017; El khalfi et al., 2019; Mouhssine ; Hong et al., 2019). Nguyen et al. (2017, 2019) ont étudié des modèles de cas sur la rupture de pente induite par l'infiltration des eaux de pluies afin de valider l'effet de la variation spatiale des forces de cisaillement du sol et de sa cohésion. Ces études ont indiqué que le fait d'ignorer la variabilité spatiale de la résistance au cisaillement du sol pourrait conduire à une sous-estimation ou une surestimation dans l'analyse de la stabilité des pentes. La persistance de l'instabilité du talus, même après de nombreuses interventions de confortement, est fort possible, en lien avec le facteur eau qui joue un rôle sur l'affaiblissement des caractéristiques intrinsèques des marnes. La dégradation des dispositifs d'assainissement (descentes d'eau, risbermes, fossés bétonnés...) accélère l'érosion sous toutes ses formes.

Pour diminuer ou bien limiter l'effet de l'eau, une meilleure maîtrise du drainage s'impose. De ce fait, il faudrait mettre en place un système de drainage rigoureux pour évacuer les eaux de surface et souterraines dans la zone du glissement, un système de renforcement du sol par l'implantation de pieux en béton armé ancrés dans la couche résistante, ainsi que la végétalisation de la zone concernée.

Références bibliographiques

- Avenard, J.-M., Mouddi-hadf, S., 1994. La dynamique des versants dans le Prérif: base d'un aménagement différencié.
- Azarafza, M., Asghari-Kaljahi, E., Akgün, H., 2017. Assessment of discontinuous rock slope stability with block theory and numerical modeling: a case study for the South Pars Gas Complex, Assalouyeh, Iran. *Environmental Earth Sciences* 76, 397.
- El khalfi, F., Ouarhache, D., Derradji, A., Mequedade, N., Habib, A., 2019. Impact of hydrological and seismic factors on the stability of a highlevel embankment based on marl soil class A3 in the south corridor Rifain - Highway section of Fez-Taza (Morocco). *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCET)* 10, 2683–2697.

- Hong, H., Liu, J., Zhu, A.-X., 2019. Landslide susceptibility evaluating using artificial intelligence method in the Youfang district (China). *Environ Earth Sci* 78, 488. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8415-9>
- Hufty, A., 2001. Introduction à la climatologie: le rayonnement et la température, l'atmosphère, l'eau, le climat et l'activité humaine. Presses Université Laval.
- NF P94-051, n.d. (1993). Sols: reconnaissance et essais-Détermination des limites d'Atterberg-Limite de liquidité à la coupelle-Limite de plasticité au rouleau. Association Française de Normalisation (AFNOR).
- NF P94-052-1, n.d. (1995). Sols: reconnaissance et essais-Détermination des limites d'Atterberg-Partie 1: limite de liquidité-Méthode du cône de pénétration. Association Française de Normalisation (AFNOR).
- NF P94-053, n.d. (1991). Détermination de la masse volumique des sols fins en laboratoire-Méthodes de la trousse coupante, du moule et de l'immersion dans l'eau. Association Française de Normalisation (AFNOR).
- Nguyen, T.S., Likitlersuang, S., Jotisankasa, A., 2019. Influence of the spatial variability of the root cohesion on a slope-scale stability model: a case study of residual soil slope in Thailand. *Bull Eng Geol Environ* 78, 3337–3351. <https://doi.org/10.1007/s10064-018-1380-9>
- Nguyen, T.S., Likitlersuang, S., Ohtsu, H., Kitaoka, T., 2017. Influence of the spatial variability of shear strength parameters on rainfall induced landslides: a case study of sandstone slope in Japan. *Arab J Geosci* 10, 369. <https://doi.org/10.1007/s12517-017-3158-y>
- NM 13.1.008, n.d. (1998). Analyse granulométrique des sols par tamisage. Institut Marocain de Normalisation (IMANOR).
- SETRA, LCPC, 2000. Guide technique, Réalisation des remblais et des couches de forme. Fascicule II. Annexe technique. Guides du LCPC, 102.

APPORT DES DONNEES MULTI-SOURCES POUR LA CARACTERISATION DES MOUVEMENTS DE TERRAIN DANS LE RIF CENTRAL (CAS DE LA REGION DE DHAR SOUK).

Nada BOUKHRES^{1,2}, Mohamed MASTERE^{1,2}, Olivier MAQUAIRE², Bouchta EL FELLAH¹,
Stéphane COSTA² et Brahim BENZOUAGH¹.

¹ Université Mohamed V de Rabat- Institut Scientifique, Laboratoire de Géomorphologie et
Géomatique, 10106 Rabat, Maroc.

² Université de Caen Normandie - UMR 6554 CNRS, LETG-Caen, Littoral- Environnement-
Téledétection- Géomatique, 14000 Caen, France
Boukhresnada@gmail.com

RESUME: Dhar Souk est une région septentrionale du domaine externe de la chaîne rifaine. Elle est sujette à une variété de risques d'origine naturelle, en particulier les mouvements de terrains. Certains s'avèrent très actifs, affectant ainsi l'aménagement de la région et présentant un risque pour les personnes et leurs biens. Dans cette approche, une cartographie prévisionnelle est nécessaire pour définir les sites les plus exposés aux instabilités de terrain. Pour ce faire, un inventaire, représentant les sites d'étude, a été effectué grâce à une analyse diachronique à partir de plusieurs documents (cartes topographiques et géologiques, photographies aériennes, MNT, images satellitales) et des levés de terrain. Ceci a permis de révéler la typologie de ces mouvements de terrain.

Mots clés: Mouvements de terrain, cartographie, inventaire, Dhar Souk, Maroc.

CONTRIBUTION OF MULTI-SOURCE DATA FOR THE CHARACTERIZATION OF MASS MOVEMENTS IN THE CENTRAL RIF (CASE OF THE DHAR SOUK REGION).

ABSTRACT: Dhar Souk is a northern region of the external domain of the Rif chain. It is subject to a variety of natural hazards, especially Mass movement. Some of them are very active, affecting the development of the region and posing a risk to people and their property. In this approach, a predictive mapping is necessary to define the sites that are most exposed to ground instabilities. To do this, an inventory, representing the study sites, was carried out through a diachronic analysis from several documents (topographic and geological maps, aerial photographs, DEM, satellite images) and a field surveys. This made it possible to reveal a typology of these Mass movements.

Keywords: Mass movements, cartography, inventory, Dhar Souk, Morocco.

INTRODUCTION

Le Maroc comprend une diversité naturelle importante, à savoir, géologique à travers sa richesse en formations allant depuis le Précambrien à l'actuel, et climatique, par les précipitations importantes en période pluvieuses qu'il reçoit annuellement. En revanche, cette diversité est exposée à de nombreux risques, notamment ceux d'origine naturelle. Le Rif, situé dans la partie septentrionale du Maroc à l'extrême Ouest de la Méditerranée occidentale, n'échappe pas à son tour aux risques naturels dont les inondations, les mouvements de terrain, les séismes et les incendies de forêts, représentent la majeure partie.

Dhar Souk est une région montagneuse du domaine externe de la chaîne rifaine. Elle recèle de nombreuses potentialités naturelles qui se trouvent souvent mal préservées, et qui sont aussi confrontées à plusieurs risques naturels, en particulier les mouvements de terrain (MT). Ces derniers, sont toujours actifs et présentent une contrainte pour le développement socio-économique de la région. Certains, présentent parfois un danger pour les populations et sont responsables de dommages et préjudices importants et coûteux (Maquaire, 2002). Ces phénomènes complexes peuvent être ponctuels, superficiels, limités dans l'espace et dans le temps mais aussi rapides et de grandes ampleurs affectant alors des versants entiers (Flageollet, 1989).

L'objectif de ce travail s'est focalisé sur l'évaluation du risque « mouvement de terrain » dans la région d'étude, qui représente une menace pour les infrastructures et les installations humaines tout en engendrant des impacts néfastes sur la population, sur leurs biens et sur l'environnement.

Le résultat est traduit sous forme de cartes d'inventaires, après avoir identifié, répertorié et caractérisé l'aléa mouvement de terrain, permettant ainsi d'inventorier les sites les plus exposés à ces phénomènes. La méthode établie est basée sur l'utilisation des systèmes d'information géographique (SIG), en prenant en compte les aspects physiques, sociaux et humains de la région.

1. DESCRIPTION DE LA ZONE D'ÉTUDE

La région d'étude correspond à une commune rurale de la province de Taounate (Figure 1), située dans le domaine structural externe de la chaîne rifaine. Au sein de ces unités, on différencie classiquement entre trois ensembles majeurs de l'intérieur vers l'extérieur, dont l'ensemble présente un dispositif structural en nappes charriées les unes sur les autres, superposées et plissées. Ces ensembles se distinguent du Nord vers le Sud de la pile des nappes de la manière suivante: **Intrarif**, **Mésorif** et **Pré-rif** (Delga et al., 1960-1962).

Dans le Rif central, précisément l'unité mésorifaine, à la limite interne de l'avant fosse pré-rifaine, les bassins néogènes intramontagneux (tortonno-messiniens) de Tafrant, Ghafsai, Taounate, Bouhadi et Dhar souk se situent sur le prolongement de l'accident de Nékor (Asebriy et al., 1993), le long de la vallée de **l'oued Ouergha**. Ce domaine correspond à des formations d'âge Jurassique à Crétacé inférieur (Andrieux, 1971), représenté essentiellement par les bassins intramontagneux dont le bassin représentatif est celui de Dhar Souk.

Structuralement, Dhar Souk est un bassin en subsidence, limité au Sud par la ride mésorifaine de Taounate, qui s'est mise en place au Tortonien suite à l'effondrement de la partie Nord du Mésorif. Ses dépôts autochtones (post-nappe), d'âge Tortonien supérieur, correspondent à des sédiments grossiers conglomératiques et gréseux à la base passant à une épaisse formation marneuse qualifiée de marnes bleues. Cette série d'origine fluvio-déltaique est affectée par des mouvements néotectoniques et surmontée de sédiments fluviaux. Ces dépôts récents scellent le contact tectonique entre le Mésorif et l'Intrarif (Figure 2).

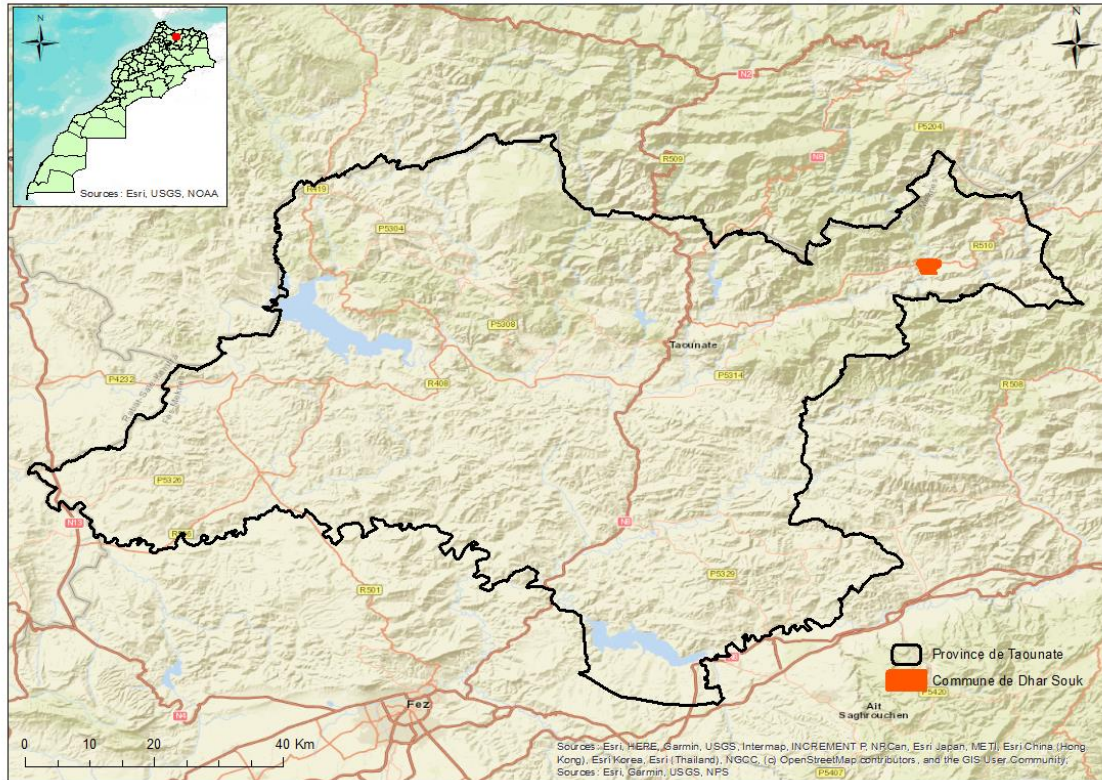


Figure 1. Localisation de la région d'étude sur la province de Taounate.

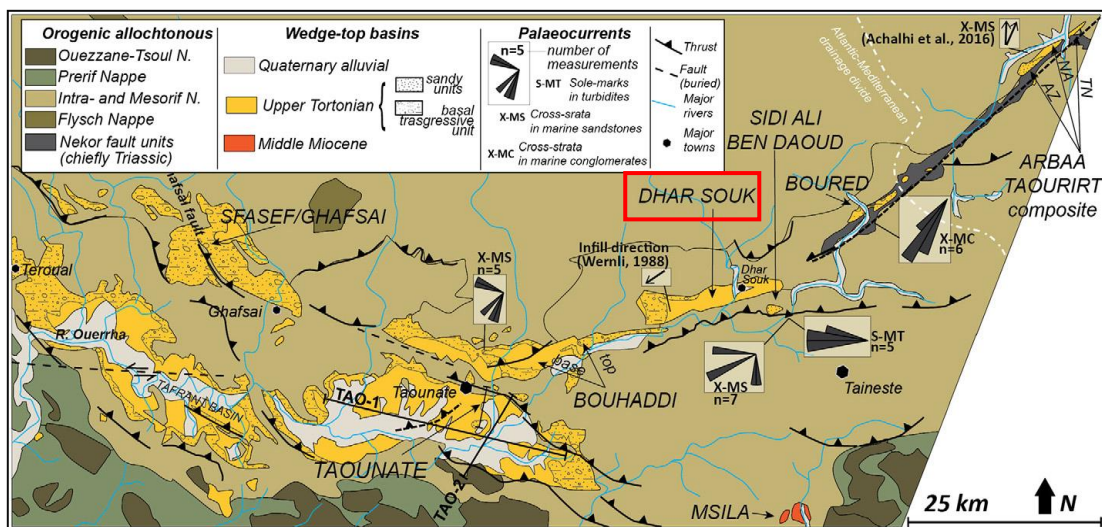


Figure 2. Localisation de la région de Dhar Souk et contexte structural détaillé des bassins intramontagneux de la chaîne rifaine (d'après Samaka et al., 1997; Capella et al., 2017).

La région se caractérise par un climat continental avec des hivers frais et assez humides accompagnés par des périodes de pluies intenses et brutales qui peuvent être associées à des chutes de neiges. Les étés sont moins humides, chauds et secs. Le fonctionnement hydrologique de la région est fortement influencé par les aléas et les variations saisonnières et annuelles et peut être considéré comme l'un des principaux agents de façonnement morphologique.

Les aléas érosion et mouvements de terrain sont omniprésents le long de la vallée de l'**oued Ouergha** (sur les deux rives de versants Nord et Sud). Les formations géologiques autour de l'oued Ouergha, souvent imperméables, représentent un facteur primordial qui conditionne les écoulements superficiels. Il détient une position centrale de la géomorphologie régionale et constitue l'axe de drainage principal, où convergent des versants fortement découpés par le sheet flood, le ruissellement ou le ravinement. Des phénomènes d'arrachement et de glissement en planche ou profond se font partout constater. L'alimentation en débit solide des cours d'eau est ainsi assurée. Ce phénomène est renforcé davantage lors des crues hivernales (El Fellah et al., 1996).

La région connaissait une couverture forestière composée d'essences variées: thuya, oléastre, chêne vert, etc. Quelques pieds subsistent encore et témoignent d'une dégradation très récente qui a fait suite à l'intervention agressive des habitants. L'utilisation des sols, dans cette région, repose sur une céréaliculture et une arboriculture pratiquées lorsque les conditions le permettent (El Fellah et al., 1996).

2. MATERIELS ET METHODES

La méthode de ce travail repose sur l'élaboration des cartes d'inventaire des sites à risque « mouvements de terrain ». C'est une première étape importante pour évaluer la sensibilité, les dangers et les risques liés aux mouvements de masse (Aleotti et Chowdhury, 1999). De nombreux inventaires, ont été établis dans plusieurs zones des montagnes rifaines par : Fares, 1994, Rouai et al., 2003, Mastere, 2011, Ozer et al., 2019, Mastere et al., 2020, etc.

Le travail consiste en la cartographie des mouvements de terrain. Cette dernière a été réalisée grâce au logiciel ArcGIS. Les mouvements de terrain inventoriés sont représentés par des polygones qui délimitent les surfaces affectées. Chaque polygone digitalisé est relié à une base de données attributaires, décrivant les principales informations fournies (province, commune, village, bassin versant, type, surface du phénomène, altitude (maximale et minimale), etc.). Dans ce sens, plusieurs sites à risque « mouvements de terrain », regroupant certaines caractéristiques représentatives de la région d'étude, ont été répertoriés, sur la base des images satellitaires de plusieurs dates (Landsat8 Oli, Sentinelles d'une résolution de 10m, Google Earth Professionnel) et une reconnaissance sur le terrain. Il a fallu procéder par l'évaluation de certains paramètres et indicateurs comme suit :

- Présence d'enjeux : le site choisi doit présenter un risque sur les populations locales et leurs biens (infrastructures routières, habitations, etc.) ;
- Accessibilité : Tenons compte de la topographie complexe de la région d'étude, de la qualité médiocre de certaines pistes et parfois de l'absence totale des voies de communication terrestres, des sites à accessibilité moyenne ont été choisis pour faire l'objet du travail ;
- Couvert végétal : relativement uniforme ;
- Existence de données : cartes, images satellitaires de très haute résolution, etc.

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

L'inventaire réalisé nous a permis de caractériser et d'organiser les principaux processus hydro-gravitaires selon leur typologie. Ces derniers sont omniprésents, le long des parties sommitales, occupées essentiellement par des formations carbonatées d'âge Jurassique et des bancs gréseux et sablo-conglomératiques d'âge messinien nommés "sofs".

Des éboulements se produisent en amont (parties sommitales), mobilisant ainsi les matériaux détachés. Des chutes de pierres et de blocs sont très fréquentes sur les versants de

même allure. Les éléments rebondissent sur des pentes abruptes et s'accumulent en aval sur des pentes quasiment faibles. L'activité du réseau hydrographique est marquante dans la région d'étude, on parle de la vallée de l'Oued Ouergha. Cette dernière est un élément central de la géomorphologie régionale; elle présente une série de terrasses emboîtées du Quaternaire et des formations imperméables, constituées essentiellement de marnes et d'argiles, qui représentent un facteur de prédisposition favorisant les écoulements superficiels et facilitant ainsi la transition des matériaux, tout en générant certaines formes d'érosion comme les ravinements et les sapements de berges.

Plusieurs facteurs interviennent dans le déclenchement de certains types de mouvements de terrain :

- **Naturels:** Irrégularité pluviométrique, pentes abruptes en liaison avec les chevauchements que connaît le domaine rifain, matériaux souvent imperméables et détritiques (marnes, argiles et conglomérats) permettant en saisons pluvieuses de déclencher certaines formes d'érosion hydrique au niveau des versants comme les ravinements, la solifluxion, qui évoluent parfois en glissements de terrain.
- **Anthropiques:** la poussée démographique a entraîné une distorsion entre les besoins des populations et les ressources disponibles, phénomène qui a eu pour corollaire une forte emprise humaine sur les milieux et une accélération des processus des instabilités de terrain dans la région d'étude. La surexploitation des ressources forestières, le surpâturage, le labour dans le sens de la pente, tous ces facteurs, facilitent, entre autres, le déclenchement des mouvements de terrain.

CONCLUSION

L'analyse des mouvements de terrain est une démarche résolument intégratrice, transdisciplinaire, et appliquée sur des bases naturelles, pour comprendre leur distribution spatio-temporelle, leur fonctionnement, leur évolution, ainsi que les facteurs et les mécanismes contrôlant leur genèse. « Cette science mouvement de terrain est une science jeune pour laquelle beaucoup de connaissances sont encore à acquérir » (Hervas, 2003 ; in Malet, 2003).

Cette étude a également essayé d'apporter plus de précision en matière de connaissance, d'évaluation et de modélisation de l'aléa mouvements de terrain dans la région d'étude, basée sur l'utilisation des SIG, sur les données de terrain pour l'analyse et la description des MT et l'interprétation des images satellitales.

Le but étant l'élaboration d'une carte d'inventaire qui soit conforme aux normes conventionnelles et répond aux besoins des différents intervenants afin de contribuer d'une façon concrète à développer les possibilités de lutte, de gestion et de résilience vis-à-vis de ce type de risque.

Vu les grandes densités de population concentrée au Rif central, cette région devra faire l'objet d'intervention en termes d'infrastructures et d'actions de réduction du risque (mitigation). Elle nécessite donc une approche multirisque sur des questions liées à la connaissance des aléas et des conséquences potentielles, à la prévention et à la gestion du risque mouvements de terrain. L'étude n'est pas encore finalisée ; l'identification des sites à risque mouvements de terrain ainsi que la vérification sur terrain sont toujours en cours.

Références bibliographiques

- Aleotti P, Chowdhury R. (1999). Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 58, 22-44.
- Andrieux, J. (1971). La structure du Rif central. *Notes et Mém. Serv. géol. Maroc* 235, 1-155.

- Asebriy L, J. BouRc, ols, T. E. Cherkaoui and Azdimousa A. (1993). Evolution tectonique récente de la zone de faille du Nékor : importance paléogéographique et structurale dans le Rif externe, Maroc. *Journal of african Earth Sciences*, Vol. 17, No. 1, pp. 65-74, 1993. Printed in Great Britain.
- Capella W, Matenco L, Dmitrieva E, Roest WMJ, Hessels S, Hssain M, et al. (2017). Thick-skinned tectonics closing the Rifian Corridor. *Tectonophysics*.
- Delga D, M., Hottinger L., Marçais J., Mattauer M., Milliard Y, Suter G. (1960-1962). Données actuelles sur la structure du Rif. *Livre mém. Porf. P. Fallot. –Mém. H.- sér. Soc. Géol. France*, 1, 399-422.
- El fellah B, Asebriy L. (1996). Le glissement de terrain de Bou Houda (Rif central, Maroc); nature des mouvements, conséquences et remèdes. 6th Spanish Congress and Intern. Conference on Environmental Geology and Land-Use Planning, Granada, Spain, 22-25 April 1996, pp: 465-474.
- Fares A, (1994). Essai méthodologique de la cartographie des risques naturels liés aux mouvements de terrain. Application à l'aménagement de la ville de Taounate (Rif, Maroc). Thèse de doctorat, université de Franche Comté.
- Flageollot J.C. (1989). Les mouvements de terrain et leur prévention. Masson, Paris, 218 p.
- Hervas, J. (2003). Lessons learnt from Landslide Disasters in Europe. European Commission, Joint Research Centre, Ispra. 91 p.
- Malet, J.-P. (2003). Les glissements de type écoulement dans les marnes noires des Alpes du sud. Morphologie, fonctionnement et modélisation hydro-mécanique. Thèse de Doctorat, École et Observatoire des Sciences de la Terre, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 364p.
- Maquaire O. (2002). Aléas géomorphologiques (mouvements de terrain) : processus, fonctionnement, cartographie. Mémoire d'habilitation à Diriger des Recherches. Université Louis Pasteur, Strastbourg, 219 p. + 1 volume d'annexes.
- Mastere M. (2011). La susceptibilité aux mouvements de terrain dans la province de Chefchaouen (Rif central, Maroc) : analyse spatiale, modélisation probabiliste multi-échelle et impact sur l'aménagement et l'urbanisme. Université de Bretagne occidentale, Thèse.
- Mastere M, El Fellah B, Maquaire O. (2020). Landslides inventory map as a first step for hazard and risk assessment: Rif mountains, Morocco. *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, Section Sciences de la Terre*, 2020, n° 42, 49-62.
- Ozer BC, Mutlu B, Nefeslioglu HA, Sezer EA, Rouai M, Dekayir A, Gokceoglu C. (2019). On the use of hierarchical fuzzy systems (HFS) in landslide susceptibility mapping: the central part of the Rif Mountains (Morocco). *B Eng Geol Environ* (in press):1–18.
- Rouai M, Jaaidi EB. (2003). Scaling properties of landslides in the Rif. Mountains of Morocco. *Eng Geol* 68:353–359.
- Samaka F, Benyaich A, Dakki M, Hcaine M, Bally et A.W. (1997). Origine et inversion des bassins miocènes supra-nappes du Rif central (Maroc). Etude de surfaces et de subsurface. Exemple des bassins de Taounate et de Tafrant. *Geodin. Acta* 10, 30–40.

**UTILISATION DES SIG, DE LA TELEDETECTION ET DE L'INTERFEROMETRIE
POUR LA CARTOGRAPHIE ET L'EVALUATION QUANTITATIVE ET
QUALITATIVE DES MOUVEMENTS DE TERRAIN DANS LES BASSINS VERSANTS
DE L'OUED TARMAS ET DE L'OUED MSOUN (RIF ET MOYEN ATLAS)**

Soufiane MAANANE, Said ARIF, Ahmed Amine BOURKIBA
Laboratoire des dynamiques des paysages, risques et patrimoine, FLSH Beni Mellal, Maroc.
soufiane.maanane.sig@gmail.com

RESUME: Les reliefs montagneux, les caractéristiques d'agressivité du climat méditerranéen, la formation lithologique plus ou moins friable, l'absence du couvert végétal naturel due à la pression démographique, liés à l'érosion, notamment dans les régions rifaines et atlasique, font du Maroc une zone sensible aux risques naturels. En effet, notre terrain d'étude (bassins versants de l'Oued Tarmast et l'Oued Msoun) fait partie successivement du bassin versant d'Inaouène ainsi que de celui de la Moulouya, situé au bord du Rif Oriental et au nord du Moyen Atlas. Ce travail résulte de l'étude de deux méthodes. Concernant l'évaluation des glissements de terrain; la méthode d'Interférométrie synthétique ouverture radar (DINSAR) sera utilisée pour l'évaluation quantitative ; pour ce qui est de l'évaluation qualitative durant la période (2018-2020), les caractéristiques géologiques, pédologiques et morphologiques ont été déterminées et l'évolution de chaque glissement de terrain de sa niche d'arrachement a été mesurée. La corrélation linéaire (de Pearson) entre les résultats de l'interférogramme concernant le déroulé de déplacement et les résultats des mesures d'évolution de la longueur de la niche d'arrachement pendant la même période est : $R = 0.97$ et $R^2 = 0.945$, ce qui signifie que ces résultats ont une relation linéaire positive et par conséquent témoignent de la fiabilité des résultats qui ont montré que la déstabilisation des versants est plus forte sur la zone du Moyen Atlas où l'on trouve du calcaire et du grès par rapport à la partie du Rif, qui contient de la marne ! Contrairement aux idées reçues.

Mots-clés : Oued Tarmast, Oued Msoun, mouvements de terrain, SIG, Télédétection, interférométrie DINSAR, mesures de terrain, Corrélation linéaire, Rif, moyen Atlas.

**USE OF GIS, REMOTE SENSING AND INTERFEROMETRY FOR MAPPING AND
QUANTITATIVE AND QUALITATIVE ASSESSMENT OF MASS MOVEMENTS IN
THE WATERSHEDS OF OUED TARMAS AND OUED MSOUN.**

ABSTRACT: The mountainous reliefs, the aggressive characteristics of the Mediterranean climate, the more or less friable lithological formation, the absence of natural plant cover due to demographic pressure, makes Morocco an area sensitive to natural risks, linked to erosion, especially in the Rif and Atlas regions. Indeed, our field of study (Watersheds of Oued Tarmast and Oued Msoun) is successively part of the watershed of Inaouène as well as that of Moulouya, located on the edge of the Eastern Rif and North of the Middle Atlas. . This work results from the study of two methods. Regarding the assessment of landslides; the Synthetic Radar Aperture Interferometry (DINSAR) method that will be used for the quantitative evaluation; in terms of qualitative assessment during the (2018-2020) period, the geological, pedological and morphological characteristics were determined and the evolution of each landslide from its pullout niche is measured. The linear correlation (of Pearson) between the results of the interferogram concerning the course of displacement and the results of the measurements of the evolution of the length of the tearing niche during the same period is: $R = 0.97$ and $R^2 = 0.945$. That means these results have a positive linear relation and consequently testify to the reliability of the results showing that the destabilization of the slopes is stronger on the zone of the Middle Atlas where one finds limestone and sandstone compared to the part of the Rif containing marl! In opposition to what is commonly known.

Keywords: Oued Tarmast, Oued Msoun, Mass movements, Sig, Remote sensing, DINSAR interferometry, field measurements, Linear correlation, Rif, Middle Atlas.

INTRODUCTION

La recherche menée dans notre travail s'inscrit dans le cadre de l'étude d'un risque naturel majeur à l'échelle du globe. Il s'agit du champ scientifique de la géomorphologie dynamique qualitative et quantitative. Les mouvements de terrain gravitaires (*mass movements*) font partie des risques naturels auxquels le Maroc se trouve confronté, notamment dans les régions rifaines et atlasiques.

Par sa nature géologique et ses précipitations, le Maghreb, et particulièrement le Rif, est un milieu très susceptible aux mouvements de terrain. Le 21 février 1988, dans la ville de Fès, 52 personnes ont péri sous une masse écroulée du front d'une ancienne carrière.

L'objectif de cette étude est d'évaluer la susceptibilité aux mouvements de terrain qui présente un double intérêt, aussi bien scientifique que sociétal. D'un point de vue scientifique, comprendre les couplages entre ces différents processus participant à améliorer notre vision sur le comportement, l'occurrence et l'impact des mouvements de terrain, et donc une bonne maîtrise de leur prévention et prévision ainsi qu'une mitigation de leurs effets.

1. DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE

Notre terrain d'étude (Bassins versants de l'Oued Tarmast et l'Oued Msoun) fait partie successivement du bassin versant d'Inaouène ainsi que de celui de la Moulouya, situé au bord du Rif oriental et au nord du Moyen Atlas. Ces deux bassins qui s'étendent sur une superficie de 367 Km², font partie du territoire administratif des provinces de Taza et de Guercif.

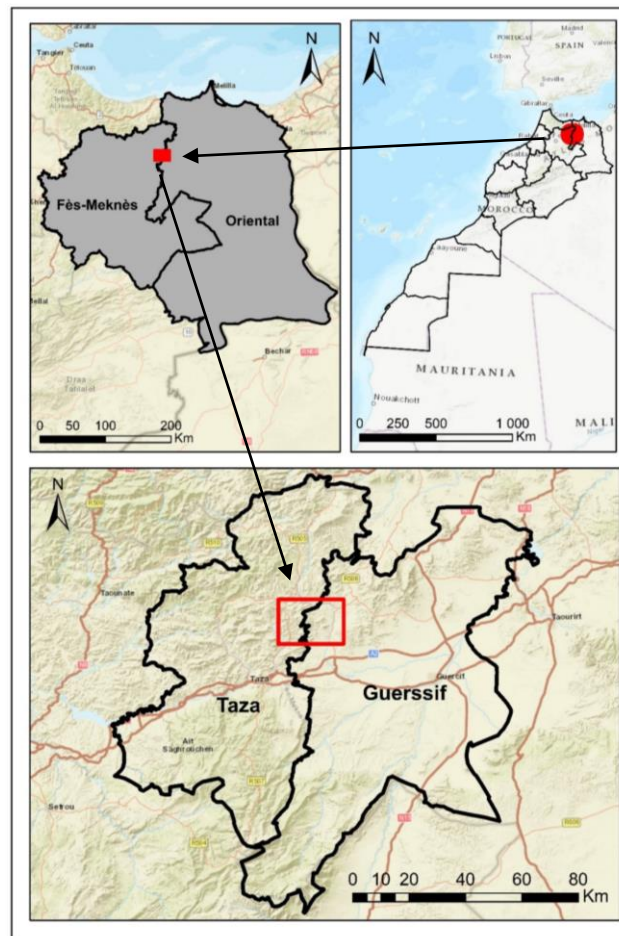


Figure 1. Localisation de la Zone d'étude sur le découpage administratif du Maroc

La zone de l'étude est caractérisée par une grande vulnérabilité naturelle aux glissements, due à la combinaison de facteurs naturels tels que l'irrégularité des précipitations, et leur concentration pendant quelques jours pendant la saison humide après des saisons sèches, et à la dominance des roches marneuses très fragiles associées à une structure géologique complexe résultant d'une tectonicité continue et forte. Cela a contribué à une fragmentation importante et de la prédominance de fortes pentes qui dépassent, pour la plupart 25% et par conséquent l'évolution des sols structurels et peu évolués sur des formations superficielles fragiles. Par ailleurs, la plupart des versants sont totalement dénudés et mis en culture, exception faite du périmètre de reboisement d'Aghram situé sur la rive droite de l'oued Tarmast.

Ces facteurs sont aggravés par le rôle humain dans l'accélération des taux des glissements et d'érosion, en particulier dans les formes d'utilisation des terres dominées par l'agriculture saisonnière, malgré la puissance des pentes, des interventions humaines incontrôlées, ainsi que la migration de groupes actifs en dehors de la région, qui laissent les terrains à risque des mécanismes climatiques qui renforcent la dynamique des versants qui menace la zone d'étude.

2. MATERIEL ET METHODES

D'abord avant de réaliser les traitements de l'interférométrie, il faut télécharger les produits bruts des années 2018 et 2020, qui sont des images de sentinel 1-A, notamment les produits Single Look complexe (SLC) qui sont des types comportant une mesure d'amplitude et de phase, avec une polarisation VV, durant la période. Les étapes sont décrites en section ci-dessous:

- Etape 1: Sélection de la zone étudiée. Les images SLC sont divisées en 3 sous-fauchées (IW1, IW2 et IW3), elles-mêmes divisées en 9 bursts. La commande TOPSAR Split permet de choisir la sous-fauchée étudiée, et de réduire la zone de l'étude à un ou plusieurs bursts. Pour chaque image, on a sélectionné 3 bursts d'intérêt de la subswath IW2.
- Etape 2: Prise en compte des données d'orbites.
- Etape 3: Recalage des images entre elles-mêmes.

Les images doivent être recalées entre elles pour devenir superposables. La première image choisie sera l'image maîtresse servant de référence pour les autres images ; cette dernière a été choisie par l'outil 'INSAR STACK OVERVIEW'.

- Etape 4: Création des interférogrammes, Cette étape vise à créer une pile d'interférogrammes à partir de la pile d'images recalées dans l'étape précédente.
- Etape 5: Élimination des bandes noires horizontales – Deburst. Cette étape permet d'éliminer les bandes noires. On l'applique à la pile d'interférogrammes obtenue à l'étape 4 et à la pile d'images recalées en étape 3.
- Etape 6: Préparation des données d'entrée pour StaMPS Après la correction du terrain et le filtre des phases.

Dans les mesures qu'on a faites au sein du périmètre de l'étude, on a déterminé les caractéristiques géologiques, pédologiques et morphologiques de chaque glissement puis on a calculé l'évolution des dimensions et caractéristiques suivantes pendant la même période 2018-2020:

- 5 Longueurs au long de la niche d'arrachement, depuis lesquelles on a extrait la moyenne des longueurs de la niche d'arrachement
- La Longueur de surface de glissement
- La Largeur de surface de glissement en amont, au milieu et en aval.

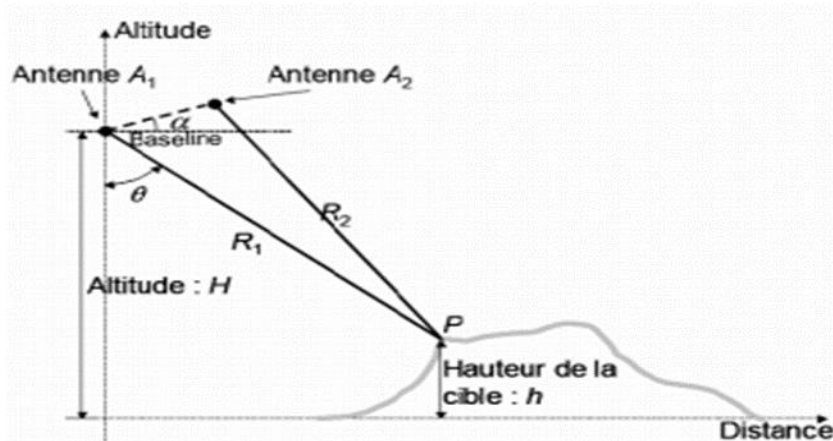


Figure 2. Les informations extraites depuis les images sentinel 1-A (SLC)

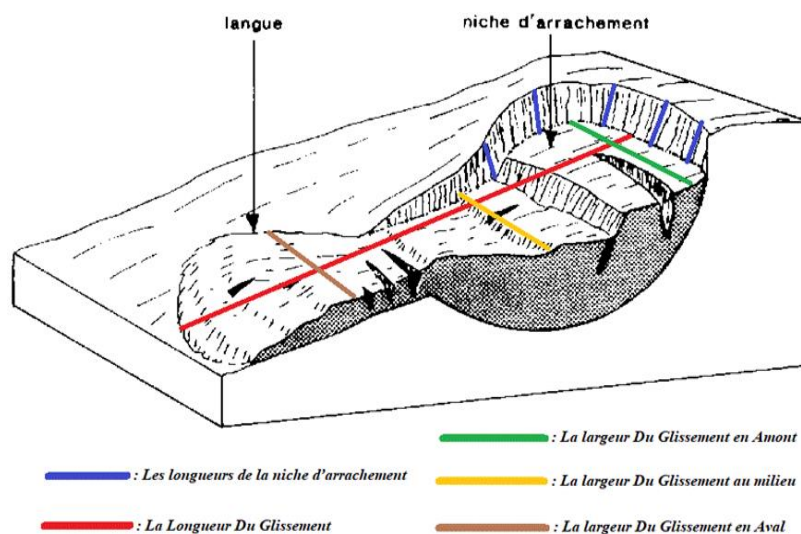


Figure 3. Les mesures de terrain prises aux glissements des échantillons étudiés

3. RESULTATS ET DISCUSSION

la corrélation linéaire de Pearson entre les résultats de l'interférogramme déroulé de déplacement et les résultats des mesures de terrain d'évolution de la longueur de la niche d'arrachement égale : $R = 0.97$ et $R^2 = 0.945$, et les points sur le graphique tombent près de la ligne, ce qui signifie que ces derniers ont une relation linéaire positive, et par conséquent témoignent de la fiabilité des résultats quantitatifs et qualitatifs de l'interférogramme déroulé de déplacement.

D'après les résultats obtenus de la carte de la répartition spatiale des valeurs de l'interférogramme déroulé de déplacement au sein de la zone de l'étude pendant la période 2018-2020, on note que la valeur de déplacement la plus remarquable au sein de notre zone d'étude est de 13.7 centimètres par an, ce mouvement de terrain est enregistré à la rive gauche de l'oued Msoun, précisément au sein de la zone de Jebel Isly qui contient des roches gréseuses et des calcaires du Moyen Atlas, le sens de ce mouvement de terrain est depuis le sud-est vers le nord-ouest.

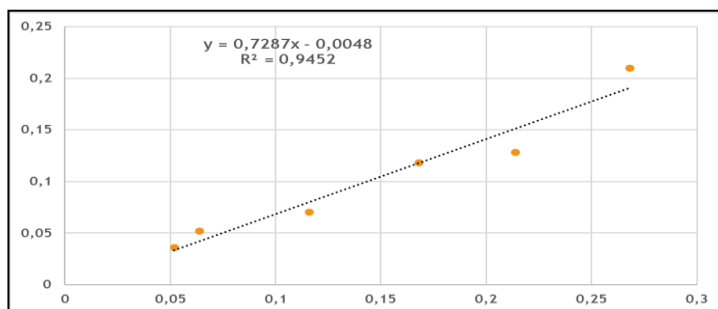


Figure 4. le nuage de point et l'équation de corrélation des données comparées

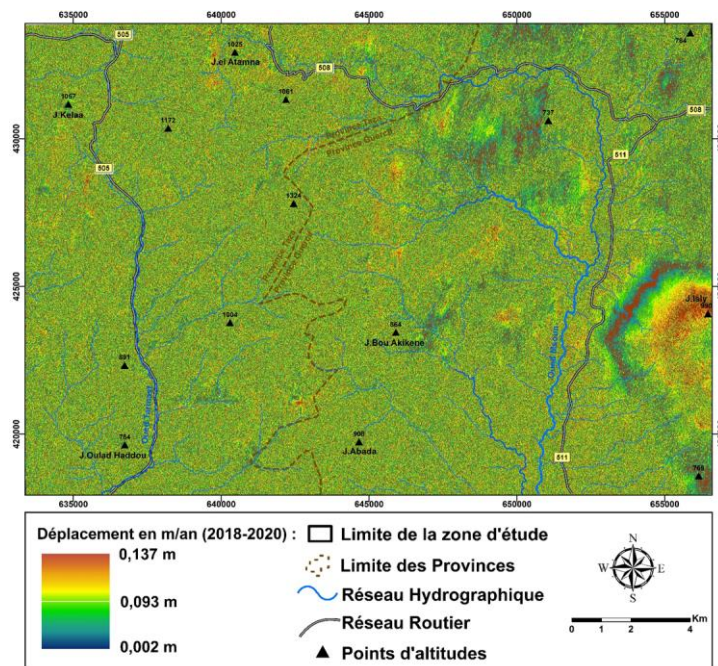


Figure 5. La carte des valeurs de l'interférogramme déroulé de déplacement (m/an)

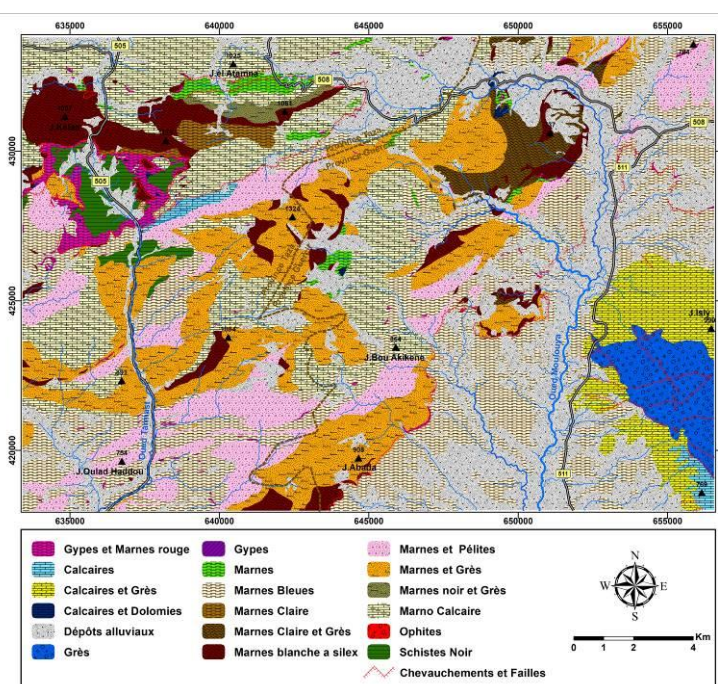


Figure 6. La carte de la répartition spatiale des faciès lithologiques dans la zone d'étude

Malgré la dominance des roches marneuses et argileuses tendres, on note d'après la comparaison entre la carte de la répartition spatiale des valeurs de l'interférogramme déroulé et la carte de la répartition spatiale des faciès lithologiques, que les zones des marnes ont des faibles valeurs de déplacement des versants, ces déplacements sont localisés à la rive droite de l'oued Msoun au nord de Jebel Bou Akikene, au sud de la route régionale 508, Jebel el Kalaa et Jebel el Atamna. Par contre les grandes valeurs de déplacement des versants sont enregistrées sur la rive gauche d'oued Msoun, précisément au sein de la zone de Jebel Isly, malgré la présence des calcaires et de grès qui se caractérisent par la résistance à l'érosion hydraulique, et par les grands taux des eaux infiltrées à cause des failles observées au-dessus des zones calcaires à Jebel Isly.

Donc, on peut distinguer que la grande déstabilisation dans cette zone de Jebel Isly est due principalement aux successions des couches lithologiques calcaires-gréseuses qui se caractérisent par la grande infiltration des eaux, au-dessus des formations marneuses qui ont une très faible infiltration provoquant un stockage des eaux entre ces deux différentes couches lithologiques et créant une couche savon, et par conséquent ces eaux stockées entre ces couches réduisent l'effet de frottement entre elles et favorisent d'importants mouvements des couches calcaires-gréseuses supérieures.

CONCLUSION

La déstabilisation des versants est plus forte sur la zone du Moyen Atlas où l'on trouve du calcaire et du grès par rapport à la partie du Rif, qui contient de la marne ! Contrairement aux idées reçues.

D'après les résultats précédents, nous concluons qu'on ne peut pas parler de mouvements des versants, sans la combinaison d'un certain nombre des facteurs qui contribuent à l'apparition de ce phénomène, et par conséquent un risque de mouvement de terrain ne peut se produire par la présence d'un seul facteur responsable.

Il est important que les projets de la lutte antiérosive soient flexibles et s'ajustent aux priorités agricoles, quant à l'unité d'intervention. La lutte antiérosive réalisée par des paysans sur leur propre terrain et sur leur propre initiative est généralement bien effectuée. Cependant, l'aménagement du territoire demeure sous l'emprise de l'état qui dispose en plus des ingénieurs compétents, des moyens suffisants pour mener des actions tels que la reforestation des montagnes, l'aménagement des rivières, la stabilisation des zones de glissements de terrain et la correction torrentielle.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADDOU .H, (2019), *Implémentation d'un outil de surveillance des glissements de terrain dans la région de Jebha par télédétections : technique des disperseurs permanents et par interférométrie différentielle*, Projet de Fin d'Études Géoinformation, FST Tanger, 76 p.
- ARNAUD, A. (1997). *Etude et analyse des artefacts dans la construction de l'image interférométrique radar*, Ph.D. Thesis, D. Massonnet th. dir., LIMA-IRIT, ENSEEIHT, France, 194p.
- CARRARA A., CARDINALI M., DETTI R., GUZZETTI F., & PASQUI V. - (1991) - *GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard*. Earth Surface Processes and Landforms, 16, pp 427-445.
- COLESANTI C., FERRETTI A., PRATI C., ROCCA F. (2003). *Monitoring Landslides and tectonic motion with the Permanent Scatterers Technique*, Engineering Geology, Vol. 68, pp. 3 -14.

MODELISATION, EVALUATION ET CARTOGRAPHIE DU RISQUE DE MOUVEMENTS DE TERRAIN DANS LE BASSIN DE L'OUED LEBENE (PRE-RIF – MAROC)

BOURKIBA Ahmed Amine, ARIF Said, MAANANE Soufiane
Université Sultan Moulay Slimane - Faculté des Lettres et des Sciences Humaines Beni Mellal
Laboratoire : Dynamiques des Paysages, Risques et Patrimoine
Beni Mellal Maroc. ahmedamine.bourkiba@gmail.com

RESUME: Le Prérif est un laboratoire à ciel ouvert en ce qui concerne l'étude des phénomènes des risques naturels concernant l'érosion. Il se distingue nettement du reste du pays par sa structure, sa lithologie et son paysage. En effet, le Prérif est un milieu naturel méditerranéen fragilisé par une érosion vigoureuse dont les glissements de terrain sont fréquents en hiver, ceci est dû aux divers facteurs principalement d'ordre géomorphologiques, lithologiques et hydrogéologiques, hydro-climatiques, absence du couvert végétal naturel et de l'action anthropique. Ainsi, au niveau local et mondial ce risque qui cause chaque année d'énormes dégâts sur tous les plans, nécessite une maîtrise et une prise en charge immédiate. Pour approcher le problème et trouver une solution, l'utilisation de la modélisation numérique, selon nous, s'avérerait être pertinente quant à l'anticipation dont il faudrait faire preuve.

Par conséquent, notre étude sera basée sur la modélisation des glissements de terrain dans le bassin versant de l'Oued Lebène (1387 km²) – Prérif central marocain. Nous nous appuyerons sur les informations apportées par le SIG ainsi que la télédétection spatiale afin de déterminer les glissements du terrain et leur distribution, en distinguant les caractéristiques des phénomènes générateurs d'aléas de mouvements de terrain, et les caractéristiques des enjeux naturels et anthropiques ; puis pour finir, nous nous intéresserons au calcul du risque par le biais de croisement d'informations obtenues, afin de classifier les milieux par degré de risque.

Mots clés : Prérif, Oued Lebène, modélisation des glissements de terrain, SIG, télédétection, PPRN.

THE MODELLING, EVALUATION AND RISK MAPPING OF LAND MOVEMENTS IN WATERSHED OUED LEBENE (PRE-RIF - MOROCCO)

ABSTRACT: The Prerif is an open-air laboratory for the study of natural risk phenomena concerning erosion. It stands out clearly from the rest of the country by its structure, lithology and landscape. In fact, the Pre-rif is a natural Mediterranean environment weakened by vigorous erosion as which landslides are frequent in the winter, this is due to various factors mainly of a geomorphological, lithological and hydrogeological, hydro-climatic nature, absence of cover natural plant, and finally anthropogenic action. Thus, at the local and global level, this risk which causes enormous damage every year on all levels, require immediate control and territory planning and management. Indeed, to approach the problem and find a solution, the use of numerical modeling, in our opinion, would prove to be relevant when it comes to the anticipation that should be shown.

Therefore, our study will be based on the modeling of landslides in the watershed of Oued (valley) Lebène (1387 km²) - Moroccan central Pre-Rif-. We will rely on the information provided by GIS as well as spatial remote sensing in order to determine landslides and their distribution, by distinguishing the characteristics of the phenomena that generate the hazard of land movements, and the characteristics of natural and anthropogenic issues, then to the last we will be interested in the risk calculation through the crossing of information obtained, in order to classify the environments by degree of risk.

Keywords: Prerif, Oued Lebène, landslide modeling, GIS, remote sensing, PPRN.

INTRODUCTION

Les glissements de terrain sont des phénomènes naturels permanents rencontrés dans tous les milieux montagnards. Ils provoquent des pertes en vies humaines et des dégâts naturels considérables. Pour cette raison, les glissements ont fait l'objet de plusieurs recherches consacrées au bassin méditerranéen.

Le Maroc est l'un des pays subissant l'effet du glissement, particulièrement le Rif qui est caractérisé par sa fragilité. Les contraintes dont est sujet le Prérif sont une topographie accidentée, climat rude, une couverture végétale peu dense et un impact humain de plus en plus croissant. Ceci le rend vulnérable au phénomène de glissement de terrain. Le bassin versant d'Oued Lebène illustre parfaitement la problématique du risque de glissement et sa distribution spatiale, et soulève de nombreuses questions par rapport à la réduction de ce risque.

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer et modéliser le risque des mouvements des terrains dans le bassin versant d'Oued Lebène après avoir cartographier de la susceptibilité aux glissements à large échelle.

1. Description de la zone d'étude

Le bassin versant d'Oued Lebène est considéré parmi les plus importants sous-bassins de l'Oued Sebou, il s'étend sur une superficie de 1387 km². Notre terrain d'étude est localisé géographiquement dans la zone de transition entre les montagnes du Rif méridional et les basses collines du Prérif central et oriental. Et administrativement, il s'étale sur les territoires des provinces de Taounate et Taza, relevant de la Région Fès-Meknès (Fig. 1). D'ailleurs, "l'Oued Lebène dont le nom signifie «petit lait» est une allusion faite à la couleur blanchâtre et boueuse de l'Oued en crue" (A. Gartet, 1994). Les formations géologiques sont généralement regroupées en trois classes selon la résistance.

Calcaires, dolomies, ophites, grès et conglomérats (161km ²)
Flysch, schistes, marnes blanches à silex et marne vertes (308 km ²)
Marnes, gypses, et alluvions récentes (918km ²)



Figure 17: Localisation de la zone d'étude

2. Matériel et méthodes

Les glissements de terrain sont influencés par plusieurs facteurs externes (les conditions climatiques) et internes (les caractéristiques physiques du bassin versant). Alors nous avons utilisé différentes données et méthodes. Les données utilisées ont été extraites à partir des images Landsat 8 du 17/10/2020, les cartes topographiques Fès, Ghafsai, Taineste et Taza au 1/100.000è, et un modèle numérique de terrain (MNT, 30m).

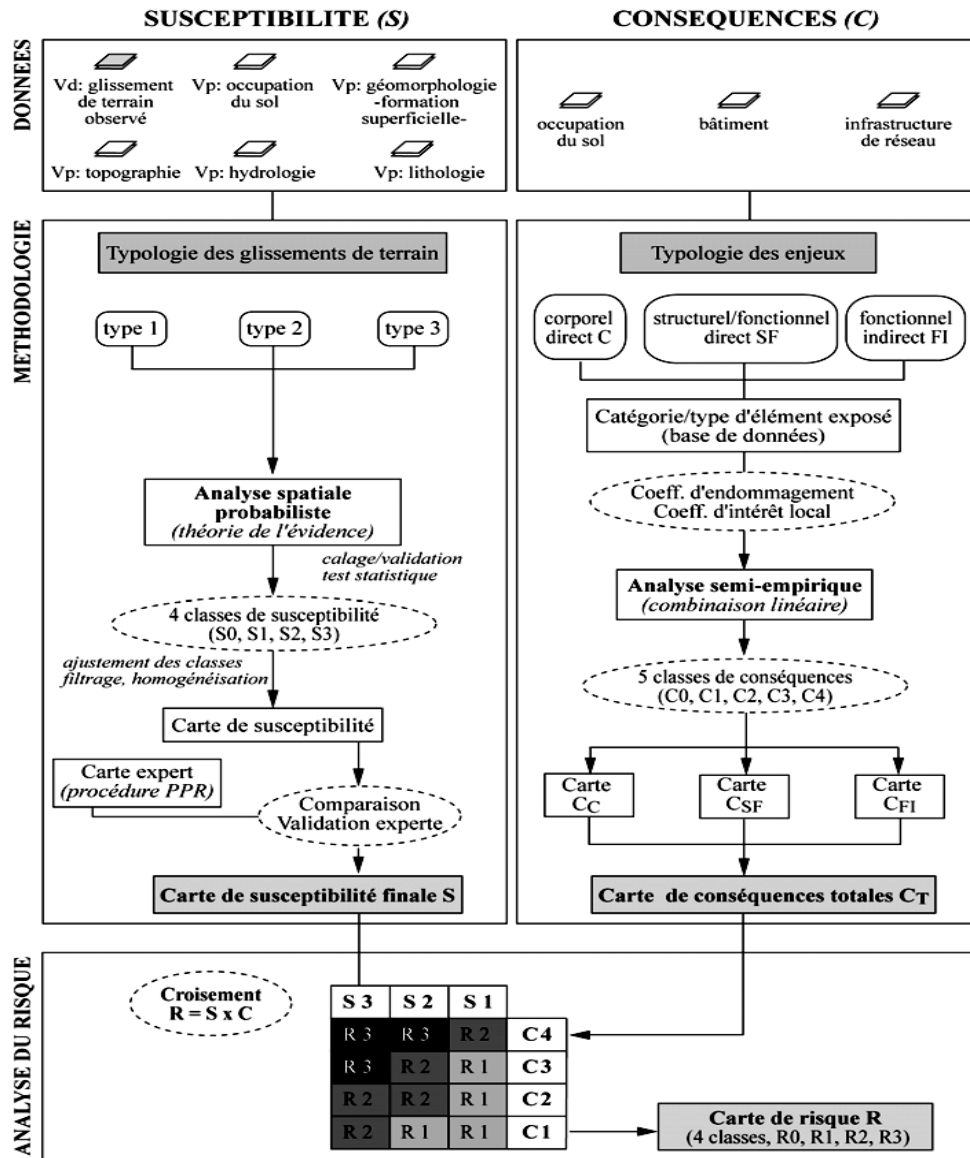
Notre étude se base sur l'approche empirique subdivisée en quatre étapes principales (Fig.2) :

La 1^{ère} étape est axée sur la correction géométrique et atmosphérique des données spatiales utilisées.

La 2^{ème} étape porte sur la cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain, par la relation entre les facteurs naturels.

La 3^{ème} étape est axée sur la cartographie des conséquences potentielles par la combinaison des différents enjeux directs et des enjeux indirects.

La 4^{ème} étape est axée sur le calcul du risque total, à l'aide d'un tableau à double entrées, par

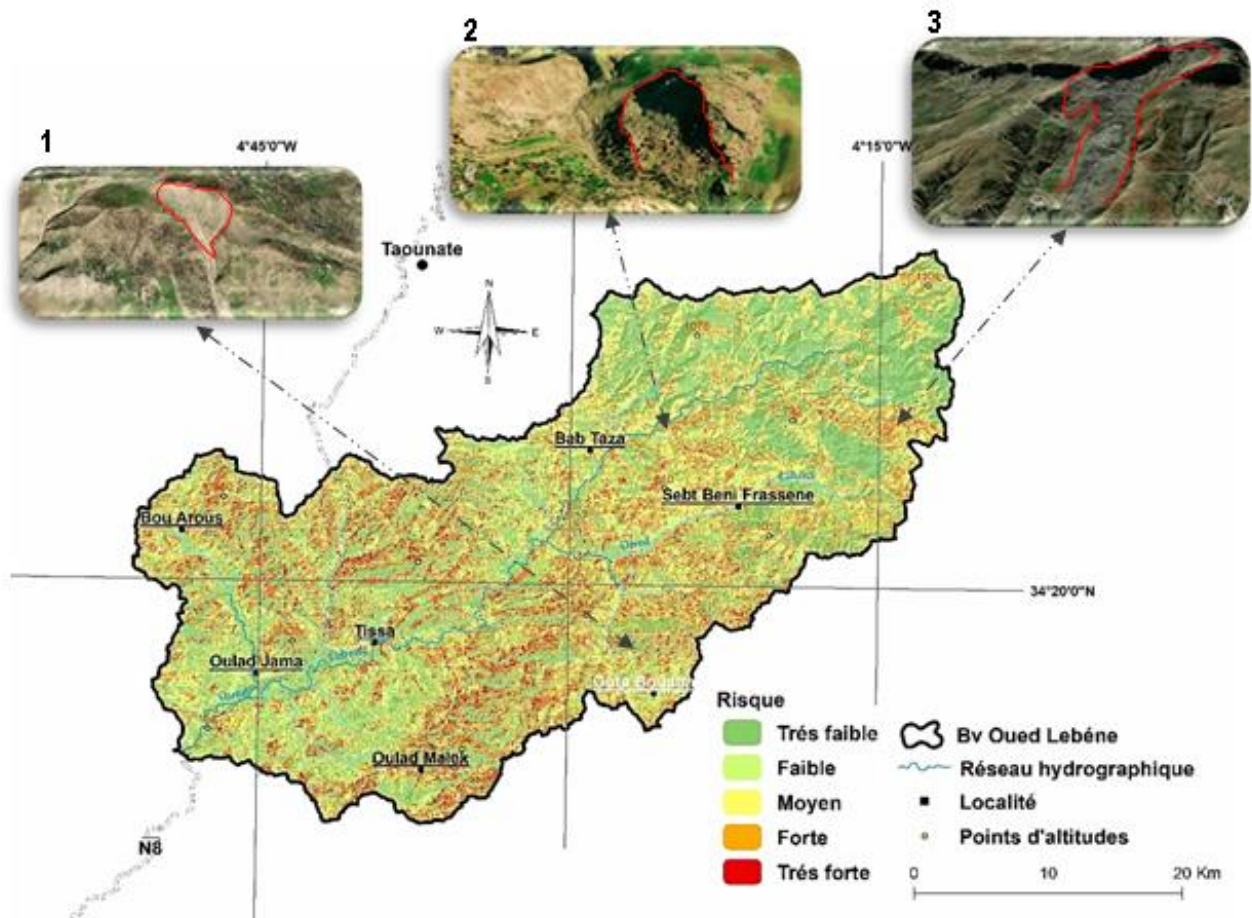


la combinaison de cartes de susceptibilité et de cartes des conséquences.

Figure 18: Méthodologie d'analyse du risque "glissement de terrain" (Malet et al., 2006)

3. Résultats et discussion

Dans notre recherche, on a appliqué la méthode PPRN qui est une démarche méthodologique qui se base sur plusieurs facteurs. Après la combinaison de différents facteurs qui composent la méthode PPRN. Le croisement des cartes d'aléas avec les cartes de vulnérabilité aux mouvements de terrain, nous obtenons la carte de simulation et d'évaluation qualitative du risque (Fig. 3).



**Figure 19 : Carte simulée de risque total au niveau du bassin versant de l'Oued Lebène
1, 2, 3 : Exemples de glissements de terrain sur Google Earth pro (2020).**

La cartographie du risque des mouvements de terrains est basée sur les calculs de rapports de surfaces en adoptant les SIG et la télédétection spatiale qui nous permet d'établir une simulation et une évaluation qualitative du risque des glissements.

Notre carte d'évaluation qualitative du risque montre la dominance de faibles risques qui présentent 54%, elles se localisent en grande partie dans les zones avec formations lithologiques à faible sensibilité (Calcaires, Grés et Conglomérats...), dans les zones plates à faibles pentes et les terrains à végétation dense qui maintient le sol surtout en amont du bassin versant d'Oued Lebène. Aussi la menace sur les éléments et sur les personnes est faible voire nulle. Les zones où se situe la classe de risque moyen représentent 20%. Cependant, les zones à forte et très fort risque, selon la même classification présentent 27% de la surface du bassin versant. Ce sont des zones à matériaux friables (Marne) dénudées de végétation avec des terres accidentées, elles se localisent dans les versants raides, au bas de ces versants où se trouvent des zones résidentielles ou des activités humaines, donc la menace sur l'homme ou sur ces activités est forte.

Conclusion

Cette recherche présente une approche géographique des risques des « glissements de terrain » dans un milieu pré-rifain au niveau du bassin versant d'Oued Lebène. Pour résoudre ce problème spatial on exploite des données satellitaires et cartographiques, et on s'est référé à la méthode PPRN afin de classer les milieux naturels selon le degré du risque.

L'analyse précédente permet de produire la carte finale de zonage du risque du glissement. Suite à l'analyse des résultats obtenus, on conclut que la répartition spatiale du glissement due à plusieurs facteurs, le plus important d'entre eux est la nature lithologique (la dominance marneuse), aussi l'occupation du sol et l'anthropisation de milieux. En raison de ces caractéristiques fragiles dans le bassin, les glissements se distribuent dans tous les sous bassins versants de l'Oued Lebène. Ce raisonnement s'apprête convenablement à une intervention reposant sur l'approche participative pour une gestion raisonnable et durable.

Références bibliographiques

- MALET (J-P) et all. (2006). Analyse spatiale, évaluation et cartographie du risque "glissement de terrain". In: *Revue internationale de Géomatique*.
- GARTET (A.) (1994). Morphogenèse et hydrologie dans le bassin versant de l'Oued Lebène (Rif méridional et Prérif Central et Oriental - Maroc). Thèse Doctorat de l'Université de Provence, 342 p., Aix-en-Provence (France).
- GARTET (A.) et all. (2005). Dégradation spécifique et transports solides dans le bassin de l'oued Lebène (Prérif central, Maroc septentrional). In *Papiers de géographie*, pp. 85-100.
- GARTET (A.) et all. (2001). Hydrochimie des eaux, dissolution spécifique et salinité des cours d'eau dans le bassin de l'Oued Lebène (Prérif Central, Maroc septentrional). In *Papiers de géographie*.
- TRIBAK (A.) (1997). Quelques exemples de mouvements de terrain dans le Prérif oriental (Maroc). In : *Méditerranée*, tome 86, pp 61-66.
- TRIBAK (A.) (1990). Dynamique et typologie des versants : essai sur l'intensité, la fréquence et la localisation des processus d'érosion actuels dans quelques bassins pré-rifains au nord de Taza (Maroc). In: *Revue de géographie alpine*, tome 78, n°1-3, 1990. pp. 227-240.
- CARRARA (A.) et all. (1991) - GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard. In: *Earth Surface Processes and Landforms*, 16, pp 427-445.
- MAKI MATES (O.) & DEWITTE (O.), (2014). Vers un inventaire des glissements de terrain et des éléments à risque sur les versants du Rift à l'ouest du lac Kivu (RDC). In *Géo-Eco-Trop*. Pp 137-154.

APPORT DE LA TELEDETECTION OPTIQUE ET RADAR AU SUIVI DE LA DYNAMIQUE DES ZONES HUMIDES A L'OUEST ALGERIEN

FEKIR Youcef, MEDERBAL Khalladi, LARID Mohamed, ANTEUR Djamel et HAMADOUCHE
Mohammed Amine

Université de Mustapha Stambouli, BP 305 Route de Mamounie, Mascara 29000, Algérie.

youcef.fekir@univ-mascara.dz

RESUME: Le suivi et la cartographie de la dynamique des eaux de surface constituent un élément clé pour étudier et modéliser leurs rôles dans tout système hydrologique. Cependant, l'extraction rapide et précise de ces surfaces est un défi majeur en raison de la variété spatio-temporelle des étendues d'eaux superficielles. La télédétection par ses capacités spatiales et temporelles et la vue synoptique qu'elle offre devient un outil très puissant dans ce genre de problème. Ces dernières années, les données optiques de Sentinel 2 et radar de Sentinel 1 ont montré leurs efficacités dans les études des ressources naturelles et les surfaces d'eau en particulier. Dans ce contexte, nous avons profité des données de télédétection pour détecter et extraire des étendues d'eaux superficielles. L'approche adoptée dans ce travail consiste à utiliser des indices dérivés des images satellitaires à haute résolution spatiales pour la période de 2015-2020. Pour cela, nous avons utilisé une série d'images multispectrales Sentinel 2 MSI (Multi Spectral Imager) et des images radar synthétiques Sentinel 1. Ces images sont acquises au-dessus du barrage de Merdja Sidi Abed situé dans l'ouest Algérien et nous a permis de dériver des indices spectraux en combinant plusieurs bandes tels que : Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) et le coefficient de rétrodiffusion radar. L'extraction automatique de l'étendue du barrage montre une dégradation importante de la surface qui a chuté de 815 ha en 2015 à 28 ha en 2020. La sensibilité du signal des capteurs Radar tels que Sentinel 1 et la meilleure résolution spatiale (10 m) et temporelle (5 jours) du capteur MSI de Sentinel 2 s'avèrent des moyens très pratiques pour le suivi temporel des étendues d'eau.

Mots-clés : Télédétection; Google Earth Engine, Sentinel 1 & 2, Merdja Sidi Abed

CONTRIBUTION OF OPTICAL AND RADAR REMOTE SENSING TO MONITORING THE DYNAMICS OF WETLANDS IN WESTERN ALGERIA

ABSTRACT: The monitoring and mapping of the surface water dynamic is a key element in studying and modeling their roles in any hydrological system. However, the rapid and precise extraction of its surfaces is a major challenge due to the spatiotemporal variety of water bodies. Remote sensing through its spatial and temporal capacities and its synoptic view becomes a very powerful tool to solve this kind of problem. In recent years, optical data from Sentinel 2 and radar from Sentinel 1 have shown their effectiveness in natural resources studies and water surfaces in particular. In this context, we took advantage of remote sensing data to detect and extract surface water areas. The approach adopted in this work consists to use indices derived from high-resolution data for the period 2015-2020. For this, we used a series of Sentinel 2 multispectral images and Sentinel 1 synthetic radar images. These images are acquired above the Merdja Sidi Abed dam located in western Algeria and allowed us to derive spectral indices by combining several bands such as Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI), and the radar backscatter coefficient. The automatic extraction of the extent of the dam shows significant degradation, where the area fell from 815 ha in 2015 to 28 ha in 2020. The signal sensitivity of Radar sensors such as Sentinel 1 and the best spatial (10 m) and temporal (5 days) resolution of the MSI sensor of Sentinel 2 prove to be very practical means for the temporal monitoring of bodies of water.

Keywords: Remote sensing, Google Earth Engine, Sentinel 1 & 2, Merdja Sidi Abed

INTRODUCTION

A l'instar de plusieurs pays de l'Afrique, l'Algérie par son climat méditerranéen semi-aride à aride, est classé parmi les pays les plus touchés par le stress hydrique et dans la catégorie des pays les plus pauvres en matière de potentialités hydriques inférieures au seuil de rareté défini par la Banque Mondiale à 1000 m³/habitant/an (PNUD, 2009). Cette disponibilité est passée de 1500 m³ en 1962 à 720 m³ en 1990 et a continué à diminuer de 680 m³ en 1995, 630 m³ en 1998 (Nichane et Khelil, 2015), 478 m³ en 2000 et 440 m³ en 2005 (FAO, 2005). En plus, environ 420 millions m³/an quittent l'Algérie dont 320 millions m³/an d'eau de surface vers la Tunisie, en particulier 168 millions m³/an à travers le bassin de Medjerda, et 100 millions m³/an d'eau souterraine aussi vers la Tunisie (FAO, 2015)

A cela s'ajoute le phénomène de l'érosion qui est considéré comme le plus destructif. Grâce à ses conséquences directes sur les ouvrages hydrauliques par le phénomène d'érosion, plusieurs barrages sont dans un état inquiétant. Plusieurs effets néfastes peuvent être causés par ce phénomène allant de la réduction de la capacité de stockage du barrage, la dégradation de la qualité de l'eau et l'obturation des organes de vidange et les canaux d'irrigation (Nahon et al, 2008 ; Toumi et Remini, 2018).

Le barrage de Merdja Sidi Abed situé à l'extrême est de la wilaya de Relizane déplore un état d'envasement impressionnant dans un laps de temps assez court. En outre, une pollution importante des eaux du barrage a été signalée par Seklaoui-Oukid (2016) qui a classé le barrage comme le plus pollué parmi les barrages du bassin de Chélif.

Le recourt à la télédétection s'avère très utile pour le suivi spatio-temporel de la dynamique de la retenue du barrage de Merdja Sidi Abed. Ce travail présente une étude exploitant les capacités de l'imagerie satellitaire optique et radar haute résolution à fournir des informations pertinentes pour caractériser l'état de ce barrage pour la période 2015-2020.

1. Description de la zone d'étude

Le barrage de Merdja Sidi Abed est situé à l'ouest de l'Algérie dans la wilaya de Relizane en extrême limite de la wilaya de Chlef. Il se localise entre la ville de Oued-Rhiou, à l'ouest, et la ville de Bou kadir, à l'est en bordure de l'autoroute Est-Ouest et de la route nationale 04 (Figure 1).

Le barrage se trouve dans la plaine de l'oued Chélif et il a été mis en service en 1984 avec une capacité initiale de stockage de l'ordre de 54.90 Hm³.

Des levés bathymétriques lancés par l'Agence Nationale des Barrages et Transfert (ANBT) en 2004 permettent de surveiller le taux d'envasement du barrage et de mesurer le volume de la réserve en eau de retenue. D'après les chiffres obtenus, le taux de perte moyenne annuelle entre 1984 (mise en eau) et 2004 est de l'ordre de 346 500 m³/an avec une perte totale en capacité de stockage de 6.93 Hm³ (ANBT, 2004). Par conséquent, durant cette période le barrage a subi un taux d'envasement de l'ordre de 12.62%.

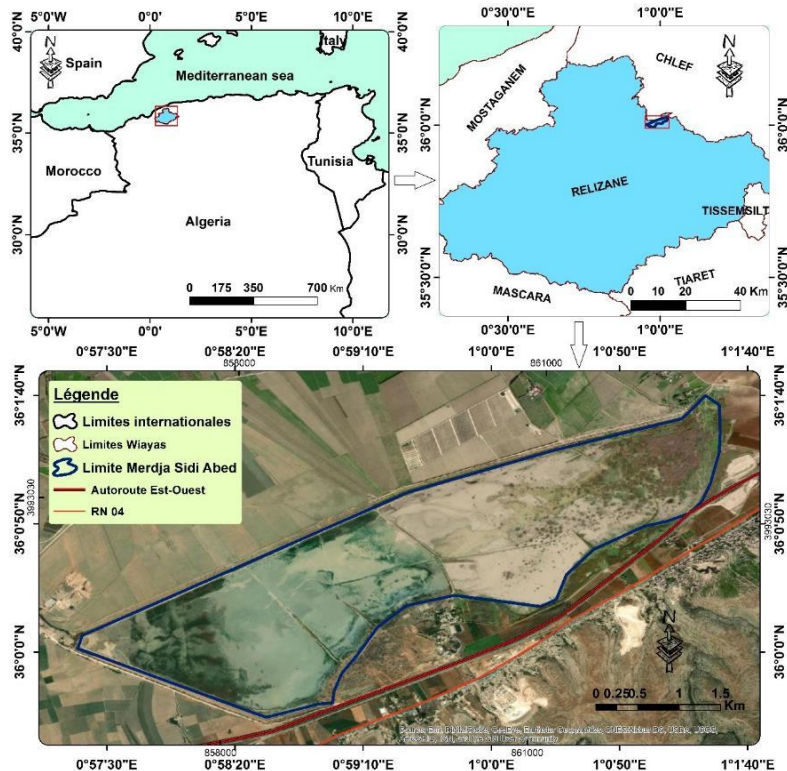


Figure 1. Localisation du barrage de Merdja Sidi Abed (Ouest Algérie)

2. MATERIEL ET METHODES

Ce travail consiste en un suivi et une cartographie de la dynamique interannuelle de la retenue du barrage de Merdja Sidi Abed dans la wilaya de Relizane durant la période 2015-2020. La méthode permet d'investiguer le changement spatiotemporel de la surface d'eau de la retenue en se basant sur le calcul des indices spectraux dérivés des données de télédétection optique et de la rétrodiffusion du signal radar synthétique pour extraire et délimiter l'évolution de l'étendue d'eau.

Nous avons utilisé des images satellitaires issues de deux capteurs ceux de données multispectrales de Sentinel 2 et radar de Sentinel 1. Ces images sont fournies par la plateforme Google Earth Engine (GEE), basée sur le Cloud, permettant la visualisation et l'analyse des données géospatiales. Le travail est réalisé en deux phases:

- La première, couvre la sélection et le traitement des données spatiales en utilisant la plateforme de GEE. Cette plateforme donne accès à des images satellites à haute résolution et à des capacités d'analyse à l'échelle planétaire pour permettre aux chercheurs une éventuelle détection de changement, de cartographie et de quantification des différences observées à la surface de la Terre.
- La seconde, correspondant au travail hors ligne avec des logiciels de traitements d'images satellitaires et des SIG. A ce stade, les données traitées et analysées dans GEE seront exportées et transférées à un compte Google Drive puis stockées dans un support physique (Disque dur ou autre) pour pouvoir les utiliser pour la cartographie et l'étude de changement de l'étendue de notre site d'étude.

La méthode que nous avons adoptée pour suivre la dynamique de notre zone d'étude s'appuie sur l'utilisation des indices spectraux pour délimiter et extraire la surface d'eau. Le choix judicieux des indices adéquats est une tâche très importante. Plusieurs facteurs doivent être pris en considération en particulier l'interaction des objets de l'interface sol-eau-végétation.

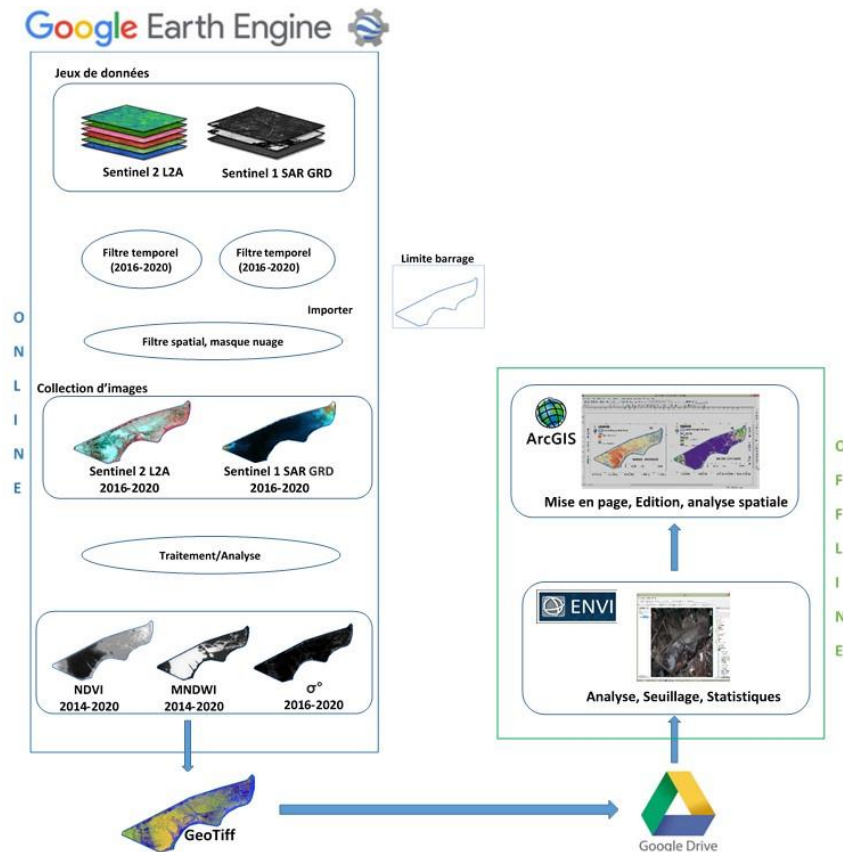


Figure 2. Diagramme de la méthodologie adoptée

Vue l'interférence du sol, de l'eau et de la végétation constatée au barrage de Merdja Sidi Abed, nous avons opté trois indices : l'indice de végétation NDVI, l'indice de l'eau MNDWI et le coefficient de rétrodiffusion radar σ_0 .

Pour extraire la surface d'eau, la méthode que nous avons retenue repose sur une classification binaire ou binarisation en deux classes eau et non-eau. En étudiant l'histogramme bimodal des images de NDVI, MNDWI et σ_0 , un seuil doit être défini pour pouvoir séparer les objets en deux classes distinctes. En effet, Parmi les méthodes utilisées permettant de déterminer un seuil optimal pour binariser une image, l'algorithme d'Otsu est largement utilisé en télédétection (Fekir, 2021).

La validation des images binaires ainsi obtenues, correspondant aux classes Eau/Non-eau, est une tâche nécessaire et indispensable. En l'absence de données de terrains sur les superficies de l'étendue d'eau, la délimitation de la surface d'eau digitalisée à partir des images de Google Earth ont été considérées comme référence. L'évaluation de la précision des résultats obtenus à travers le calcul de 03 paramètres :

- *Producer Accuracy* (PA) :
$$PA = \frac{\text{Superficie des zones bien classées par l'indice}}{\text{superficie de l'eau de référence}}$$
- *User Accuracy* (UA):
$$UA = \frac{\text{superficie des zones bien classées par l'indice}}{\text{superficie des zones classées eau par l'indice}}$$
- *Overall Accuracy* (OA) :
$$OA = \frac{\text{Superficie des zones bien classées positives et négatives}}{\text{Superficie totale de la zone d'étude}}$$

3. RESULTATS ET DISCUSSION

L'interprétation visuelle des images obtenues pour les trois indices de 2015 à 2020 met en évidence la dynamique inter-annuelle importante de la retenue du barrage où la surface en eau peut être facilement reconnue par son fort contraste avec les objets environnants.

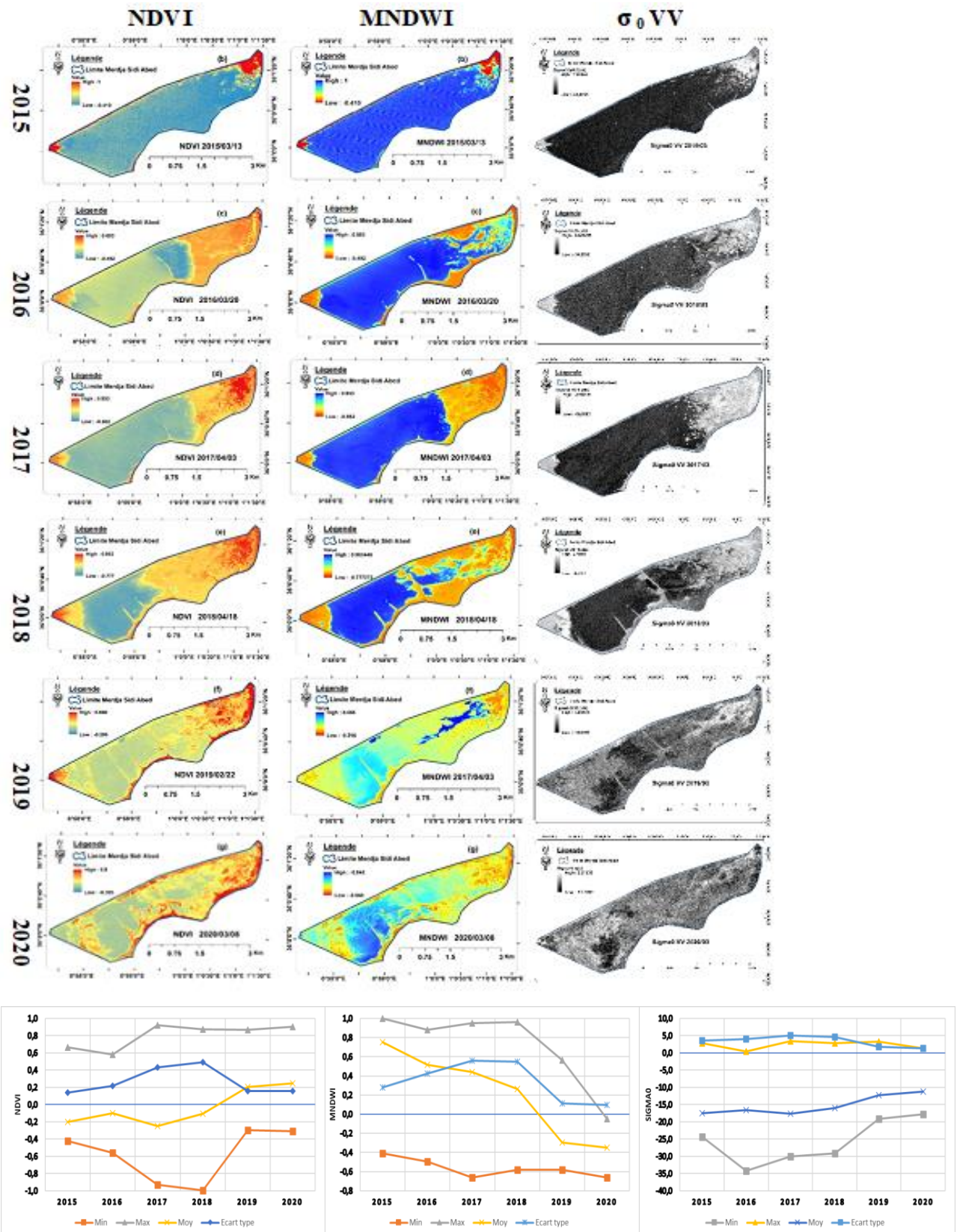


Figure 3. Les images du NDVI, MNDWI et σ_0 du 2015 au 2020

En effet, cette dynamique est caractérisée durant cette période par trois niveaux remarquables:

- ✓ 2015: le niveau de la retenue est presque dans son niveau maximal.

✓ 2016-2018 : c'est à partir de 2016 que la surface se rétrécit significativement presque à la moitié. La partie centrale reste un peu profonde avec une dynamique de recul du nord-est au sud-ouest. En 2017 et 2018, une forte turbidité caractérise la surface d'eau qui peut être expliquée par l'abaissement du niveau d'eau et l'accumulation des vases dans le bassin.

✓ 2019-2020 : En ces deux années le barrage est parvenu à un état très alarmant. Il est apparu clairement que le lac est presque asséché surtout en 2020 où un fort contraste caractérise le bassin.

En effet, l'étendue du retenu se voit sérieusement rétrécir d'une année à une autre pour atteindre un état très dégradé en 2020 (Figure 3). La superficie du plan d'eau a diminué de 815 ha en 2015 à moins de la moitié en 2018 avec 331 ha et qui a chuté en deux années à 28 ha (Figure 4). Ces chiffres montrent nettement la dégradation massive qu'a connue cette infrastructure où la situation s'aggrave d'une année à une autre.

A partir du croisement des limites de la surface d'eau de références et celles obtenues de la présente méthode, les différentes surfaces des zones bien et mal classées ont été aisément déterminées.

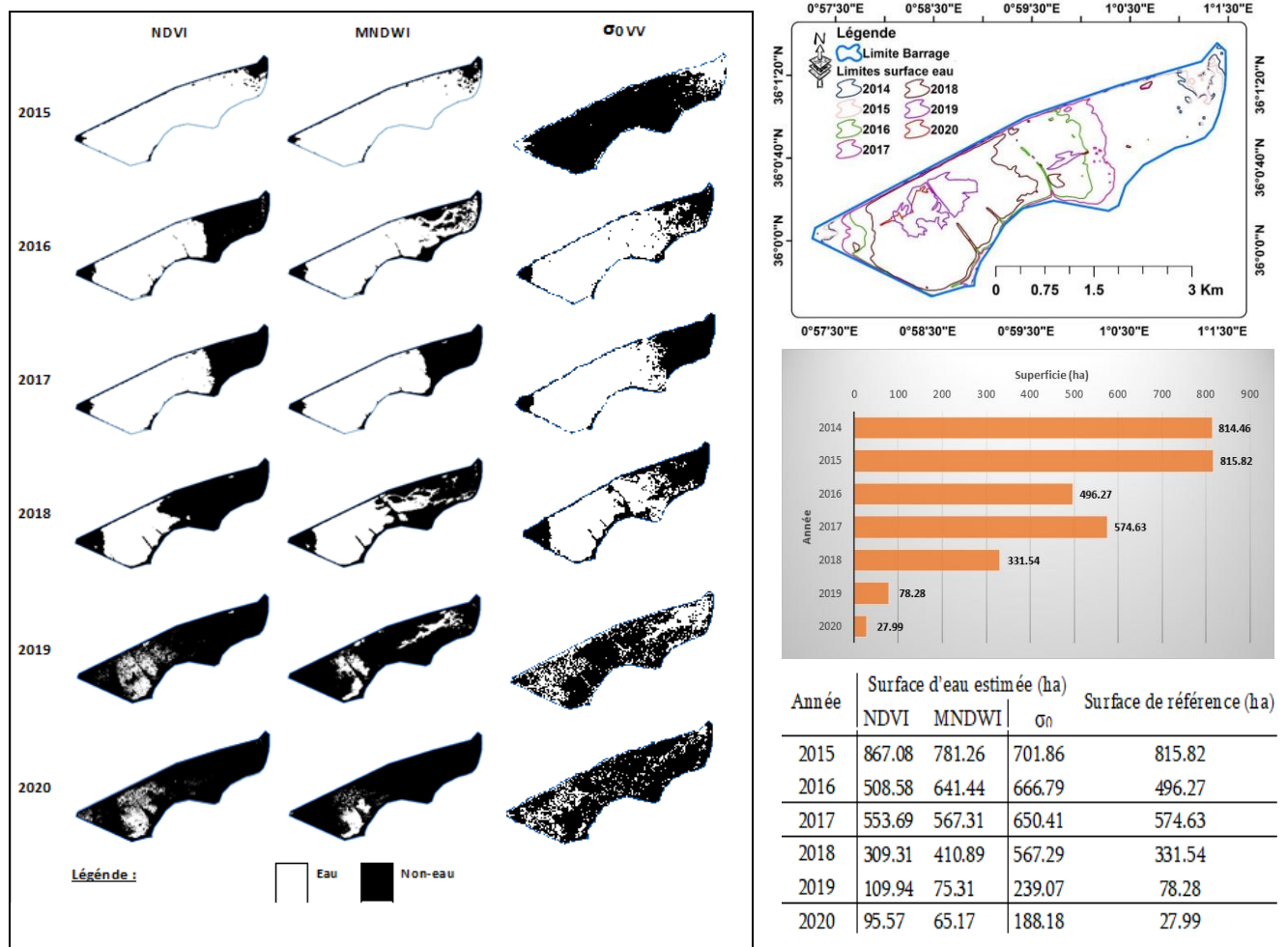


Figure 4. Les résultats de la binarisation des images du NDVI, MDNWI et σ_0 (droite) et les limites d'eau de référence (gauche)

La moyenne de précision globale des sept années d'étude montre que l'indice MNDWI est reconnu très satisfaisant pour l'extraction de la surface d'eau avec une moyenne de 92.50%, suivi par le NDVI avec 91.27% en moyenne. Le coefficient σ_0 , avec une précision

globale moyenne de l'ordre de 73.48%, exprime un pouvoir moins discriminant de l'eau que les deux autres indices.

CONCLUSION

Cette étude a examiné l'usage de la plateforme de GEE à choisir et utiliser des images satellitaires haute résolution à l'étude de la dynamique spatiotemporelle du barrage de Merdja Sidi Abed. Une série de deux jeux de données est mis en œuvre pour ce travail à savoir Sentinel 1 et 2 (2015-2020) pour extraire des néo-images. Notre choix s'est porté sur trois indices caractérisant trois thèmes différents : l'indice de végétation NDVI, l'indice de l'eau MNDWI et le coefficient de rétrodiffusion radar σ_0 . Les résultats obtenus montrent la dégradation très rapide de la retenue de Merdja Sidi Abed qui connaît un recul très important de sa réserve en eau. En plus, nous constatons à travers ces résultats qu'il est possible, à l'aide des indices spectraux d'extraire d'une manière satisfaisante les surfaces d'eau.

Références bibliographiques

- ANBT (2004). *Agence Nationale des Barrages et de Transfert*. Algérie
- FAO (2005). *L'irrigation en Afrique en chiffres – Enquête AQUASTAT 2005*. 93 p.
- FAO (2015). *AQUASTAT Profil de Pays – Algérie. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture*. Rome, Italie, 21 p.
- FEKIR, Y. (2021) *Etude et évaluation de la dégradation des ressources naturelles en Algérie occidentale par SIG et Télédétection*. Thèse de Doctorat, Université de Mostaganem, Algérie 222 p.
- NAHON, C., SALMON, M., BOUMEAZA, T., SBAI, A., El Haradji, A., OZER, A. (2008) *Apports de la télédétection dans l'étude diachronique de l'envasement de barrages : le cas des retenues Mohamed V et Hassan II (bassin de la Moulouya, Maroc oriental)*. madarevues.recherches.gov.mg/IMG/pdf/107_apports.pdf
- NICHANE, M., KHELIL, M. A. (2015). *Changements climatiques et ressources en eau en Algérie: vulnérabilité, impact et stratégie d'adaptation*. *Algerian journal of arid environment*, 5(1), p 56-62.
- PNUD (2009). *Problématique du secteur de l'eau et impacts liés au climat en Algérie*. 19p.
- SEKLAOUI-OUKID, O. (2016) *Valorisation des sédiments du barrage d'el Merdja Sidi Abed: étude technico-économique*. Thèse de Doctorat, Université de Tizi Ouzou, Algérie, 138 p.
- TOUMI, A., REMINI, B. (2018) *Perte de la capacité de stockage d'eau au barrage de Beni Haroun, Algérie*. *SAGREN* 2(1), p 80-97.

EVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DE L'ECOSYSTEME FORESTIER ET PREFORESTIER DANS LA DEPRESSION D'AIN NOKRA (MOYEN ATLAS CENTRAL)

EL HAIRCHI Khalid ¹, Youssef BENBRAHIM ², Omar SAADI ³

(1) Chercheur en géographie, département de Géographie, FLSH Sais-Fès, USMBA Fès.

(2) Professeur chercheur, département de Géographie, FLSH Sais-Fès, USMBA Fès.

(3) Chercheur en Hydrogéologie, département d'hydrologie, ENSA EL Hoceima, UAE Tétouan.

RESUME: Les écosystèmes forestiers du Maroc subissent depuis longtemps une forte pression anthropique plus ou moins importante selon les régions. L'équilibre naturel a été rompu pour un grand nombre de milieux.

La situation des forêts du Moyen Atlas est aujourd'hui de plus en plus alarmante. Ce constat est dû à la conjugaison des facteurs naturels notamment climatiques et la pression anthropique exercée sur les écosystèmes forestiers. La pression anthropique se manifeste par les coupes illicites, le surpâturage, les défrichements et les feux de forêts. Cette régression est aggravée notamment depuis les années soixante du vingtième siècle à cause de l'évolution démographique et la sédentarisation qui cause des auréoles de défrichement.

L'objectif de cette étude est d'évaluer la dynamique du paysage au sien du Moyen Atlas central plus précisément à la forêt Ain Nokra, et d'en expliquer les causes, toute en s'appuyant sur une approche diachronique reposant sur l'intégration et le traitement des données multi-dates (carte de Mr Lecompte qui date de plus 60 ans ; 1962, et les photographies aériennes de 2018), à l'aide des systèmes d'information géographique et de la télédétection spatiale. Les résultats obtenus soulignent une forte régression du paysage forestier.

Mots-clés : Diachronie – Régression - système d'information géographique - Ain Nokra.

ABSTRACT: Morocco's forest ecosystems have long been subjected to strong anthropogenic pressure of varying importance depending on the region. Therefore, the natural balance has been upset in many circles. Typically, the situation of the forests of the Middle Atlas is today more and more alarming. This observation is due to the combination of natural factors particularly climatic ones, and anthropogenic pressures exerted on forest ecosystems.

Commonly, human pressure manifests itself in illegal logging, overgrazing, land clearing and forest fires. This regression has degenerated especially since the 70s of the twentieth century due to demographic changes and sedentarization that cause halos of land clearing.

The objective of this study is to assess more precisely the dynamics of the landscape of the Ain Nokra forest and to elucidate the causes by relying on a diachronic approach based on integration and treatment of multirate data (map of Lecompte dating from 1962, and aerial photographs from 2018) using geographic information systems and remote sensing. The results obtained underline a strong regression of the forest landscape.

Keywords: Diachrony- regression – geographic information system, Ain Nokra.

INTRODUCTION

Les études menés sur les forêts du Moyen Atlas sont nombreuses (Emberger. 1939, Lecompte. 1956, Benabid. 1981, Labhar. 1994, Chahhou. 2009) Ces dernières ont conclu que la répartition de la végétation à une forte corrélation avec le bioclimat, la nature lithologique et édaphique et avec les conditions orographiques. Ces études sont en générale focalisées sur le cause Moyen Atlasique. Les études biogéographiques et foresteries en Moyen Atlas plissé notamment la forêt Ain Nokra et ses bordures sont rares ou inexistantes.

Cette étude a pour objet de suivre l'état du couvert végétal durant une longue période, en se basant sur la comparaison des photographies aériennes multi-dates, ce travail a été validé par les sorties de terrain. L'analyse des photographies aériennes et les images satellitaires va être élaborée en s'appuyant sur les systèmes d'informations géographiques (ArcGIS) et un programme de télédétection (Erdas Imagine).

1. DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE

La forêt Ain Nokra est une partie intégrante du Moyen atlas central plissé. Elle se trouve à l'intersection des deux bassins versants Sebou et Moulouya. Elle est ainsi à cheval sur deux versants d'orientations opposées : l'un orient vers le Nord (vers Guigou) l'autre vers le sud (vers les premiers escarpements de la Moulouya).

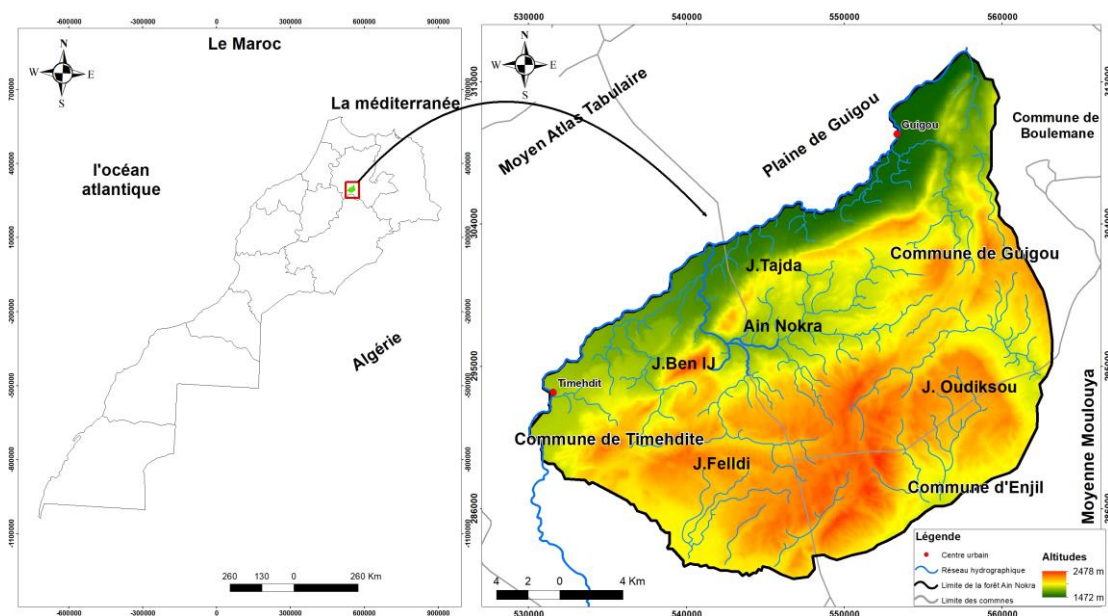


Figure 1. Localisation de la forêt Ain Nokra dans la carte du Maroc

Généralement, la région d'étude se situe entre deux bioclimats ; le semi-arides froids et l'humides très froid qui contribuent à la diversité des ambiances bioclimatiques dans la région.

2. MATERIEL ET METHODES

Pour une analyse diachronique de l'état actuel de la forêt nous avons utilisé une carte de Mr Lecompte (1969) réalisé à base des photographies aériennes mission 1962 et des autres photographies aériennes mission 2017.

La méthodologie adoptée dans cette étude repose sur un nombre de taches résumées dans l'organigramme méthodologique suivant :

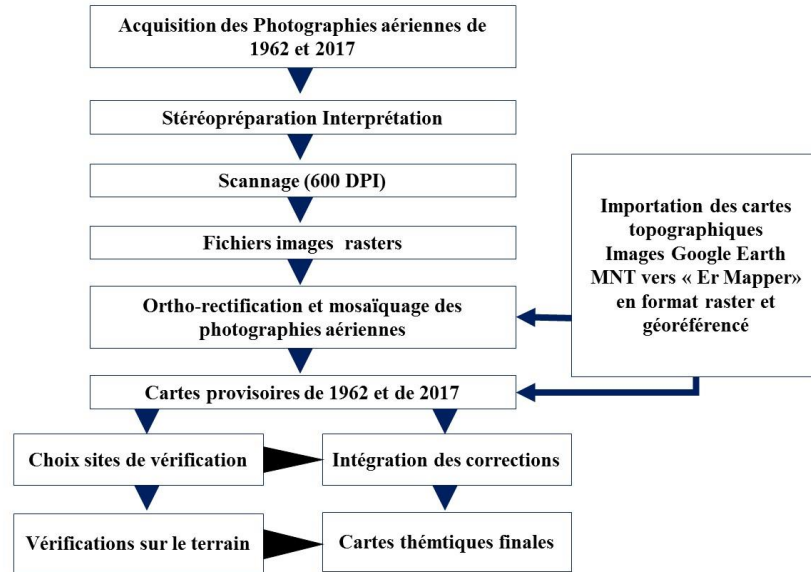


Figure 2: organigramme méthodologique

3. RESULTATS ET DISCUSSION

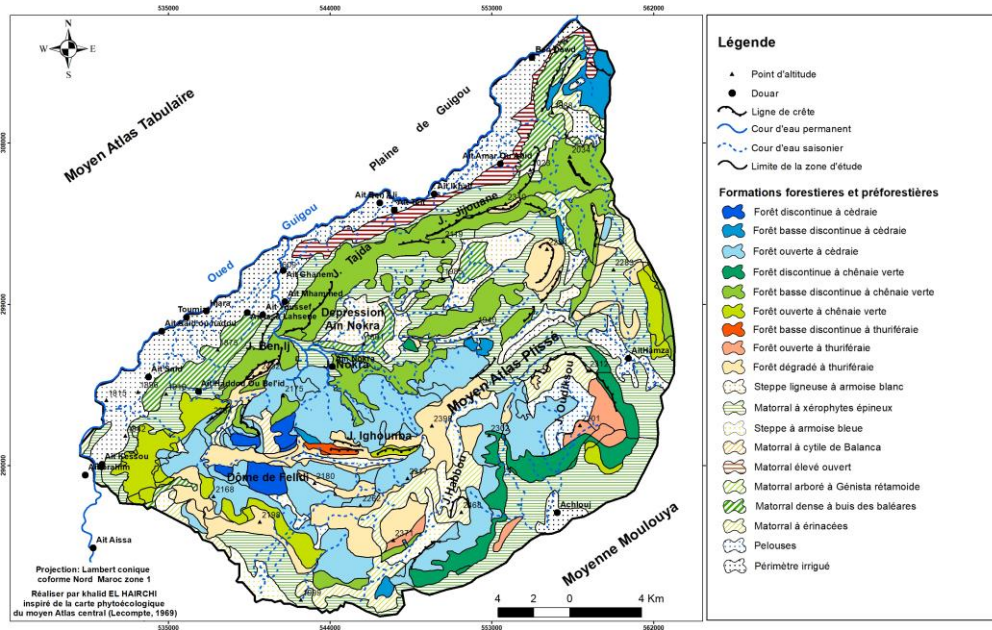


Figure 3 : Etat de la forêt Ain Nokra en 1962

LA FORET A CEDRAIE:

Durant la période étudiée (1962 - 2018), la forêt pro-climacique discontinue à base de Cèdre a connu des changements très importants. La régression de sa superficie est évaluée à 21,06 ha en 2018, soit 3,16 % de sa superficie en 1962. Cette régression correspond à un rythme annuel moyen de 0,38 ha, soit un taux annuel moyen de régression de 0,06%. Cette superficie a été remplacée par des matorrals (0,44ha), des forêts discontinues à chêne vert (1,69ha) et des forêts ouvertes dégradée à genévrier (18,93ha). La majeure partie restante de la forêt discontinue à cèdre (96,84%) a cédée la place à la forêt ouverte à cèdre.

Ce changement au niveau des composantes floristiques de la forêt ont touché les sommets du dôme Filledi et les parties sommitales à l'Ouest de Jbel Ighounba où la cédraie dense est toujours en régression.

La forêt basse discontinue à cèdre qui domine les zones montagnards de Felldi, Ighounba et la partie nord de la forêt à Tighboula a également régressé de 436,86 ha, soit

72,85% de sa surface d'origine de 1962, ce qui correspond à une superficie moyen annuel de régression de 7,8 ha et à un taux annuel moyen de régression de 1,3 % (tab. 31).

La forêt basse discontinue à cèdre, dans une grande partie, a cédée la place à la forêt dégradée claire à base de chêne vert surtout à Tighboula, et elle connaît aussi une régression au niveau de la densité car les 162,82 ha restants soit (27,15%) sont dominée par une forêt ouverte à cèdre.

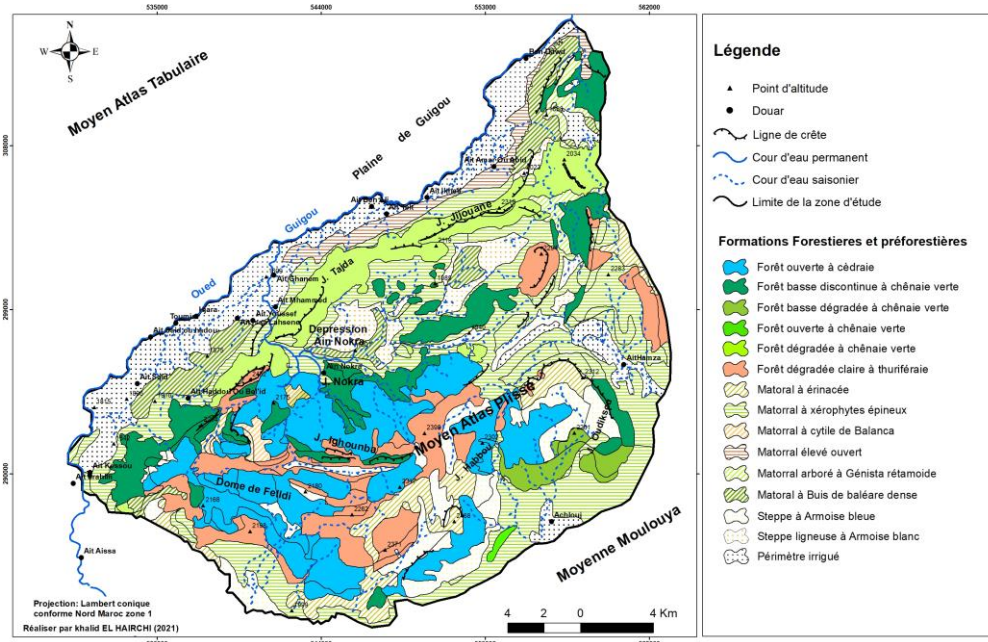


Figure 4 : Etat de la forêt Ain Nokra en 2018

LA FORET A CHENAIE VERTE :

La forêt discontinue à chênaie verte a régressé de 833,53ha, soit 42,02% de sa superficie initiale en 1962. Le rythme moyen de sa régression est de 14,88 ha/an, soit 0,75 % par an. La forêt discontinue a cédée la place à l'émergence du Matorral qui la remplaça sur une superficie de 186,62 ha et aux steppes ligneuses sur 646,91 ha. La superficie restante (1045,16ha) est changée en densité puisque la forêt basse discontinue et la forêt basse dégradée à chênaie verte ont remplacé l'ancienne forêt plus au moins dense.

La forêt basse discontinue à chênaie verte a régressé de 4536,99 ha, soit 56,70 % de sa superficie. Sa superficie moyenne régressée est de 81,02 ha/an, soit 1,01 % par an. La forêt basse discontinue remplace en grande partie la forêt dégradée à chênaie vert de 3766,35 ha et la forêt dégradée claire à chênaie vert de 100,61 ha, soit 43,30 % de la superficie totale.

La forêt ouverte à chênaie vert a régressé de 652,71 ha, soit 25,84 % de sa superficie. Le rythme de régression est de 16,60 ha/an, soit 0,21% par an. Cette strate a cédée la place à divers type de forêt : forêt dégradé claire à thuriferaie de 371,18 ha, au matorral à chêne vert pour 250,57 ha et aux steppes ligneuses qui a déjà colonisé une superficie de 30,96 ha. Elle a connu encore un changement au niveau de la densité : 124,74 ha est changée en forêt basse dégradé et 35,57 ha en forêt dégradée claire. Cette strate de chêne vert a connu aussi une évolution en densité vers une forêt basse discontinue (1167,69 ha) surtout dans la partie sud-ouest de la forêt Ain Nokra au niveau de Jbel Ben Ij.

LA FORET A THURIFERAIE:

La forêt basse discontinue à thuriferaie a connu une régression de sa densité. Elle cède une partie de sa superficie à la thuriferaie claire dégradée, cette superficie est estimé à 7,7 ha de sa superficie totale avec un taux de recul de 6,36%, la superficie annuel de ce recul est à l'ordre de 0,13 ha soit 0,11%/ans, ce changement est remarquable dans la partie sud de jbel

Ighounba. Cette forêt a connu aussi un changement en densité, en 1962 la thurifère était la principale essence dominant la forêt mais en 2018 cette dernière a cédée la place à une forêt basse discontinue à chênaie verte, le chêne vert domine la zone sur une superficie de 113,21 ha.

La forêt ouverte à thuriferaie a subi à son tour une régression sur une superficie de 497,41ha, soit 60,90% de sa superficie initiale avec un rythme annuel moyen de 1,90 ha, soit 0,03 %. Cette régression touche les versants nord-ouest de Jbel Oudiksou près du centre d'Achlouj et douar Ait Hamza où la thuriferaie ouverte est remplacée par matorral à thuriferaie (65,46 ha) et à la steppe à armoise (342,7). Cette forêt a subi un changement de densité : la dominance de thuriferaie ouverte est détériorée au profil de forêt dégradée à thuriferaie de 119,78 ha. Elle a connu aussi un développement vers des forêts fermées à base de chêne vert sur une superficie de 288,82 ha.

La perte d'ambiance forestière dans les thuriferaies épars dégradés est due à leur perturbation par des pratiques pastorales (surpâturage, coupe des branches...). En effet, on assiste à une légère régression de ces peuplements dégradés de 41,55 ha (27,31 %) avec un taux annuel de régression de 0,49%. Cette dégradation était au profil de chênaie verte claire dégradée (35,14 ha), de matorral à thuriferaie (6,41 ha) et de forêt dégradée claire à thuriferaie (73,67 ha). Cependant la thuriferaie dégradée a progressée sur une superficie de 36,92 ha, soit 24,26% de leur surface initiale.

La dégradation de la forêt Ain Nokra est le résultat de la conjugaison de plusieurs facteurs anthropique que climatique.

a- Facteurs climatiques :

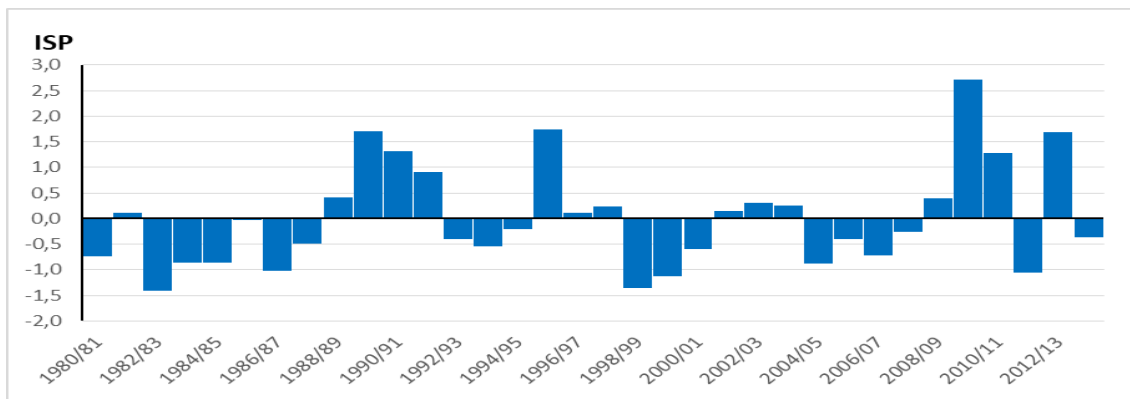


Figure 5:ISP au cours de la période 1980-2014 dans la station d'Aguelmam Sidi Ali

L'analyse des résultats de l'indice standardisé des précipitations à la station d'Aguelmam Sidi Ali dégage une dominance des années sèches remarquable, où l'indice SPI peut atteindre moins de (-1,5). Les années quatre-vingt présentent les années sèches de la série à l'exception de l'année 1982 là où l'ISP est positif. Les résultats obtenus pour les deux stations sont plus ou moins similaires.

On remarque également que les années 1990, 1996, 2010 et 2013 étaient humides à extrêmement humides suivies d'un assèchement des conditions climatiques.

b- Facteurs anthropiques :

La production fourragère de la forêt Ain Nokra est le résultat de plusieurs facteurs à savoir l'augmentation de nombre de cheptel, la sédentarisation au sien de la forêt qui mène à une surexploitation de bois de feu et un surpâturage extensif

formations forestière	production d'UF/ha	superficie en 1962	production (UF/ha) en 1962	superficie en 2018	production (UF/ha) en 2018	Taux de Régression
Forêt à cèdre	400	10447,49	4178996,00	9329,86	3731944,00	-10,70
Forêt à chêne vert	330	12510,82	4128570,60	12120,08	3999626,40	-3,12
Forêt à Genévrier	155	6290,90	975089,50	7587,00	1175985,00	20,60
Matorral de chêne vert et genévrier	140	23022,40	3223136,00	22846,00	3198440,00	-0,77
steppe à armoise	140	4775,24	668533,60	6046,85	846559,00	26,63
Total/Moyenne	233	57046,85	13174325,70	57929,79	12952554,40	6,53

Figure 6: La production fourragère des formations Ain Nokra

Les résultats acquis montrent que les besoins de cheptel sont en recul pendant les derniers 57 ans ; ces besoins sont estimés à l'ordre de 13174325 UF/an en 1962 et enregistre une valeur correspondante à 12952554 UF/an en 2018, avec un taux de régression moyenne estimé à 6,53%. Les formations forestières qui ont connu une nette régression se rapportant à leur production des unités fourragères sont : le cèdre (10,7 %), le chêne vert (3,12%) le matorral à chêne vert et genévrier (0,77%), tandis que les autres formations ont connus une progression

CONCLUSION

Durant une période de 56 ans, la superficie totale couverte par la forêt Ain Nokra a subi une régression qui a touché toutes les formations principales. Cependant cette forêt a gardé sa structure paysagère entre 1962 et 2018, sauf que la modification enregistrée touche essentiellement les limites de l'espace forestier et la densité de recouvrement de chaque essence forestière.

Cette dégradation est une conséquence de la conjugaison de plusieurs facteurs anthropiques (prélèvement de bois de feu, surpâturage, coupe illicite ...) et naturelle (réchauffement climatique, irrégularité de pluies, érosion hydrique...).

Le nombre de fractions enregistrées au sein d'Ain Nokra s'élève à 745 entre 2010 et 2020. Ces derniers sont constitués principalement par les coupes de bois vif et le pâturage.

La régression des principales formations forestière d'Ain Nokra révélée dans l'analyse diachronique nécessite dans une large mesure, la redéfinition des objectifs souhaités et l'évaluation du bilan et des limites du seul aménagement réalisé en 1999, afin d'adopter de nouveaux systèmes de gestion forestier tout en intégrant le volet socioéconomique.

Références bibliographiques

- BENABID A., (2000). *Flore et écosystèmes du Maroc : évaluation et préservation de la biodiversité*, Editions Ibis Press, 359 p.
- HAMMI, S., (2007). *Evolution des recouvrements forestiers et d'occupation des sols entre 1964 et 2002 dans la haute vallée des Ait Bougumez (Haut Atlas central, Maroc)*. Sécheresse, 18 : 1-7
- GHANNAM M., (2003). *La désertification au Maroc – Quelle stratégie de lutte?* 2nd FIG Regional Conference Marrakech, Morocco, December 2-5.
- FAOUZI H., (2013). *L'exploitation du bois-énergie dans les arganeraies : entre soutenabilité et dégradation (région des Haha, Haut-Atlas Occidental, Maroc)*, Les Cahiers d'Outre-Mer Revue de géographie de Bordeaux 22, pp 155-182.
- El HAIRCHI K. et BENBRAHIM Y., (2020). Etude de la dynamique récente des milieux forestiers et préforestiers à Outat El Haj (Moyen Atlas oriental), RMRG, N°1. Vol2. P 214.

RESILIENCE ET DURABILITE COTIERE: COMMENT PEUT-ON ARTICULER LES DEUX APPROCHES POUR CONCEVOIR L'AMENAGEMENT INTEGRE D'UN ESPACE URBAIN LITTORAL : CAS DE DAR BOUAZZA AU SUD DE CASABLANCA

A. AMRANI¹, M. MOUHIDDINE¹, M. EL WARTITI² :

1. Faculté des lettres et des Sciences Humaines –Ben M'Sik, Laboratoire de Géomorphologie et Environnement, Université Hassan II - Casablanca; Correspondant : amrani.auc@gmail.com ; mouhiddine@yahoo.fr.
2. Consultant scientifique ; wartiti@hotmail.com.<mailto:mzahraoui@hotmail.fr>
<mailto:mzahraoui@hotmail.fr>

RESUME: Les aménagements engagés actuellement le long du front de mer de l'EUL de DB ne peuvent favoriser sa dynamique naturelle. Aujourd'hui certaines séquences littorales se trouvent dans un état semi-dégradé et les programmes d'aménagement proposés ne peuvent limiter les dégâts. Cette situation questionne également la durabilité des relations interactives entre le naturel et l'urbain. Tel que pratiquée et engagée actuellement l'urbanisation tendancielle risque de mettre en cause le processus d'aménagement intégré de la bande littorale frontalière de la zone d'étude et de modifier ses caractéristiques naturelles au sens large du terme.

La mise en place d'un projet du territoire côtier résilient et durable est le fruit d'un processus d'aménagement intégré qui doit fixer les priorités à caractères parfois contradictoires. Nécessitant une démarche de nature transversale, prospective et opérationnelle, permettant le développement du potentiel de la résilience et de la durabilité côtière.

Le présent travail propose une approche articulée entre la résilience et la durabilité côtière, qui doit passer par la mise en place d'une coupure naturelle longeant le trait côtier de la zone d'étude en intégrant ses différentes composantes naturelles. Il ne s'agit pas d'une articulation mécanique mais plutôt écosystémique et spatiofonctionnelle intégrant les différentes composantes de l'écosystème côtier de la zone d'étude. C'est une sorte d'articulation entre le naturel, l'urbain, l'infrastructure, le sociétal...etc, donnant lieu à l'application d'une nouvelle approche de coresponsabilité territoriale.

Mots clés: Espace Urbain Littoral, urbanisation, risques côtiers, résilience côtière, durabilité côtière, articulation spatiofonctionnelle, couloir écologique.

INTRODUCTION

La mise en place d'un projet du territoire résilient et durable est le fruit d'un processus qui doit fixer les priorités à caractères parfois contradictoires (Djament-Tran et al., 2011). Ces auteurs ont cité un certain nombre de contradictions à savoir : la redondance, la diversité, l'adaptabilité, l'interdépendance, la connectivité et la flexibilité. Ces contraintes pourraient conduire parfois à la divergence des objectifs et même à des contradictions. D'où la nécessité de faire, dans les cas pareils, des choix et de mettre en ordre les priorités territoriales.

Dans le présent travail de recherche et à travers ses différentes parties, on va essayer d'étayer les deux approches territoriales dans la perspective de proposer une organisation spatiofonctionnelle de l'aire d'étude, tout en cherchant de se rapprocher à un modèle territorial résilient et durable, sans qu'il ait lieu de contradictions entre les objectifs de développement territorial souhaité surtout sur le plan socio-économique et urbain.

Ce travail de recherche présentera les éléments composés de l'approche résiliente et durable de l'aménagement du territoire relatifs à l'EUL de DB, tout en cherchant d'articuler et de combiner les deux approches dans un modèle territorial résilient et durable.

Délimitation géographique de l'aire d'étude

L'aire de l'étude concerne l'ensemble de la bande frontalière de l'espace urbain littoral de Dar Bouazza et son arrière-pays jusqu'à la route d'Azemmour. Elle se situe sur la côte atlantique, au centre ouest du Maroc au sud de Casablanca (Figure 01). Elle s'étale sur une profondeur de 500 m du côté terre et au-delà de l'emprise littorale à risque. L'aire d'investigation dépasse largement cette espace restreint pour couvrir entre autres l'ensemble de l'emprise à risque. La zone d'étude couvre une superficie totale de 2200 hectares. On s'est limité à une superficie adaptée aux outils cartographiques utilisés et aux objectifs de l'étude citée ci-après, pour pouvoir étudier l'ensemble des composantes morphospatiales et avoir plus de visibilité sur les degrés de vulnérabilité et de durabilité à l'échelle de la séquence littorale. Dans le présent travail de recherche on parlera de l'aire d'étude et de l'aire d'investigation (aire d'influence).

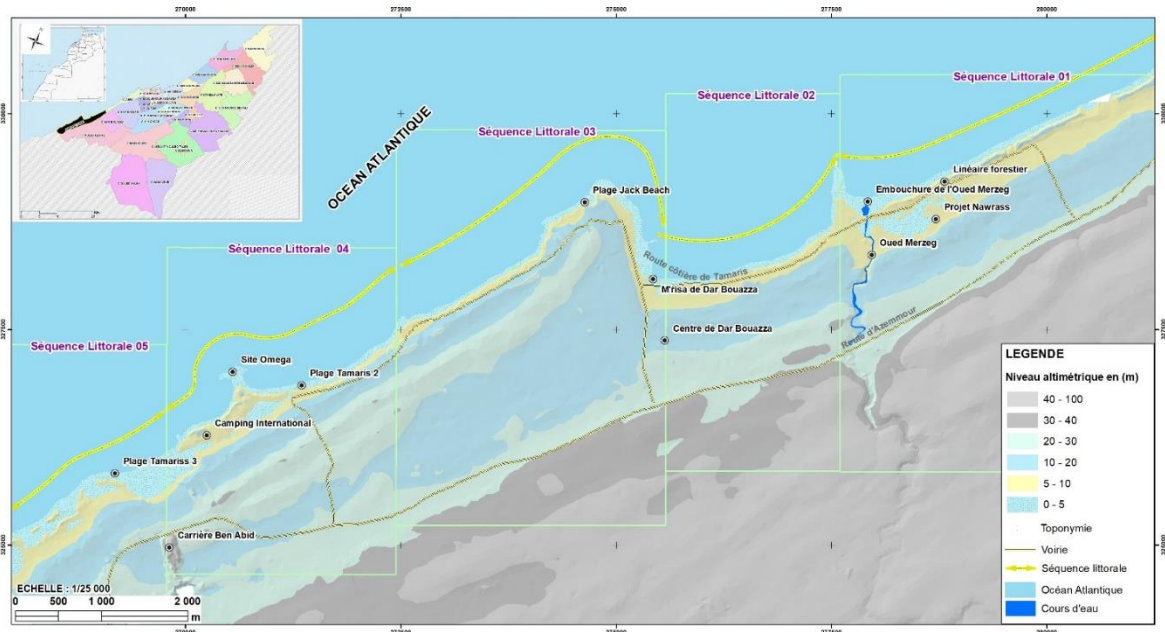


Figure 1: Représentation spatiale des séquences littorales de l'espace urbain littoral de Dar Bouazza et sa situation géographique au Sud de Casablanca (à l'Ouest du Maroc).

Matériels et méthodes

La réactivité différentielle des séquences littorales devrait faire l'objet d'une simulation ou une sorte de modélisation par des applications informatiques et présentées sous forme des prototypes. Dans le présent travail, une partie de l'outil informatique sera exploitée, afin de faire sortir des modèles spatiaux de la submersion marine de la zone d'étude et une analyse diachronique de l'évolution spatio-temporelle du trait côtier, qui ont fait l'objet de deux articles soumis à l'évaluation de la commission scientifique. Ceci a été réalisé par les outils SIG intégrant des sources multiples d'informations géographiques (Module Numérique du Terrain, image satellitaire, modes d'occupation du sol, etc.). L'analyse par l'outil SIG nous a permis de spatialiser les risques côtiers sur l'ensemble de l'espace urbain littoral de DB.

I. RESILIENCE TERRITORIALE

Le concept de la résilience côtière s'applique à tous les domaines et disciplines relevant des espaces territoriaux en général et ceux côtiers en particulier. Leur conception, écologique à la base, s'appuie sur la notion de "projet territorial", qui doit trouver des réponses favorisant une meilleure articulation et maintien des fonctions (Holling, 1973), rejoignant ainsi la notion de la durabilité.

1. Résilience côtière adaptée à l'aire d'étude

La résilience côtière adaptée à l'espace urbain littoral de DB vise la mise en place des mécanismes de l'aménagement intégré spécifique à la bande frontalière. Il doit s'adapter aux spécificités des séquences littorales selon leur degré de vulnérabilité. La réussite de ce système autorégulateur, renforce les chances de la durabilité du territoire côtier de DB dans son ensemble en tant que « projet du territoire ». L'échelle spatiotemporelle de la durabilité est évidemment plus large (le long terme) que celle de la résilience (le court terme). La première vise le territoire côtier dans son échelle macroscopique c.-à-d. dans un ensemble systémique territorial, alors que la deuxième se limite spatialement à la bande frontalière de l'espace urbain littoral de DB et à l'échelle de la séquence littorale. La réussite de la première dépend systématiquement de la mise en application de la deuxième.

D'après Walker et al., (2009), à l'échelle microscopique on parle d'une résilience spécifique d'un système donné face à une perturbation donnée, mais à l'échelle macroscopique, le long terme reste également primordial, on parle surtout de la résilience globale.

2. Schéma fonctionnel de la résilience côtière

Dans ses travaux de recherches (Lhomme et al, 2010), considère que la résilience est la capacité de la ville à absorber une perturbation puis à récupérer ses fonctions à la suite de celle-ci. C'est une approche qui vise à mettre en place les fonctions du territoire côtier face aux perturbations imprévues, conduisant aux dysfonctionnements du système territorial. Or, ladite définition aborde la résilience dans une échelle temporelle courte (le court terme). A cette échelle temporelle doivent être préconisées des solutions techniques pour limiter le degré de perturbation du système et prévoir une meilleure capacité de résistance et d'absorption du choc (Serre, 2011). La stratégie organisationnelle vise à reprendre la vie normale par une gestion intégrée et optimisée des moyens matériels et des ressources humaines (habitats, activités, infrastructures, équipements, système de gouvernance...etc.). Toubin M. et al., (2012), présentent un diagramme de résilience dans le court terme, appelé la résilience spécifique d'un service urbain suite à une perturbation. Ce modèle (figure 2) s'adapte aux spécificités de la zone côtière en question. Le présent modèle pourrait être élargi et révisé à l'échelle des autres territoires en préconisant des adaptations spécifiques aux territoires étudiés.

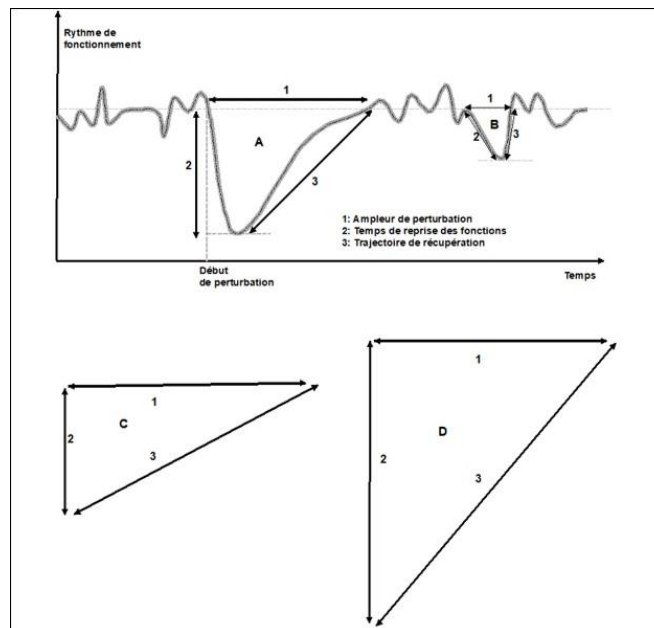


Figure 2 : Schéma fonctionnel de la résilience de court terme ou la résilience spécifique d'un service urbain à une perturbation (Toubin M. et al., 2012, modifié).

3. Résilience côtière : Modèle à retenir

L'étude cherche à proposer un modèle de résilience adapté aux spécificités intrinsèques de l'espace urbain littoral et ses composantes écosystémiques. Le plan de la résilience côtière doit définir le mode correctif à suivre en amont à priori (avant la survenue de la catastrophe). Sa qualification à posteriori (après la perturbation) relève de la gestion des crises urbaines. On cherche à concentrer nos efforts sur des objectifs à caractère anticipatif.

Le schéma opérationnel de la résilience côtière, développé par (Villar C. et David M., 2014) et réadapté aux objectifs de notre étude, a été élargi pour qu'il soit capable d'apporter des réponses aux questionnements imminents et cruciaux concernant l'aménagement intégré et durable de la zone littorale de DB, en limites sud de la métropole de Casablanca. Ce schéma doit assurer huit principes nécessaires et ce, pour qu'il soit bien rapproché à la durabilité côtière à savoir (figure 3).

4. Limites de l'approche résiliente

Si la notion de la résilience côtière adoptée dans le présent travail représente un grand intérêt spatiosociofonctionnel, en tant qu'approche de court terme. Celle-ci risque de ne pas être parfaitement adaptée aux spécificités territoriales de l'espace urbain littoral de DB, où souvent le front de mer est exposé aux aléas imprévisibles (submersion d'origine météo-marine ou transocéanique). A cet effet, le processus de la résilience côtière doit répondre à toutes les questions qui s'imposent à savoir : résilience de quoi, de qui, dite par qui et pour quoi faire (Djament-Tran et al., 2011). C'est un ensemble de mesures qui ne peuvent être pas systématiquement débattues pour avoir le consensus entre les différents acteurs (publics, privés, société civile...etc.). De plus, les séquences littorales de la zone d'étude ne pourraient pas tolérer toutes ensemble un modèle opérationnel unifié de la résilience.

II. DURABILITE TERRITORIALE

L'espace urbain littoral de DB: à la recherche d'une relation durable entre le naturel et l'urbain

Les facteurs naturels et urbains sont très présents dans la conception de base de l'EUL durable. Leur présence est de nature interactive, en cherchant une sorte **d'équité** entre le social et l'économie, une **viabilité** entre l'économie et l'environnement, une **vivabilité** entre le social et l'environnement et une **intégrité** entre le spatial et l'environnement. Ces quatre types des relations interactives (équitable, viable, vivable et intégrée) doivent trouver leur équilibre, pour assurer un certain degré de durabilité (Figure 5) et par conséquent maîtriser voir atténuer les degrés de vulnérabilité par une approche résiliente.

III. ARTICULATION DE L'APPROCHE RESILIENTE ET DURABLE ADAPTEE A L'EUL DE DB

1. Résilience côtière ou durabilité côtière ou les deux à la fois

Dans notre cas d'étude, le terme « résilience » a été utilisé pour faire face aux catastrophes de submersions marines. Celles-ci risquent de provoquer des perturbations multiformes à des échelles spatiotemporelles différentes. Ce genre de crises, ayant des impacts territoriaux différentiels, doit inciter les aménageurs à chercher une sorte d'équilibre entre les dynamiques anthropiques et celles naturelles à court et à long terme, à l'échelle micro-locale (séquence littorale), méso-locale (bande littorale) et macro-locale (territoires de DB et son aire d'influence). Suite à quoi, la résilience côtière doit trouver des modes d'articulations entre les différentes formes et échelles précitées, donnant ainsi lieu à un projet du territoire dynamique et compétitif.

2. La Résilience et la Durabilité côtière : à la recherche d'une articulation bien gouvernée

L'organisation territoriale de l'espace urbain littoral de Dar Bouazza ne pourrait donner ses résultats, sans intégrer dans son approche le concept de la résilience et de la durabilité côtière. Les limites entre les deux approches semblent plus ou moins floues, ce qui nécessite plus de clarification en termes de degrés d'intégration, d'acceptations et par la suite d'articulation et de coordination (Figure 6).

Si la première approche (résilience) vise la mise en place d'un système territoriale côtier capable de surmonter les crises et de s'adapter aux risques côtiers, la deuxième a pour objectif d'assurer la durabilité des fonctions territoriales y compris celles naturelles.

La mise en application des trois derniers principes précités susmentionnés dans la figure 3 n'est pas toujours évidente et simple. La résilience côtière doit être conçue pour faire face aux situations imprévisibles du processus urbain de la bande littorale qui n'avait pas tenu ses promesses en termes de durabilité. Dans ce cas de figure, la résilience pourrait être efficace et capable de corriger partiellement la situation et de prévoir un plan d'intervention et d'aménagement correctif et adaptatif (objet et objectif du prochain article qui portera sur le modèle d'organisation spatiofonctionnelle de l'espace urbain littoral de Dar Bouazza). Les résultats ne pourraient être mesurés qu'après une perturbation d'origine marine.

Si les mesures correctives de la résilience côtière ne donnent pas des bons résultats, le modèle de l'aménagement de l'espace urbain littoral de DB sera dans son ensemble interrogé. Dans ce cas de figure, le temps est déjà tardif, d'où la nécessité de promouvoir un aménagement anticipatif, donnant lieu à la mise en place d'un territoire résilient, durable et bien gouverné. Un tel aménagement doit intégrer et articuler cette trilogie organisationnelle dans un système territorial côtier à caractère très dynamique.

CONCLUSION

L'approche résiliente et durable adaptée au territoire côtier de Dar Bouazza, ne doit pas être vue comme une sorte de refus du développement socioéconomique de l'espace urbain littoral de Dar Bouazza, qui se démarque actuellement par une dynamique urbaine tendancielle et elle ne doit être considérée comme une tournée vers le naturel. Entre les deux modèles, on doit chercher l'équilibre et approcher la résilience à la durabilité côtière pour promouvoir un aménagement territorial cohérent et durable. Dans le court terme, la résilience côtière paraît comme une solution opérationnelle pour les tissus engagés le long de la bande frontalière de l'espace urbain littoral, mais dans le long terme les acteurs doivent tirer des leçons de ne pas s'installer pied dans l'eau, cherchant uniquement les conditions de prospérité et de loisir. Dans ce sens, un minimum d'emprise de la zone tampon doit être respecté et accompagné par d'autres mesures correctives contre les courants de la houle et ce, pour éviter de reprendre les mêmes situations antérieures. Ceci pourrait se faire par la mise en place d'une coupure naturelle longeant la bande frontalière de la zone d'étude.

A travers cette étude, on pourrait dire qu'un plan de la résilience utilise un ensemble des moyens et mesures de temps court, dont le but est de rendre les séquences littorales vulnérables capables de reprendre leurs fonctions naturelles, dans un délai court. Par contre la durabilité côtière a pour objectif de préserver ces ressources naturelles fragiles pour la génération future et ce, par des mesures de longs termes y compris celles de la résilience, dont la finalité est de concevoir un territoire résilient et durable.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Djament-Tran, G., Le Blanc, A., Lhomme, S., Rufat, S. et Reghezza-Zitt, M., 2011, « Ce que la résilience n'est pas, ce qu'on veut lui faire dire », http://hal.archives-ouvertes.fr/index.php?halsid=76e05bhugp13m9cf0o0968d0e4&view_this_doc=hal-00679293&version=1, consulté le 15/03/2012, 31 p.
- Holling, C.S., 1973, "Resilience and stability of ecological systems", *Annual Review of ecology and systematics*, vol. 4, 23 p.
- Lhomme, S., Serre, D., Diab, Y. et Laganier, R., 2010, « Les réseaux techniques face aux inondations ou comment définir des indicateurs de performance de ces réseaux pour évaluer la résilience urbaine », *Bulletin de l'association des géographes français*, p. 487-502.
- Marie Toubin, Serge Lhomme, Youssef Diab, Damien Serre et Richard Laganier, « La Résilience urbaine : un nouveau concept opérationnel vecteur de durabilité urbaine ? », *Développement durable et territoires [En ligne]*, Vol. 3, n° 1 | Mai 2012, mis en ligne le 24 mai 2012, consulté le 11 octobre 2018. URL: <http://journals.openedition.org/developpementdurable/9208>; DOI: 10.4000/developpementdurable.9208
- Serre, D., 2011, *La ville résiliente aux inondations, méthodes et outils d'évaluation*, Mémoire d'HDR, Université Paris-Est, Marne-la-Vallée, 173 p.
- Villar C. et David M. (2014) : la résilience des territoires. Article publié lors du séminaire IT-GO Rosko 2014 (Roscoff, 22-23 mai 2014).
- Walker, B., Abel, N., Anderies, J. et Ryan, P., 2009, "Resilience, adaptability, and transformability in the Goulburn-Broken catchment, Australia", *Ecology and Society*, vol. 14, n° 1, 12 p.

MODELISATION DES SOLS LIQUEFIABLES PAR LA METHODE DES ELEMENTS FINIS AVANT ET APRES TRAITEMENT

Hajar BOUKHORB, Latifa OUADIF, Lahcen BAHY, Houssine EJJAAOUANI et Abdelouhad
GOURRI

Université Mohammed V, Ecole Mohammedia d'Ingénieurs, Laboratoire 3GIE,
10090, Rabat, Maroc. *hajar.boukhorb@gmail.com*

RESUME: La liquéfaction est un phénomène qui se produit dans les sols saturés lorsqu'ils sont le siège d'une action dynamique cyclique et suffisamment intense, telle que celle engendrée par un tremblement de terre de grande amplitude. Les conditions de non drainage au sein du sol font croître la pression interstitielle à tel point qu'elle peut compenser les contraintes totales en provoquant l'évanouissement des contraintes effectives, le sol se comporte alors comme un liquide et ne reprend plus les efforts de cisaillement. Des grandes déformations peuvent en résulter entraînant des conditions incompatibles avec les exigences requises pour la stabilité des ouvrages et infrastructures.

De nos jours, de nombreuses méthodes semi-empiriques ont été inventées dans le but d'évaluer le potentiel de liquéfaction à l'aide des résultats des essais in-situ. L'objectif de cet article est d'étudier le phénomène de liquéfaction en modélisant notre cas à l'aide de la méthode des éléments finis. L'étude est basée sur les données des essais de pénétration standard issue des résultats expérimentaux de la ville de Kenitra, connue par des dépôts sableux lâches, siège potentiel de liquéfaction en présence de la nappe.

Nous présentons et discutons les résultats de la modélisation numérique du terrain en place, avant et après traitement par colonnes ballastées, et comparons les résultats obtenus à ceux des calculs semi-empiriques.

Mots-clés: Liquéfaction – modélisant – méthode des éléments finis – colonnes ballastées.

MODELLING LIQUEFIABLE SOILS USING FINITE ELEMENT METHOD: PRE- AND POST- TREATMENT BY STONE COLUMNS

ABSTRACT: Liquefaction is a phenomenon that occurs in saturated soils when they are the site of a sufficiently intense and cyclical dynamic action, as caused by a large-scale earthquake. The undrained conditions increase the pores water pressure and can compensate the total stresses by causing the disappearance of the effective stresses, and then the soil behaves like a liquid and does not resume shear forces. Large deformations may result in conditions, which are inconsistent with the requirements for the stability of structures and infrastructures.

Nowadays, many semi-empirical methods have been invented to evaluate the liquefaction's potential using the in-situ test results. The objective of this paper is to study the phenomenon of liquefaction by modelling our case using the finite element methods. The study is based on the data of Standard Penetration Tests experimental results of the city of Kenitra, known by loose sandy deposits, which are potential seat of liquefaction in the presence of the aquifer.

We present and discuss the results of numerical modelling of the field in place, before and after treatment by stone columns, and compare the results obtained with those of semi-empirical methods.

Keywords: Liquefaction – modelling – finite element method – stone columns.

INTRODUCTION

La liquéfaction des sables constitue l'un des phénomènes les plus importants et complexes de la dynamique des sols lâches. Dans des zones fortement sismiques, ce phénomène est responsable de dommages excessifs au niveau des fondations des ouvrages.

Les outils numériques propres à la modélisation des différents phénomènes physiques, notamment le phénomène en question, présentent l'avantage d'être plus simple et plus facile à l'usage, du fait que tous les calculs complexes sont intégrés au modèle qui délivre un résultat dans un temps plus court que celui nécessaire au calcul détaillé empirique. Cependant, la complexité des cas réels vis-à-vis les approximations faites pour simplifier la modélisation rend discutable les résultats obtenus par traitement numérique.

L'objectif de cette étude est de modéliser le comportement des couches du sol soumises à un chargement cyclique, notamment en terme de liquéfaction, mais aussi la comparaison des résultats obtenus à ceux des calculs semi-empiriques, et ce avant et après traitement des sols par colonnes ballastées.

1. DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE

Le site étudié est localisé administrativement dans la province de Kenitra au nord-ouest du Maroc, région de Rabat-Salé-Kénitra. La figure 1, ci-après, présente la situation géographique du site du projet.



Fig.1. Localisation géographique de la zone d'étude Fig.2. Carte géologique de la zone d'étude

La ville de Kenitra fait partie du bassin du Gharb, situé dans les zones externes de la ceinture plissée du Rif. Ce bassin, couvrant une superficie approximative d'environ 7394Km², s'étend entre la ville de Sidi Kacem au sud - est et le village de Moulay Bouselham au nord - ouest. A l'ouest, il est limité par la ligne côtière Atlantique entre Moulay Bouselham et la ville de Kenitra.

Le substratum général des nappes aquifères est constitué par le toit de l'épaisse série marneuse du Miocène-Pliocène dite communément des « marnes bleues ». Au-dessus, suivant la position dans le bassin quaternaire subsident, se rencontrent un ou plusieurs niveaux perméables (grès - galets - sables - cailloutis) qui se prolongent et affleurent sur les bordures où les infiltrations d'eaux de pluies ou d'eaux superficielles les alimentent.

La proximité avec l'Atlantique a façonné le climat de la région, soumis à l'influence maritime, devenant continental à l'intérieur. Il est donc de type méditerranéen semi-aride à influence maritime ou continental océanique : doux, modéré et pluvieux en hiver, et humide et tempéré en été avec des journées de Chergui.

2. METHODE DES ELEMENTS FINITS

L'approche numérique utilisée pour modéliser les couches du terrain en place, notamment les sols liquéfiables, est la méthode des éléments finis, permettant ainsi de résoudre des équations aux dérivées partielles, et de représenter analytiquement le comportement dynamique de notre terrain vis-à-vis du phénomène de liquéfaction, à condition qu'il soit continu et décrit par une équation aux dérivées partielles linéaire.

La méthode des éléments finis fait partie des outils de mathématiques appliquées. Il s'agit de mettre en place, à l'aide des principes hérités de la formulation variationnelle, un algorithme mathématique discret permettant de rechercher une solution approchée d'une équation aux dérivées partielles, sur un domaine compact avec conditions aux bords et/ou dans l'intérieur du compact. On parle couramment de conditions de type Dirichlet ou Neumann ou Robin.

Dans la formulation d'éléments finis, l'équation de mouvement en réponse dynamique d'un système est exprimée comme suit :

$$[M]\{\ddot{a}\} + [D]\{\dot{a}\} + [K]\{a\} = \{F\}$$

Avec :

[M] = matrice de masse,

[D] = matrice d'amortissement,

[K] = matrice de rigidité,

{F} = vecteur des charges,

\ddot{a} = vecteur des accélérations nodales,

\dot{a} = vecteur des vitesses nodales, et

{a} = vecteur des déplacements nodaux.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Méthode semi-empirique

Les calculs semi-empiriques basés sur la méthode du NCEER de Youd et Idriss, avaient montrés que le phénomène de liquéfaction avait clairement marqué les horizons compris entre 5.5 et 11.5m avec un facteur de sécurité $F_s < 1.33$ (Tableau 1).

Tableau 1. Evaluation du risque de liquéfaction avant traitement

	Depth	Nspt	FC (%)	CSR	CRR (M=7,5)	CRR (M=6)	Fs
SPT 1	1,5	17	41	0,18	1,034	2,275	12,645
	3,5	8	41	0,177	0,192	0,422	2,38
	5,5	6	28	0,174	0,131	0,287	1,647
	7,5	4	21	0,172	0,094	0,207	1,208
	8,5	3	14	0,17	0,071	0,157	0,924
SPT 2	1,5	11	37	0,18	0,256	0,564	3,133
	3,5	17	32	0,177	0,675	1,484	8,378
	5,5	19	37	0,174	0,442	0,972	5,573
	10,5	8	16	0,163	0,107	0,236	1,453
	11,5	9	16	0,158	0,112	0,246	1,558
SPT 3	2,5	10	45	0,179	0,233	0,512	2,866
	4,5	11	35	0,176	0,225	0,495	2,815
	6,5	3	20	0,173	0,086	0,19	1,097
	8,5	8	11	0,17	0,099	0,217	1,277
	10,5	5	10	0,163	0,071	0,156	0,96
SPT 4	3,5	11	31	0,177	0,243	0,534	3,017
	5,5	2	23	0,174	0,083	0,183	1,049
	7,5	6	15	0,172	0,099	0,217	1,263
	9,5	4	13	0,168	0,074	0,163	0,975
	11,5	1	15	0,158	0,06	0,132	0,838
SPT 5	2,5	14	22	0,179	0,287	0,631	3,535
	4,5	12	16	0,176	0,19	0,418	2,38
	6,5	6	21	0,173	0,115	0,254	1,466
	9,5	9	9	0,168	0,097	0,212	1,267
	10,5	2	13	0,163	0,062	0,135	0,833

Les calculs semi-empiriques, basés sur la méthode de dissipation des surpressions interstitielles, ont montré également que le traitement, a pu carrément éliminer ce risque, en obtenant un rapport $ru = U / \sigma'v0 \leq 0.6$ (Tableau 2).

Tableau 2. Evaluation du risque liquéfaction après traitement

	Depth	EM (Mpa)	a	mv (Mpa-1)	Tad	ru max
SPT 1	7,5	1,5	0,33	0,22	1,35	<0,6
	8,5	6,3	0,5	0,08	3,75	<0,6
SPT 3	6,5	1,5	0,33	0,22	1,35	<0,6
	8,5	6,3	0,5	0,08	3,75	<0,6
	10,5	8,2	0,5	0,061	4,88	<0,6
SPT 4	5,5	1,3	0,33	0,25	1,17	<0,6
	7,5	1,5	0,33	0,22	1,35	<0,6
	9,5	8,2	0,5	0,061	4,88	<0,6
	11,5	4,3	0,33	0,077	3,88	<0,6
SPT 5	9,5	8,2	0,5	0,061	4,88	<0,6
	10,5	4,3	0,33	0,077	3,88	<0,6

3.2. Méthode des éléments finis

• **Avant traitement :**

En se basant sur la méthode des éléments finis, la modélisation des cinq sondages SPT, avant traitement, est présentée dans la figure suivante.

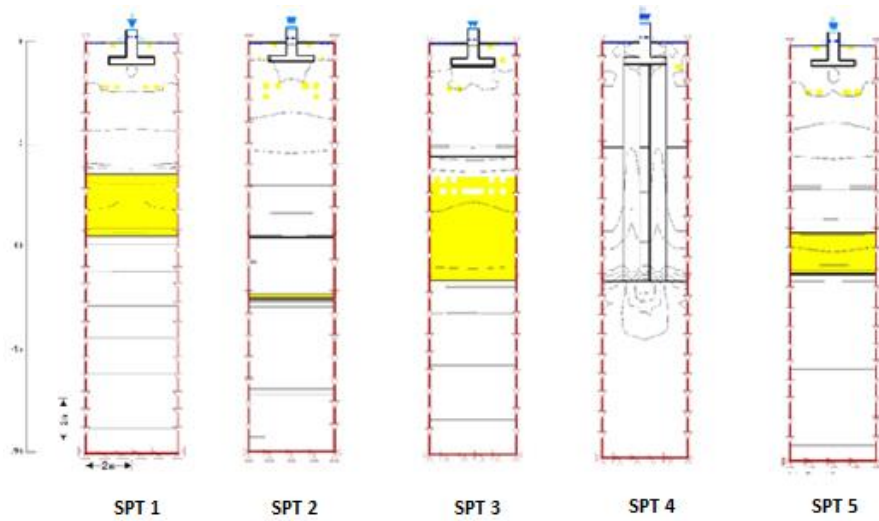


Figure 3. Visualisation de la liquéfaction dans les sondages avant traitement

L'horizon liquéfiable en jaune (Figure 3) correspond à la couche du sable fin légèrement argileux allant de 5.5 et 11.5m de profondeur.

Au voisinage de la semelle, on remarque la présence de certaines traces de liquéfaction. Ces traces sont négligées parce que la liquéfaction est un phénomène d'ensemble à l'échelle du mètre, et ne se présente pas de façon ponctuelle élémentaire.

• **Après traitement :**

Afin de vérifier l'apport en rigidité des colonnes ballastées à notre terrain, en termes de suppression de la liquéfaction, nous avons modélisé le réseau des colonnes ballastées mis au niveau des sondages.

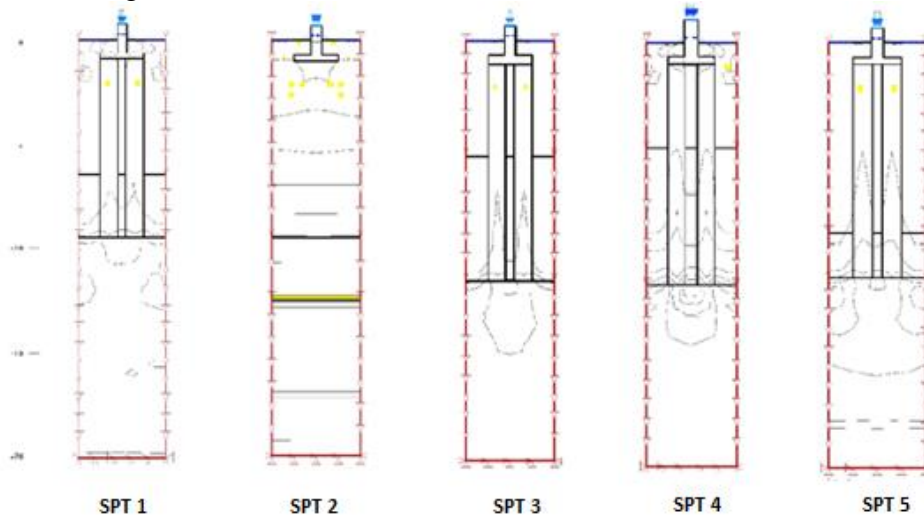


Figure 4 . Visualisation de la liquéfaction dans les sondages après traitement

Sur la figure 4, on remarque l'absence de la liquéfaction au niveau de toutes les couches rencontrées.

On déduit que l'introduction des colonnes ballastées a permis d'éviter le développement de la liquéfaction et de réduire de manière considérable la génération des pressions interstitielles au niveau des sondages.

CONCLUSION

Sur la base des données de cinq sondages SPT, les calculs semi-empiriques ont démontré qu'avant traitement, le terrain présentait un risque potentiel de liquéfaction, notamment au niveau de la couche des sables fin légèrement argileux, allant de 5.5 à 11.0m/TN. L'introduction des colonnes ballastées a directement permis d'atténuer la liquéfaction du terrain.

La modélisation numérique, par la méthode des éléments finis, nous a amené aux mêmes conclusions établies antérieurement par calculs semi-empiriques, ainsi nous avons repéré le même horizon liquéfiable de notre terrain une fois soumis aux efforts sismiques avant traitement. Aussi, l'introduction des colonnes ballastées a permis d'éviter le développement de la liquéfaction au niveau de tous les sondages.

Références bibliographiques

- BOUKHORB, H L.OUADIF, H. EJJAOUANI, A.GOURRI. *Traitement et renforcement des sables lâches de la ville de Kenitra* (Novembre 2019). Eaux, Déchets & Environnement (EDE7).
- BRAHIM BEN KABBOUR & LAHCEN ZOUHRI. *Hydrochemical and bacteriological features of the groundwater: southern border of the Rharb basin (Morocco) / Caractérisation hydrochimique et bactériologique des eaux souterraines: bordure méridionale du bassin du Rharb (Maroc)*, Hydrological Sciences Journal, 50:6, -1149 (2005), DOI: 10.1623/hysj.2005.50.6.1137.
- CARLIER Ph. *Ressources en Eau du Maroc - Tome 2 : Plaines et bassins du Maroc atlantique* (1971).
- GEO-SLOPE. *Dynamic Earthquake Modeling with Geostudio* (June 2017). <https://www.geoslope.com>.
- LAHCEN ZOUHRI, BRAHIM BEN KABBOUR , CHRISTIAN GORINI , BARBARA LOUCHE, JACK MANIA, BENOIT DEFFONTAINES and MOHAMED DAKKI. *The Hydrodynamism of the Coastal Aquifer System Belonging to the Southern Border of the Rharb Basin (Morocco)*. Journal of Applied Sciences, 5: 678-685 (2005).
- NEHAB N. *Modélisation numérique du comportement des colonnes ballastées dans les sols compressibles : cas des sols de la vallée de Bouregreg*, Décembre 2018. Laboratoire de Géophysique appliqué, de Géotechnique, de Géologie de l'ingénieur et de L'Environnement L3GIE, EMI, Université Mohammed V de Rabat.
- SEGHIR A. *Méthode des Eléments Finis* (2014), département de Génie Civil, Université Abderrahmane Mira – Bejaia, Algérie.
- ZOUHRI L., GORINI, C., LAMOUREUX, C., VACHARD, D., & DAKKI, M. *Interprétation hydrogéologique de l'aquifère des bassins sud-rifains (Maroc) : apport de la sismique réflexion*. Comptes Rendus Geoscience, 335(3), 319–326 (2003). DOI : 10.1016/s1631-0713(03)00052-x.

ETUDE DE L'INSTABILITE DE LA SERPENTINITE DANS LA MINE DE BOU-AZZER - ANTI-ATLAS DU MAROC

Anas DRIOUCH, Latifa OUADIF, Abdelaziz LAHMILI

Université Mohammed V , Laboratoire de géophysique appliquée de géotechnique de géologie de l'ingénieur et de l'environnement, Rabat, Maroc. *anasdriouch@research.emi.ac.ma*

RESUME: Les travaux souterrains de production du minerai de Cobalt, dans la boutonnière de Bou Azzer, sont confrontés à des problématiques géotechniques liées à l'instabilité de la serpentinite, par cause génétique des dépôts intimement liés aux massifs des serpentinites. Plusieurs techniques de soutènement ont été adoptées sans pouvoir vraiment palier aux instabilités, à grandes profondeurs et/ou lorsque la contrainte induite dans les ouvrages souterrains est très grande. Cette étude présente les caractéristiques rhéologiques des serpentinites, ses modes de risque en fonction du contexte géologique local, ainsi qu'une rétro-analyse du comportement de la serpentinite moyennant une caractérisation empirique.

Mots-clés: Risques souterrains – serpentinite – ouvrages souterrains – chute des blocs.

STUDY OF THE INSTABILITY OF THE SERPENTINITY IN THE BOU-AZZER MINE - ANTI-ATLAS OF MOROCCO

ABSTRACT: Underground work for the production of cobalt ore, in the Bou Azzer inlier, is faced with geotechnical issues linked to the instability of the Serpentinite, by genetic cause of the depositions closely linked to the serpentinite massifs. Several support techniques have been adopted without really being able to overcome instabilities, at great depths and / or when the stress induced in underground structures is very great. This study presents the rheological characteristics of serpentinites, its risk modes depending on the local geological context, as well as a feedback analysis of the behavior of serpentinite through empirical characterization.

Keywords: Underground risks – Serpentinite – underground structures – falling blocks.

INTRODUCTION

Actuellement, les mines souterraines connaissent sur le territoire national un développement sans précédent. Cette activité n'en reste pas moins libre de toute contrainte de stabilité et sécurité de personnel. De plus en plus des mines atteignent l'échelle kilométrique en profondeur. Aussi, une étude de stabilité et risques souterrains soutenue devient une composante vitale pour la durabilité de la mine au même titre que l'exploitation et l'extraction. Un accident du travail est défini comme un incident qui se produit dans le cadre du travail et conduit à un danger physique ou mentale comme une blessure, une maladie ou la mort (Cheremisinoff, 2000).

Les observations rapportées d'un groupe de travail international sur plusieurs mines qui doivent opérer dans des conditions de terrain difficiles, par exemple en Australie, la Perseverance Mine de BHP, Maggie Hays et Black Swan (Norilsk Nickel) et mine d'or Agnew (Gold Fields), font état de divers degrés des risques souterrains (Potvin and Hadjigeorgiou, 2008). Au Canada, la mine LaRonde d'Agnico-Eagle signalée par (Mercier-Langevin and Turcotte, 2007). Dans la plupart des cas, il est très coûteux d'éviter les risques souterrains par compression de terrain (Tyler and Werner, 2004). La caractérisation des massifs rocheux est un travail délicat, en effet il est possible de comprendre le comportement des roches intactes individuellement par des essais en laboratoire, mais il est difficile de les caractériser sur l'ensemble du massif rocheux qui a subi une histoire géologique complexe. Pour cela les méthodes de caractérisation des massifs rocheux, et la méthodologie d'analyse

des risques géotechniques souterrains, sera très utile pour mettre en œuvre des plans de traitement et mitigation.

1. CONTEXTE GÉOLOGIQUE

La boutonnière de Bou Azzer-El Graara (figure 1), constitue une zone charnière situé le long de l'accident majeur de l'Anti-Atlas dans sa partie centrale (CHOUBERT, 1947). Dans cette boutonnière l'affleurement des témoins des formations les plus anciennes, et la couverture paléozoïque. Les dernières subdivisions stratigraphiques d'après (Admou et al., 2011; Chèvremont et al., 2013.; Souleimani et al., 2013), signalé que le complexe ophiolitique de Bou Azzer présente tous les termes ophiolitiques. Il est constitué par les unités lithologiques suivantes : des péridotites mantelliques serpentinisées, recoupées par un essaim de filons basiques et ultrabasiques, des cumulats basiques et ultrabasiques, des gabbros et microgabbros, des basaltes et diabases spilitisés, et un ensemble volcano-sédimentaire, considéré aux Cryogénien supérieur (658 ± 9 Ma, feuille Aït Ahmane). La grande partie de cette ophiolite affleure au sein de la feuille Aït Ahmane.

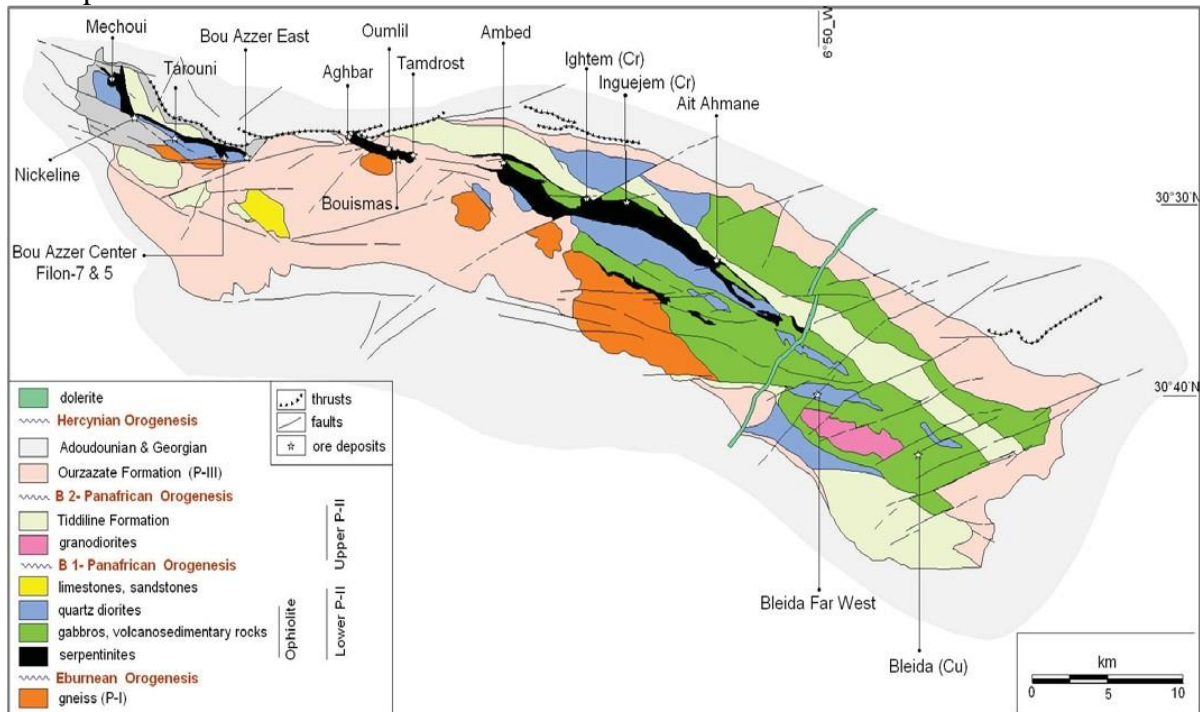


Figure 1. Localisation des mines de production dans la boutonnière de Bou Azzer (redrawn after LEBLANC, 1975; Oberthür et al., 2009)

Le modèle génétique des serpentines dans la boutonnière de Bou-Azzer (figure 2), résultent de la serpentinitisation totale des roches ultrabasiques (LEBLANC, 1975), du complexe ophiolitique d'âge Néoprotérozoïque inférieur, et se distinguent par leur couleur vert jaune et leur aspect luisant. Les concentrations cobaltifères sont de type filonien hydrothermal et sont liées spatialement et génétiquement au massif rocheux de la serpentinite. C'est donc l'altération hydrothermale de ces serpentines qui a permis la libération du Cobalt (JOURAVSKY, 1952).

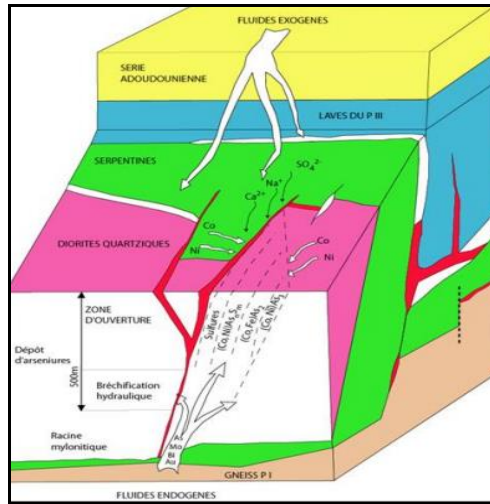


Figure 2. Modèle génétique (MAACHA et al., 2013)

2. LES MODES DE RISQUE DANS LES EXCAVATIONS SERPENTINEUX

La description qualitative de comportement du massif serpentiniteux des excavations est très influencé par le degré de fracturation, et le profondeur. Les mécanismes responsables des risques d'instabilité et les situations géo-structurale, celles qui peuvent amener à des chutes de blocs, et des accidents dans le milieu de travail. A la base des données empirique propre à la mine de Bou Azzer issue des retours d'expériences permet d'identifier grossièrement trois modes de rupture dans les massifs de Serpentine (LPEE Magazine., 2016) :

- Des glissements de blocs à partir des parements dus au gonflement local au niveau de la matrice rocheuse en contact d'un milieu humide ;
- Des chutes de blocs à partir de la couronne dans des excavations théoriquement stables, sous l'effet de la gravité, dus au réseau de fracturation dans le terrain ;
- Des éboulements ou découronnements lorsque le rayon hydraulique augmente, ce mode de rupture est contrôlé par les contraintes résiduelles dues à la zone de détente.

Les modes de risque par chute des blocs sont présents quelle que soit l'orientation des fractures majeures, plusieurs cas de représentation dans les figures suivant (LPEE Magazine., 2016):

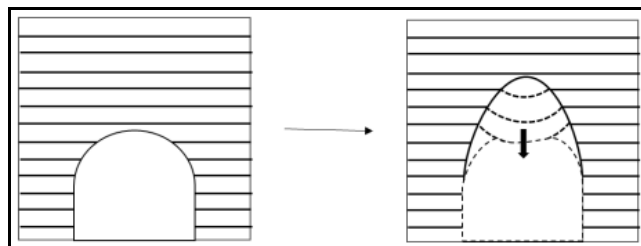


Figure 3. Affaiblissement du toit dans une galerie en pleine Serpentine

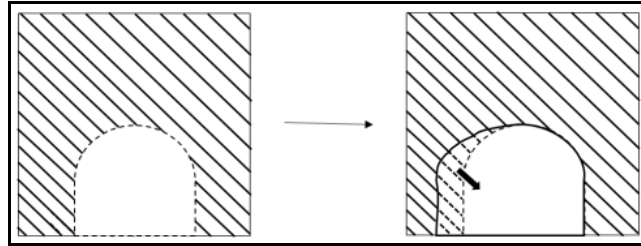


Figure 4. Arrachement de blocs du côté parement

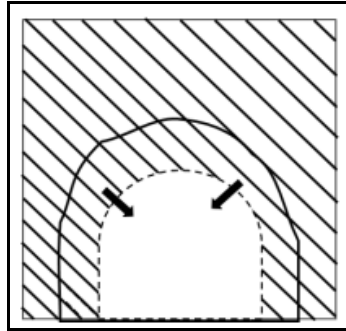


Figure 5. Eboulement la zone de détente dans tous les sens.

3. MÉTHODOLOGIE D'ÉTUDE

La méthodologie la plus adaptée pour cette cas d'étude à savoir la collecte des données à partir des levés des sondages et fracturations souterrains, ainsi une application de caractérisation empiriques par les systèmes de classification, pour une évaluation qualitative des massifs rocheux, et enfin la conception des plans qui va guider la prédiction des risques par chute des blocs, ainsi d'améliorer la conception et calibrer les modèles géotechniques (facteurs de sécurité, déplacement, déformation).

4. RÉSULTATS ET DISCUSSION

4.1. LEVÉS DE FRACTURATION

La caractérisation structurale a été basé sur des levés in-situ, dans les ouvrages souterrains à la mine de Bou Azzer, dont l'ensemble est 200 discontinuités ont été mesuré, selon la méthode suggéré par l'ISRM (International Society for Rock Mechanics; 1981). Les massifs serpentineux apparaissent très lisses et affectés par un réseau de fractures intense et anisotrope, ce qui coïncide avec les résultats des tracés de contour et de rosette (Figure 6). Les résultats obtenus montrant au minimum l'existence de trois familles de discontinuité, la plus dominant ont été identifiés dans la zone d'étude, avec des joints de tension et de cisaillement. Cela montre que le massif est caractérisé par un degré de fracturation importante, et la schistosité est l'un des éléments structuraux le plus représenté dans la roche.

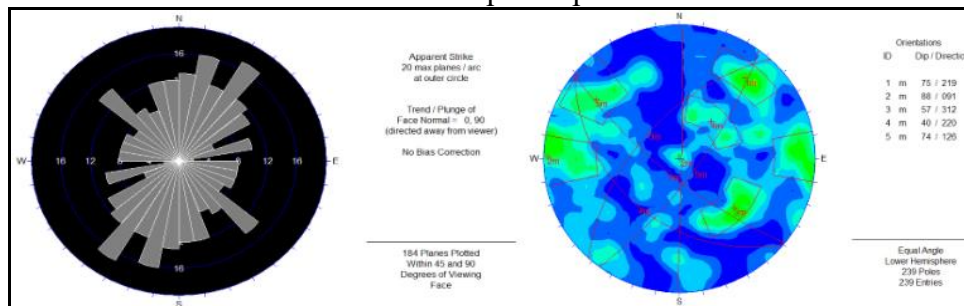


Figure 6 . Résultats de projection stéréographie des fracturations souterraines à la mine de Bou Azzer.

4.2. CLASSIFICATION GÉOMÉCANIQUE

Les massifs rocheux serpentiniteux à la mine de Bou Azzer, ont été caractérisés par des levés des sondages. Ils sont classifiés dans une catégorie de très mauvaise à extrêmement mauvaise qualité selon la classification du (DEERE, 1964). La valeur de RQD le plus fréquent est de 27%, indiquant que les roches dans cette région sont fortement déformées et de faible résistance.

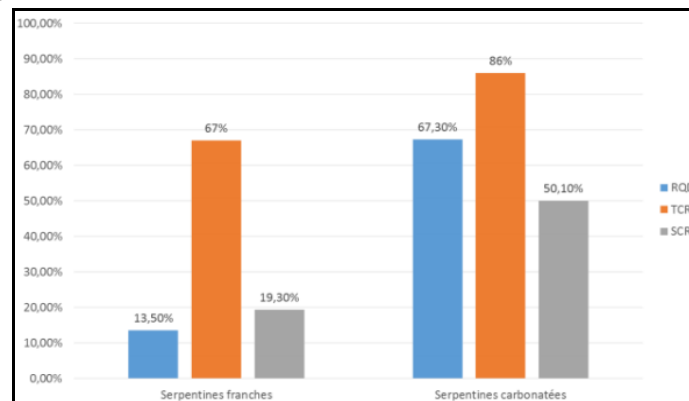


Figure 7. Densité de fracturation des serpentinites franches et carbonatées à la base des sondages géologiques carottés.

CONCLUSION

Les modes des risques souterrains à la mine de Bou Azzer par chutes des blocs, nécessite des études géotechniques approfondis par une modélisation géotechnique, dans l'objectif de faire des modèles de prédiction, afin de minimiser l'impact potentiels sur le plan économique et social, et rendre l'environnement minière en tout sécurité – priorité à la sécurité du personnel. Ainsi de mettre en place des stratégies méthodique pour l'évolution de la conception et l'atténuation des risques.

Références bibliographiques

- Admou, H., Razin, P.H., Egal, E., Youbi, N., Soulaïmani, A., Blein, O., Chevremont, P.H., Gasquet, D., Barbanson, L., Bouabdelli, M., 2011. Notice explicative, carte géol. Maroc (1/50 000), feuille d'At Ahmane. Notes Mem. Serv. géol. Maroc 533.
- Cheremisinoff, N.P., 2000. Practical Guide to Industrial Safety: Methods for Process Safety Professionals. CRC Press.
- Chèvremont, P., Blein, O., Razin, P., Baudin, T., Barbanson, L., Gasquet, D., Soulaïmani, A., Admou, H., Youbi, N., Bouabdelli, M., n.d. ANZAR-Conseil, 2013. Notice explicative carte géol. Maroc (1/50 000), feuille Bou Azzer. Not. Mém. Serv. Géol. Maroc 535.
- CHOUBERT, G., 1947. L'accident majeur de l'Anti-Atlas. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris 224, 1172–1173.
- DEERE, D.U., 1964. Technical description of rock cores for engineering purpose. Rock Mechanics and Engineering Geology, 1, 17–22.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1981. Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. Rock characterisation, testing and monitoring–ISRM suggested methods 319–368.

- JOURAVSKY, G., 1952. Cobalt et nickel, in «Géologie des gîtes minéraux marocains». Notes et Mém. Serv. géol. Maroc 92.
- Laboratoire Public d'Essais et d'Etudes | LPEE Magazine N° 74/2016 [WWW Document], n.d. URL <http://www.lpee.ma/carrefour-communication/publications/lpee-magazine-n%C2%B0-742016> (accessed 4.11.21).
- LEBLANC, M., 1975. Ophiolites precambriennes et gites arsenies de cobalt : Bou Azzer (Maroc). These Doctorat d'Etat, Faculte des Science Paris VI, Memoires Centre Geologique et Geophysique.
- MAACHA, L., ENNACIRI, O., EL GHORFI, M., SAQUAQUE, A., ALANSARI, A., SOULAIMANI, A., n.d. 2.4-Le district à cobalt, nickel et arsenic de Bou Azzer (Anti-Atlas central).
- Mercier-Langevin, F., Turcotte, P., 2007. Expansion at depth at Agnico Eagle's LaRonde Division-meeting geotechnical challenges without compromising production objectives. Challenges in Deep and High Stress Mining 189–195.
- Oberthür, T., Melcher, F., Henjes-Kunst, F., Gerdes, A., Stein, H., Zimmerman, A., Ghorfi, M.E., 2009. HERCYNIAN AGE OF THE COBALT-NICKEL-ARSENIDE-(GOLD) ORES, BOU AZZER, ANTI-ATLAS, MOROCCO: Re-Os, Sm-Nd, AND U-Pb AGE DETERMINATIONS. Economic Geology 104, 1065–1079. <https://doi.org/10.2113/econgeo.104.7.1065>
- Potvin, Y., Hadjigeorgiou, J., 2008. Ground support strategies to control large deformations in mining excavations. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy 108, 397–404.
- Souleimani, A., Egal, E., Razin, P., Youbi, N., Admou, H., Blein, O., Barbanson, L., Gasquet, D., Bouabdelli, M., Anzar, C., 2013. Notice explicative carte géologique Maroc (1/50 000), feuille Al Glo'a.
- Tyler, D.B., Werner, M., 2004. A case study of ground support improvement at Perseverance Mine, in: Proceedings of the Fifth International Symposium on Ground Support in Mining and Underground Construction, E. Villaescusa and Y. Potvin (Eds). pp. 55–63.

Axe 2
Actions anthropiques et
évolution de la dynamique
environnementale

RECONQUETE DE LA VALLÉE URBAINE INONDABLE DE L'OUED EL MEHRAZ DANS L'AGGLOMÉRATION DE FÈS

⁽¹⁾ Noura RASSAM, ⁽²⁾ Younes EL ALAMI & ⁽³⁾ Abdelghani HOUARI

Nourassam2@gmail.com , younes.elalami1988@gmail.com , gartet.abdelghani@gmail.com

⁽¹⁾ Etudiante-chercheuse en doctorat en Géographie, ⁽²⁾ Docteur-chercheur en Géographie, ⁽³⁾ Professeur-chercheur en Géographie- Aménagement
*Equipe de Recherche « Milieux Naturels, Aménagement et Dynamiques Socio-spatiales »
Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Saïs-Fès, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah*

Résumé: Dans l'agglomération de Fès, les catastrophes naturelles liées aux risques hydrologiques, aggravées par le processus d'urbanisation non contrôlée, les défaillances de la législation et de la réglementation de l'urbanisme, et l'absence de la maturation en matière de gestion et de prévention des risques. Ceci, concorde à l'augmentation de la vulnérabilité de la ville aux inondations et provoque une inquiétude actuelle et future chez la population, les aménageurs et les décideurs. Cette problématique est devenue cette dernière décennie – avec le retour des séquences pluviales concentrées et des débits importants – sujette pour de nombreuses recherches, notamment en cindynique. Le but, étant d'étudier l'aléa et la vulnérabilité au risque d'inondation, permet d'évaluer les mesures de protection et les politiques d'aménagement hydraulique, et aboutir aux réflexions dans le domaine de la gestion et de la prévention contre ces inondations.

Mots clés : Inondations - vulnérabilité- d'aménagement hydraulique- prévention- Fès.

RECLAIMING THE FLOOD-PRONE URBAN VALLEY OF WADI MEHREZ IN THE AGGLOMERATION OF FEZ.

Abstract: The agglomeration of Fez suffers natural disasters related to hydrological risks, aggravated by the process of uncontrolled urbanization, the failures of the legislation and regulation of urban planning and the lack of maturity in the management and prevention of risks. This concurs to the increase of the vulnerability of the city to the floods and provokes a present and future concern at the population, the developers and the decision makers. This problem has become in the last decade - with the return of concentrated rainfall sequences and high flows - the subject of numerous researches, especially in cindynics. The aim, being to study the hazard and the vulnerability to the risk of flooding, allows to evaluate the protection measures and the hydraulic development policies, and to lead to reflections in the field of management and prevention against these floods.

Keywords: floods- vulnerability -hydraulic development- prevention- Fez.

Introduction

La forte pression démographique et l'expansion urbaine que connaît la ville de Fès et sa vulnérabilité au risque d'inondation exige une pensée nouvelle avant toutes tentatives d'aménagement. La gestion rationnelle pour restaurer l'équilibre environnemental exige la prise en compte de la gestion préventive du risque, et l'amélioration du cadre de vie de la population.

L'interaction entre les différentes composantes du risque met le paysage urbain en déséquilibre fortement remarquable au niveau de l'agglomération de Fès, d'où la nécessité d'introduire la notion du risque d'inondation dans les documents d'urbanisme : le Plan d'Aménagement (PA), et le Schéma Directeur d'Aménagement Urbain (SDAU), et d'élaborer une réglementation spécifique aux zones exposées aux risques d'inondation (PER), où sont

figées les lois de l'eau (10-95 et 36-15), de l'urbanisme (12-90 et 25-90) et de l'environnement (homologuées en 2003 et 2011).

1- Les crues urbaines dans le bassin de l'Oued El Mehraz

1-1- Contexte géomorphologique du BV de l'Oued El Mehraz :

L'oued El Mehraz draine une superficie de 137,70 Km², avec une longueur du talweg de 34 Km et une densité de drainage de 1,33. Il est limité à l'Est par le bassin versant de l'oued Boufekrane et à l'ouest par le bassin de l'oued Himmer. Sa partie amont se situe dans la tranche altitudinale 900-1200 m qui domine le Dir de Sefrou, là où oued El Mehraz incise des ravins qui confluent vers le cours principal. À l'échelle du bassin la partie amont présente des pentes fortes mais sur la plaine de Saïs les terrains de faible pentes (< 5%) représentent 62%, avec un relief assez faible: ce qui engendre le développement des chenaux à méandres qui sapent les berges et les bas-versants dans une vallée largement évasée.

Le régime est pluvial avec un écoulement périodiquement alimenté par des sources et la nappe superficielle. Parmi les régimes des sous-bassins de Fès, celui de l'O. El Mehraz est considéré comme étant le plus dangereux du point de vue de l'aléa inondation. Sur le plan géologique, s'étendent les marnes miocènes, les calcaires fluvio-acustres et les alluvions récentes de l'oued.

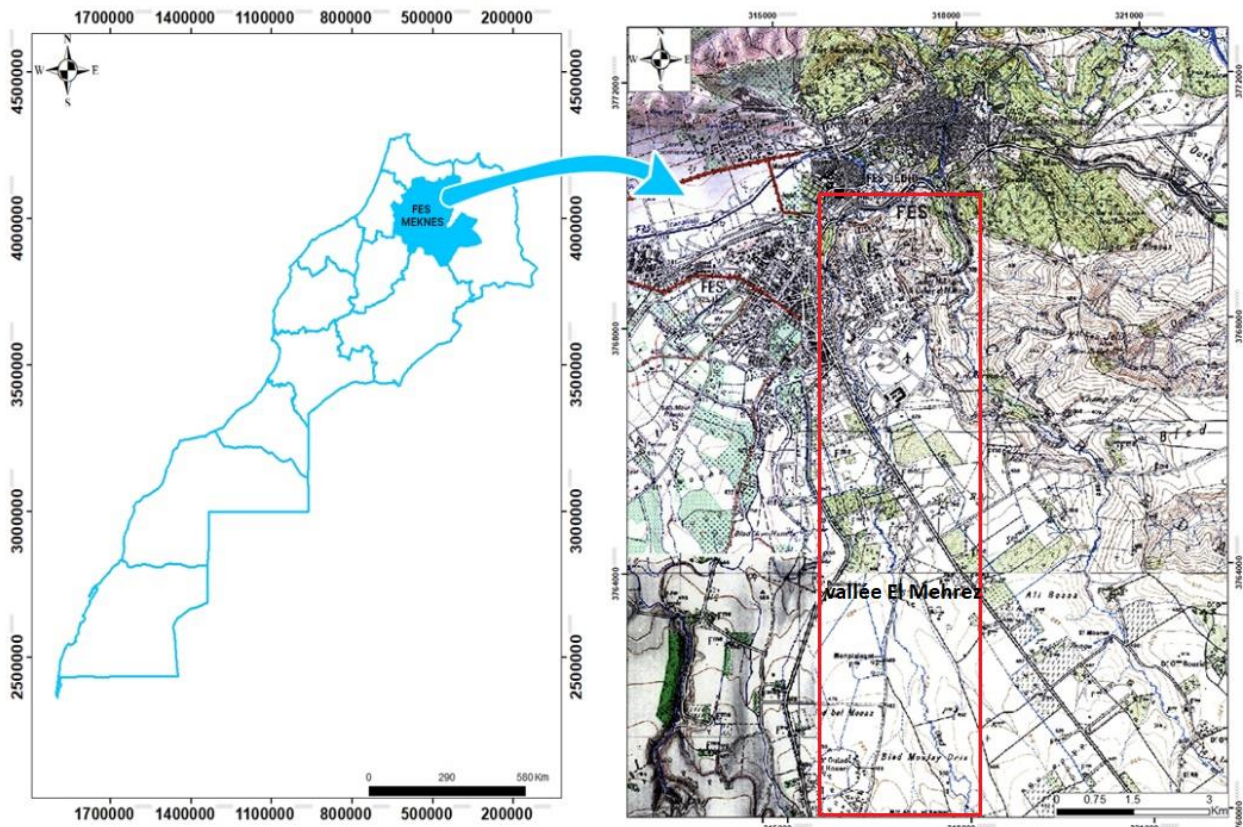


Figure 1 : Situation géographique de la ville de Fès et étendue du bassin versant de l'Oued El Mehraz

1-2- Régimes pluviométrique et hydrologique :

Le bassin versant se situe dans un contexte climatique méditerranéen à influence continentale. La saison sèche s'installe de juin à septembre, dont juillet et août sont les deux

mois les plus secs avec respectivement 0,5 et 1,3 mm. La saison pluvieuse commence d'octobre jusqu'au mois d'avril. Novembre est le mois le plus pluvieux avec 65 mm. Par ailleurs, il est important de signaler que la région connaît des orages fréquents en été qui génèrent des crues excessivement violentes.

Les caractéristiques physiques du bassin versant telles que la géomorphologie, la topographie, la géologie et les précipitations ; et ce, en plus des actions anthropiques qui contribuent à la genèse et l'évolution des crues en milieux urbains dans l'agglomération de Fès.

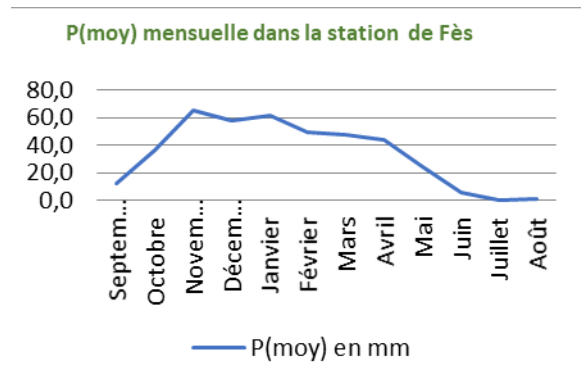


Figure 2: Précipitations moyennes mensuelles dans la station de Fès entre

1-3- Les inondations historiques dans la ville de Fès :

L'oued El Mehraz avait connu dans le passé plusieurs cas d'inondation qui ont causé des dégâts économiques et humains. Les études précédentes (Gartet, 2007 ; Lasri, 2015), ont analysé quelques crues qui ont marqué l'histoire de cette vallée et de la population des quartiers endommagés. Celles survenues les 26 Septembre 1950, 13 Octobre 1989 et 28 Septembre 2008 sont surtout les plus impressionnantes. Nous examinons ici les impacts relatifs à ces crues :

- **Inondation du 26 Septembre 1950** : sur la trajectoire de l'oued El Mehraz, les quartiers Montfleuri I et II et Sidi Brahim sont les plus endommagés par la crue. Selon la Direction des Travaux Public (1951), le débit de pointe a été estimé à $500\text{m}^3/\text{s}$ à l'entrée de Montfleuri. Les maisons et les ponts traversés par l'Oued El Mehraz ont été démolis mais grâce à la digue de Dhar El Mehraz la médina de Fès n'a heureusement pas subi de grands dégâts.
- **Inondation du 13 Octobre 1989** : selon la DRH (1989), le débit de pointe a été estimé à $150\text{m}^3/\text{s}$; ce jour-là, la crue a surpris la population car elle a pris deux épisodes : la première à 20h, et la deuxième à 3h. La zone fortement sinistrée était au niveau du pont de la route de Séfrou, et les maisons situées sur la rive droite, ont été envahies par les eaux et la boue. Néanmoins, la digue a toujours joué son rôle de protecteur de la médina de Fès.
- **Inondation du 28 Septembre 2008** : cette crue a touché les quartiers Montfleuri I et II et Sidi Brahim, Narjiss et Lido. Malgré l'existence du barrage Moulay Arafa et les canaux d'évacuation des crues, les zones traversées par oued El Mehraz ont été gravement inondées. Aujourd'hui encore, la ville souffre de l'aléa inondation puisque les crues de 2010, 2011, 2013, 2016, 2017 et 2020 ont constitué d'importantes menaces.



Source de l'image : SAS Planet + limite des crues définies avec ArcMap 10.2

Figure 3 : carte représentative des limites des crues de 1950 ,1989 et 2008 selon l'étude historique et le travail du terrain

2- L'extension urbaine dans l'espace fluvial de l'Oued El Mehrz et les inondations

2-1- L'extension urbaine dans l'espace fluvial de l'Oued El Mehrz

La situation de la ville se trouve dans la confluence des vallées qui drainent les sous bassins versants de l'Oued Fès. Ces oueds constituent un risque majeur en matière d'inondation qui menace des zones urbaines. Cette ville qui a constitué depuis toujours un pôle attractif à la population des zones rurales. L'augmentation issue de l'immigration associée à l'explosion démographique a contribué à une grande expansion urbaine concentrée le long des vallées et aux bords des oueds (Tabl. 1) ; ce qui augmente le risque d'inondation,

d'autant plus, à n'importe quel évènement pluvial des crues se produisent dans les quartiers implantés dans la vallée.

Tableau 1 :
Évolution des superficies du périmètre urbain à Fès.

Périodes	Superficie (en ha)
Avant 1912	300
1932	1.564
1948	1.628
1952	2.538
1954	2.678
1960	3.878
1986	6.550
1995	7.421
1997	9.300
2002	10.101
2007	16.000

Source : DRH, SDAU (1991) et AUSF (2005).

2-2- Les aménagements réalisés : réussites et défaillances

Dans le but de lutter contre les inondations, plusieurs projets d'aménagement ont été réalisés dans la vallée de l'oued El Mehraz; les principaux sont:

- Les ouvrages de rétention:
 - ✓ La digue de Dhar El Mehraz qui protège la médina de Fès des crues.
 - ✓ Le barrage Moulay Arafa, réalisé en 1993 avec une capacité de 0,62 million de m³, accompagné d'un canal de déviation des eaux déversées vers l'oued Boufekrane.
- Les ouvrages de franchissement (ponts et ponceux) bien qu'ils soient sous-dimensionnés.
- Des canaux d'évacuation des eaux pluviales et des eaux usées.
- Des ouvrages à ciel ouvert ou enterrés.

Mais les dernières manifestations et les études de diagnostic menées sur la situation actuelle du système hydrographique de la ville de Fès, ont montré les défaillances suivantes :

- La faible capacité de transit des eaux dans la vallée;
- L'insuffisance de la capacité des ouvrages de protection face à l'abondance des précipitations concentrées;
- Le faible dimensionnement des ouvrages hydrauliques;
- Le comblement des oueds par des déchets et le manque d'entretien;
- L'imperméabilisation des sols et l'augmentation du taux du ruissellement urbain;
- L'augmentation de la vitesse de saturation des sols qui entraîne la diminution du temps de concentration.

D'une manière générale, l'urbanisation non contrôlée, les aménagements non adaptés et le non-respect du domaine public hydraulique constituent les principaux facteurs anthropiques dans le déclenchement des crues rapides et les submersions rapides.



Photos de quelques ouvrages de protection sur Oued El Mehrz au niveau du quartier Montfleuri prises le 14/04/2021.

3- Aspect juridique et inondation

La délimitation du domaine public de l'eau, la gestion des risques liés à l'eau et son impact sur l'environnement ont été traités dans les deux lois liées à l'eau (10-95 et 36-15), à l'urbanisme (12-90 et 25-90) et à l'environnement (homologuées en 2003 et 2011).

Le premier chapitre de la loi n° 10-95 liée à l'eau se base sur l'intégration des lits des cours d'eau permanent et non-permanents, ainsi que les lits des torrents dans lesquels l'écoulement des eaux laisse une trace apparente. Et, de même les berges jusqu'aux niveaux atteints par les eaux des crues et les francs-bords à partir des limites des berges.

La loi n° 36-15 liée à l'eau basée sur la gestion des risques liés à l'eau interdit d'établir n'importe quel ouvrage dans les zones submersibles qui peut gêner l'écoulement des eaux sauf pour la protection des habitants et des propriétés privées. Dans la même loi, chaque agence du bassin hydraulique doit établir l'atlas des zones inondables qui délimite ces zones selon trois niveaux de risque d'inondation : faible, moyen et fort. Elle doit mettre en place des systèmes intégrés de prévision et d'alerte de crues au niveau des cours d'eau générateurs d'inondation.

La loi n° 12-90 relative à l'urbanisme détaille la réalisation des plans de zonage et les plans d'aménagement, parmi ces objectifs la délimitation des zones dans lesquelles toute construction est interdite et les règles d'utilisation des sols. L'article 8 de la loi n° 25-90 relative aux lotissements, groupes d'habitation et morcellements insiste sur le fait que le lotissement réalisé doit satisfaire aux réglementations en vigueur, notamment aux dispositions des plans de zonage et des plans d'aménagement.

La loi n° 11-03 relative à la protection et à la mise en valeur de l'environnement reste incomplète. Car, dans l'article 49, relatif aux instruments de gestion et de protection de l'environnement, le risque n'est signalé que « Lorsque la réalisation des aménagements, d'ouvrages ou de projets risquent – en raison de leur dimension ou de leur incidence sur le milieu naturel, de porter atteinte à l'environnement – le maître d'ouvrage ou le demandeur de l'autorisation est tenu d'effectuer une étude permettant d'évaluer l'impact sur l'environnement du projet et sa compatibilité avec les exigences de protection ».

On constate que la notion du risque d'inondation reste encore négligée dans les textes juridiques. Seule l'interdiction d'établir des ouvrages sur les zones submersibles et dans le domaine public de l'eau ; ce qui reflète encore l'insouciance du danger des inondations dans les espaces urbains marocain.

Conclusion

Les crues et les inondations de l'Oued El Mehraz à Fès paraissent donc redoutables, du fait de leur soudaineté et leur violence, et des dégâts engendrés. Les conditions de propagation des crues sont extrêmement favorables en ces milieux urbains ; car, les lits fluviaux sont fortement anthropisés et intensément convoités, et le concept de vallée naturelle n'y est presque plus.

Les principales catastrophes relatives aux risques produits depuis 1950 renseignent sur le rôle de l'homme dans l'aggravation du phénomène. Malgré la réalisation des ouvrages hydrauliques de protection (barrage et canal de déviation), le risque persiste. Aujourd'hui encore, l'urbanisation de la vallée à l'entrée de la ville reprend le même esprit d'occupation du sol qu'avant la promulgation des lois de l'urbanisme et de l'aménagement (lois 12-90 et 25-90). L'usage de la vallée et l'absence de la sécurité hydrique, le non-respect des lois de l'urbanisme, de l'environnement et de l'eau, la rendent fortement exposée au risque d'inondation surtout avec le retour des périodes humides et les fortes précipitations.

En matière de prévention, on peut cependant conclure que *rien ne va plus*, et il est donc urgent d'intégrer la notion de risque d'inondation dans les documents d'aménagement, avec nécessité de réalisation des Plans d'Exposition au Risque d'Inondation PER-I et Plan de Prévention du Risque d'Inondations PPRI et leur intégration dans les documents des PA et du SDAU de Fès.

BIBLIOGRAPHIE :

- AKDIM (B.), GARTET (A.), LAAOUANE (M.), AMYAY (M.) – 2013: Risques d'inondation et stratégies d'atténuation dans la banlieue sud-est de la ville de Fès (Maroc) ».
- BALLAIS (J-L.), GARRY (G.) & M. MASSON (M.) – 2005 : Contribution de l'hydrogéomorphologie a l'évaluation du risque d'inondation: le cas du midi méditerranéen français.
- GARTET (A.) – 2007 : Risques naturels, anthropiques et technologiques dans l'agglomération de Fès et son arrière-pays : aménagement, gestion et prévention. Thèse Doct d'État, FLSH Saïs-Fès.
- HENRY (J-B), MATGEN (P.), THOLEY (N.), PFISTER (L.), HOFFMANN (L.) & DE FRAIPONT (P.): Vers une intégration des techniques spatiales pour la gestion des inondations.
- HOUARI (A.), RESSAM (N.) & ALAMI (Y.) – 2019 : Le devenir des vallées urbaines face aux défaillances de gestion des crues: analyses appliquées dans quelques agglomérations urbaines au Maroc. Acte du colloque national « Gouvernance territoriale et outils de gestion du territoire », Oujda, Université Med 1er, pp: 3-15.
- LAKRIKBA (E.) – 2015: La prévention des risques d'inondation à l'aide de la gestion foncière au Maroc.
- LASRI (M.) – 2015: Les inondations menaçant l'agglomération de Fès : De l'étude hydrologique et du risque à la cartographie des dangers d'inondation. Thèse Doct, FLSH Saïs-Fès, 265 p.
- LUGAN (B.) – 2000: Fès, capitale culturelle du Maroc.
- LI-KHODJA (A.) – 2010: Aménagement urbain: la problématique de l'espace vert public dans la ville de Constantine.
- RASSAM (N.) AMYAY (M.) & HOUARI (A.) – 2021: La perception des risques naturels par la population: cas de certains quartiers de la ville de Fès. Actes du Colloque « Bassin du Sebou: Espace, Société et Patrimoine, pp: 69-79, Taza.
- REYNARD (E.), WERREN (G.), LASRI (M.), OBDA (K.), EL KHALKI (Y.) – 2013 : Cartes des phénomènes d'inondation de deux bassins versants marocains: problèmes méthodologiques.

DYNAMIQUES ENVIRONNEMENTALES ET PAYSAGERES DES ECOSYSTEMES URBAINS AU MAROC -CAS DU GRAND NADOR

EL-AMRANI Hassan et TRIBAK Abdellatif

Ecole Nationale d'Architecture de Fès et Faculté des lettres et sciences humaines saï Fès

Elamrani.enafes@gmail.com

Résumé: Dans un temps où les paysages ruraux marocains gardent en général leur identité et leurs particularités naturelles, les écosystèmes urbains subissent des dynamiques environnementales et paysagères sans précédent sous influence des changements globaux et des besoins sociétaux. Par suite d'une demande sociale de plus en plus pressante pour les terrains viabilisés au sein des milieux urbains, les écosystèmes urbains perdent de leur qualité environnementale et deviennent hostiles quant au confort de l'habitat et l'épanouissement social. Spatialement, ces espaces se résument en des masses grisâtres de béton, beaucoup moins attractives, descentes et agréables à vivre; ils constituent une source d'angoisse et de répulsion de plusieurs catégories sociales. Le but de cette intervention est de caractériser les dynamiques des paysages et des écosystèmes au sein du territoire urbanisé du Grand Nador et de s'arrêter sur les conséquences de l'insertion des enjeux environnementaux dans les projets et les outils d'aménagement, dans un objectif de gestion, de préservation et de restauration des écosystèmes sociaux.

Mots clés: Agglomération de Nador; Ecosystème urbain; Dynamiques paysagères, services socio-écologiques.

Abstract: At a time when Moroccan rural landscapes generally keep their identity and their natural peculiarities, urban ecosystems are undergoing unprecedented environmental and landscape dynamics under the influence of global changes and societal needs. Due to an increasingly pressing social demand for serviced land in urban areas, urban ecosystems lose their environmental quality and become hostile to housing comfort and social development. Spatially, these spaces are summed up in masses of grayish concrete, much less attractive, descents and pleasant to live in; they are a source of anguish and repulsion from several social categories. The objective of this intervention is to characterize the dynamics of landscapes and ecosystems within the urbanized territory of Grand Nador and to focus on the consequences of taking environmental issues into account in development projects and tools, with a view to management, preservation and restoration of ecosystems.

Keywords: Agglomeration of Nador; Urban ecosystem; Landscapes; dynamics; socio-ecosystem services.

Introduction

Durant les 50 dernières années, avec la croissance démographique et économique les écosystèmes ont été modifiés plus rapidement qu'à n'importe quelle autre époque comparable de l'histoire de l'humanité. Pour caractériser une telle cohabitation entre les espaces construits et la nature, le recours aux outils et approches des sciences de l'homme a été plus justifié. Dans ce sens nous allons assister à l'application des concepts et des méthodes de l'écologie générale à la compréhension du fonctionnement et des transformations des milieux urbains. L'objectif consiste à mieux connaître les relations entre les diverses dimensions (humaines, sociales, matérielles, écologiques, etc.) du fonctionnement et de l'évolution des systèmes urbains aux différentes échelles pour comprendre et agir pour la ville durable (Coutard., 2010). Dans l'objectif de concrétiser des solutions d'ordre pratique, la nouvelle discipline de l'écologie urbaine a mis en place plusieurs méthodes et approches hybrides entre le social et l'environnemental afin d'aider à améliorer les connaissances pour aider au mieux les sociétés

et les gestionnaires, face aux enjeux des dynamiques environnementales et paysagères dans une perspective de gestion raisonnée, patrimoniale et durable de l'environnement urbain.

L'agglomération de Nador, au Nord Est du Maroc, vit au rythme de diverses dynamiques qui touchent les paysages et les écosystèmes, en provoquant des discontinuités paysagères marquantes. Ces dernières sont générées par des aménagements qui modifient radicalement les paysages suite à la mise en place des projets structurants tels : le port, les projets touristiques, les projets d'habitat, ainsi que l'activation des projets d'extraction des ressources naturelles tels que les projets de carrières, ou encore les coupes et rases en forêts pour des larges superficies substituées par l'habitat non réglementaire. Le but du présent papier est d'analyser les dynamiques des paysages et des écosystèmes au sein du territoire urbanisé du Grand Nador à la lumière des grandes transformations actuelles de l'espace et de s'arrêter sur les conséquences de l'insertion des enjeux environnementaux dans les projets et les outils d'aménagement.

1. Zone d'étude : un territoire avec des caractéristiques paysagères particulières

La zone urbanisée du bassin de la lagune de Marchica d'une superficie d'environ 6734 hectares, est située dans le Rif Oriental au Nord-Est du Maroc (Fig. 1). Il s'étend du nord au sud sur environ 40 km et de l'Est à l'Ouest sur environ 30 km, il recèle une façade maritime de 80 km linéaires.

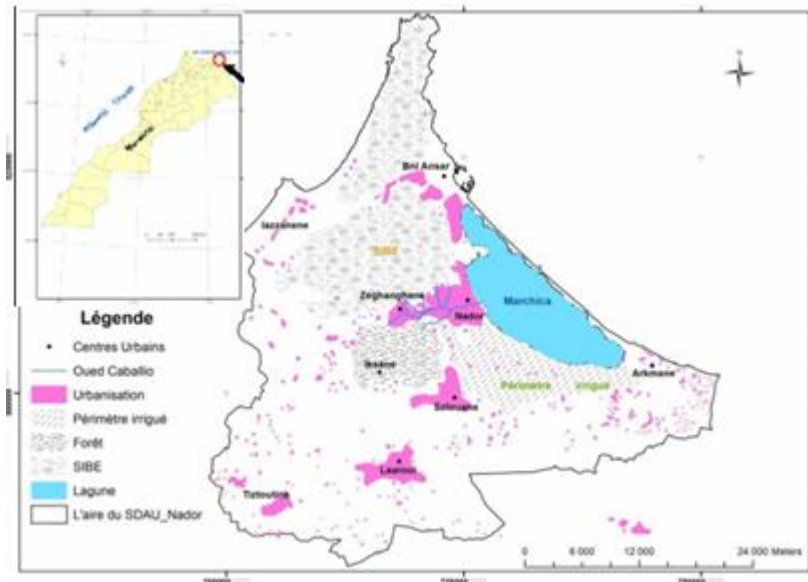


Figure 1 : situation de la zone d'étude (Source : auteurs)

Ce territoire est caractérisé par un relief accidenté et diversifié, façonné par des chaînes montagneuses en forme d'arc qui longe des dépressions à l'intérieur du territoire, dont les altitudes varient de (-6m) à (1.000m). Le climat de la région est caractérisé par un fort contraste saisonnier avec des pluies brutales et concentrées ; le système hydrographique est très dense. Ces caractéristiques physiques et climatiques ont fait que ce lieu est regorgé de plusieurs zones remarquables. Au Nord et au Nord-Ouest le mont Gourougou et le cap de trois fourches deux sites d'intérêt biologique et écologique, au Sud et au Sud-Ouest le périmètre irrigué de Bouarg et la forêt d'Afra, à l'Est le site Ramsar de la lagune de Marchica. Cette zone a été jalousement sauvegardée par les autochtones durant des siècles, elle ne va connaître des changements spatiaux que durant le début du 20 siècle avec l'arrivée de l'armée espagnole.

2. Caractéristiques de l'écosystème urbain du Grand Nador

Les indicateurs naturels en place témoignent que le territoire du Grand Nador, dans sa grande partie, était une zone revêtant une importance particulière, pour l'environnement et, comportant une valeur patrimoniale de quelques espèces (Elamrani., 2018). Dans cet espace, les prairies humides, les prairies inondables et plusieurs points de rencontre des eaux douces avec les eaux saumâtres de la lagune témoignent encore que la majorité de ce territoire était composée d'une zone humide regorgée de potentialités écologiques et biologiques, une zone très productive (DAKKI., 2003). L'analyse paysagère du territoire de Grand Nador, montre que le tissu urbain dans ce territoire s'est développé, en forme d'archipel, en suivant des axes routiers, en dépit des contraintes physiques, naturelles et écologiques. Cette installation humaine s'est développée sur sa majorité dans une zone marécageuse et inondable.

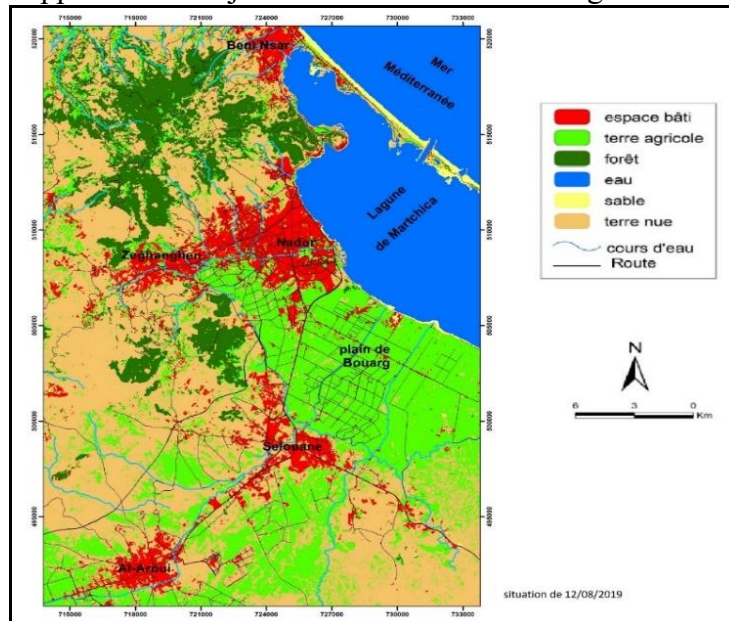


Figure 2. Tissu urbain inséré à force entre les contraintes naturelles (Source: Auteurs.)

La ville de Nador et les autres villes qui orbitent autour d'elle s'élargissent d'une manière accélérée, en remplaçant le paysage naturel et/ou rural traditionnel par un paysage urbanisé. L'augmentation démographique urbaine est essentiellement due aux immigrations massives, beaucoup moins à l'accroissement naturel.

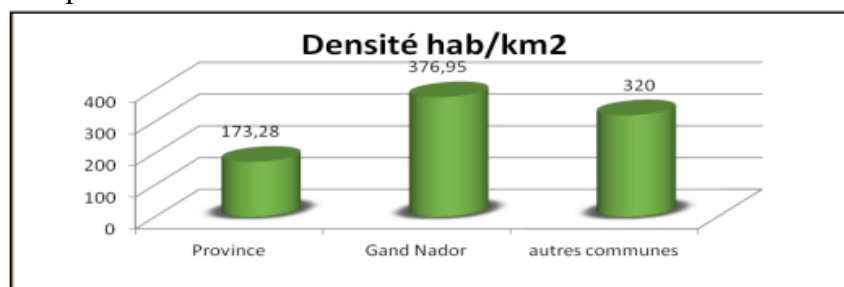


Figure 3: Densité du Grand Nador par rapport aux autres communes de la province 2014

La consommation des ressources en sol augmente de manière exponentielle suite à l'installation des projets humains (lotissements, carrières, touristiques), où toutes les villes ont poursuivi leur extension urbaine en se multipliant par cinq durant ces 20 dernières années. Ce phénomène se traduit par un faible taux d'infiltration des eaux, et une grande capacité de rétention et vitesse de montée des crues dans le bassin versant. Ces dernières peuvent générer des inondations qui restent hors de contrôle. La grande agglomération continue davantage à modifier directement et indirectement le complexe d'écosystèmes de la zone périurbaine,

voire des écosystèmes situés à des distances considérables ; l'exemple des déchets qui ne sont pas recyclés par les décomposeurs s'accumulent sur des surfaces illimitées au sein de l'agglomération. La production primaire, extrêmement réduite, est remplacée par l'apport massif de matière, provenant parfois de très loin. Cette situation a impacté les cycles biogéochimiques qui sont, selon les chercheurs en place, de plus en plus incomplets et interfèrent très souvent avec des polluants, ce qui diminue les paramètres de qualité de l'environnement.



Figure 4 : Consommation démesurée des ressources en sol, avec la présence des carrières

3. La connectivité entre les habitats à l'échelle du territoire de l'agglomération

Suite à une urbanisation exacerbée, et en l'absence d'une politique de gestion centrée sur le paysage comme levier de l'aménagement, les milieux anthropisés au niveau du territoire du Grand Nador et leurs enveloppes immédiates sont devenues très disloqués et défigurés de point de vue environnemental. Le processus de fragmentation a engendré une disparition de l'habitat qui se limite sous à un réseau de nœuds de plus en plus isolés et petits reliés par des liens plus ou moins favorables aux mouvements des individus. Cette situation de recul des espaces végétalisés a impacté considérablement l'attractivité de l'agglomération, dont certains quartiers restent répulsifs et manquent considérablement du bien-être. Ces phénomènes de recul des espaces végétalisés sont plus particulièrement remarquables, au niveau du territoire de la lagune de Marchica, où on assiste depuis les années 50, à l'augmentation de la matrice paysagère minéralisée dans un territoire considéré humide.



Figure 5 : Genre d'obstacles aux déplacements des espèces : la clôture séparant la ville de Nador au préside de Melilia, le chemin de fer séparant la lagune avec la forêt

Au sein de cette matrice minéralisée, de plus en plus excessive, les habitats sont très morcelés et isolés les uns des autres. Cette fragmentation du paysage, accompagnée avec l'apparition de plusieurs barrières anthropiques qui réduit considérablement la perméabilité du paysage ; ce qui limite ou rend impossible tout flux naturel et biologique entre les habitats naturels jadis connectés. Ce phénomène d'urbanisation a induit des transformations spatiales peu réversibles, bouleversant peu à peu l'espace où plusieurs zones humides, prairies permanentes et terrains de cultures ont disparu en laissant place à des centres urbains secondaires. Situation qui fait de cet espace, jadis centrique, un espace qui se développe en archipel où des centres urbains s'articulent, selon la logique du réseau, sur plus de 30 km linéaires. Ainsi, l'agglomération présente un tissu urbain assez complexe contenant toutes les formes de l'habitat non réglementaire, insalubre ou sous équipé, sans se soucier des répercussions en termes d'infrastructure de base, de coût de l'urbanisation ou de difficultés de la gestion urbaine.



Figure 6 : Atalayoun site naturel fragmenté (Ph. Agence Marchica)

4. Les services écosystémiques vecteur de la bonne gestion environnementale

Les services que la biodiversité apporte à l'homme ne sont pas encore bien intégrés dans la conscience collective de la société du Grand Nador. Ce constat est d'autant plus vrai dans les milieux urbains, où les initiatives citoyennes sont rares et limitées. Les espaces verts en ville sont encore perçus comme des espaces réservés à des fins exclusivement récréatives, alors il en résulte des espaces uniformes, sans grande variété d'espèces végétales et la plupart du temps mal entretenus ou abandonnés à leur sort. Or, la prise de conscience des problématiques environnementales urbaines actuelles dicte une attention particulière à donner à la notion de la biodiversité en ville, surtout, dans les outils de planification et d'urbanisme. Pratiquement les propositions des emplacements de ces espaces verts, des parcs urbains, des zones de boisement et des zones ceintures vertes dans ces outils se fait d'une manière coutumière. Or il est important de préciser les questions ayant trait au rôle du végétal en ville et qui requièrent des recherches fondées sur des indicateurs pertinents et compréhensibles par les chercheurs, les professionnels et les décideurs (James *et al.*, 2009). La nécessité de prendre en compte la multifonctionnalité des espaces verts dans l'élaboration des plans d'urbanisme est désormais fortement suggérée (Mehdi *et al.*, 2012). Selon plusieurs chercheurs, l'échec de l'aménagement des espaces verts publics est dû au caractère monofonctionnel de ces espaces. Devant un tel état, les politiques urbaines se trouvent aujourd'hui de plus en plus confrontées, d'une part, à la nécessité de prendre en compte la préservation des habitats semi-naturels et d'autre part, à la mise en valeur des services rendus par la végétation à la société (Young., 2010). Cependant, et avant de déterminer les objectifs escomptés par la planification urbaine, la compréhension du fonctionnement de l'écosystème urbain s'impose comme un préalable incontournable relatif aux processus de planification, de gestion et de suivi par la suite.

5. Pratiques écologiques intégrées dans les politiques d'aménagement

L'influence de l'écologie dans la planification urbaine demeure très faible jusqu'à maintenant au niveau du Maroc. Cela est dû d'abord à l'absence d'un référentiel en la matière puis le manque des ressources humaines qualifiées dans le domaine de l'écologie appliquée à l'urbanisme. L'élaboration de nos villes a été depuis si longtemps guidée par la logique d'une urbanisation à la recherche de nouvelles zones urbaines foncièrement faciles à mobiliser. Il s'agit d'une urbanisation au profit d'une réclamation des espaces publics privatisés liée aux conflits entre catégories sociales et socioprofessionnelles et une urbanisation spéculative difficilement maîtrisable. Ainsi, se sont cristallisés de nouveaux phénomènes de rupture dans le paysage social, spatial et naturel. Dans ce cadre les habitats naturels dans la périphérie urbaine subissent et continuent de subir de fortes pressions. La gestion des espaces verts se limitait alors à privilégier la préservation des sites exceptionnels pour leur composition végétale, en dehors de leur contexte paysager. Au niveau du Grand Nador, face aux déséquilibres dans lesquels plonge l'agglomération, des nouvelles pratiques visant l'insertion des enjeux environnementaux dans le projet d'aménagement ont vu le jour au sein des instances chargés de l'urbanisme et l'aménagement, sauf que ces initiatives demeurent individuelles et la plupart du temps unilatérale, sans engagement ni synergie entre les parties prenantes. Ainsi, ces initiatives sont restées sans grand effet au niveau du paysage général. Devant un tel état une réorientation des objectifs d'un nouvel urbanisme s'impose ; elle doit être axée sur les trois piliers suivants : 1) Pallier aux lacunes actuelles : l'aménagement urbain, tel que pratiqué n'a pas permis de créer un environnement optimal, capable de satisfaire tous les besoins fondamentaux de la population. Il n'a fait qu'augmenter les conséquences néfastes de ce modèle de développement : augmentation des coûts des infrastructures et des services publics, sous-utilisation des équipements en place, gaspillage de bonnes terres agricoles et de sites à potentiel récréatif, dégradation du milieu biophysique par la pollution, augmentation des déplacements et de la congestion des routes. 2) La qualité de vie: suite aux décisions d'aménagement qui ont été largement guidées au passé par des objectifs à caractère économique nos villes sont devenues des lieux en général hostiles à toute vie humaine, source d'angoisse et de répulsion pour une large catégorie sociale. Cependant, avec l'élargissement des aspirations de la population, l'intégration de l'environnement ainsi que la préservation des socio-écosystèmes est devenue une demande sociétale. 3) La qualité de l'environnement : l'anarchie du laisser-aller s'avère incapable d'assurer une qualité optimale à l'environnement urbain. Aujourd'hui plus que jamais la politique locale d'aménagement et d'urbanisme doit s'orienter vers l'adoption de l'approche écologique appliquée à l'urbanisme. Une telle approche novatrice stipule la qualification des ressources humaines et la mise en place d'un guide méthodologique pour recenser les techniques et les bonnes pratiques.

Conclusion

La planification urbaine qui privilégie la dimension économique et fiscale de l'urbanisme à l'encontre de celle socio-environnementale, n'a fait qu'accentuer la fragmentation paysagère territoriale dans laquelle le processus de l'urbanisation a beaucoup altéré le cadre de vie, le bien-être des gens et surtout leur vécu. Devant une telle situation, la planification écologique se présente actuellement alors comme un outil de choix pour faire cette intégration en garantissant cette harmonisation de la ville avec la nature et donc une amélioration de la qualité de l'environnement, la mise en place d'une telle mesure est conditionnée par la qualification des ressources humaines, et l'élaboration d'un référentiel en matière de l'écologie urbaine appliquée à l'urbanisme.

Références

- Burel, F. & Baudry, J. 1999. *Écologie du paysage. Concepts, méthodes et applications* Paris, TEC & DOC, 362 p.
- Coutard, O. & Levy, J. P. 2010. *Ecologies urbaines*. Paris: Economica.
- Dakki, M. 2003. *Diagnostic pour l'aménagement des zones humides du Nord-Est du Maroc* : vol. 1-5. Secr. Etat Env. / Dptt Eaux & Forêts /MedWet, Projet MedWetCoast
- EL-Amrani, H. 2018. *La vulnérabilité du territoire du Grand Nador aux risques naturels : occupation urbaine des zones inondables et dynamique territoriale*, thèse de doctorat, 283p
- EL-Amrani, H.& Tribak.A. 2019. *Le concept 'risque' dans les outils stratégiques d'aménagement et d'urbanisme: faiblesses antérieures et évaluation des mesures postérieures: Cas de la zone littorale de la Province de Nador au nord-est du Maroc*; Geography Notebooks, Italie
- JAMES, P., TZOULAS, K., ADAMS, M.D.2009. *Towards an integrated understanding of green space in the European built environment*, Urban Forestry & Urban Greening, vol 8, no 2, p. 65-75.
- Mehdi, L., Weber, C., DI Pietro, F. 2012. *Évolution de la place du végétal dans la ville, de l'espace vert à la trame verte*, Vertigo, la revue électronique en sciences de l'environnement, vol. 12, no 2, <http://vertigo.revues.org>
- Young, R. F. 2010. *Managing municipal green space for ecosystem services*, Urban forestry and urban greening, vol 9, no 4, p. 313-321.

GESTION DES RISQUES D'INONDATION EN MILIEU URBAIN: QUELQUES CAS AU NORD-EST DU MAROC

SBAI Abdelkader, MOUADILI Omar, BENHAMED Abderrahim et BOUABDALLAH
Mostafa

Université Mohammed Premier. Département de Géographie, Oujda.

Sbaiabdelkader59@gmail.com

Résumé: Les risques d'inondation constituent une contrainte majeure pour les villes du Maroc nord-est. Lors de fortes pluies, les crues en provenance des zones de montagne ou de piémont déversent des quantités d'eau importantes en milieu urbain et provoquent des inondations parfois catastrophiques.

L'exode rural qu'ont connu ces villes au cours des années 60, 70 et 80 du siècle dernier a entraîné une extension urbaine parfois anarchique sur leurs périphéries. Par manque de planification urbaine, l'habitat est entrain de s'étaler sur des espaces vulnérables: les interfluves des piémonts de Jebel Gourougou pour Nador, Jbel Hamra pour Oujda, Beni Snassen pour Berkane, Kebdana pour Zaio..., les plaines d'inondation, les lits alluviaux qui sont souvent le parcours des concentrations des eaux superficielles, les nappes phréatiques superficielles (Saidia, Arekmane, Nador), au détriment des terres agricoles...

De nombreux projets avaient été réalisés: barrages collinaires, digues au niveau des zones de débordements, canaux de déviation... Mais ces aménagements non basés sur une étude évaluant les dimensions des débits extrêmes aux fréquences très rares ont donné des dimensions non adéquates aux ouvrages hydrauliques de protection. Ils restent donc inefficaces puisque le problème d'inondation persiste.

Il faut donc promouvoir une gestion intégrée des risques d'inondation en vue de réduire leurs conséquences dommageables. Nous recommandons d'aménager l'amont de ces villes par des reboisements comme c'est le cas à Berkane et à Nador et de mettre en place des ouvrages anti-érosifs dans les zones les plus accidentées (murs transversaux en pierre pour amortir l'écoulement). La construction de terrasses en amont des bassins versants permet également de protéger les versants contre l'érosion hydrique. Enfin, il faut entretenir et renforcer le réseau d'assainissement pour avoir des réseaux suffisamment importants pour évacuer les eaux de pluie.

Mots-clés: Risques hydrologiques, urbanisation, vulnérabilité, aménagement, ville, Maroc N-E.

Flood risk management in urban areas: some cases in northeastern Morocco

Abstract: Flood risks are a major constraint for cities in north-eastern Morocco. During heavy rains, floods from mountain or piedmont areas discharge large amounts of water into urban areas and cause sometimes catastrophic flooding. Thus, the aim of this article is to study the management of flood risks in urban areas in northeastern Morocco. This will be done through a quantitative and qualitative data analysis and a mapping approach in order to identify flood-risk areas in each city.

The rural exodus experienced by these cities during the 60s, 70s and 80s of the last century has led to an urban extension that is sometimes anarchic on their peripheries.

Due to a lack of urban planning, the habitat is spreading over vulnerable areas: the piedmont interfluves of Jebel Gourougou for Nador, Jbel Hamra for Oujda, Beni Snassen for Berkane, Kebdana for Zaio..., the floodplains, the alluvial beds that are often the course of surface water concentrations, the superficial groundwater (Saidia, Arekmane, Nador), to the detriment farmland...

Many projects had been implemented: hill dams, dykes at the level of overflow zones, diversion canals... But these developments, not based on a study assessing the dimensions of extreme flows at very rare frequencies, have given inadequate dimensions to the hydraulic structures of protection. They therefore remain ineffective as the flood problem persists.

Integrated flood risk management must therefore be promoted in order to reduce their harmful consequences. We recommend that the upstream of these cities be reforested, as is the case in Berkane and Nador, and that anti-erosive works be set up in the most rugged areas (cross-stone walls to dampen the flow). The construction of terraces upstream of the watersheds also protects the watersheds against water erosion. Finally, the sanitation system must be maintained and strengthened to ensure that it has sufficient networks to drain rainwater.

Key Words: Hydrological risks, urbanization, vulnerability, planning, North-East Morocco

Introduction

Plusieurs villes du Maroc oriental s'étendent au pied des chaînes de montagne. L'habitat y est dense et les sols y ont été presque totalement imperméabilisés favorisant ainsi le ruissellement. Parfois, ces villes sont entrain de s'étaler sur les piémonts des massifs montagneux. L'extension rapide du bâti et le développement du réseau routier sont en passe de modifier le comportement hydrologique des cours d'eau comme l'attestent les nombreux débordements qui s'y sont produits au cours des dernières années.

On s'attellera dans ce qui suit à démontrer que dans un tel contexte, l'urbanisation à outrance et les multiples imprudences commises lors des opérations d'aménagement ont incontestablement accru la vulnérabilité de ces villes face au risque d'inondation.

I. HISTORIQUE DES INONDATIONS AU NORD-EST DU MAROC

Le Maroc oriental est prédominé par un relief montagneux aux pentes assez fortes. Ce cadre naturel est plutôt contraignant pour l'urbanisation (Fig. 1).

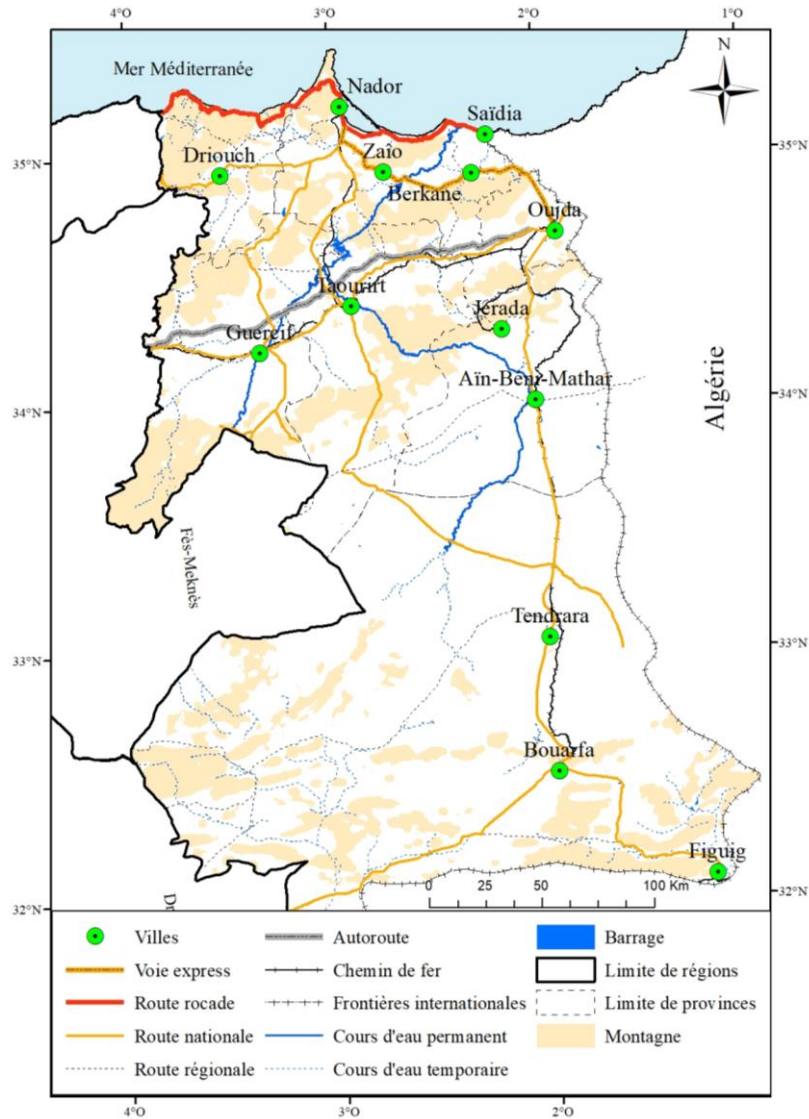


Figure 1. Situation des villes étudiées

Au Maroc oriental, le phénomène d'inondation n'est pas récent puisque plusieurs événements pluvieux exceptionnels et des débits critiques ont été enregistrés auparavant. Les inondations des années 1963, 1968, 1986 et 2008 nous rappellent les enjeux des risques hydrologiques. Ces événements ont eu pour origine des précipitations très intenses (170 mm en 24h). Ils ont causé plusieurs morts et des dégâts aux équipements publics (routes, ponts...) qui se chiffrent avec des millions de dirhams. Des dommages, associés aux crues des oueds, ont été également enregistrés dans la ville du Maroc nord-est (Oujda, Berkane, Saïdia, Nador, Driouch...) au cours des années 1973, 1986, 1995, 1996, 2003 et 2008 où les intensités de pluies ont atteint des valeurs records.

Tableau 1. Evénements pluvieux exceptionnels (Pluies journalières en mm) Enregistrés à la station de Berkane entre 1963 et 1993

Années	P. max. j	Période de retour
27 Mai 1963	111	25 ans
05 Janvier 1965	82	5 ans
10 Mai 1968	170	100 ans
29 Décembre 1973	119	25 ans
16 Novembre 1986	93	10 ans
27 Février 1993	89	10 ans

Les particularités des bassins versants (Moulouya, Za, Cheraâ...) confèrent aux cours d'eau une caractéristique majeure: leur irrégularité. C'est d'ailleurs une caractéristique commune de tous les cours d'eau méditerranéens sauf quelques uns régularisés par des gros réservoirs tel les réservoirs karstiques. Leur régime hydrologique est exceptionnel dans un climat méditerranéen. La raideur des pentes (Monts des Beni Snassen, Chaîne de Jerada, haut Atlas oriental, Rif oriental), l'imperméabilité du substrat et la rareté du couvert végétal dans la plupart des bassins versants, favorisent le ruissellement superficiel qui génère très souvent des crues violentes et instantanées dont les débits extrêmes dépassent les calibres des conduits, ce qui provoque les débordements et l'inondation des espaces urbanisés. Les hauts plateaux ne donnent pas cette apparence de raideur des pentes sauf dans quelques sites limites.

La croissance des villes a davantage exposé certains quartiers au risque d'inondation, ce qui a nécessité l'initiation de nombreux projets pour pallier à ce problème (barrages collinaires, digues...).

Les risques hydrologiques varient selon leur origine, leur intensité, leur impact et la probabilité de leur occurrence. Ils sont plus accentués dans certains cas que d'autres et sont plus probables en absence de précautions. C'est le cas par exemple des villes ou quartiers installés dans le fond des vallées ou de vallons. C'est la cause principale. Nos ancêtres qui n'étaient pas spécialistes en hydrologie n'avaient jamais installé d'habitat dans ces sites vulnérables.

II – MATÉRIEL ET METHODE

La cartographie des zones d'inondation a pour objectif principal de déterminer les zones d'inondation en milieu urbain au Maroc oriental en prenant en compte les travaux réalisés auparavant (Sbai et al, 2005, 2010, 2014, 2017). En fait, elle consiste à établir des cartes de vulnérabilité au risque d'inondation par débordement des cours d'eau. Ces cartes expriment les dégâts potentiels sur les éléments vulnérables, c'est-à-dire sensibles à l'inondation, implantés dans des zones soumises à un aléa inondation. La création de ces cartes repose sur la combinaison de l'aléa inondation et de la vulnérabilité. L'extension spatiale, les conditions hydrologiques, les hauteurs d'eau et les impacts géomorphologiques des inondations sont pris en considération.

Cette méthode appréhende distinctement le phénomène naturel d'inondation (aléa) et les conséquences dommageables liées à l'occupation du lit majeur des cours d'eau (risque de dommages). Tout en tenant compte des données de base disponibles ou en cours d'acquisition, elle offre un assemblage cohérent de différentes méthodes scientifiques déjà éprouvées et elle est applicable à l'ensemble du territoire urbain du Maroc oriental. Les SIG apportent des résultats pertinents à l'étude et à la gestion des inondations et sont un outil précieux d'aide à la décision.

III - RESULTS AND DISCUSSION

III.1. PRESENTATION DE QUELQUES CAS (Fig.1)

III.1.1. La ville de Berkane

La ville de Berkane est située sur le piémont septentrional des Beni Znassen, dans un endroit où concourent les principales artères hydrographiques en provenance de la chaîne montagneuse. La zone couvre les montagnes et les collines au sud et la plaine des Trifa à l'aval des cours d'eau et au nord de la ville de Berkane (Fig.2).

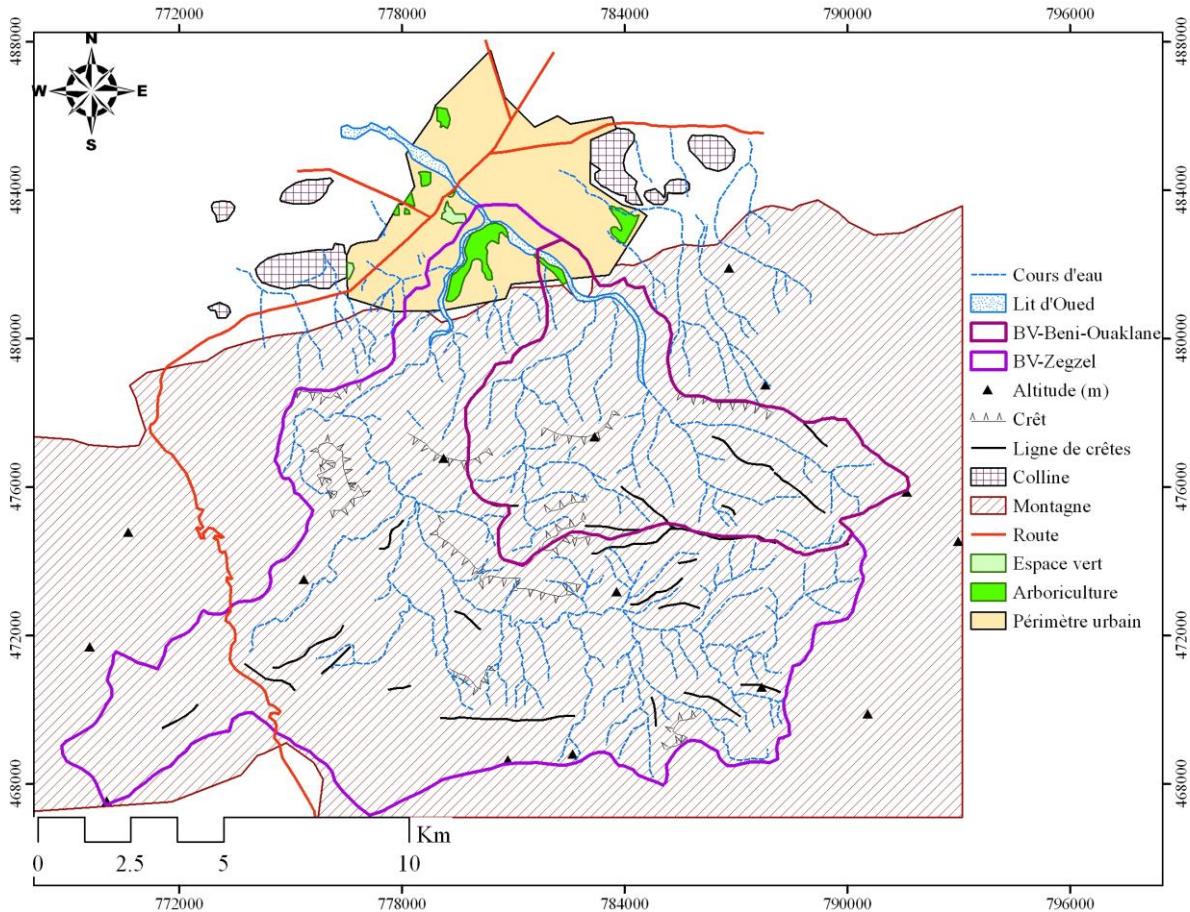


Fig.2. Ville de Berkane dominé par une chaîne de montagne au sud

Les recensements généraux de la population urbaine attestent d'un accroissement important de la ville entre 1960 et 2014 (Tabl.2).

Tabl.2. Evolution de la population de la ville de Berkane (HCP)

Population						Accroissement moy. annuel
1960	1971	1982	1994	2004	2014	60-2014
20 496	39 015	60 490	93 544	102 916	139 439	3.61 %

La ville compte actuellement 139439 habitants répartis dans un grand nombre de quartiers, dont certains disposent d'une infrastructure inadéquate et sont exposés aux risques d'inondation. Des mesures spontanées sur le débit de l'oued Zegzel montrent des irrégularités marquées par l'alternance des crues, violentes et instantanées, et des étiages, aigus et de longues durées. Le volume d'eau augmente considérablement, en période de crue, et favorise des inondations et de grandes actions morphogéniques par sapements des versants au niveau des passages étroits, polissage du «bed-rock » après dégradation partielle de la ripisilve, érosion et transport du matériel détritique...

Tabl.3. Evénements exceptionnels enregistrés par l'oued Zegzel entre 1973 et 1996
(Agence du Bassin de la Moulouya)

Date	Hauteur d'eau (cm)	Débit réel (m ³ /s)	Section mouillée (m ²)	Vitesse moyenne (m/s)
29/12/73	320	111	42	2,60
22/02/74	151	53,2	30	1,77
21/04/75	122	85	46	1,84
29/12/80	124	110,2	47,20	2,33
10/05/82	10.96	31,36	25,52	1,23
18/11/86	10.90	80	37,10	2,18

III.1.2. La ville d'Oujda

L'ensemble de la ville d'Oujda est soumis au risque d'inondation. La morphologie des vallons est telle que les débordements s'étalent rapidement, occupant la totalité du piémont de Jbel Hamra au sud et au sud-est d'Oujda (Fig.3).

De nombreux événements hydrologiques graves ont eu lieu au cours des dernières décennies, mais le plus catastrophique fut l'inondation de 1986: les routes principales se sont transformées en collecteurs; des débits déferlant de partout après le bouchage des buses et le dysfonctionnement des canaux de drainage sous dimensionnés.

Oujda illustre également un cas de figure où l'accroissement urbain et l'aménagement progressif induit négligent les contraintes du contexte régional et externe au périmètre urbain. La sécurité environnementale durable de la ville s'avère compromise. Le cas des crues qui ont dévasté le centre urbain le 17 mars 2004 par exemple illustre le risque potentiel qu'affronte même le noyau de la ville, situé relativement loin de la zone montagneuse.

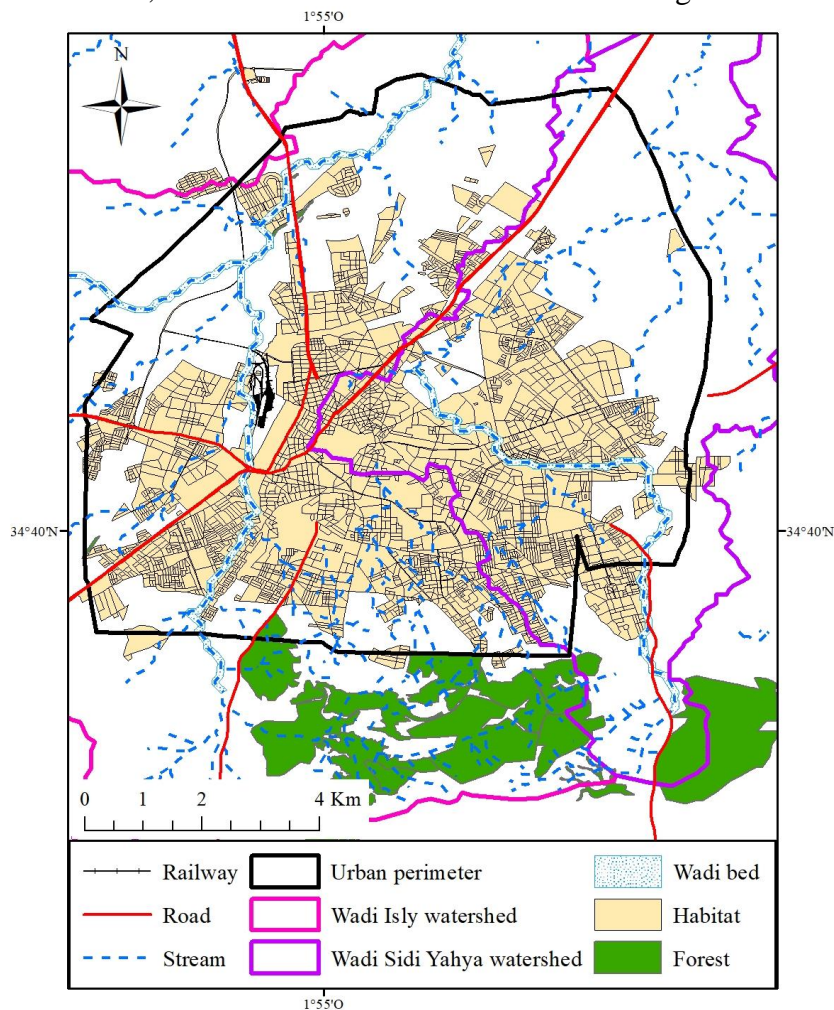


Fig.3. Situation de la ville d'Oujda au nord du piémont de Jbel Hamra

III.1.3. La ville de Saïdia

Le cas de la ville de Saïdia est un peu différent de celui de Berkane et d'Oujda. Il s'agit d'une ville côtière où interfèrent plusieurs facteurs dans le problème des inondations. Les eaux continentales de l'oued Kiss, de la Moulouya et des artères en provenance des collines marneuses des Ouled Mansour, constituent un premier facteur. Les données historiques indiquent des débordements et des inondations de la ville à plusieurs reprises,

associées à la dynamique de ces artères hydrographiques. Le deuxième facteur s'explique par la remontée de la nappe en surface lorsque les précipitations sont assez importantes. Enfin, le troisième facteur est dû au manque d'infrastructure qui permet l'absorption et l'évacuation des eaux en milieu urbain.

III.1.4. La ville de Nador (Fig.4)

La ville de Nador est dominée par le massif de Gourougou aux versants raides (Fig. 1). Au sud-ouest, apparaît le massif de Beni Bou Ifrou, connu pour ses exploitations de minerai de fer (Zeghanghan).

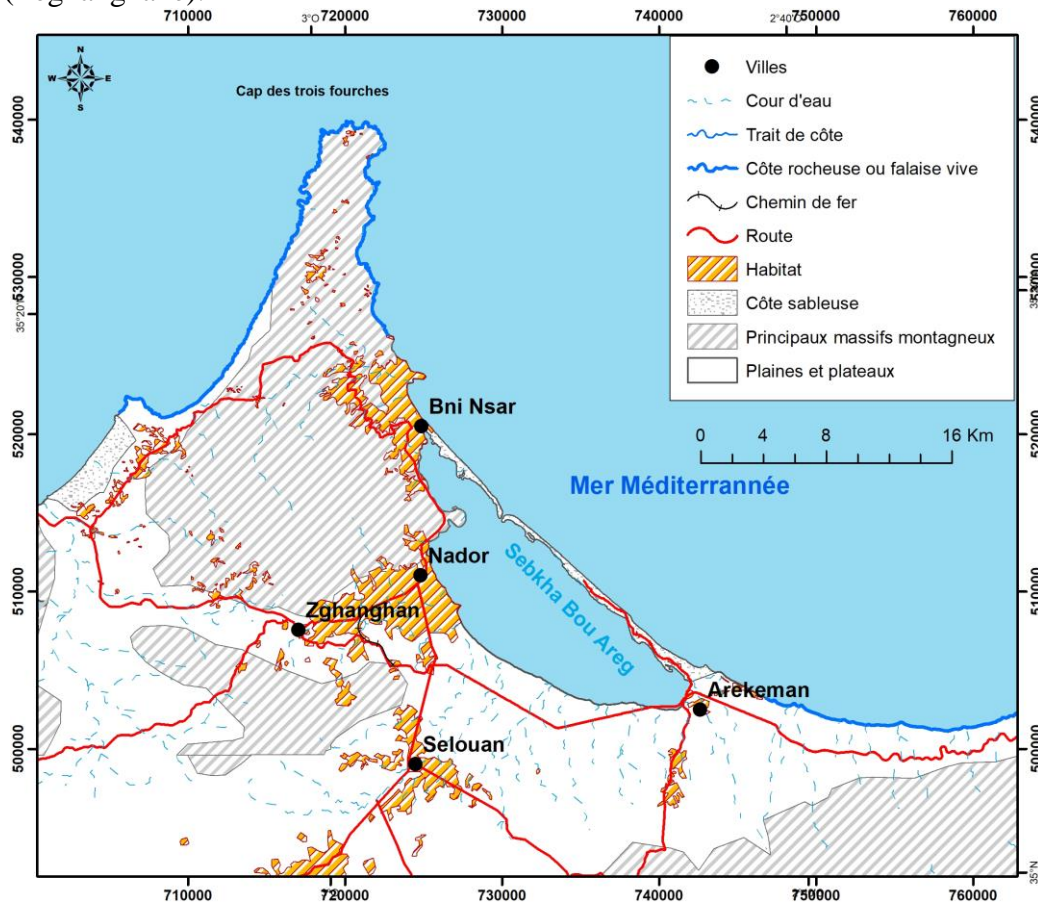


Fig.4. Ville de Nador dominé par Jbel Gourougou

La ville de Nador remonte au début du siècle dernier. Elle compte actuellement 161726 habitants. L'exode rural qu'a connu la région au cours des années 60, 70 et 80 du siècle dernier a entraîné une extension urbaine anarchique à la périphérie du quartier européen. Par manque de réserve foncière, la ville est entrain de s'étaler sur le piémont du massif montagneux du Jbel Gourougou et au détriment des terres agricoles de la plaine de Bouarg. La superficie des espaces bâtis autour de la ville est passée de 82 ha en 1958 à 2278 ha en 2013. Parallèlement à son évolution, le risque d'inondation ne cesse d'augmenter. Cette situation résulte à la fois de l'importance de l'aléa hydrologique dans les différents bassins versants et de la grande vulnérabilité de la ville face à cet aléa.

III.1.5. La ville de Zaio

La ville de Zaio est située sur un glaci-cône occasionnellement fonctionnel sur la frange sud-ouest de la ride pré-rifaine de Kébdana à une altitude d'à peine 200 m. Ce site est

donc dominé par le front de charriage rifain avec contact anormal. Cette crête domine directement la ville de Zaïo par un versant qui s'allonge localement avec des croupes et des collines basses. Il s'agit d'une unité chaotique de schistes et de calcschistes charriée sur un autochtone constitué de calcaires et de dolomies du Lias recouverts de marnes miocènes anté-nappe. La ville est dominée par plusieurs torrents à chenaux pentus autour de 20° et manifeste un éclatement urbain vers la basse Moulouya (Naiji et al., 2016).

Elle est fortement exposée au risque d'inondation. En effet, les intempéries enregistrées montrent à quel point la protection contre les inondations est devenue un enjeu majeur. Le contexte naturel participe bien à la genèse des crues en amont et aux inondations en aval. Le piémont est fortement imperméabilisé par l'urbanisation (Fig.5).

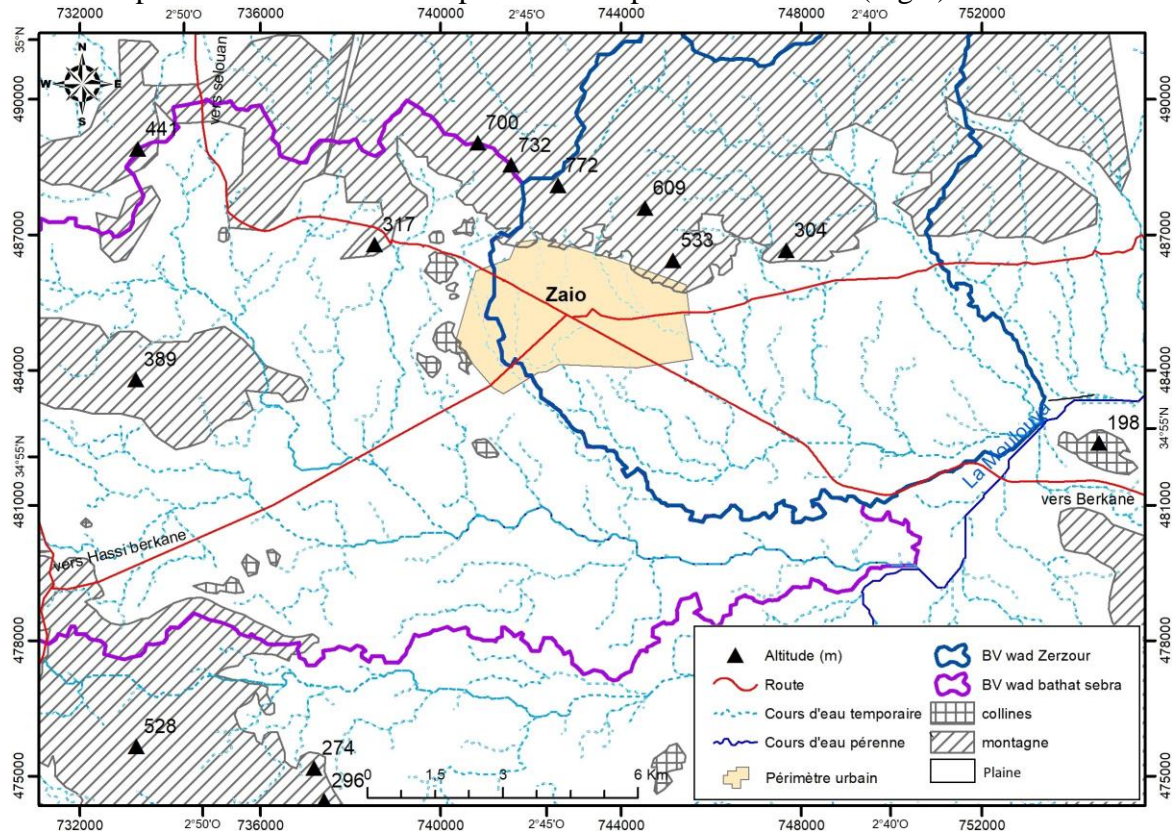


Fig.5. Situation de la ville de Zaïo au sud de la chaîne de Kebdana

III.1.6. La ville de Driouch

La ville de Driouch est située à 60 kilomètres à l'ouest de Nador, avec une superficie de 22,5 km² et une population de 14573 habitants selon le recensement général de 2014. La ville est constamment menacée par les inondations de Oued Kert, qui draine une grande partie des montagnes du Rif oriental (Fig.6 ; Zerrouki et al., 2016).

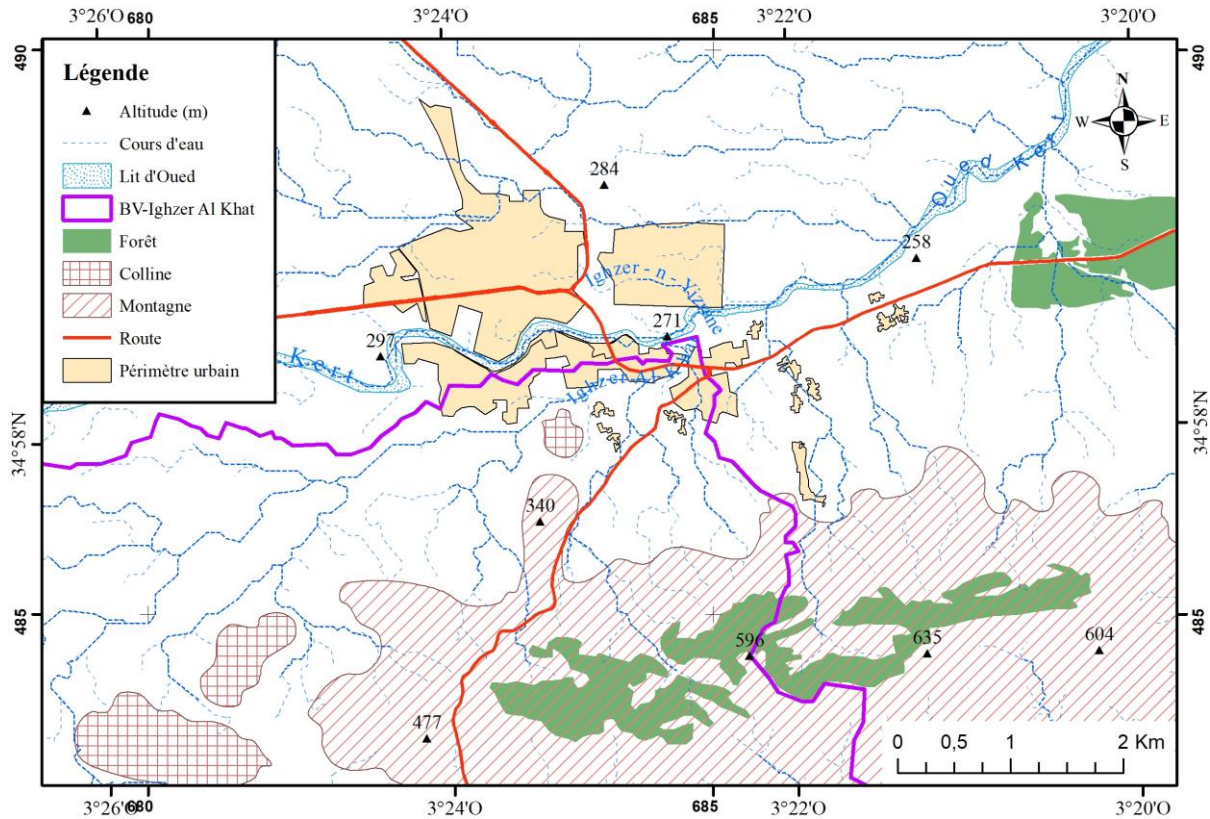


Fig.6. Situation de la ville de Driouch

III.1.7. La ville de Figuig

Le contexte hydro-géomorphologique des écoulements dans la région de Figuig est caractérisé par une torrencialité due aux reliefs dominants et au caractère brutal des crues. Les crêtes du Jbel Grouz (1728m), Jbel Maïz (1909m) et le Jbel Seffah (ou Jbel Amour, 2118m) reçoivent l'essentiel des précipitations qui génèrent les crues parfois nuisibles pour l'oasis de Figuig.

Loin de la faiblesse de la moyenne annuelle des précipitations, ce sont naturellement les événements pluviaux extrêmes qui provoquent les dégâts sur les sites fragiles, d'une manière récurrente, mais avec une tendance à la recrudescence. La vulnérabilité des sites aux inondations des cas observés s'avère principalement liée à l'obsolescence de certains aménagements qui entravent le fonctionnement naturel des drains (El Harradji, et al., 2015).

III.1.8. La ville de Tendirara

Tendarara est située sur les hauts plateaux à 1459 m d'altitude. Elle est également caractérisée par l'existence de risques naturels qu'elle connaît depuis l'antiquité, mais le degré de gravité de ces risques est lié à la situation de la ville et aux conditions climatiques de la région, ainsi qu'à l'impact des activités humaines dépendantes des pâturages.

Deux petits ruisseaux au sud-ouest de la ville la menacent de temps en temps d'autant plus que plusieurs habitations sont construites au bord des ces cours d'eau.

III.2. CAUSES ET FACTEURS EXPLICATIFS DES INONDATIONS

Plusieurs facteurs permettent d'expliquer les inondations survenues jusqu'à ce jour dans les villes de l'Est marocain (Sbai et al., 2006).

-L'environnement géomorphologique : les villes les plus touchées par les inondations sont soit des villes côtières comme Saïdia, Nador...où le problème des inondations se complique par la remontée de la nappe qui est très proche de la surface, soit des villes de piémont où se jettent les drains en provenance des zones montagneuses, soit encore des villes situées à proximité des oueds.

-La brutalité des précipitations : la plupart des inondations sont dues à des pluies de très courte durée. La rareté du couvert végétal en amont de la plupart des villes, les pentes fortes, l'imperméabilité du substrat, la morphologie et la taille de certains bassins versant favorisent le ruissellement ;

-L'insuffisance de la capacité hydraulique du système d'assainissement existant : dans certains secteurs, des problèmes de drainage plus ou moins aigus surviennent de façon chronique en période pluvieuse. Cela est dû à la défaillance des collecteurs et leur sous dimensionnement qui ne permet pas d'absorber assez vite les eaux pluviales.

-L'occupation anarchique du sol : le coût élevé de terrain dans les lotissements agréés, constitue une contrainte majeure pour la plupart des gens, ce qui encourage le développement de l'habitat insalubre et l'extension des quartiers clandestins. Une bonne partie de la population pauvre se réfugie alors dans les endroits non autorisés où le risque hydrologique s'impose avec acuité.

-L'imperméabilisation du sol. 80 % au moins de l'espace occupé par les villes est imperméabilisé par les voiries, les trottoirs et les constructions. Les espaces verts qui peuvent absorber les eaux de ruissellement, en période de flot et favoriser leur infiltration en profondeur sont très rares.

-Erreur techniques ou d'aménagement : dans de nombreux cas, l'amplification du risque se rattache aux erreurs techniques (sous dimensionnement de canalisation du drainage des eaux pluviales, mauvaise conception ou mauvais emplacement des ouvrages d'art, construction suivant des normes non réglementaires, etc.). L'erreur peut provenir d'une prise de décision basée sur des données locales sans considération des contraintes du contexte et du bassin versant. Il en résulte des situations critiques et parfois désastreuses. L'environnement géologique, morphologique et hydroclimatique fait partie intégrante du milieu qu'il faut comprendre et mieux utiliser.

IV. LES MESURES DE PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS

IV.1. A l'échelle des grands bassins versants

Dans les grands bassins versants comme celui de la Moulouya, les crues constituent l'essentiel des apports d'eau de nature généralement violentes et rapides. Elles provoquent des inondations importantes au niveau de plusieurs zones rurales et urbaines, entraînant des dégâts considérables à l'habitat, aux infrastructures de base et à la production agricole. Elles peuvent parfois causer des pertes humaines.

Les préoccupations de protection contre les crues et de prévention des inondations, ont déjà été intégrées dans les processus de planification de l'eau entrepris au Maroc. Ainsi, les ouvrages réservoirs dans le bassin de la Moulouya ont été conçus en tenant compte de la nécessité de maîtrise des crues. Il s'agit notamment des barrages Mechraa Hammadi, Mohamed V et Hassan II. De nombreuses actions de reboisement ont été également réalisées dans beaucoup de régions où la dégradation s'avère assez importante.

IV.2. A l'échelle locale

En plus des mesures liées au stockage d'eau, des interventions locales ont été réalisées au niveau de plusieurs villes. Il s'agit en particulier des actions d'aménagement hydraulique (délimitation des zones de débordement, travaux d'endiguement, canaux de gros calibre pour l'interception et l'évacuation des eaux pluviales). Dans la ville de Berkane, deux variantes ont été analysées (Sbai et al., 2017):

- aménagement des talus et surélévation des berges de l'oued Cherraa par des digues au niveau des zones de débordements ;
- terrassements lourds sous forme de recalibrage et reprofilage avec rehaussement des berges en cas de nécessité. Des travaux de confortement des berges et une surélévation par des digues de 1 à 3m de hauteur ont été réalisés. Elles seront protégées contre les affouillements et les attaques des courants par des caissons remplis de tout-venant, l'objectif étant la protection des quartiers Ain Soltane et Bouhdila ainsi que les infrastructures routières existantes.
- deux lacs écrêteurs ont été construits pour les oueds d'EL Menzel et Ben Yakhlaf au sud-est de la ville. Ces ouvrages permettant de contenir les volumes de la crue centennale évalués à 158000 m³ et 26000 m³ respectivement pour El Menzel et Ben Yakhlef. Un canal d'interception et d'évacuation vers l'O. Cheraâ à partir de ces deux bassins n'est pas encore réalisé.

A Nador, depuis la catastrophe de 2008, les interventions ont touché tous les secteurs sinistrés. Les diverses enquêtes réalisées sur les lieux pendant les dernières années, et par comparaison avec les données et situations existantes avant le 26 octobre 2008, montrent une amélioration significative de la zone sinistrée sur le plan socio-économique. Ces interventions ont surtout touché les réseaux hydrographique et routier. Cependant, si la fonction protectrice des ouvrages édifiés est réelle pour des crues moyennes et même fortes, il n'en est pas de même pour des crues très fortes de faible fréquence. Mais la sécurité des populations et de leurs biens mérite des aménagements plus sûrs dépassant la probabilité centennale. Au niveau de certains affluents de l'oued Bousardoune par exemple, des petits ouvrages ont été confectionnés pour intercepter la charge solide tractée par ces cours d'eau. Les observations faites à la suite des fortes crues récentes montrent que le dimensionnement de ces ouvrages est insuffisant et qu'ils sont loin d'assurer correctement leur fonction d'interception de la charge grossière lors de ces fortes crues (Sbai et al., 2010, 2015).

Le risque que constitue oued Bouserdoune et ses affluents sur les quartiers peuplés qu'il traverse a poussé les services concernés depuis le début des années 90 à adopter un **plan d'urgence** pour protéger la ville des inondations et à programmer les actions suivantes :

- aménagement de oued Bouserdoune sur 5 km avec une enveloppe budgétaire de 70,1 millions de dirhams ;
- aménagement de ses affluents (O.Elmonjer, O.Azougghagh) avec une enveloppe budgétaire de 9,4 millions de dirhams.

Actuellement, plusieurs travaux d'aménagement sectoriels sont en cours de réalisation ou en projet (Oued Bousserdoune, Oued Tassadjayat...). Ils concernent essentiellement:

- La remise en état du système de protection de la ville contre les débordements des oueds.
 - Le terrassement pour l'aménagement du canal trapézoïdal.
 - L'aménagement d'un canal trapézoïdal sous forme de biefs en escaliers en maçonnerie avec son enduit de revêtement.
 - L'aménagement des ouvrages de chute sur le canal trapézoïdal.
 - La réalisation de ponts et entretien des anciens ponts.
 - Le curage et correction des pentes.
- D'autres aménagements sont également prévus :
- La maîtrise des écoulements du pluvial et des écoulements périurbains est donc à prendre en compte dans un projet d'ensemble.
 - Des mesures de protection appliquées au bassin versant.

Par ailleurs, en dépit des actions de protection, la région souffre encore du manque de reboisement, ainsi que des moyens de lutte contre l'érosion et d'un équipement hydro-météorologique adéquats. L'érosion se poursuit toujours, ce qui impose le choix de grands aménagements tels que:

- la construction et le renforcement des ouvrages de brise-charge, des murs de protection, afin de limiter les dégâts et de conserver et de valoriser l'espace en aval ;
- la réfection des digues destinées à freiner l'érosion ;
- le reboisement des versants et l'ajout de plants fruitiers susceptibles de conserver le sol et d'endiguer son glissement, notamment l'amandier, l'olivier et le caroubier ;
- l'installation de stations météorologiques équipées au niveau des sites sensibles, permettant la constitution d'une banque de données utilisables aussi bien pour l'étude des crues qu'à des fins agricoles ;
- l'installation de systèmes d'alerte et d'annonce de crues.

Conclusion

Cette étude donne des informations hydrogéomorphologiques riches et soulève les problèmes majeurs d'aménagements dans quelques villes du nord-est du Maroc. En l'espace de plus d'un demi-siècle environ, l'urbanisation croissante au Maroc oriental continue à grignoter une multitude d'espaces naturels. L'évolution s'est faite dans tous les sens. Les espaces naturels et les terres cultivées sont les mieux concernés.

De nombreux projets avaient été réalisés: digues au niveau des zones de débordements, confortement des berges, surélévation par des digues... Mais ces projets restent inefficaces puisque le problème d'inondation persiste.

Il faut promouvoir, dans chaque ville, une gestion intégrée des risques d'inondation en vue de réduire leurs conséquences dommageables. Nous recommandons d'aménager l'amont de ces villes par des reboisements et de mettre en place des ouvrages anti-érosifs dans les zones les plus accidentées (murs transversaux en pierre pour amortir l'écoulement). La construction de terrasses en amont des bassins versants permet également, outre leur exploitation, de protéger les versants contre l'érosion hydrique.

Enfin, il faut entretenir et renforcer le réseau d'assainissement pour avoir des réseaux suffisamment importants pour évacuer les eaux de pluie. Il faut également réaliser les cartes d'aptitude à l'urbanisation (CAU) afin d'orienter et de gérer l'urbanisation.

Bibliographie

- EL HARRADJI A, RODRIGUEZ Jose Eduardo et SBAI A (2015) - Les inondations à Figuig: contexte hydro-géomorphologique, prévention et remèdes possibles. Colloque national « Crues, Gestion durable des terres et Aménagement du territoire, les leçons des catastrophes de l'automne 2014 dans le centre et le sud marocains ». Rabat 29 et 30 mai 2015. Revue de Géographie du Maroc Volume 31. N° 2. 2016. P.7-28.
- NAIJI Z, OUJIDI M et RESQUI H (2016) - L'intégration du risque d'inondations aux aménagements durables des territoires de la ville de Zaïo -région orientale du Maroc. 3ème Edition du Colloque International des utilisateurs du SIG. The 3rd International conference of GIS User. Oujda 22-23 novembre 2016. P.463-468.
- SBAI A, MEZRHAB A et EL HAFID D (2006) - Les risques hydrologiques au Maroc Nord-Est. Actes du Colloque international « Aménagement du territoire et gestion des risques environnementaux ». FLSH Fès Sais. 15-16 avril 2005. Publications de l'Université Sidi Mohammed Ben Abdellah. Série Travaux didactiques. P. 357-375.

- SBAI A, GHZAL M, BENRBIA Kh, ELHOUADI B, LASGAA H, BAHKAN M et BOULEHOUAL H. (2010) - Rôle du milieu physique dans la genèse et l'amplification des inondations en milieu de montagne : exemple de la ville de Nador (Maroc nord-est). 17ème Rencontre des Géomorphologues Marocains. Les milieux de montagnes marocaines: Géomorphologie, environnement et développement. Beni Mellal, 5 et 6 mai 2010.
- SBAI A, EL HARRADJI A, LASGAA H, BAHKAN M et ELYADIMI M (2015) - Extension urbaine et risque d'inondation au Maroc nord-est : cas de la ville de Nador. Colloque national « Crues, Gestion durable des terres et Aménagement du territoire, les leçons des catastrophes de l'automne 2014 dans le centre et le sud marocains ». Rabat 29 et 30 mai 2015. Revue de Géographie du Maroc Volume 31. N° 2. 2016. P.44-59.
- SBAI A, MOUADILI O, ACHALHI S et HLAL M (2017) - Extension urbaine et risque d'inondation dans la ville de Berkane. Centenaire de la ville de Berkane. 29 – 30 septembre 2017.
- الميلود زروقي، حكيم زروق، كمال الدربوشي، عادل الصافي، سعيد البوط (2016) - نمذجة فيضانات واد كرت: نموذج مدينة الدريوش من خلال استعمال ArcGIS و HEC-GEORAS . الندوة الدولية الثالثة لمستخدمي نظم المعلومات الجغرافية. وجدة، 22-23 نونبر 2016. ص 42-46.

DYNAMIQUE SPATIO-TEMPORELLE DE L'OCCUPATION DU SOL PAR TELEDETECTION ET SIG DANS LA PLAINE DE SAÏSS

EL GAROUANI Manal¹, AMYAY Mhamed², LAHRACH Abderrahim³ et JARAR Hassan⁴

¹ Université Sidi Mohamed Ben Abdallah, FST de Fès, B.P. 2202, Route d'Imouzzer, Fès, Maroc, e-mail : manalgarouani@yahoo.fr

² Université Sidi Mohamed Ben Abdallah, FLSH Saïss-Fès, B.P. 59 Route d'Imouzzer 30000, Fès, Maroc

³ Université Sidi Mohamed Ben Abdallah, ENSA de Fès, Km 5 Route d'Imouzzer, B.P. 72, Fès, Maroc

⁴ Ecole Hassania des Travaux Publics (EHTP), Km 7 Route d'El Jadida, B.P. 8108, Casablanca, Maroc

RESUME: Le présent travail a pour objectif l'étude de la dynamique de l'occupation du sol dans la plaine de Saïss à partir de données satellitaires et SIG. La classification supervisée des images satellitaires par l'algorithme de maximum de vraisemblance a été appliquée et la dynamique spatio-temporelle a été analysée à partir des cartes et des calculs de superficies. Six classes d'occupation du sol ont été identifiées à savoir : les surfaces d'eau, les espaces urbains, les parcours, les vergers, les cultures irriguées et les terrains bours. Quatre images Landsat ont été classifiées puis analysées en utilisant le logiciel ArcGIS 10.8. Les cartes d'occupation et d'utilisation du sol de 1988, 1999, 2009 et 2019 ont été élaborées pour analyser les changements spatio-temporels de l'occupation du sol. Les précisions des résultats ont été évaluées à l'aide des matrices de confusion et de l'indice de Kappa qui indiquent des taux globaux de précision qui dépassent les 80%. Les résultats cartographiques ont montré que l'occupation du sol de la région a connu des évolutions importantes. L'analyse de la dynamique de l'occupation des sols affiche une augmentation des surfaces occupées par les vergers et des zones urbanisées, au détriment des terrains bours et de parcours. Ceci confirme une forte influence anthropique sur l'évolution de l'occupation des terres dans la plaine de Saïss.

Mots clés: Occupation et utilisation du sol, Classification, Images Landsat, Plaine de Saïss, Maroc.

SPATIO-TEMPORAL DYNAMICS OF LAND USE/COVER CHANGE BY REMOTE SENSING AND GIS IN THE SAÏSS PLAIN

Abstract:

This study used multi-temporal satellite images and GIS to assess the spatio-temporal dynamics of land use/cover changes in the Saïss plain. The supervised image classification by the maximum likelihood algorithm was applied and dynamics were analyzed from maps and area calculations. Six land use/cover classes have been identified, namely: water bodies, urban, rangelands, irrigated crops, arboriculture, arable lands. Four Landsat images were classified and then analyzed using ArcGIS 10.8 software. Land use/cover maps for 1988, 1999, 2009 and 2019 were carried out to analyze the spatio-temporal changes for a period of 31 years. The result accuracy was assessed using confusion matrices and the Kappa index which indicate overall accuracy rates in excess of 80%. The mapping results showed that the land use in the region has undergone significant changes. The analysis of land use/cover dynamics shows an increase of orchards and urbanized areas, to the detriment of arable lands and rangelands. This confirms a strong anthropogenic influence on the land use/cover variation in the Saïss plain.

Keywords: Land use/cover, Classification, Landsat images, Saïss Plain, Morocco.

INTRODUCTION

L'étude de l'occupation du sol est une entrée privilégiée dans l'évaluation des interactions entre l'Homme et son milieu. Ainsi l'étude de sa dynamique s'avère de plus en plus indispensable, à la fois pour la connaissance d'un territoire et pour l'identification des stratégies appropriées pour mieux gérer l'état de l'utilisation des terres (Jofack et al. 2016 ; Yagoub, 2015). Plusieurs méthodes ont été développées pour cette opération, (Mas, 2000 ; Lu et al, 2004), l'analyse diachronique en est la plus utilisée. Cette technique permet à partir de l'analyse et de l'interprétation des images satellitaires multi-dates d'appréhender l'évolution du paysage.

Il a été confirmé que le changement de l'occupation du sol a un impact significatif sur le climat à travers diverses voies qui modulent la température de surface et les précipitations. Cependant, il n'y a pas d'études ayant illustré un tel lien à l'aide d'observations satellitaires sur notre région d'investigation qui correspond à Saïs, territoire situé géographiquement dans le Centre Nord du Maroc (Figure 1) et représente 6% de la superficie du bassin du Sebou. Cette contribution porte sur l'utilisation des données de télédétection et du système d'information géographique (SIG) pour l'étude de l'occupation du sol dans la plaine de Saïss pendant la période de 1988 à 2019. Il s'agit spécifiquement de cartographier l'occupation et l'utilisation du sol à partir des images des satellites Landsat 5, 7 et 8 et d'appréhender l'évolution spatio-temporelle des unités paysagères.

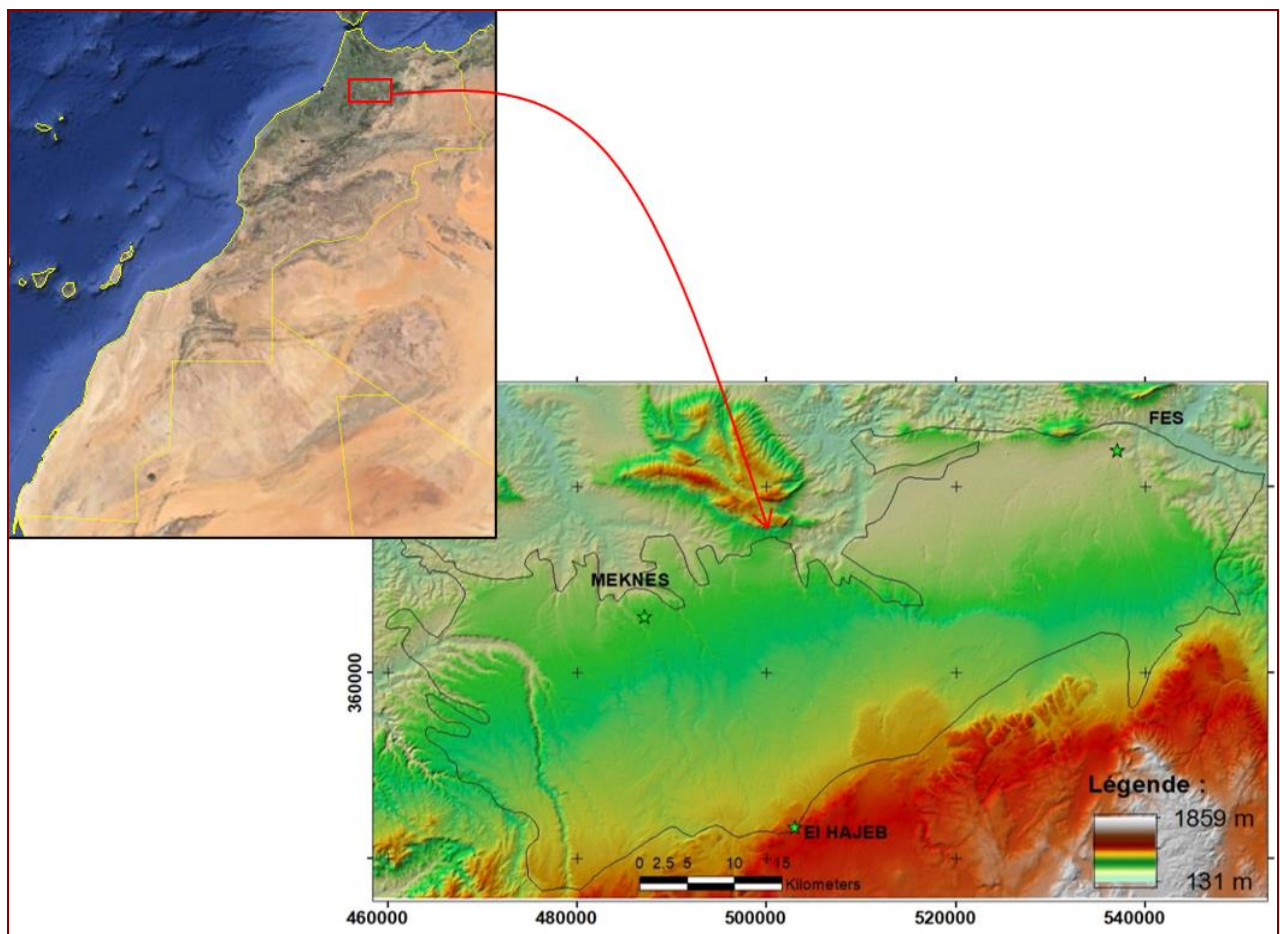


Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude

1- ZONE ET METHODES D'INVESTIGATION

Le Saïs investi par cette étude est située au Nord du Maroc avec une superficie d'environ 2260 Km², 95 km de longueur et 30 km de largeur. Il occupe une partie importante du bassin versant du Sebou et abrite deux de ses plus grandes villes (Fès et Meknès) et plusieurs centres urbains et ruraux. Il est caractérisé par topographie plane avec une pente faible décroissante du Sud au Nord et des altitudes variant entre 250 m et 600 m. Le Saïs est drainé par de nombreux cours d'eau, dont Oued Fès et Oued Meknès et leurs affluents sont les plus importants. Quant aux eaux souterraines, elles sont constituées de deux nappes (libre et captive). La région offre aussi des opportunités considérables en matière de ressources thermales minérales avec les sources de Sidi Harazem, Moulay Yacoub et Ain Allah. Le climat de la région est de type méditerranéen sec et chaud en été et humide et frais en hiver avec des écarts thermiques saisonniers importants et des précipitations moyennes de 500 mm à Fès et de 600 mm à Meknès. La population du bassin de Fès-Meknès est d'environ deux millions d'habitants et elle est en croissance continue (de 3 à 5% par an). L'agriculture et l'artisanat sont les principales activités économiques dans la région.

Dans le cadre de cette étude on a utilisé 8 images produites par les satellites Landsat 5, 7 et 8 (Tableau 1). Pour faciliter l'identification des classes thématiques, on a choisi deux images par année (une image en hiver et une image en été). Celles-ci sont téléchargées depuis le site internet USGS (<https://glovis.usgs.gov>), et ont un niveau de prétraitement (Collection 1 de niveau 1) USGS (2019). Elles sont sous forme de compte numérique (*Digital Number* : DN) quantifiés et calibrés représentant les données d'images multispectrales. Les données de Landsat 8 sont fournies au format entier (16 bits). Les produits Landsat 5 et 7 sont fournies au format entier (8 bits).

Tableau 1 : Liste des images des satellites Landsat-5,7 et 8 utilisées dans la série temporelle

Satellites	Dates
Landsat-5 TM	02-01-1988
	29-08-1988
Landsat-7 ETM	19-07-1999
	26-12-1999
Landsat-5 TM	06-07-2009
	11-11-2009
Landsat-8 OLI et TIRS	07-01-2019
	19-08-2019

Pour l'élaboration des cartes d'occupation et utilisation du sol, on a procédé par la méthode de classification supervisée par l'algorithme de maximum de vraisemblance. Le processus de la cartographie de l'occupation du sol est composé de plusieurs étapes (Figure 2). Tout d'abord, le secteur est couvert par deux scènes Landsat (Path-Row) (201-36 et 201-37) par conséquent, on a procédé à leur mosaïquage pour former une seule qui couvre toute la région d'étude. Puis, la collecte des échantillons d'apprentissage a été effectuée. Six classes thématiques d'occupation du sol ont été identifiées : surfaces d'eau - espaces urbains - parcours - cultures irriguées - vergers - terrains bours. La pertinence de ces échantillons et la séparabilité des classes d'occupation du sol sont analysées graphiquement par des nuages de points. Une classification automatique a ensuite été effectuée. C'est une méthode qui calcule la probabilité d'appartenance d'un pixel à une classe donnée plutôt qu'à une autre. Les pixels seront affectés à la classe pour laquelle la probabilité est la plus forte. Pour l'amélioration de

la classification, on a procédé par des traitements de post-classification (application de filtres majoritaires). La précision de la classification a été évaluée à l'aide de la matrice de confusion et par le calcul de l'indice de Kappa (Bontemps, 2004, Girard et Girard., 1999). A partir de cette matrice on a généré la précision globale et le coefficient de Kappa.

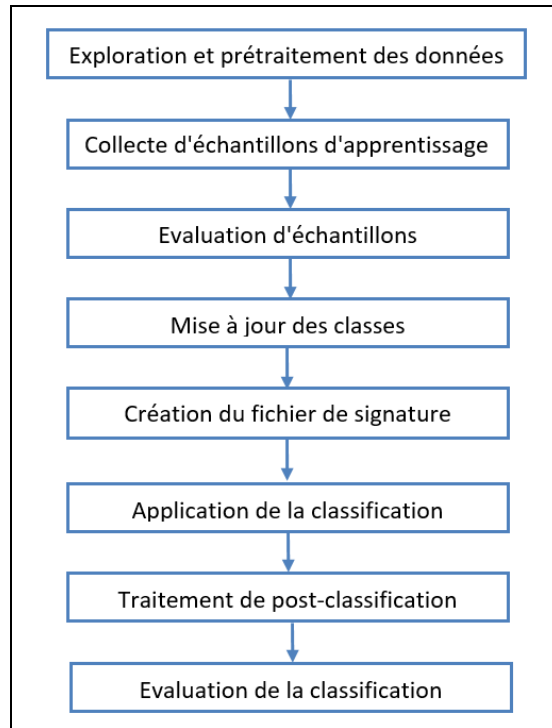


Figure 2: Schéma du processus de classification pour la cartographie de l'occupation du sol

2- RÉSULTATS ET DISCUSSION

Notre approche de cartographie de l'occupation du sol est basée sur des images d'hiver et d'été pour chaque année. Dans l'image d'été, la zone urbaine semble non végétalisée et se distingue des forêts et des vergers. Cependant, l'image d'hiver facilite la séparation des zones végétalisées des zones urbaines avec des quantités importantes d'asphalte et de béton et d'autres surfaces imperméables qui sont spectralement similaires au sol nu dans une image d'été. L'importance de l'imagerie multi-temporelle a été confirmée en déterminant les divergences transformées pour l'ensemble de données par rapport aux dates uniques, par ce que la séparabilité des classes a été augmentée par la complémentarité d'images des deux saisons.

Avant d'entamer l'analyse et l'interprétation de ces cartes d'occupation du sol, la validation de la classification a été effectuée par la comparaison visuelle avec la vérité terrain et par le calcul et l'analyse de la matrice de confusion. En pratique, on a généré une couche de polygones répartis de manière aléatoire sur toute la zone d'étude. On a défini un total de 100 échantillons pour les six classes en se basant sur les images de *Google Earth*. Cette couche rasterisée par la suite, va servir comme donnée du terrain. Une opération d'intersection de cette couche avec celle issue de la classification a été faite pour obtenir une couche dans laquelle les points sont affectés à leur classe d'occupation du sol. A l'aide de requête SQL sous ArcGIS, les données de la matrice de confusion ont été renseignées. Le pourcentage de la précision globale et le coefficient de Kappa pour les quatre classifications dépassent respectivement 84 % et 0.8. Ce qui permet d'en déduire que les classifications sont fiables et exploitables (Bonn, 1996).

Les résultats issus des classifications pour les quatre années montrent une évolution importante des surfaces des classes d'occupation du sol (Figure 3). La dynamique de l'occupation des sols de la région entre 1988 et 2019 est marquée essentiellement par une réduction des parcours, des cultures irriguées et des terrains bours, et une augmentation de milieu urbain, des surfaces d'eau et des vergers.

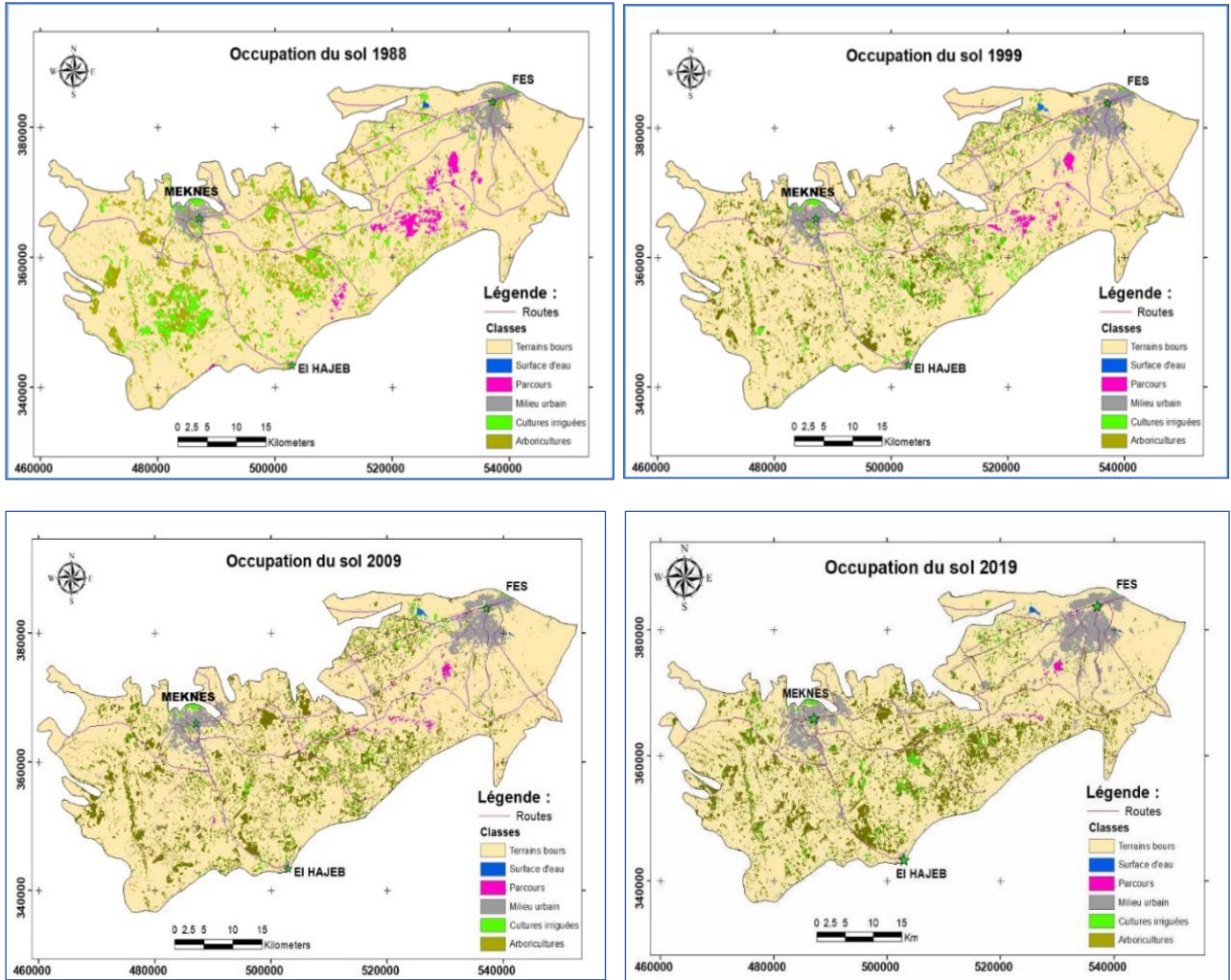


Figure 3 : Cartes d'occupation du sol des années : 1989, 1999, 2009 et 2019.

L'analyse des cartes et du tableau 2 montre tout d'abord que les terrains agricoles non irrigués (terrains bours) occupent plus de 77 % de la superficie totale lors des quatre années d'observation mais avec une baisse significative de 5.6 % observée entre 1988 et 2019. Le milieu urbain occupe à peu près 6.5 % du territoire pour l'année 2019 tandis que 30 ans plutôt (1988), il occupait seulement 2.7 %, soit une progression de 140 % durant cette période. La superficie des plans d'eau augmente aussi et ce changement dépend non seulement des conditions naturelles des précipitations mais également à la réalisation de deux barrages de protection de la ville de Fès contre les inondations (Barrage El Gaada et Barrage Mehraz) et des activités d'irrigation (réalisation de plusieurs bassins de stockage d'eau). Les résultats montrent aussi une augmentation significative (plus de 43 %) des vergers (Arbres fruitiers et olivier essentiellement). Au contraire, les parcours montrent une baisse significative (de -82 % environ) et ceci par les activités de mise en culture et/ou d'urbanisation.

Tableau 2 : Surfaces (en ha) et pourcentages de l'occupation du sol en 1988, 1999, 2009 et 2019

Classes	1988		1999		2009		2019		Changements entre 1988-2019	
	Surface	%	Surface	%	Surface	%	Surface	%	Surface	%
Surface d'eau	80,5	0,04	186,7	0,08	238,0	0,11	240,3	0,11	159,8	198,66
Milieu urbain	6061,4	2,68	9486,6	4,20	10168,2	4,49	14755,3	6,53	8693,9	143,43
Parcours	3759,0	1,66	1591,7	0,70	1370,3	0,61	508,2	0,22	-3250,8	-86,48
Cultures irriguées	9885,1	4,37	7406,9	3,28	4527,2	2,00	5261,0	2,33	-4624,0	-46,78
Arboricultures	20990,2	9,27	21617,2	9,56	28518,2	12,60	30425,0	13,46	9434,8	44,95
Terrains bours	185606	81,99	185829	82,18	181546	80,20	174927	77,36	-10678	-5,75

CONCLUSION

L'intégration des techniques géospatiales (télédétection et SIG) et des investigations de terrain constitue une bonne approche pour appréhender les l'évolution des paysages et les changements environnementaux. L'application de cette approche sur le Saïss a permis la mise en évidence d'importantes transformations au cours des trois dernières décennies.

L'analyse des cartes d'occupation du sol pour la période 1988-2019 a montré que l'occupation des sols de la région a connu des évolutions importantes pendant les 30 dernières années. Elle affiche une augmentation de la surface occupée par d'arboriculture et des zones urbanisées au détriment des terrains bours et de parcours. En effet, les taux moyens de régression pendant la période d'étude pour des terrains bours et de parcours sont respectivement de -5,75% et de -82 %. Par contre, il y a une progression des classes des verges (43 %), des zones urbanisées (140 %) et des plans d'eau (198,66%). Ceci confirme une forte influence anthropique sur l'évolution de l'occupation et l'utilisation des terres dans la plaine de Saïss.

REFERENCES

- Bonn, F., (1996) - Précis de télédétection, Volume 2 – Application thématiques. Presses de l'Université du Québec/ AUPELF, 633 p.
- Bontemps S., (2004) - Cartographie et interprétation de l'évolution du développement territorial par télédétection spatiale au Cambodge. Mémoire de fin d'études de la faculté des Sciences Agronomiques, UCL, Louvain-La-Neuve, 111p.
- Girard, M. C. et Girard, C. M. (1999). Traitement de données de télédétection. Dunod, Paris, 529p.
- Jofack SVC, Kouamé FK, Dibi N'da H, Tankoano B, Akpa YL, Ngounou NB, (2016) - Cartographie de l'occupation de sol des Hauts Plateaux de l'Ouest Cameroun par réseaux de neurones appliqués à une image LANDSAT 8. International Journal of Innovation and Scientific Research, 23(2), pp. 443-454.
- Lu.D., Mausel.P., Brondizio.E., Moran. E., (2004) - Change detection techniques. International Journal of Remote Sensing, VOL. 25, NO.12, pp. 2365-2407.
- Mas, J-F., (2000) - Une revue des méthodes et des techniques de télédétection du changement. Journal canadien de télédétection, 26 (4), pp. 349- 362.
- USGS (2019) - Landsat 8 Data Users Handbook Version 5.0. EROS Sioux Falls, South Dakota, USA, 114p.
- Yagoub. H., (2015) - Cartographie et suivi du couvert végétal des zones semi-arides par l'imagerie satellitaire. Doctorat Es-Science, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, Faculté de Physique, 150p.

REDEPLOIEMENT AGROPASTORAL ET DYNAMIQUE ENVIRONNEMENTALE DANS LES STEPPES DE L'EST MAROCAIN.

MEJDOUBI El Mustapha, **SBAI** Abdelkader et **ELHARRADJI** Abderrahmane
Université Mohamed I^{er}, Laboratoire de Géomatique, Patrimoine et Développement,
60000, Oujda, Maroc. *mejdi66_@hotmail.fr*

RÉSUMÉ: A l'aune de l'évolution environnementale dans les steppes de l'Est marocain, caractérisée par l'importante régression du couvert végétal et l'érosion du sol dont l'action anthropique est un facteur principal d'accélération, un nouveau redéploiement spatial se met en place. Ce dernier est l'une des facettes de la périlclitacion des us et des usages de la société pastorale contrainte à certaines formes d'adaptation.

Cette contribution tente de décrire deux figures d'occupation du sol des hauts-Plateaux de l'Oriental marocain.

Il est question, d'une part, d'un élevage à mobilité réduite caractérisé par l'engraissement à ciel ouvert, une maison construite en dur et l'utilisation du camion pour l'approvisionnement en eau et en nourriture. La seconde figure d'élevage, totalement sédentaire, se fait dans une exploitation agricole relativement moderne, caractérisée par le pompage d'eau de la nappe phréatique par l'utilisation de l'énergie solaire. Cette dernière permet d'irriguer une culture arboricole et fourragère, celle-ci étant mise à forte contribution dans un engraissement ovin et bovin.

De facto, cette contribution s'inscrit sous le thème des actions anthropiques et de l'évolution de la dynamique environnementale. Elle se donne comme objectif de présenter ces deux formes d'occupation du sol en réponse à la dynamique environnementale en place et qui seront explorées et étudiées au moyen d'une investigation dans deux exploitations de la région d'Ain Bni Mathar.

Mots-clés: Dynamique environnementale, steppes orientales, élevage, occupation du sol, exploitation.

AGROPASTORAL REDEPLOYMENT AND ENVIRONMENTAL DYNAMIC IN EASTERN MOROCCAN STEPPES.

ABSTRACT: In the light of the environmental evolution in the steppes of eastern Morocco, characterized by the significant regression of plant cover and soil erosion, the human action of which is a main acceleration factor, a new spatial redeployment gets ready. The latter is one of the facets of the collapse of the customs and practices of the pastoral society forced to certain forms of adaptation.

This contribution attempts to describe two land use figures in the highlands of the Moroccan Oriental.

It is about, on the one hand, a reduced mobility livestock characterized by open fattening, a house built in solid and the use of the truck for the supply of water and food. The second figure of farming, totally sedentary, is done on a relatively modern farm, characterized by the pumping of water from the water table by the use of solar energy. The latter makes it possible to irrigate an arboreal and fodder crop, which is put to great use in sheep and cattle fattening.

De facto, this contribution falls under the theme of anthropogenic actions and the evolution of environmental dynamics. It aims to present these two forms of land use in response to the environmental dynamics in place and which will be explored and studied by means of an investigation in two farms in the Ain Bni Mathar region.

Keywords: Environmental dynamics, eastern steppes, breeding, land use, exploitation.

INTRODUCTION

Qui peut prédire jusqu'où iront les mutations socio-spatiales en cours sur les Hauts-Plateaux de l'Oriental marocain ? C'est un questionnement énonciateur de l'importance des transformations que subissent les terres de parcours sur les plans biophysique et humain, changements qui matérialisent, ipso facto, l'évolution de la donne environnementale dans ces contrées et dont les manifestations sont l'évidente régression du couvert végétal et l'érosion du sol. Cet état de fait se trouve considérablement boosté par l'action anthropique considérée comme un facteur principal d'accélération et, face auquel, un nouveau redéploiement humain et spatial se met en place. Cette évolution témoigne de la périlclitication des us et des usages de la société pastorale contrainte à certaines formes d'adaptation.

S'inscrivant sous le thème des actions anthropiques et de l'évolution de la dynamique environnementale, cette contribution pourchasse l'objectif de présenter deux des principales formes d'occupation du sol en réponse à la dynamique environnementale en place et qui ont été explorées et étudiées au moyen d'une investigation dans deux exploitations de la région d'Ain Bni Mathar.

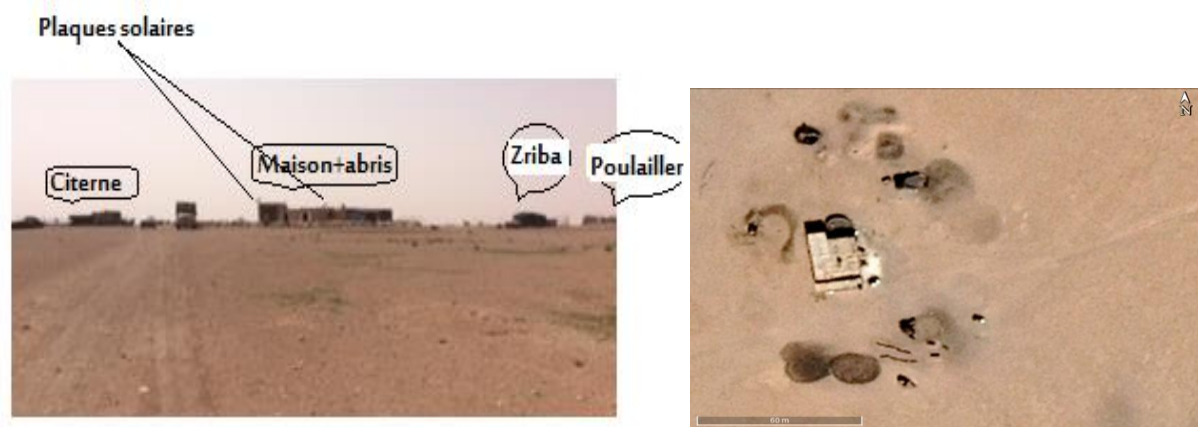
Il est question d'en décrire la consistance, les modes de gestion ainsi que les attentes et les difficultés auxquelles leurs exploitants doivent faire face.



Photo 1: Situation des exploitations prospectées

1. Exploitation axée sur l'élevage

Il est question d'un élevage à mobilité réduite caractérisé par l'engraissement à ciel ouvert, une maison construite en dur et l'utilisation du camion pour l'approvisionnement en eau et en nourriture.



Photos 2 et 3: Composantes de l'exploitation 1

L'exploitation se situe sur le territoire de la tribu des Ouled Sidi Abdelhakem et, administrativement, à la commune du même nom à environ 26 km du centre d'Ain Bni Mathar.

Elle appartient au Douar des Amours, une fraction de la tribu des Ouled Sidi Abdelhakem mais au nombre très réduit. Le douar est constitué, en tout, de trois exploitations qui appartiennent à la même famille¹.

Le troupeau ovin est composé d'une centaine de têtes de moutons. La ration du jour est de 500 grammes d'orge par tête², à la suite de laquelle, le troupeau est emmené sur rayon de 2,5 km, en particulier sur le parcours à Alfa³. A midi, il revient à la maison pour l'eau et l'allaitement d'une heure. Ensuite il repart vers le même parcours jusqu'au coucher du soleil. La conduite sur parcours ou le gardiennage est assuré par un adolescent rétribué à 1000,00 dh par mois⁴.

¹ Il y a deux à trois décennies, ces exploitations appartenaient à trois frères. L'un des frères continue l'entretien d'un troupeau, les deux autres ayant décédé, ce sont leurs fils qui en perpétuent la charge.

² L'exploitant affirme que les brebis refusent de se déplacer sans avoir ingurgité cette ration.

³ Avant, les moutons déclinaient totalement cette plante, aujourd'hui, faute de trouver mieux, ils se rabattent sur ses parties sèches.

⁴ L'usage actuel veut que la rétribution soit entre 1000 et 1300 dh par mois, ou de 12 agneaux et 6 chevrons par année.



Photos 4, 5 et 6: Respectivement de gauche à droite, Alfa pacagée, culture d'orge en bour et petit barrage de rétention d'eau de pluie

Dans cette exploitation, hormis le déplacement à proximité sur un rayon de 2,5 km, la sédentarisation est pratiquement totale compte tenu du fait que la zone parcourue par le troupeau est considérée comme faisant partie de l'exploitation.⁵

Face à la situation environnementale actuelle, caractérisée par la régression généralisée du couvert végétal sur le territoire des Hauts-plateaux et l'érosion subséquente de son sol, l'exploitant a été enclin à diminuer progressivement la taille de son troupeau qui, il y a quelques années, avoisinait les 600 têtes⁶.

Quelques éleveurs, ayant plus de ressources, se déplacent vers d'autres régions du Maroc. L'exploitant enquêté considère que ces déplacements sont à la fois onéreux et à risques. Il préfère rester sur place. A l'heure actuelle, la supplémentation couvre 90% de la nourriture du troupeau. S'il ne donne qu'un demi kilo d'orge et de son, il affirme qu'un voisin en donne jusqu'à 1,5 kilo par tête, ce qui dépasse largement ses capacités propres. Sa formule est d'entretenir au minimum son troupeau, en attendant des jours meilleurs.

Il est à souligner que pour l'exploitant, l'activité de l'élevage constitue sa seule source de revenus malgré qu'il soit impossible d'exercer le métier d'éleveur en dehors d'autres sources de financement. Le manque à gagner est assuré par le crédit. L'exploitant doit environ 100 000,00 dh aux vendeurs d'aliments de bétail.⁷

Selon lui, la donnée environnementale étant ce qu'elle est, la seule lueur d'espoir est de pratiquer, en parallèle, la culture irriguée au moyen d'un forage, pour assurer soi-même la nourriture du troupeau si l'on veut échapper à la main mise des vendeurs d'orge et éviter l'hypothèque⁸ du troupeau.

Cette réflexion amène tout droit à la deuxième forme d'exploitation en œuvre sur le territoire des Hauts-Plateaux de l'Oriental.

⁵ L'exploitant affirme que, ni son oncle ni ses cousins, ne viennent pacager à l'intérieur de ces limites.

⁶ L'année dernière, le troupeau se composait de 240 têtes de moutons.

⁷ Un éleveur voisin a dû vendre la totalité de son troupeau pour payer ses crédits d'achat d'aliments de bétail.

⁸ "Nous travaillons, pratiquement, pour le compte des vendeurs d'orge à crédit " disait l'exploitant.

2. Exploitation axée sur la culture irriguée

Acquis⁹ en 1997, la ferme s'étale sur une dizaine d'hectares. Le propriétaire est natif¹⁰ d'Ain Bni Mathar mais son père est Soussi. Cette seconde figure d'élevage, totalement sédentaire¹¹, se fait dans une exploitation agricole relativement moderne, caractérisée par le pompage d'eau de la nappe phréatique par l'utilisation de l'énergie solaire. Cette dernière permet d'irriguer une culture arboricole et fourragère mise à forte contribution dans un engraissement ovin et bovin au nombre réduit¹².

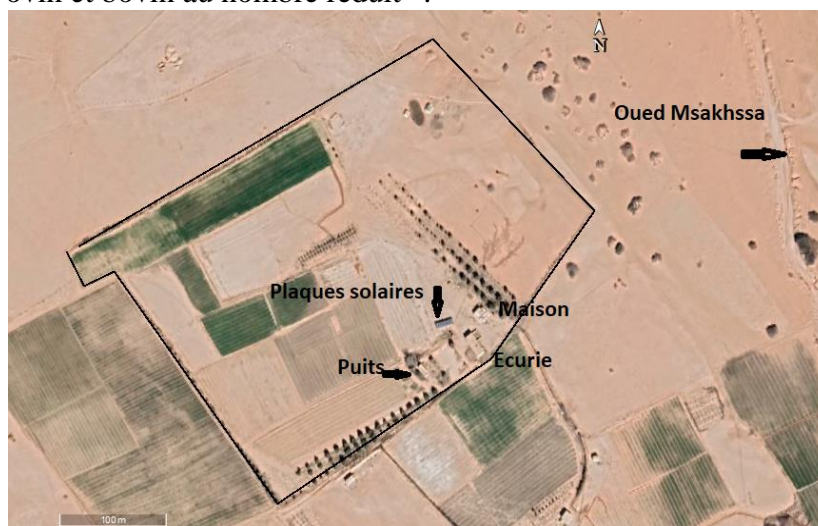


Photo 7: Composantes de l'exploitation 2

L'exploitation renferme en tout 500 arbres fruitiers: 300 oliviers, 100 amandiers et 100 grenadiers. Le fermier cultive des céréales principalement l'orge et l'avoine pour son troupeau et pour la vente. Concernant les plantes fourragères, la luzerne est également produite et pour les animaux et pour la vente.

⁹ La parcelle fait partie des terres collectives et pourtant un document de cession aux signatures légalisées formalise cette acquisition.

¹⁰ Malgré sa naissance à Ain Bni Mathar, le statut d'ayant droit lui est contesté.

¹¹ La première forme d'exploitation l'est aussi.

¹² Une vingtaine de brebis et deux vaches.



Photos 8, 9 et 10: Respectivement de gauche à droite, Plaques solaires, arboriculture et vaches de l'exploitation 2

La ferme est, en somme, une petite exploitation qui, en premier, assure à son exploitant l'autosuffisance et lui permet ensuite d'écouler des produits recherchés sur le marché local.

La journée de travail à la ferme commence très tôt le matin. L'exploitant commence par apporter à manger aux vaches, sa femme se chargeant de leur traite¹³.

Le puits est équipé d'une pompe d'une puissance de 48 à 50 m³/h. l'énergie produite par les plaques solaires permet l'irrigation de 5 hectares durant l'été et entre 7 et 8 hectares en hiver. L'exploitant dit ne pas pouvoir diversifier ses produits du fait qu'une telle activité doit mobiliser une plus grande main d'œuvre et que les possibilités de leur écoulement ne sont pas garanties surtout pour des denrées périssables.

Conclusion

Le pastoralisme d'antan n'est plus. Pour faire face à l'évolution environnementale en œuvre sur les Hauts-plateaux de l'Est marocain, caractérisée par une forte régression du couvert végétal et son corolaire l'érosion du sol, les éleveurs s'organisent autrement. Si la majorité continue à conduire un élevage basé sur l'apport quotidien d'une alimentation hors sol inabordable à long terme tout en s'octroyant de grandes étendues de terres de parcours, d'autres pensent trouver leur salut dans des exploitations basées sur des cultures arboricoles et fourragères. On assiste alors à une transformation paysagère du territoire des steppes orientales, conséquence inéluctable de ces nouveaux modes d'occupation du sol qui interviennent en réponse à la donne environnementale actuelle.

¹³ Sans que ce soit un oubli de ma part, l'exploitant m'a demandé de ne pas sous-estimer le rôle de la femme dans la gestion de la ferme.

Références bibliographiques :

- Bencherifa A. (1995). Processus de sédentarisation et risques de désertification. Impact environnemental de l'évolution récente du nomadisme pastoral sur les Hauts Plateaux du Maroc. In *l'Afrique du Nord face aux menaces écologiques. Série Colloques et Séminaires. 50. FLSH. Rabat, pp. 79-97.*
- El Ghayati N. (2006). Gestion des ressources naturelles sur les Hauts Plateaux septentrionaux et leurs impacts socioéconomiques et environnementaux, entre Gafayt et Lamrija. *Mém. DESA. FLSH. Univ. Oujda. 99 p. (en arabe).*
- El Harradji A. (1993). Morphodynamique, activités anthropiques et environnement dans le Massif de Debdou-Mekkam. (Maroc Oriental). *Actes du symposium dynamique de l'environnement en Afrique. 2e Congrès des Géographes Africains. Rabat. 19-25 avril 1993. pp. 103-112.*
- El Harradji A. (2016). Dégradation des terres et changements climatiques sur les Hauts-Plateaux orientaux et leurs marges sahariennes, approche paysagère. *Colloque de la 4e rencontre des géographes marocains. 23-24 décembre 2016. Rabat. 21 p.*
- El Koudrim M. (2013) : Impact des facteurs anthropiques et des stratégies socio-foncières sur l'amplification de la désertification au niveau des Hauts Plateaux de l'Oriental. *Al Awamia 127. pp. 73-89.*
- El Koudrim M., Maatougui A., Bechchari A., Acherkouk M., Mahyou H. et Rahmi. M. (2006). Etat, gestion et contraintes des parcours du Maroc Oriental. *L'élevage du mouton et ses systèmes de production au Maroc (Eds. B. Boulanouar & R. Paquay). pp. 102-116.*
- El Koudrim M., Thomas N., Gintzburger G., Rahmi M. et Bounejmate M. (2001). Étude du phénomène de mise en culture sur parcours : cas de la commune de Ain Béni Mathar. In *gestion durable des ressources agropastorales. C.R. de l'atelier régional ICARDA, du 20-22 février à Oujda, Maroc, pp. 73-84. [M. Bounejmate et M. El Mourid (éds)].*
- Ghazal M. (2005). *L'élevage dans la Région Orientale du Maroc, entre la crise du pastoralisme et les contraintes du développement. Thèse d'Etat, 2 tomes, 415 p. Université d'Oujda, (en arabe).*

LA PRESSION DE LA DYNAMIQUE DES CULTURES IRRIGUEES SUR LES RESSOURCES EN EAU DANS LA PLAINE DE GUIGOU, MOYEN ATLAS -MAROC

EL-BOUHALI Abdelaziz ⁽¹⁻²⁾, AMYAY Mhamed ⁽¹⁾, LEBAUT Sébastien ⁽²⁾, EL OUAZANI
ECH-CHAHDI Khadija ⁽¹⁾, GILLE Emmanuel ⁽²⁾

¹ *Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Sais, Fès-Maroc.*

² *Université de Lorraine, Metz-France. abdelaziz.elbouhali@usmba.ac.ma*

RESUME: La plaine de Guigou a enregistré au cours des trois dernières décennies une dynamique soutenue des cultures irriguées (pomme de terre, oignon, carotte). Les observations in situ et le traitement des images satellites multispectrales (Landsat TM et Landsat OLI) ont permis de suivre cette évolution et de mettre en évidence son ampleur. Ainsi, l'extension des terres irriguées s'est faite au détriment des terrains de pâturages et des terrains de pratique des cultures pluviales. Ce développement a engendré une forte pression sur les ressources en eau dans la plaine de Guigou qui se traduit localement par une baisse alarmante de niveau de la nappe et par des transformations socio-spatiales très profondes. Ces perturbations successives au niveau du système hydrologique ont conduit les agriculteurs à la mise en place de nouvelles formes d'adaptation qui se concrétisent dans l'approfondissement des puits et dans des changements dans le cheminement des eaux d'irrigation.

Mots clés : la plaine de Guigou, cultures irriguées, ressources en eau, dynamique, pression

THE PRESSURE OF THE DYNAMICS OF IRRIGATED CROPS ON WATER RESOURCES IN THE GUIGOU PLAIN, MIDDLE ATLAS - MOROCCO

ABSTRACT: The Guigou plain has recorded a sustained dynamic of irrigated crops (potato, onion, carrot) over the last three decades. In situ observations and processing of multispectral satellite images (Landsat TM and Landsat OLI) have made it possible to follow this evolution and to highlight its extent. Thus, the extension of irrigated land has been done to the detriment of pasture land and rainfed cropland. This development has led to strong pressure on water resources in the Guigou plain, which is reflected locally by an alarming drop in the groundwater level and by very profound socio-spatial transformations. These successive disruptions to the hydrological system have led farmers to develop new forms of adaptation, which are reflected in the deepening of wells and in changes in the flow of irrigation water.

Key words: the Guigou plain, irrigated crops, water resources, dynamics, pressure

INTRODUCTION

Les études menées sur le Moyen Atlas montrent qu'il était une terre de pâturages (Jennan L. 1986; Tag B., Loew G. 1996 ; Amyay M. et al., 2000 ; El Jihad M.D 2016). Son économie a été basée sur le pâturage, avec de faibles surfaces irriguées à proximité des sources et des oueds. Au cours des dernières décennies, le Moyen Atlas enregistre une dynamique paysagère importante. Il s'agit de l'intensification des activités agricoles basées essentiellement sur l'irrigation au détriment des terrains de pâturages et de cultures sèches. En effet, la mise en place de grands périmètres irrigués dans les dépressions intramontagnardes provoque des mutations socio-spatiales très profondes et induit à une forte pression sur les ressources en eau.

Le présent travail vise l'étude de la pression de la dynamique des cultures irriguées sur les ressources en eau dans la plaine de Guigou. L'analyse de l'occupation des sols entre 1985 et 2018 à partir des images satellites multispectrales (Landsat TM et Landsat OLI) nous a permis de déceler les tendances évolutives des différentes classes d'occupation des sols et les types de changements qui s'opèrent. Ainsi, les mesures piézométriques réalisées sur la plaine de Guigou ont permis de mettre en évidence les changements consécutifs du niveau de la nappe et son impact sur le changement du système d'irrigation.

1. ZONE D'ÉTUDE

La plaine de Guigou se situe géographiquement dans le Moyen Atlas tabulaire et dépend administrativement des provinces de Boulemane et d'Ifrane (fig.1). Elle s'étale sur une superficie d'environ 190 km² et se caractérise par la dominance des formations lithologiques calcaires du Lias recouvertes par des coulées basaltiques et un climat semi-aride, caractérisé par un hiver froid et pluvieux et un été chaud et sec. La saison pluvieuse est relativement fournie en précipitations mais celles enregistrent dans la plaine comme dans le Moyen Atlas de grandes irrégularités d'une année à l'autre. La neige se manifeste pendant les années humides et elle peut persister pendant plusieurs jours sur les sommets des reliefs encadrant la plaine. Ces conditions ont favorisé une certaine richesse en ressource en eau. La plaine est traversée par l'oued Guigou (le Sebou amont) qui prend naissance sur les sommets à quelques kilomètres au Sud Est du centre de la plaine. Une grande partie des précipitations qui tombent sur le causse d'Azrou infiltrent et s'écoulent vers le centre de la plaine de Guigou et donnent naissance à une puissante nappe phréatique dans les assises calcaires du lias et les formations basaltiques quaternaires dont l'étendue est aussi vaste que l'étalement de la plaine. La source de Tit Zil qui émerge au centre de la plaine de Guigou constitue un exutoire de cette nappe. Les conditions géomorphologiques, climatiques et lithologiques ont favorisé la mise en place d'une couverture pédologique aux potentialités agricoles relativement bonnes. Cette richesse associée à la disponibilité de la ressource en eau a favorisé la pratique de l'agriculture dans ces contrées de pastoralisme. Les eaux superficielles sont mobilisées par un réseau de Séquia qui a vu le jour depuis des temps lointains. La revendication des droits d'eau a même occasionné des conflits qui se sont traduits parfois par des heurts entre les tribus habitant la plaine. L'indigence des eaux superficielles et le développement des moyens d'exhaure ont favorisé le recours aux eaux souterraines pour l'irrigation. Bien que le phénomène soit relativement ancien dans la région, son extension a connu une forte progression au cours des dernières décennies. Cette dynamique à la pratique de l'irrigation sur une vaste surface qui était auparavant le siège des cultures en bour et /ou des zones de

pâturages. Ainsi, la plaine de Guigou est devenue un des plus importants périmètres irrigués dans le Moyen Atlas.

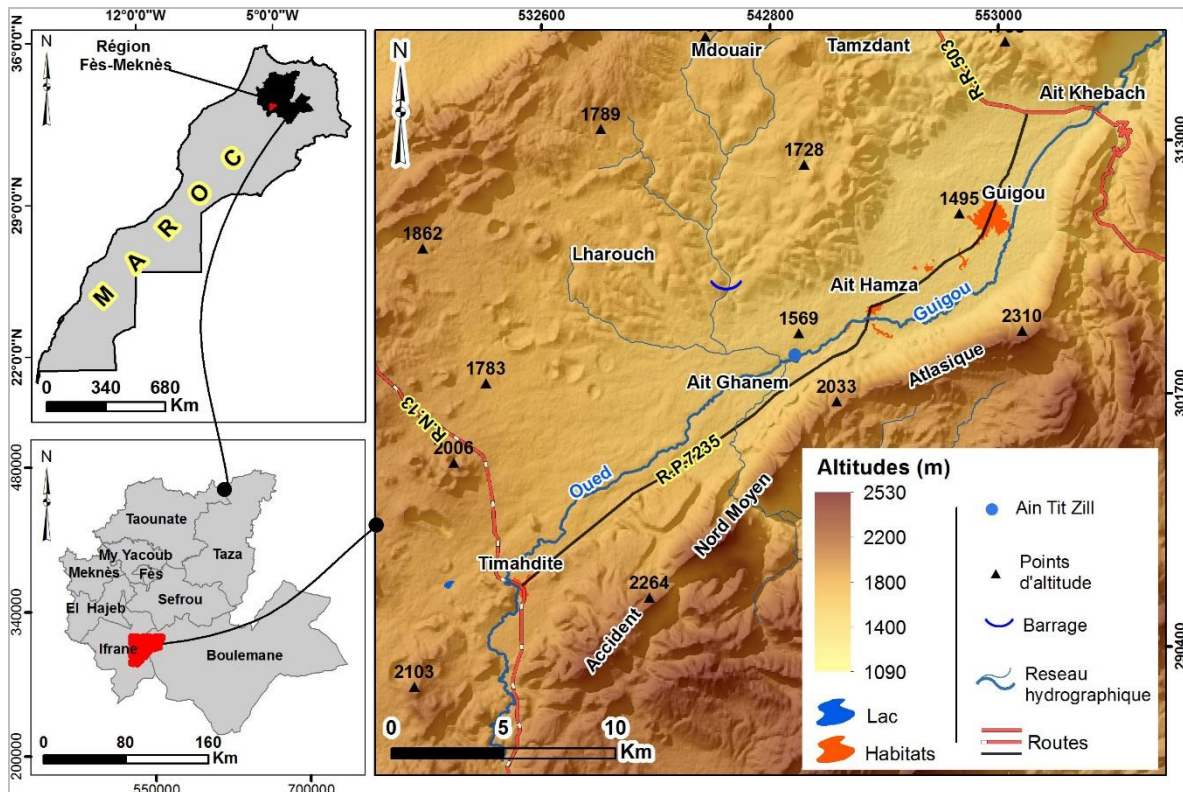


Figure 1. Situation géographique et administrative de la plaine de Guigou

2. MATERIEL ET METHODES

L'élucidation de la relation qui existe entre l'extension des surfaces agricoles irriguées et la pression sur les ressources en eau notamment souterraines repose dans cette étude sur le travail de terrain et le traitement des images satellitaires. L'exploration de la zone d'étude et l'inventaire des points de prélèvement et d'extraction des eaux constituent un élément clef dans la compréhension de la pression exercée sur les ressources en eau. La vérité terrain élaborée lors des missions de terrains a été la base pour le traitement des images satellites. L'appréciation des changements consécutifs du niveau piézométrique de la nappe s'est faite à l'aide des campagnes de mesures piézométriques effectuées sur l'ensemble de la plaine de Guigou. En parallèle avec les mesures, des entretiens ont été réalisés auprès de la population locale, afin de connaître la situation actuelle et passée des puits et de l'occupation des sols.

La cartographie, le suivi et la quantification de la dynamique d'occupation du sol en générale et des cultures irriguées en particulier est faite à partir des séries temporelles des images satellites. L'extraction des informations relatives à l'occupation des sols dans la plaine de Guigou a été réalisée par l'application de la méthode de classification supervisée qui est basée sur le principe de l'apprentissage automatique « Machine Learning ». Cela a permis de regrouper les pixels similaires dans une même classe (étiquette) (Pelletier. C 2017). Globalement, les méthodes / algorithmes de classification supervisée (SVM : Support Vector Machine ; RF : Random Forest, ...) sont très utilisées dans la télédétection pour cartographier les composantes de la surface terrestre (Blaschke T. 2010 ; Churches C.E. et al., 2014).

3. RESULTATS ET DISCUSSION

L'accroissement démographique, les subventions de l'Etat et la volonté de la population locale de rentabiliser les richesses de leur territoire, ont conduit à une dynamique rurale notable dans la plaine de Guigou. Celle-ci s'est traduite entre autres par une forte extension des surfaces irriguées. Ainsi, la plaine de Guigou a enregistré au cours des dernières décennies, d'importantes mutations dans l'occupation et l'utilisation des terres. Les figures ci-après (fig. 2, fig. 3, et fig.4) issues du traitement des images satellitaires (Landsat TM and Landsat OLI) montrent l'évolution progressive ou/et régressive des différents types d'occupation du sol. La superficie des cultures irriguées passe d'environ 700 ha en 1985 à plus de 3900 ha en 2018 ce qui donne une progression moyenne de 100 ha/an. Cette tendance a induit la régression des autres classes d'occupation des sols (terrains de cultures Bour, terrains nus : terrains calcaires et terrains basaltiques).

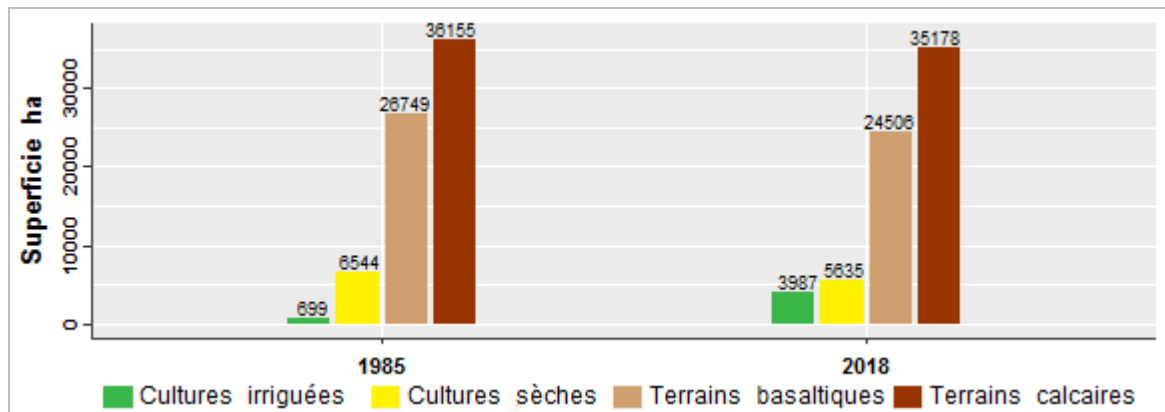
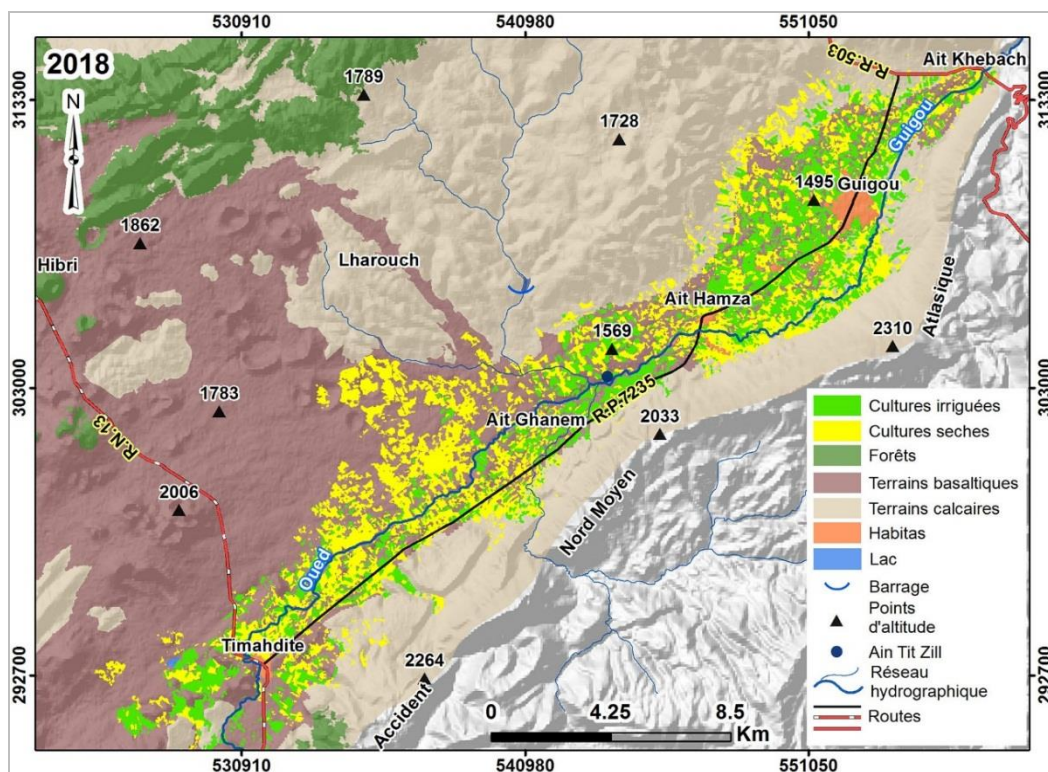
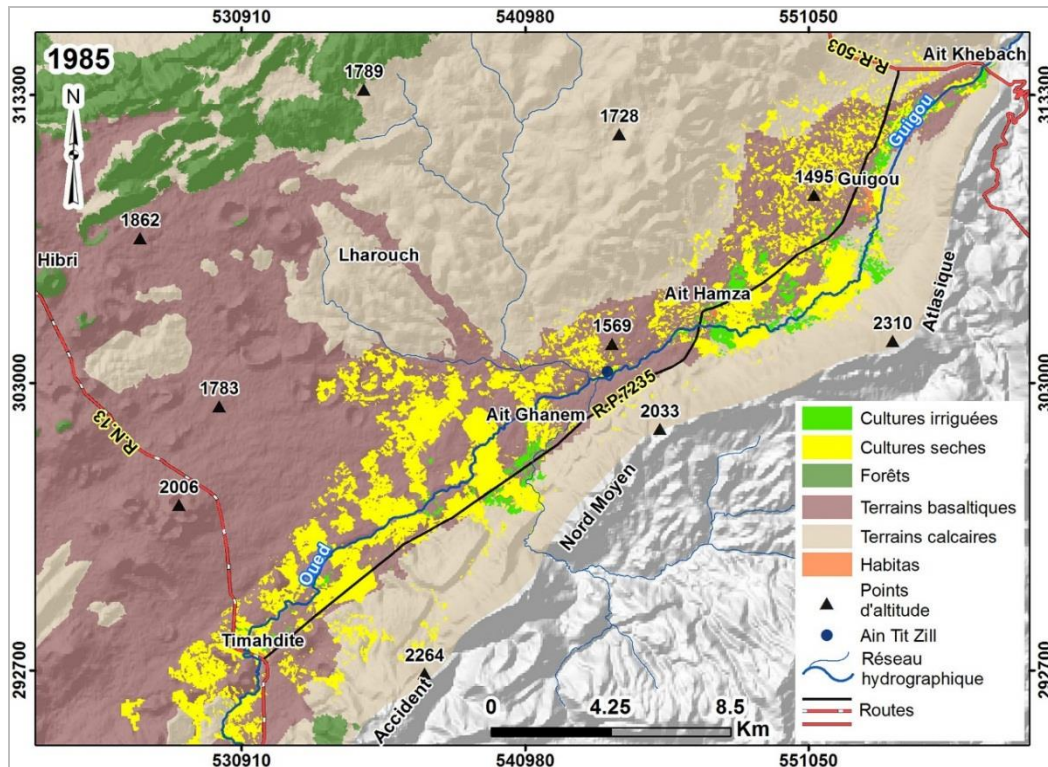


Figure 2. Évolution de la superficie (ha) d'occupation du sol dans la plaine de Guigou entre 1985 et 2018

Comme susmentionné, le développement récent de l'irrigation dans la plaine de Guigou s'est largement appuyé sur les eaux souterraines. Le nombre de puits creusés dans la plaine a connu une forte progression aux cours des trois dernières décennies. Le phénomène n'a épargné que ces marges lointaines et dépourvues de couverture pédologique adéquate. Les volumes d'eau extraits à la nappe phréatique sont considérables notamment pendant les mois d'été qui coïncident avec la phase de croissance des principales cultures pratiquées dans la zone (oignon, pommes de terre...). L'adoption des motopompes puissantes et l'utilisation du gaz butane ont contribué à une certaine réduction du coût de l'exhaure qui a amplifié l'exploitation des eaux de la nappe.

L'amplification de ce phénomène associée à la faible fréquence des années pluvieuses régénératrices des réservoirs d'eaux souterraines ont largement affecté le bilan de la nappe phréatique de la plaine de Guigou. Son niveau piézométrique a accusé un fort recul dans l'ensemble de la plaine. Certains puits ont connu une baisse de plus de 10 mètres en moins d'une décennie. En trois décennies, la profondeur de certains puits passe de 6 m à 69 m. Certains sont devenus incapables d'alimenter la motopompe pendant la durée nécessaire à l'irrigation des cultures et d'autres ont été abandonnés. Ce déficit hydrologique persistant a engendré de nouvelles formes d'adaptation. L'approfondissement des puits et le changement dans le cheminement des eaux d'irrigation en sont les plus manifestes. Ces pratiques bien qu'elles assurent la viabilité de l'agriculture ne sont pas sans conséquences sur l'environnement local.



La baisse du niveau de la nappe provoquée par la forte pression sur les ressources en eau souterraine dans la plaine de Guigou a poussé des agriculteurs à l'approfondissement de leurs puits ou au creusement de nouveaux. Le prélèvement des eaux à des niveaux de plus en plus profonds induit l'augmentation de la consommation des énergies utilisées.

La baisse des volumes s'écoulant en surface et les déficits successifs accusés par les réservoirs souterrains se sont traduits dans la plaine de Guigou également par des changements dans la conduite de l'irrigation. On assiste à l'émergence et à la mise en place de nouvelles pratiques dans le cheminement des eaux d'irrigation. Traditionnellement, un réseau de canaux (des *seguias*) dérivant les eaux de l'oued Guigou et des sources assurait l'irrigation dans le Guigou. La superficie irriguée par cette technique reste très limitée et correspond aux terrains en aval et en contrebas des points de dérivation. L'introduction de la motopompe a favorisé la multiplication des puits et l'extension de l'irrigation à de nouvelles surfaces. L'affranchissement des contraintes régissant l'utilisation des eaux superficielles et la facilité d'accès à de forts débits d'eaux souterraines ont contribué à la progression de l'extension des terrains irrigués sur une grande partie de la plaine. Cette situation est à l'origine d'une forte densification des puits qui a bouleversé le bilan hydrologique localement. Devant l'incapacité de nombreux puits à l'alimentation de la motopompe pendant de longues durées et la pratique d'une irrigation localisée largement encouragée par l'Etat en but de réduire les volumes utilisés ont favorisé le recours à la création des bassins de collecte des eaux pompées.

CONCLUSION

Sous l'effet de la combinaison des facteurs naturels et anthropiques la plaine de Guigou est parmi les zones intramontagnardes qui se caractérisent par une dynamique très forte des structures paysagères. La cartographie et la quantification d'occupation du sol nous a permis de mettre en évidence la tendance évolutive des cultures irriguées au détriment des cultures pluviales et de terrains de pâturages. La dynamique progressive des cultures irriguées dans la plaine de Guigou a provoqué une forte pression sur les eaux souterraines qui s'est traduite localement par une baisse générale du niveau piézométrique de la nappe. Face à cette situation critique des ressources en eau, les agriculteurs tentent de s'adapter par l'approfondissement des puits et des changements dans le cheminement des eaux d'irrigation.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AMYAY M., LAAOUANE M. ET AKDIM B. (2000). La pression anthropique sur les ressources en eau souterraine dans le Moyen Atlas. Exemple de la dépression d'Afourgagh. *Mosella*, T.XXV, n° 3-4, pp. 341-351.
- BLASCHKE T. 2010. Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 65. P. 2-16.
- CHURCHES C.E., WAMPLER P.J., SUN W, SMITH A.J. (2014). Evaluation of forest cover estimates for Haiti using supervised classification of Landsat data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 30. P. 203-216.
- EL JIHAD M.D. (2016). Changement climatique et développement rural dans les montagnes du Moyen-Atlas et leurs bordures (Maroc). *Revue de géographie alpine*, 104-4.
- JENNAN L. (1986). Mutations récentes des campagnes du Moyen Atlas et de ses bordures, revue *Méditerranée*, troisième série, tome 59, 4. Villes et campagnes au Maroc. pp. 49-62.
- LOUBIGNAC V. (1938). Le régime des eaux, le nantissement et la prescription chez les Ait Youssi du Guigou. *Hesperis*, t. XXV. P. 251-264.
- PELLETIER C., VALEROA S., INGLADAA J., CHAMPIONB N., DEDIEUA G. (2016). Assessing the robustness of Random Forests to map land cover with high resolution satellite image time series over large areas, *Remote Sen of Environment* 187, p. 156-168.
- TAG B., LOEW G. (2000). Population et ressources en eau dans le bassin du Haut Sebou (Maroc). *Mosella*, T.XXV, n° 3-4, p. 289-303.

CHANGEMENT GLOBAL ET ANTHROPISATION DES SYSTEMES FLUVIAUX AU MAROC: CAS DE L'OUUM ERRABIA

Abderrahim BENSMAIL.1, Radoine MADI.1, Mohamed EL GHACHI.1 et Omar BENSMAIL.2
1. Université Sultan Moulay Slimane. Faculté des lettres et des sciences humaines Béni Mellal. Laboratoire
dynamique des paysages et des patrimoines. Maroc (Abderahim.bensmail@gmail.com)
2. Université de Lorraine. Nancy. Centre Européen Universitaire-France – (omar.elbensmail@gmail.com).

RESUME: Les fleuves constituent des écosystèmes naturels autour desquels se sont formés les premiers foyers humains dans le monde, ils ont ainsi contribué à la genèse des premières civilisations qui ont cohabité avec la nature dans un équilibre et une parfaite harmonie. Sous l'effet du changement global, cet équilibre et cette harmonie vont être rompus, en effet ces écosystèmes naturels vont être soumis à une anthropisation accrue, ces actions ont occasionné une dégradation au niveau de la qualité des eaux, un déséquilibre de la faune et de la flore et une dégradation des paysages naturels. Parmi ces fleuves, on retrouve l'oued Oum Errabia: 'L'Oum Errabia draine les plaines du Tadla et Doukkala avant d'atteindre la côte atlantique centrale. Il a depuis longtemps fait l'objet d'importants aménagements et d'une politique de mobilisation des eaux très soutenue.'¹⁴

L'objectif de cet article ¹⁵ est de dresser un tableau des différentes formes d'anthropisations et des risques longs auxquels est soumis l'oued Oum Errabia avec un focus particulier sur la situation catastrophique que connaît son embouchure sur l'océan atlantique au niveau de la ville d'Azemmour.

Mots-clés: Ecosystème, anthropisation, changement global, risques longs, dégradation des paysages.

ABSTRACT: Rivers constitute natural ecosystems around which were formed the first human centers in the world, they thus contributed to the genesis of the first civilizations which cohabited with nature in a balance and a perfect harmony.

Under the effect of global change, this balance and this harmony will be upset, in fact these natural ecosystems will be subjected to increased anthropization, these actions have caused a degradation in the quality of water, an imbalance of fauna and flora and degradation of natural landscapes. Among these rivers, we find the Wadi Oum Errabia: the Oum Errabia drains the plains of Tadla and Doukkala before reaching the central Atlantic coast. It has long been the subject of major improvements and a very sustained water mobilization policy

The objective of this article is to draw up a picture of the different forms of anthropizations and the long risks to which the Oued Oum Errabia is subject with a particular focus on the catastrophic situation experienced by its mouth on the Atlantic Ocean at the level of the city of Azemmour.

Keywords: Ecosystem, anthropization, global change, long risks, degradation of landscapes.

¹⁴ Landel .P. A .Al .2007 ' ' Etude sur les pôles d'économie du patrimoine diagnostic stratégique des ressources patrimoniales de la région de Doukkala-Abda' ' Rapport provisoire. Phase 1 Octobre 2007. Ff halshs-01387640f.

¹⁵Cet article s'inscrit dans le cadre de l'axe 2: ' 'Actions anthropiques et évolution de la dynamique environnementale' '.

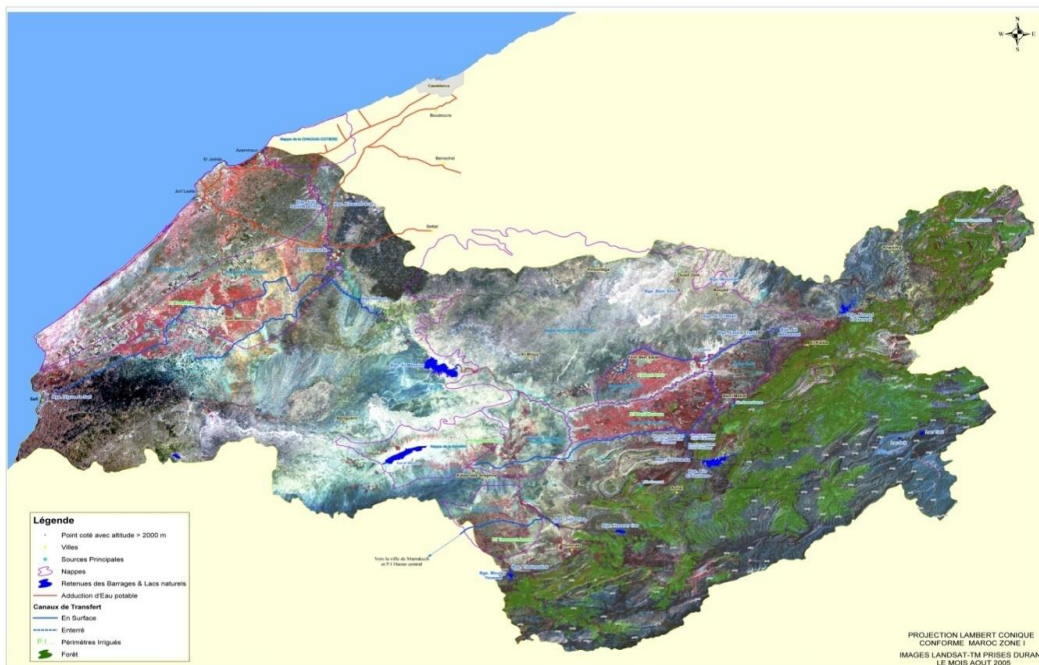
INTRODUCTION

La dynamique de l'environnement et les risques naturels sont venus d'une part relancer un vieux débat philosophique et académique : à savoir la relation Homme/Nature. De la nature à l'environnement, de l'environnement au développement durable, le débat autour de l'environnement a connu une ampleur progressive et continue pour devenir un débat planétaire.

D'une autre part, ces dynamiques rappellent le déséquilibre survenu dans cette relation à travers deux rapports, le premier rapport est le rapport Meadows : *Halte à la croissance?* (1972) à travers lequel, 'les membres du Club de Rome dénoncent les effets de l'industrialisation et de l'urbanisation galopantes et appellent à une « croissance zéro » aussi bien sur le plan démographique que sur le plan économique. Les arguments invoqués remettent le malthusianisme à l'ordre du jour : « Nous sommes dans un monde fini et tout accroissement de la population se traduit par une accélération de la dégradation » (Domenach et al, 2000).''(Demaze, 2009) ; le deuxième rapport est le rapport Charney (1979) préparé pour l'Académie des sciences américaine et qui reste l'une des premières alertes sur les risques issus des gaz à effet de serre. Les fleuves en tant d'écosystème naturel n'ont pas été épargnés par cette anthropisation comme nous allons le voir avec l'oued Oum Errabia.

1. DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE

La zone d'étude est constituée par le bassin hydraulique de l'Oum Errabia. D'une longueur de 550 km, l'Oum Errabia draine le bassin de l'Oum Errabia avec une surface d'environ 35,000 km² et les bassins côtiers atlantiques, situés entre El Jadida et Safi d'une surface de 13,070 km². La superficie totale du bassin hydrographique est de 48,070 km², soit 7% de la superficie totale de pays. Elle couvre 16 provinces d'une population totale d'environ 5,2 millions d'habitants soit 16,3% de la population du Royaume en 2010.



Carte n°1: zone d'action du bassin hydraulique de l'Oum Errabia

Le bassin hydraulique de l'Oum Errabia dispose d'un potentiel hydrique évalué en moyenne à 3,7 milliards de m³/an, constitué essentiellement des eaux superficielles et caractérisé par une forte disparité temporelle et spatiale (PDAIRE.2012).

2. MATERIEL ET METHODES

Un bassin hydrographique constitue un système multidimensionnel complexe traversé par un ensemble de dynamiques démographiques, climatiques, environnementales, où cohabite également une nébuleuse d'acteurs à travers leurs actions et leurs interactions respectives. La compréhension de ce système interpelle une méthodologie qui regroupe la combinaison de plusieurs approches : l'approche qualitative, l'approche quantitative.

L'approche qualitative s'est orientée d'une part vers la recherche documentaire qui s'est focalisée sur l'examen d'un ensemble de matériaux administratifs et techniques et d'autre part sur des matériaux scientifiques et académiques tels que les thèses, les mémoires et les articles scientifiques sur le bassin hydrographique de l'Oum Errabia.

L'approche quantitative s'est orientée vers l'examen des statistiques disponibles concernant le bassin hydrographique de l'Oum Errabia.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

Suite aux différentes recherches documentaires et à l'examen de l'ensemble des documents et matériaux précités ; nous avons relevé que notre zone d'étude constitue un bassin de vie économique traversé par des dynamiques démographiques, environnementales et des recompositions territoriales importantes dont les retombées sont multiples.

Sur le plan agricole et hydro agricole, ce bassin occupe une place importante à l'échelle nationale avec plus de 27% de la surface agricole utile irriguée du Maroc soit 493.600 ha dont 323.000 ha en Grande Hydraulique. Les principaux périmètres irrigués sont : Les périmètres de Béni Amir, Béni Moussa, Tassaout Amont Et Aval, Doukkala et Haouz.

Les aménagements hydrauliques du bassin comprennent 16 barrages qui servent de réservoirs de stockage d'eau pour la production hydroélectrique d'une capacité totale qui couvre près de 70% du parc hydroélectrique national. Ces barrages sont aussi utiles pour le stockage des eaux en période de crues. Compte tenu des fortes érosions des bassins drainés et des volumes importants d'apports solides dans les cours d'eau, ces barrages ont subi des envasements qui ont diminué leur capacité de stockage.

Sur le plan climatique, le bassin hydrographique de l'Oum Errabia est influencé, en termes météorologiques, par l'anticyclone des Açores, les perturbations du nord et par la dépression saharienne. Avec un climat de type semi-humide à semi-aride selon la classification de De Martonne (Driouech, 2010), le bassin de l'OER recueille annuellement des précipitations de 200 à 400 mm en plaine et en zones de faibles altitudes et dépassant les 600mm en allant vers les montagnes. Des valeurs extrêmes de plus de 900mm ne sont pas inexistantes et les années déficitaires peuvent ne pas dépasser les 150mm.

Les températures moyennes enregistrées au niveau du bassin varient en valeurs annuelles de 17°C à 20°C environ et sont plus élevées à l'intérieur que sur les côtes.

En hiver, les secteurs qualifiés du Nord-Ouest occasionnent des précipitations abondantes associées généralement à des chutes de neige sur les hauteurs dépassant 1500m et des températures fraîches ou froides.

En été, la région connaît une hausse de température suite au creusement vers le nord du pays du talweg saharien, connaît aussi une activité orageuse sur les reliefs et les régions ouest avoisinantes (Bouchkara, 2018)

L'analyse des séries historiques a montré une réduction de la pluviométrie annuelle depuis le début des années 1980. Elle passe d'un intervalle de 275 à 1025 mm sur la période de 1935 à 1980 à un intervalle de 175 à 625 mm sur la période 1980 à 2008. Au total, cette région a connu une réduction moyenne de la pluviométrie annuelle de 70 mm (20%) sur cette période. Sur l'ensemble du bassin de l'Oum Errabia et les bassins côtiers atlantiques, les

écoulements annuels moyens ont été de 3 300 Mm³ sur la période 1940-2008 et de 2 345 Mm³ sur la période 1981-2008. Sur la période 1941- 1980, ils avaient été de 3 930 Mm³. La diminution entre ces deux dernières périodes est donc de 1 585 Mm³ soit près de 40% en valeur relative.

Ces changements climatiques et notamment l'augmentation de la température risque d'influencer le régime des précipitations, affecter la disponibilité en eau et le régime des rivières. Cette réduction de la pluviométrie conduira aussi à un basculement vers l'usage des eaux souterraines au dépend des eaux de surface.

Sur le plan environnemental, le bassin de l'Oum Errabia est l'un des bassins les plus pollués du Maroc. Les sources de pollution sont multiples :

- La pollution domestique est occasionnée par les rejets domestiques de 70 centres urbains.
- La pollution agricole est principalement due à une utilisation intensive des engrais phosphatés et azotés ainsi que des pesticides.
- La pollution industrielle et minière est engendrée par les industries agro-alimentaires notamment les sucreries et huileries, et l'industrie des engrais de l'Office Chérifien de Phosphate. Cette pollution multiple témoigne de l'état alarmant des ressources hydrauliques et de la dégradation des paysages et de la biodiversité.

Cette anthropisation a un coût important : 'En 2007, les coûts de la dégradation de l'Oum Errabia sont estimés à 6,2 milliards de DM avec une variation de 4,6 à 7,2 milliards de DM. Ces coûts représentent 9,3% du PIB de l'Oum Errabia, 1% du PIB du Maroc en terme courant mais 1,1% du PIB du Maroc en terme constant (2000). Le coût attribuable à la santé humaine est de 2,19 milliards DM soit 35,2% du coût de la dégradation de l'Oum Errabia.

En 2010, les coûts de la dégradation de l'Oum Errabia se montent à 6,3 milliards de DM avec une variation de 4,7 à 7,4 milliards de DM. Ces coûts représentent 7,9% du PIB de l'Oum Errabia, 0,8% du PIB du Maroc en terme courant mais 1,0% du PIB du Maroc en terme constant (2000). Le coût attribuable à la santé humaine est de 2,27 milliards DM soit 35,8% du coût de la dégradation de l'Oum Errabia. ' (Arif. S. Al .2012)

Cette anthropisation n'a épargné aucune partie de l'oued, à cet effet il faut soulever l'état alarmant dans lequel se trouve l'estuaire ou l'embouchure de l'Oum Errabia ' Les caractéristiques morpho-sédimentaires actuelles de l'estuaire de l'Oum Errabia sont le résultat de son histoire quaternaire récente depuis le Calabrien (Saaidi 1979), et d'une importante influence anthropique au cours du siècle dernier. Les travaux d'aménagement, en particulier la multiplication des barrages édifiés sur le cours d'eau, ont provoqué la modification des caractéristiques hydro sédimentaires de l'estuaire ainsi que de celles de la morphologie du lit de l'embouchure (Abkhar 1995, Boulanouar 1999, Zourarah 2002, Chaibi 2003). Le piégeage des sédiments en amont s'est traduit par une diminution des apports solides fluviaux à l'embouchure, contribuant à l'érosion des plages situées au nord et au sud de celle-ci (Chaibi 2003) et à l'édification d'une flèche sableuse qui tend à barrer l'embouchure sur l'autre rive (Abkhar 1995). (Mhammdi .N. Al .2005)

Ces transformations ont eu un impact sur la faune et la flore au niveau de l'estuaire avec la disparition de l'Alose: l'une des variétés de poissons qui a fait la renommée de la ville d'Azemmour et qui est l'une des causes de l'invasion de cette ville par la flotte portugaise. Afin de stopper cette anthropisation plusieurs politiques publiques ont été menées, ces politiques sont matérialisées par les programmes et les initiatives suivantes :

Le Plan National d'Aménagement des Bassins Versants (PNABV), adopté en 1996, préconise un programme d'action minimal de traitement de 1.500.000 ha, (75.000 ha/an) sur une période de 20 ans, au niveau des 22 bassins versants prioritaires.

L'aménagement des bassins versants ne se limite pas à la lutte contre l'érosion hydrique pour protéger les infrastructures et les agglomérations à l'aval, mais est plutôt conçu dans le cadre d'une vision intégrée de développement durable des ressources naturelles incorporant la

dimension humaine et visant la reconstitution des ressources forestières, la conservation de la fertilité des sols.

Le plan national d'assainissement liquide (PNAL) constitue un véritable levier financier en action pour la dépollution de l'Oum Errabia "Le projet d'assainissement de l'Oum Errabia a été approuvé par la Banque mondiale le 15 juin 2010 pour un montant global de 75,1 millions de dollars US (USD) dont 43 millions financés par un prêt de la Banque mondiale et 32,1 millions financés par l'ONEE. Il est entré en vigueur le 15 février 2011 et la date de clôture a été initialement fixée au 31 décembre 2015. (Saidou. N .2014)

L'instauration du paiement pour service environnementaux (PSE) : étant donné la persistance de la dégradation dans la zone d'étude "L'utilisation des PSE pour améliorer la conservation des bassins versants représente, au Maroc, une opportunité pour progresser le financement de la conservation et donner lieu à une nouvelle vision basée sur l'efficacité et l'efficacité des investissements. Les paiements pour services environnementaux (PSE) sont un outil économique d'incitation de plus en plus utilisé pour la conservation des bassins versants." (El Mokaddem.A.A1.2016)

CONCLUSION

Etant l'un des grands fleuves et bassins de vie économique du Maroc, l'Oum Errabia, est soumis à des contraintes multiples, il est soumis à sa propre action naturelle et à l'action anthropique de l'Homme.

Sous l'effet du changement climatique, cet écosystème fluvial a connu et connaîtra des dynamiques variées. Ces dynamiques ont occasionnées des pollutions multiples qui ont un coût économique très important sur les milieux naturels et sur la santé humaine.

Cette situation a suscité l'intérêt particulier des décideurs qui se sont attelés à lancer des programmes intégrés et des initiatives innovantes (PNABV, PNAL, PSE) pour alléger les effets néfastes de cette anthropisation sur la dynamique environnementale et les risques naturels au niveau de ce bassin.

Références bibliographiques

- Arif .S.A1. 2012. "Maroc, Coût de la Dégradation des Ressources en Eau du Bassin de l'Oum Errabia". Programme de Gestion Intégrée Durable de l'Eau (SWIM-SM) financé par la Commission européenne.
- Bitar .K. A1 .2013 "Evaluation qualitative et identification des sources de pollution du bassin versant de l'Oum Errabia, Maroc" Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°14, Juin 2013, pp.161.177.
- Bouchkara .A. 2018. "Evaluation du risque climatique et son intégration dans la planification et le développement des ressources en eau au niveau du bassin de l'Oum Errabia", ABHOER. Benguerir, 24-10-2018.
- El Ghachi. M.A1.2019 "Dynamique fluviale dans l'oued El Abid : Suivi et quantification d'un tronçon fluvial à l'amont du barrage de Bin El Ouidane - 2016/2017- (Haut Atlas Central/Maroc) Revue Marocaine de Géomorphologie, N° 3 (2019) pp 63-45.
- Saidou.N.2014."Projet d'assainissement du bassin d'Oum Errabia .Plan de gestion environnementale et sociale du projet" Office national d'eau potable .Direction assainissement et environnement.
- Mhammdi .N. A1. 2005 "Les sables titanifères du littoral d'Azemmour et de l'estuaire de l'Oum Errabia (côte atlantique marocaine) : sédimentologie et potentiel d'exploitation" Bulletin de l'Institut Scientifique, section Sciences de la Terre, 2005, n°27, 83-91.
- Landel .P. A .A1 .2007 " Etude sur les pôles d'économie du patrimoine, diagnostic stratégique des ressources patrimoniales de la région de Doukkala-Abda" Rapport Provisoire Phase 1 Octobre 2007. Ff halshs-01387640f.

CONTRIBUTION À L'ÉTUDE D'IMPACT DE LA POLLUTION HYDRIQUE ISSUE DE L'INDUSTRIE AGRICOLE – CAS DU BASSIN GUIR HAUT ATLAS ORIENTAL – MAROC

Nordine NOUAYTI ^{1*}, Driss KHATTACH ², Abderrahime NOUAYTI ³, Mohamed HILALI ⁴, Fouad DIMAN ¹, Fatima Zahra TALBI ⁵ et Hossam JIARI ⁶

¹ *Laboratoire des Sciences Appliquées, Equipe de Gestion de l'Eau et de l'Environnement, École Nationale des Sciences Appliquées Al Hoceima. Université Abdelmalek Essaadi. E-mail : nordine.svt@gmail.com*

² *Laboratoire des Géosciences appliquées, Faculté des sciences, Université Mohamed premier Oujda, Maroc.*

³ *Institut Scientifique, Université Mohammed V – Rabat, Av. Ibn Batouta, B.P 703, 10106 Rabat-Maroc*

⁴ *Equipe de recherche en génie des mines, de l'eau et de l'environnement, Faculté des Sciences et Techniques, Université Moulay Ismaïl, 52000, Boîte Postale : 509, Boutalamine, Errachidia, Maroc*

⁵ *Laboratoire de biochimie, neurosciences, ressources naturelles et environnement. Faculté des Sciences et Technologies, BP 577, Université Hassan First, Settati, Maroc*

⁶ *Master en Géomatique et Gestion des Territoires, Faculté des lettres et des sciences humaines, Université Mohamed premier Oujda, Maroc.*

RÉSUMÉ: Le bassin de Guir correspond au bassin versant de l'oued Guir avec son affluent, l'oued Bouaanane, sa superficie totale est de l'ordre de 17 500 km² en territoire marocaine. Les apports d'eau dans la région sont caractérisés par une très forte irrégularité saisonnière et interannuelle. La disponibilité des eaux souterraines en qualité acceptable est devenue un défi difficile à relever dans de nombreuses régions du Maroc et plus particulièrement dans la région du bassin Guir à cause de la sévérité du climat et de la pollution (domestique, industrielle, agricole) ce qui fragilise et rend ces eaux vulnérables aux différents facteurs. Le présent travail a pour objectif l'évaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la région du bassin Guir et contribuer à l'étude d'impact de la pollution engendrée par les déchets agricole, en particulier sur les ressources en eaux au niveau du bassin Guir. Pour réaliser ces objectifs, les échantillons au nombre de trente points ont été prélevés et les analyses chimiques ont été effectuées au laboratoire LGA Al Hociema. L'exploitation du SIG nous a permis de mettre en évidence des liens complexes entre les différents types de données. Pour étudier et comparer la répartition spatiale, ces résultats sont présentés sous forme des cartes thématiques en utilisant le Système d'Information Géographique (SIG) pour le traitement et l'analyse des données de sources diverses (géologie, géomorphologie, hydrologie, hydrogéologie, ...) spatialement référencées.

INTRODUCTION

Au Maroc, la disponibilité en eaux est, jusqu'à présent très limitée et risquerait de diminuer fortement à long terme en raison des périodes de sécheresses prolongées. En effet, les estimations prévisionnelles effectuées par la banque mondiale en 1994 ont déclenché la sonnette d'alarme (Rapport Ministère de l'eau et de l'environnement, 2003). En effet, les ressources hydriques renouvelables par habitant risqueraient de diminuer de moitié.

La détérioration de la qualité des ressources en eau par prolifération des différentes sources de pollution (engrais et pesticides, rejets d'eaux usées non traitées, rejets de déchets solides non contrôlés, exploitation minière, urbanisation, etc...) constitue une menace aussi importante que celle liée au déséquilibre quantitatif (Nouayti et al., 20019 a et b).

Le présent travail a pour objectif l'évaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la région du Haut bassin du Guir et la détermination des sources de pollution en vue d'établir une cartographie de la qualité des nappes jurassiques.

I. CONTEXTES GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE

Les formations géologiques de la région sont principalement constituées de dépôts jurassiques affectés par des failles et des plis au cours du cycle hercynien, la figure 1 montre les principales formations géologiques du bassin du Guir (Nouayti et al.,2015 ; Teixell et al., 2003 ; Haddoumi et al 210 et El Kochri et al.,1996 Nouayti et al.,2018 ; Nouayti et al.,2015 et Ellouz et al.,2003).

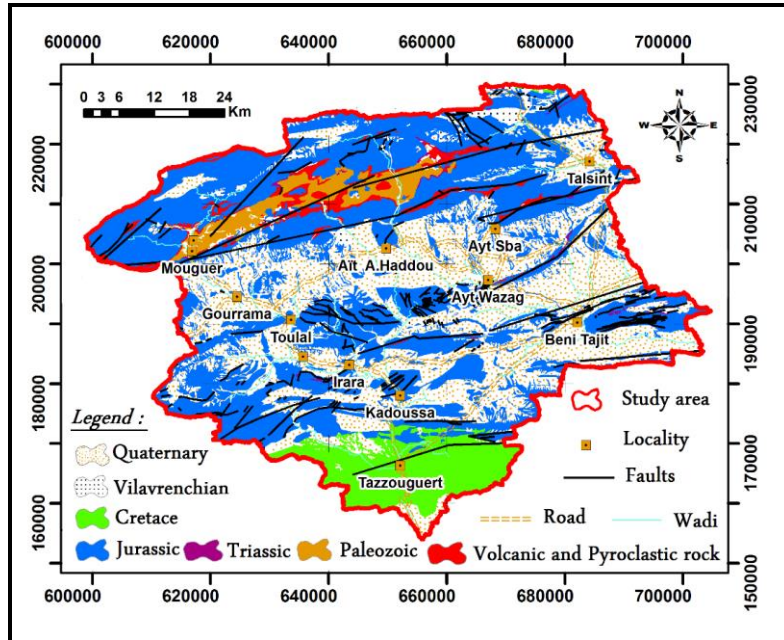


Figure 1: Situation géographique de la zone étudiée et cartes géologiques (cartographie géologique simplifiée à partir des cartes géologiques du Maroc, 1/50 000)

Les systèmes aquifères du bassin versant du Rheris sont: 1) les aquifères alluviaux plio-quaternaires contenant essentiellement des conglomérats, des graviers et des galets, situés le long des vallées; 2) Aquifère du Crétacé contenant généralement du calcaire à comportement karstique, du sable et du grès; 3) Aquifère inférieur du Lias-Domerian avec calcaire et dolomite, souvent fracturé et parfois karstifié; 4) Aquifère Aalénien-Dogger avec des réseaux fissurés et karstiques (Nouayti et al.,2019 a et b).

II. MATÉRIELS ET MÉTHODES

Les points d'eau (puits, forages, sources) échantillonnés ont été choisis de telle manière à couvrir l'ensemble des aquifères jurassiques du Haut bassin du Guir. Au total trente prélèvements pour les analyses physico-chimiques ont été effectués en Avril 2019. Au niveau de chaque station, deux échantillons dans des contenants de 1litre en polyéthylène ont été prélevés. Ces points d'eau ont été localisés par leurs coordonnées Lambert déterminées par GPS. Les paramètres physico-chimiques (pH, température, conductivité électrique et salinité) ont été mesurés in situ à l'aide d'une sonde multi-paramètres. Les analyses chimiques des éléments majeurs (cations et anions) ont été effectuées au laboratoire. Les résultats relatifs aux trente échantillons sont présentés sous forme des cartes.

III. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

1. RÉSULTATS HYDROCHIMIQUES

1.1 LA CONDUCTIVITÉ ÉLECTRIQUE DES EAUX

La conductivité électrique renseigne sur le degré de minéralisation d'une eau. Les eaux des points contrôlés sont minéralisées (figure 2), avec des valeurs qui oscillaient entre

460 et 2400 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ces valeurs importantes semblent résulter du lessivage de la roche réservoir au sein de laquelle les eaux séjournèrent.

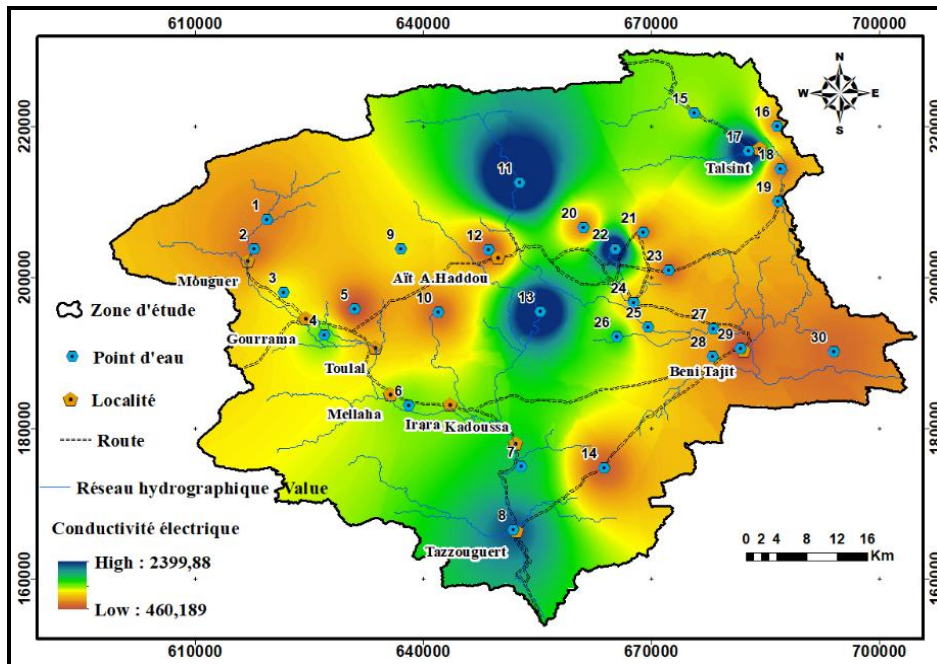


Figure 2: Carte de répartition de la conductivité électrique dans les eaux analysées

1.2. LE PH

L'analyse de ces eaux a dévoilé que le pH est proche de la neutralité, au niveau de l'ensemble des points d'eau (figure 3), les valeurs moyennes du pH au niveau de la zone d'étude ont été dans les normes de potabilité de l'eau souterraine, toutes les valeurs ont correspondu au pH des eaux naturelles et semble être provenant des aquifères carbonatés.

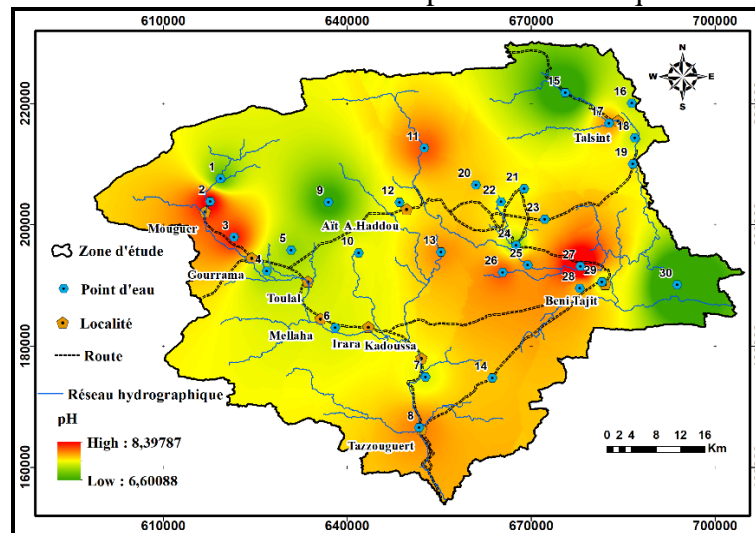


Figure 3: Carte de répartition de pH dans les eaux analysées

1.3 NITRATES

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote organique, leur présence dans une eau polluée atteste que le processus d'autoépuration est déjà entamé. L'activité humaine accélère le processus d'enrichissement en cet élément sur les sols subissant l'érosion, ce qui provoque l'infiltration des eaux usées, par les rejets des industries minérales et d'engrais azoté (Nouayti et al.,2019 b et Nouayti et al.,2016).

Dans les stations étudiées les teneurs en nitrates variaient entre 3 mg/L et 150 mg/L (Figure 4). Les valeurs les plus élevées sont enregistrées en centre du bassin. Cette dégradation semble être due essentiellement à l'activité humaine, la fertilisation azotée des zones agricoles avoisinantes aux points étudiés, les margines, les eaux usées, les puits perdus et les déchets des élevages. Les résultats obtenus sont similaires aux conclusions dégagées dans le cas de Haut bassin du Ziz confirmant l'origine anthropique des nitrates (Nouayti et al., 2019 b et (Nouayti et al., 2015).

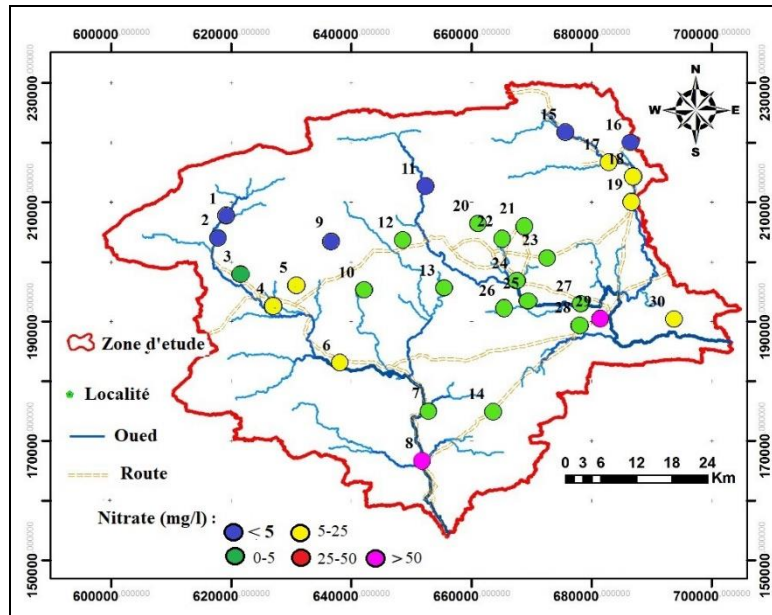


Figure 4 : Carte de répartition de pH dans les eaux analysées

1.4 CHLORURES

Les teneurs en chlorures des échantillons d'eau analysés (figure 5) affichaient des valeurs oscillant entre 10 mg/L et 333.7 mg/L. Ces valeurs élevées pourraient être dues au contact des eaux avec des dépôts triasiques salifères.

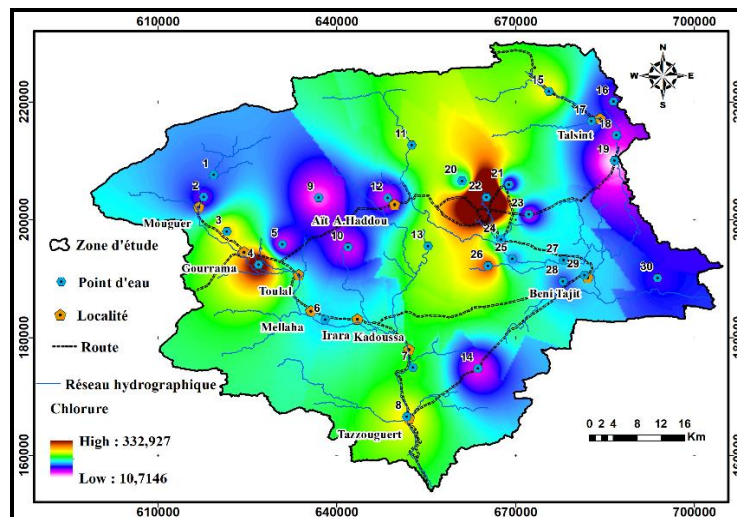


Figure 5: Carte de répartition des chlorures dans les eaux analysées

2. FACIÈS CHIMIQUES DES EAUX OBTENUS À PARTIR DU DIAGRAMME DE PIPER

La classification hydrochimique des eaux dans le diagramme de Piper montre deux hydrofaciès principaux (figure 6). Ce sont des eaux de chlorure et sulfate de calcium et de magnésium (50%) et des eaux de bicarbonate de calcium et de magnésium (50%).

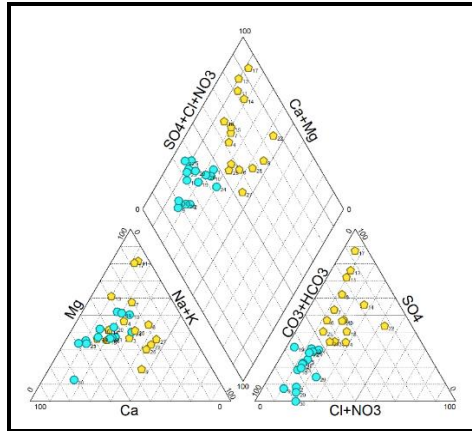


Figure 6: Diagramme de Piper des eaux souterraines du Haut Bassin du Guir

2. QUALITÉ DES EAUX DE LA NAPPE

L'évaluation de la qualité de l'eau de l'aquifère du Haut Bassin du Guir a été suivie des trois éléments : la conductivité électrique et les échantillons de Cl prélevés en novembre 2019. Sur la base du maillage simplifié des eaux souterraines du tableau 1, déterminé par le Ministre de l'Équipement et le Ministre de la planification, de l'urbanisme, de l'habitat et de l'environnement, 50% des eaux de l'aquifère du haut Bassin de Guir sont de bonne qualité, 37% sont de qualité moyenne et le reste est de mauvaise qualité (figure 7). Une qualité moyenne et médiocre résulterait généralement de la présence du chlorure.

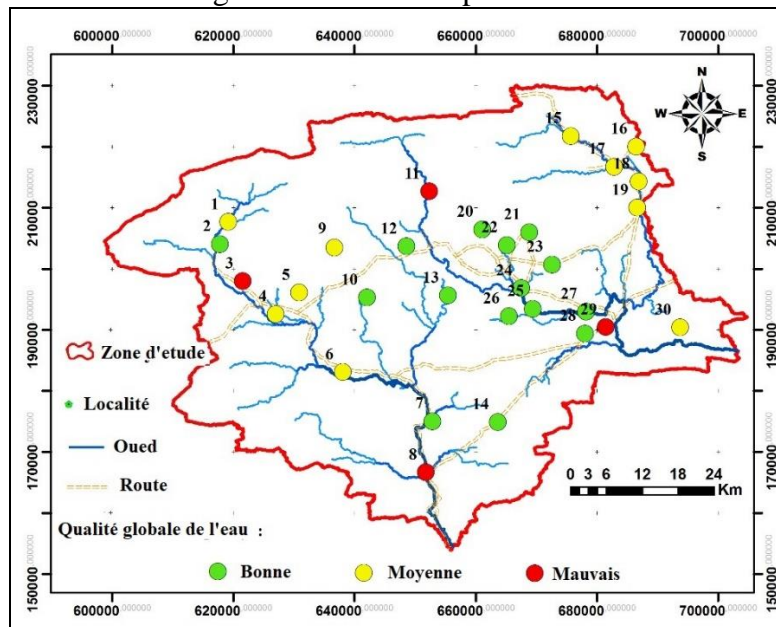


Figure 7: Répartition spatiale de la qualité globale des eaux souterraines du Haut Bassin du Guir

Conclusion

Cette étude a permis une évaluation de la qualité physico-chimique des eaux des aquifères jurassiques du Haut bassin du Guir. Ces eaux appartiennent à trois faciès chimiques: un faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien, un faciès bicarbonaté calcique et magnésien et un faciès chloruré sodique et potassique.

L'analyse des résultats a révélé que les eaux des points contrôlés sont affectées par une pollution d'origine géologique et anthropique.

Bibliographie

- El Kochri A, Chorowicz J (2019). Oblique extension in the Jurassic trough of the central and eastern High Atlas (Morocco). *CJES*. 33: 84–92.
- Haddoumi H, Charrière A, Mojon PO (2010). Stratigraphie et sédimentologie des « Couches rouges » continentales du Jurassique–Crétacé du Haut Atlas central (Maroc). *J Geobios* 43: 433–451.
- Ellouz N, Patriat M, Gaulier JM, Bouatmani R, Sabounji S (2003). From rifting to Alpine inversion: Mesozoic and Cenozoic subsidence history of some Moroccan basins. From rifting to Alpine inversion: Mesozoic and Cenozoic subsidence history of some Moroccan basins. *Sediment Geol.* 156: 185–212.
- Ministère chargé de l'aménagement du territoire, de l'eau et de l'environnement (Novembre 2003). Etat de la Qualité des Ressources en Eau au Maroc 2000/2001.
- Nouayti, A., Khattach, D., Hilali, M., et al. 2019 «a». Mapping potential areas for groundwater storage in the High Guir Basin (Morocco): Contribution of remote sensing and geographic information system. *Journal of Groundwater Science and Engineering*: 7(4): 309-322.
- Nouayti A., Khattach D., Hilali M., Nouayti N., Arabi M., (2019) «b». Assessment of groundwater quality using statistical techniques in high Basin of Guir (Eastern High Atlas, Morocco). *Material stoday: Proceedings*,
- N. Nouayti, D. Khattach, M. Hilali(2015). Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines des nappes du Jurassique du haut bassin de Ziz (Haut Atlas central, Maroc) Assessment of physico-chemical quality of groundwater of the Jurassic aquifers in high basin of Ziz (Central High Atlas, Morocco). *J. Mater. Environ. Sci.* 6 (4) 1068-1081 ;
- Nouayti N, Khattach D, Hilali M (2015). Contribution of the 3D Geological Model to the Study of the High Basin Ziz Jurassic Aquifers Structure (Central High Atlas, Morocco). *J G I S*. 7 : 294–300.
- Nouayti N, Khattach D, Hilali M, Laghzal A (2108). Contribution to the hydrochemical study of springs Jurassic of the Ziz high basin: Contribution of remote sensing. *J Mater Environ Sci.* 9: 1889–1898.
- Nouayti, A., Khattach, D., Hilali, M., et al. 2019 «a». Mapping potential areas for groundwater storage in the High Guir Basin (Morocco): Contribution of remote sensing and geographic information system. *Journal of Groundwater Science and Engineering*: 7(4): 309-322.
- Nouayti A., Khattach D., Hilali M., Nouayti N., Arabi M., (2019) «b». Assessment of groundwater quality using statistical techniques in high Basin of Guir (Eastern High Atlas, Morocco). *Material stoday: Proceedings*, 13(3): 1084-1091.
- Nouayti, N., Khattach, D., Hilali, M., Brahimi ,A., Baki, S., 2016. Assessment of metal contamination in Jurassic water tables of Ziz high basin (Central High Atlas, Morocco). *J. Mater. Environ. Sci.* 7(5):1495-1503.
- Nouayti, N., Khattach, D., Hilali, M., (2015). Assessment of physico-chemical quality of groundwater of the Jurassic aquifers in high basin of Ziz (Central High Atlas, Morocco). *J. Mater. Environ. Sci.* 6 (4):1068-1081
- Teixell A. Arboleya ML, Julivert M, Charroud M (2003). Tectonic shortening and topography of the central High Atlas (Morocco). *Tectonics*; 22: 1051.

**LA DYNAMIQUE DES MATORRALS DU VERSANT SUD DE TLEMCEN
(NORD-OUEST ALGERIEN)**

Fatima Belhacini¹, Djamel .Anteur²

1 Laboratoire de recherche « écologie et aménagement des écosystèmes naturel –Tlemcen-
Faculté des sciences Université Belhadj Bouchaib AinTemouchent .Algérie .

2 Laboratoire de recherche "eau et environnement " Faculté des sciences, Université Moulay
Tahar Saida.Algérie
eco_vert7@yahoo.fr

RESUME: Pour l'appréciation et la description de l'état des différents groupements végétaux, au niveau des matorrals du sud de Tlemcen au nord-ouest algérien, l'ensemble des données floristiques a été traité par l'analyse factorielle des correspondances (AFC).

A partir des nuages de points obtenus relatifs aux espèces, relevées et des axes factoriels significatifs, on peut mettre en évidence des gradients écologiques qui agissent sur la distribution des végétaux et des groupements qui le constituent notamment dans ces matorrals. Les relevés à forte contribution relative permettent de proposer pour les différents axes, un gradient de xéricité, de térophytisation et un autre gradient de dégradation lié à l'homme et ces animaux, cette étude a montré que l'action synergique de l'aridité et de l'action anthropique engendraient des modifications importantes au niveau de la végétation.

Pour tous les groupements, les thérophytes présentent le taux le plus élevé, ce qui témoigne d'une forte action anthropique. Ces thérophytes et chaméphytes sont en train d'envahir et de ruiner la majeure partie des matorrals.

Mot clé : Matorral- Groupement –AFC-action anthropique –Tlemcen-Ouest algérien

**THE DYNAMICS OF THE MATORRALS ON THE SOUTHERN SLOPE OF
TLEMCEN (NORTH-WEST ALGERIA)**

ABSTRACT: To assess and describe the state of the various plant groups, the matorrals from the south of Tlemcen to the north-west of Algeria. all the floristic data was processed by correspondence factorial analysis (CFA) .

Based on the point clouds obtained for the species recorded and the significant factorial axes, ecological gradients can be identified that act on the distribution of plants and the groups that constitute them, particularly in these matorrals.

The surveys with a high relative contribution make it possible to propose for the different axes, a gradient of xericity, terophytization, another gradient of degradation linked to man, and these animals, this study showed that the synergistic action of aridity and anthropic action generated significant modifications in the vegetation.

For all the groups, therophytes had the highest rate, indicating a strong anthropic action. These therophytes and chamephytes are invading and ruining most of the matorrals.

The disturbance index remains high (86%), which clearly shows the suffering and the strong anthropic pressure exerted in this region, especially on the south-western slope.

Key word: Matorral- Grouping -AFC- anthropic action -Tlemcen-West Algeria

INTRODUCTION

Dès 1967 Roux et Roux., dans leur premier essai, notent tout l'intérêt de l'AFC dans le traitement des données pour les phytosociologues sigmatistes.

En ce qui nous concerne et pour répondre aux objectifs de notre étude, notre choix a été porté sur la méthode du traitement numérique basée sur l'utilisation de l'AFC ou analyse factorielle des correspondances. L'AFC permet de décrire la distribution des relevés, des espèces et des descripteurs écologiques, dans un espace graphique les contenant et d'établir le type de groupements végétaux à partir d'un ensemble de relevés qui ont des affinités communes sur le plan floristique. Parmi les méthodes numériques qui ont fait leurs preuves dans le domaine d'étude de la végétation il y a les analyses multi variées: analyse factorielle des correspondances (AFC). La proximité entre deux relevés signifie que leur composition floristique est voisine, alors que la proximité entre deux espèces signifie que leurs conditions stationnelles de leurs relevés sont voisines » précise M'Hirit en 1982 dans ces travaux.

Le but de ces analyses est la mise en évidence des relations entre le milieu et la végétation ainsi que l'appréciation et la description de l'état des différents groupements végétaux.

1. Description de la zone d'étude

1.1. Situation géographique de la zone d'étude

Notre étude porte sur les matorrals du versant sud de la région de Tlemcen. Celle-ci est située à l'extrême Ouest de l'Algérie

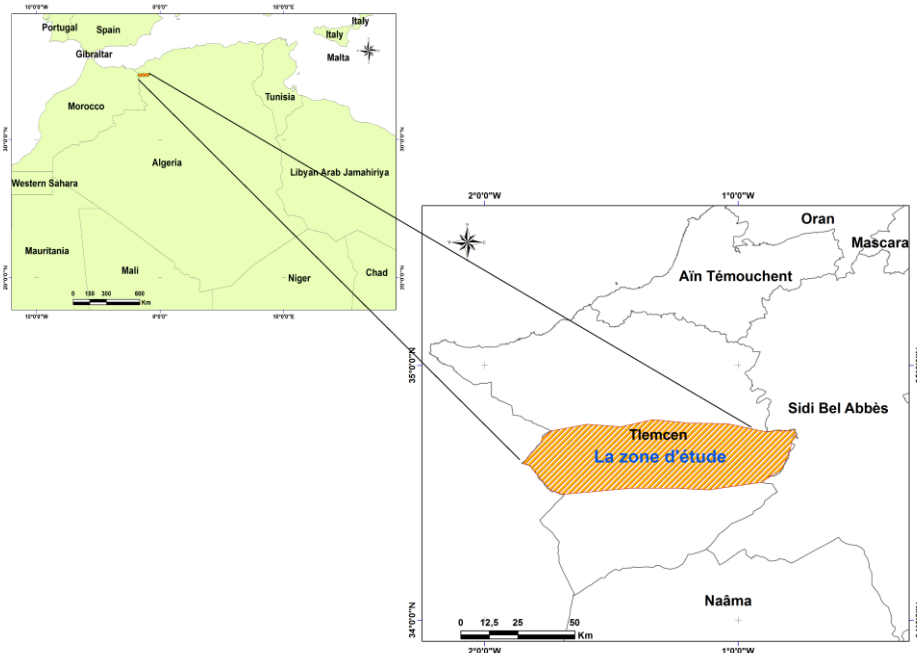


Figure n°1 : Localisation de la zone d'étude

2. MATERIEL ET METHODES

Les relevés floristiques ont été effectués selon la méthode de Braun-Blanquet, ils consistent à faire un inventaire exhaustif de toutes les espèces végétales rencontrées.

Pour les espèces non reconnues sur place des échantillons ont été prélevés puis identifiés à partir des descriptions des ouvrages suivants :

La nouvelle flore de l'Algérie QUEZEL et SANTA 1962-1963

Guide de la flore méditerranéenne BAREY E et al 2004.

L'opération de traitement des relevés consiste en l'élaboration des tableaux phytosociologiques en réunissant les relevés phytoécologiques appartenant à un même groupement végétal. Elle consiste également à distinguer les espèces caractéristiques de celui-ci, de le décrire afin de comprendre les conditions écologiques dans lesquelles il se développe et de dégager ses potentialités et sa dynamique.

Selon Kaabeche (KAABECHE 1990) «cette méthode cherche à regrouper par similitude les individus d'un ensemble donné (par exemple celui des relevés ou des espèces).

Le traitement a été réalisé selon plusieurs étapes :

- ✓ Une analyse globale de 150 relevées et 203 espèces pour le versant sud-est (ensemble A), 100 relevées et 98 espèces pour l'ensemble B et 100 relevées et 96 espèces pour l'ensemble C dans le versant sud-ouest.
- ✓ Les données sont rassemblées dans un tableau à double entrée dont les colonnes correspondent aux relevés et les lignes représentent les espèces. Ce tableau est constitué par toutes les espèces recensées dans la zone d'étude. A l'intersection seul le caractère «présence-absence » des espèces a été considéré, prend la valeur 1 en cas de présence et la valeur 0 en cas d'absence. Cette analyse a été réalisée à l'aide du logiciel Minitab17.
- ✓ En vue du traitement informatique des données, un numéro est attribué à chacun des relevés, dans l'ordre de leur exécution.
- ✓ De même, les taxons ont été codés selon un code à deux chiffres et la première lettre du genre dans l'ordre d'apparition successif et alphabétique. **Exemple : *Quercus ilex* (Q01)**

Les analyses de données et leur traitement informatique ont été réalisés au laboratoire d'écologie et gestion des écosystèmes naturels, avec l'aide efficace de Madame Meziane Stambouli de l'université de Tlemcen.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

A partir des nuages de points obtenus relatifs aux espèces, relevées et des axes factoriels significatifs, on peut mettre en évidence des gradients écologiques qui agissent sur la distribution des végétaux et des groupements qui le constituent.

Les relevés (individus) sont en correspondance avec les espèces (variables), donc l'interprétation des axes est basée sur la signification écologique des relevées ayant une forte contribution.

3.1. Individualisation des groupements :

L'examen des différentes cartes factorielles (Fig.2, 3 et 4) montre une séparation des relevés en différents groupements dans les 03 ensembles.

Nous avons écarté les groupements suivants: A1, A2 A3 A4 et A5 au Sud-Ouest pour l'ensemble (A) , B1, B2 et B3 dans le deuxième ensemble (B) de la région et C1, C2 ,C3 et C4 dans le troisième ensemble (C) au Sud Est de notre dition.

L'ensemble A présente 5 groupements, il figure des matorrals élevés et bien développés, indique une diversification importante au versant Sud Est de Tlemcen et des formations bas largement dégradé due à l'action de l'homme, marqué par une propagation des espèces d'affinité steppique.

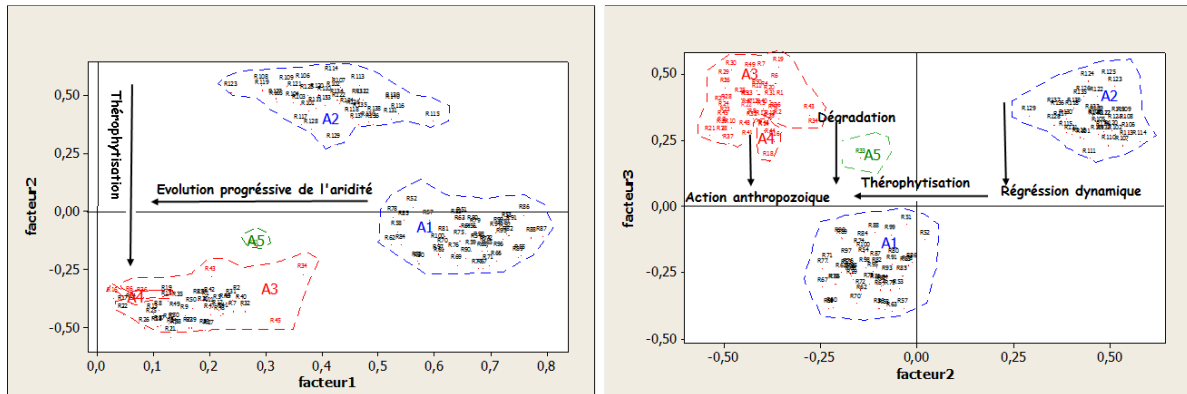


Figure n°2 : Application de l'AFC à 150 relevés et 145 espèces (Diagramme des relevés)

L'ensemble B comprend 3 groupements qui présentent une résistance contre les conditions climatiques sévères, regroupent les phanerophytes comme *Quercus ilex*, *Juniperus oxycedrus* qui sont toujours accompagné, des chamaephytes et des thérophytes à cycle de vie courte influencé par les cultures et l'action de l'homme notamment le surpâturage.

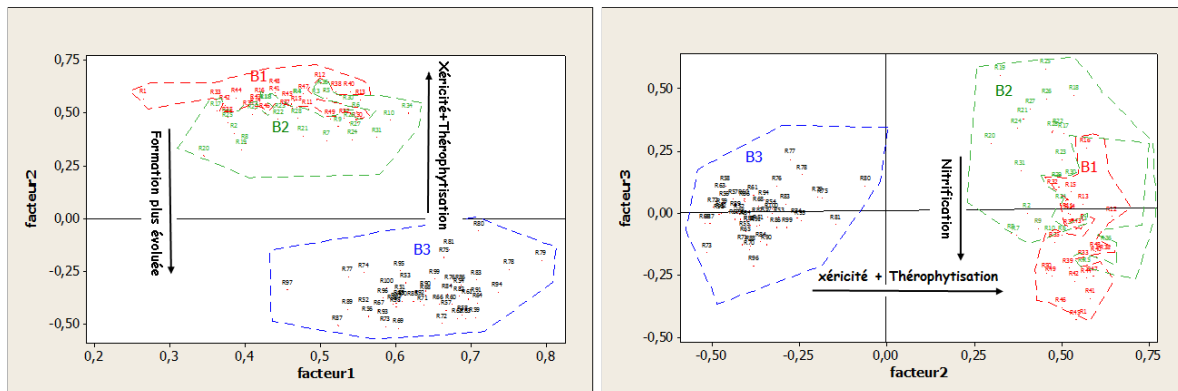


Figure n°3: Application de l'AFC à 100 relevés et 98 espèces (Diagramme des relevés)

L'ensemble C comprend 4 groupements, généralement se sont des matorrals élevé présentent une diversité importante dominé par *Quercus ilex* et *Juniperus oxycedrus* à hauteur élevé comprise entre 2 m et 2,5 m et des taxons indicatrice de l'action anthropozoaïque: tel que *Ferula communis* et *Paronychia argentea*.

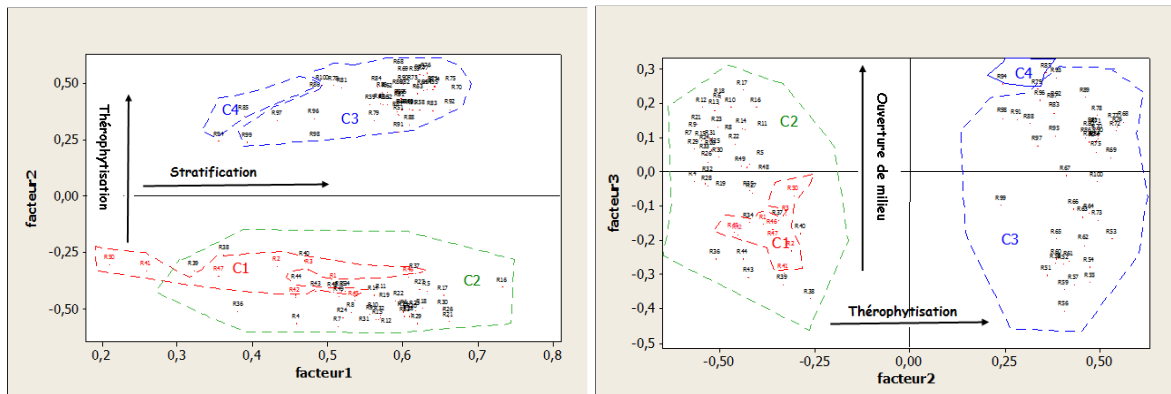


Figure n°4 : Application de l'AFC à 100 relevés et 96 espèces (Diagramme des relevés)

CONCLUSION

L'utilisation de méthode d'analyses multivariées de classement, comparant les échantillons, conduit à une hiérarchisation de certains facteurs écologiques déterminant la diversité de 12 groupements de formations à matorrals dans le versant sud de la région de Tlemcen.

Les groupements des différents ensembles A, B, et C semblent indifférents vis-à-vis de leur diversité floristique.

Les listes de relevés à forte contribution relative permettent de proposer pour les différents axes, un gradient de xéricité, de térophytisation et un autre gradient de dégradation lié à l'homme et ces animaux, cette étude a montré que l'action synergique de l'aridité et de l'action anthropique engendrait des modifications importantes au niveau de la végétation.

Ces deux facteurs semblent soutenir la majorité des axes des plants de l'AFC. Ceci montre nettement la souffrance et la forte pression anthropique exercée dans cette région surtout le versant sud-ouest.

Références bibliographiques

- ROUX G. & ROUX M., 1967. A propos de quelques méthodes de classification en phytosociologie. *Rev. Stat. Appl.*, 15, (2), 59-72.
- M'HIRIT O., 1982. Etude écologique et forestière des Cédraies du Rif marocain. *Ann. Rech. Forest. Maroc*, 22, 1-502.
- QUEZEL P. et SANTA S., (1962 -1963) - Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. C.N.R.S. Paris. 2 vols. 1170 p.
- BAREY E., BUTTLE K., FINKENZELLER P. et GRAN X., 2004 - Guide de la flore méditerranéenne Caractéristiques, habitat, distribution et particularités de 536 espèces.
- KAABECHE 1990- Les groupements végétaux de la région de la région de Bou Saada .Essai de synthèse sur la végétation steppique du Maghreb Thèse Doctorat.Univ.Paris sud Centre d'orsay.

ARTIFICIALISATION DU SOL ET SES IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT DANS LE SAISS

AMYAY Mhamed et ELHASSANI Youssouf
Université Sidi Mohamed Ben Abdellah- Fès

RÉSUMÉ: Comme dans de nombreux territoires marocains, l'artificialisation du sol a pris des dimensions considérables dans le Saiss. Le rythme de son évolution s'est largement accéléré au cours des deux dernières décennies. Ce phénomène est préjudiciable pour l'environnement. Ses impacts se traduisent notamment par l'imperméabilisation de vastes étendues et par la dégradation de certaines ressources naturelles.

Cette contribution expose l'ampleur de l'artificialisation du sol et ses dimensions environnementales dans le Saiss. Elle s'est appuyée sur l'analyse d'une série d'images satellitaires de LANDSAT. L'application d'une classification supervisée combinée à des observations de terrain ont permis d'atteindre un bon niveau de caractérisation des surfaces. La pression anthropique est largement reflétée par les résultats du suivi spatio-temporel durant la période entre 1973 et 2019. Ainsi, en 46 ans, les surfaces artificialisées ont été multipliées par onze soit une croissance d'environ 500 ha par an, l'équivalent d'environ 1,36 ha par jour. Ce sont des terrains pourvus d'une couverture édaphique de grande qualité agricole qui constituent le support de ce phénomène dans le Saiss.

Mots-clés : artificialisation du sol, environnement, images satellitaires LANDSAT, classification supervisée, Saiss.

ARTIFICIALIZATION OF THE SOIL AND ITS IMPACTS ON THE ENVIRONMENT IN THE SAISS-MOROCCO

ABSTRACT: As in many Moroccan territories, the artificialization of the soil has taken on considerable dimensions in the Saiss. The pace of its development has greatly accelerated over the past two decades. This phenomenon is detrimental to the environment. Its effects are reflected in particular in the waterproofing of vast areas and in the degradation of certain natural resources.

This contribution exposes the extent of the artificialization of the land and its environmental dimensions in the Saiss. It was based on analysis of a series of LANDSAT satellite images. The application of a supervised classification combined with field observations made it possible to achieve a good level of surface characterization. The anthropogenic pressure is largely reflected by the results of spatio-temporal monitoring during the period between 1973 and 2019. In 46 years, the artificial surfaces have been multiplied by eleven, ie a growth of about 500 ha per year, the equivalent of about 1.36 ha per day. These are lands provided with a soil cover of high agricultural quality which constitute the support of this phenomenon in the Saiss.

Keywords : artifizialisation of soil, environment, LANDSAT satellite images, supervised classification, Saiss.

INTRODUCTION

L'artificialisation du sol désigne les modifications des surfaces initiales et leur transformation en espaces artificialisés (transformés). Elle comprend « toute surface retirée de son état naturel (friche, prairie naturelle, zone humide, etc.), forestière ou agricole, qu'elle soit bâtie ou non et qu'elle soit revêtue ou non. » (BECHET. B et al., 2017). Ce phénomène est aussi ancien que le fait urbain. Cependant l'ampleur qu'il a atteint aujourd'hui dans certaines régions notamment dans les pays industrialisés en font une véritable menace pour l'environnement et le bien-être de l'homme. La situation est devenue préoccupante dans le contexte actuel marqué par les changements climatiques et l'évolution démographique qui

accentuent la pression sur les terres agricoles. Ainsi, sa réduction ou du moins sa maîtrise qui passe par sa caractérisation et sa connaissance approfondie, se présente comme un véritable challenge dans les stratégies de développement durable.

Le phénomène revête davantage d'importance quand il affecte des zones aux fortes potentialités agricoles et offrant diverse services écosystémique comme le Saïss qui est pourvu d'une couverture pédologique relativement bien développée et fertile. Le sol de ce territoire est le résultat d'une évolution de plusieurs millénaires ce qui en fait une ressource non renouvelable à l'échelle de la vie humaine. Son artificialisation par des constructions en dur (béton) est souvent irréversible et constitue une perte et une atteinte à l'environnement.

L'artificialisation du sol conduisant à son imperméabilisation et à l'extraction de vastes surfaces à leur état naturel est visibles notamment dans les périphéries des villes de Fès et de Meknès. Ses impacts sur les terres agricoles sont parfois mentionnés dans les études portant sur l'étalement urbain. Cependant la quantification du phénomène sur de grandes étendues et l'appréciation de ses conséquences sur l'environnement n'ont fait l'objet que de quelques rares investigations.

Cette étude menée dans le Saïss zone largement touchée par ce problème vise la caractérisation du phénomène et l'évaluation de ses impact environnementaux. Il est mis en évidence à travers le suivi de l'occupation et de l'utilisation du sol de la zone d'étude durant la période 1973-2019. Les outils utilisés pour l'illustration de l'ampleur de ses aspects sont multiples et les données spatiales y constituent une pièce maitresse.

1. PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Le Saïss (bassin de Fès- Meknès) correspond à la partie centrale du sillon sud-rifain. Il est limité par l'oued Beth à l'Ouest et par la vallée de Sebou à l'Est et encadré du côté Nord par les rides Prérifaines et du Sud par le rebord du Causse moyen-atlasique. La superficie totale du bassin est de 2 170 Km², subdivisée en deux parties structurales : le plateau de Meknès à l'Ouest et la plaine du Saïss désignée parfois par le Saïss de Fès à l'Est (figure 1).

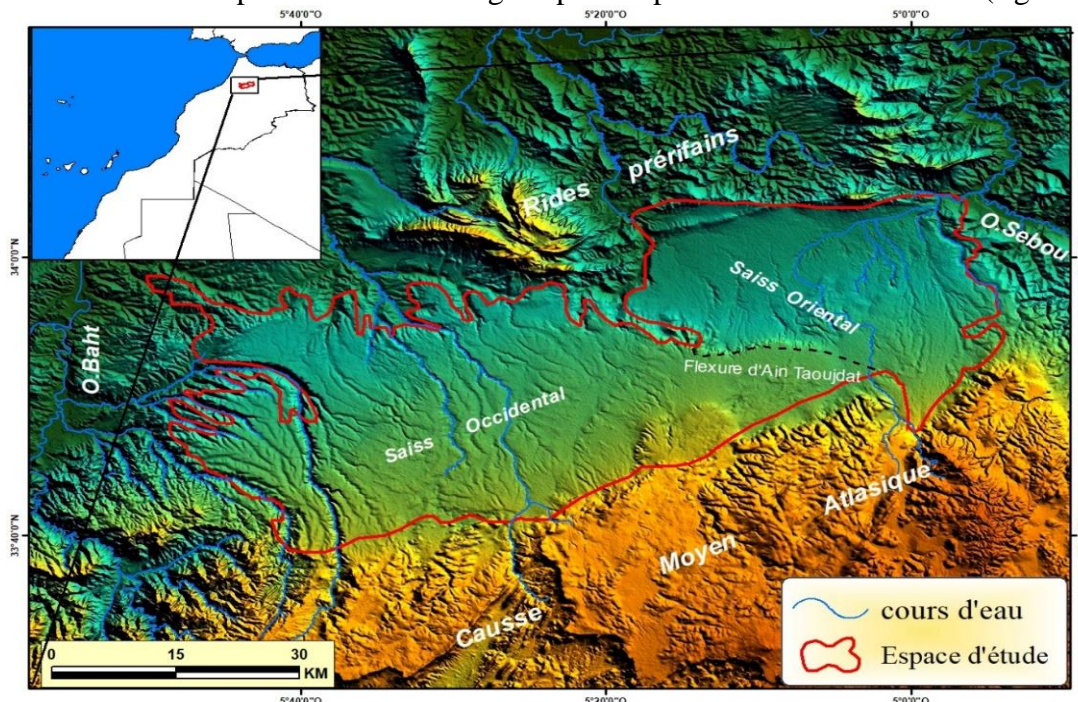


Figure 1: localisation et délimitation de la zone d'étude

Le Saïss dispose d'importantes potentialités naturelles, humaines et économiques. Il est constitué d'un ensemble de vastes plaines et de plateaux. Il est marqué par une surface plane

avec des pentes généralement inférieures à 1%. Le Saïss est doté d'un climat méditerranéen semi-aride. (Martin J. et al.,1967). Le substrat lithologique y est simple, structuré par une dalle calcaire lacustre superposée à des sables fauves et à des marnes (TALTASSE, 1953 ; FASSI, 1993 ; CHARROUD, 2007). Il est caractérisé aussi par une richesse hydrique et des sols fertiles. Ces conditions expliquent en partie les formes extrêmement anciennes et élaborées de l'installation humaine. Saïss est le siège de la capitale régionale (Fès) et constitue l'espace le plus dynamique de la région de Fès-Meknès. Avant son intégration dans le découpage régional actuel avec Fès, Meknès était aussi capitale de l'ancienne région Meknès-Tafilalt. Cette fonction a doté ces villes d'une forte attractivité et leur a assuré un développement rapide qui ont débouché sur d'importantes mutations spatiales.

2. MATERIELS ET METHODES

La méthodologie adoptée pour la réalisation de ce travail est basée essentiellement sur l'analyse, par une chaîne de traitement axée sur la classification supervisée, d'une série d'images satellitaires de type Landsat couvrant la période de 1973 à 2019. Les récentes innovations en matière des techniques d'observation de la Terre (capteurs, satellites, la mise à disposition des chercheurs, gratuitement, de certaines images), ont fait de la télédétection un outil performant pour l'analyse des dynamiques spatiales et les changements d'usage du sol et de la quantification des conversions des sols agricoles/urbains (Mahesh Kumar Jat, P.K et al., 2008).

Les étapes de prétraitement et la classification sont suivies par un processus systématique de vérification. Ainsi, la qualité des résultats issus des traitements des images a été validée par des observations sur le terrain. Nous avons pour cela procédé à la création d'une matrice de confusion et le calcul du coefficient de Kappa de Cohen. Cet indice statistique qui est couramment utilisée dans la mesure de concordance a donné de bons résultats surtout pour les images dont la date d'acquisition est postérieure à 2000 reflétant largement le rôle de la résolution spatiale des images utilisées dans la précision de la classification.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Le Saïss est parmi les espaces géographiques marocains qui ont exercé un fort attrait sur l'homme et ce depuis des millénaires. Il a constitué, pendant de longues périodes de l'histoire du Maroc, le centre de décision du pays à travers les villes de Fès et de Meknès où ont élu résidence des Sultans et monarques des différentes dynasties qui ont régné sur le Maroc. Bien que le protectorat ait contribué à la mise en place d'une nouvelle polarisation dans le pays en développant davantage les villes littorales, le Saïss a repris sa dynamique après l'indépendance notamment dans les activités agricoles et les opportunités de développement créées par les grands centres urbains. Cette dynamique a eu comme corolaire une forte mobilité des populations qui a abouti à l'exacerbation de son urbanisation et l'extension de l'artificialisation des sols.

Le suivi de l'occupation des sols dans le Saïss a mis en évidence une dynamique opérant à un rythme soutenu au cours des 50 dernières années. La surface artificialisée a été multipliée par onze pour la période considérée, elle est passée d'environ 2135 ha en 1973 à plus de 25148 ha en 2019, soit une moyenne de croissance d'environ 500 ha par an, l'équivalent d'environ 1,36 ha par jour. Cette augmentation touche presque toute la zone d'étude mais des grands contrastes se manifestent entre les différents secteurs du Saïss. Elle est perceptible notamment aux niveaux des alentours des villes de Fès et de Meknès ainsi qu'au niveau des centres émergents tels que Ain Taoujdate, Mhaya, Sabaa Ayoun et Boufekran. Les agglomérations de

Fès et de Meknès ont connu durant les vingt dernières années et connaissent encore un étalement très marqué, résultat de l'accroissement naturel et des flux migratoires. La mise en place de certaines grandes infrastructures de communication (autoroutes) et la création des zones d'activités ont également contribué à cette artificialisation mais dans des proportions beaucoup moindres. L'emprise de l'habitat (pavillonnaire ou autre) en dehors des entités urbaines a atteint également un degré de densité préoccupant un peu partout.

Cette artificialisation des sols dans le Sais s'est faite essentiellement au détriment des terres de haute qualité agricole. Ainsi, ces dernières ont connu une forte régression sur la période d'étude (figure 2) et dans tout le Sais. Les récentes extensions des villes de Fès et de Meknès par l'ouverture de vastes nouvelles zones à l'urbanisation ont dévoré des centaines d'hectares des meilleurs terres agricoles. Les prix pratiqués dans le foncier urbain allèchent les propriétaires des terres agricoles. Ils résistent rarement devant les propositions d'achat faites par les lotisseurs quand ils ne prennent pas eux-mêmes les démarches de demande d'autorisation de lotissement.

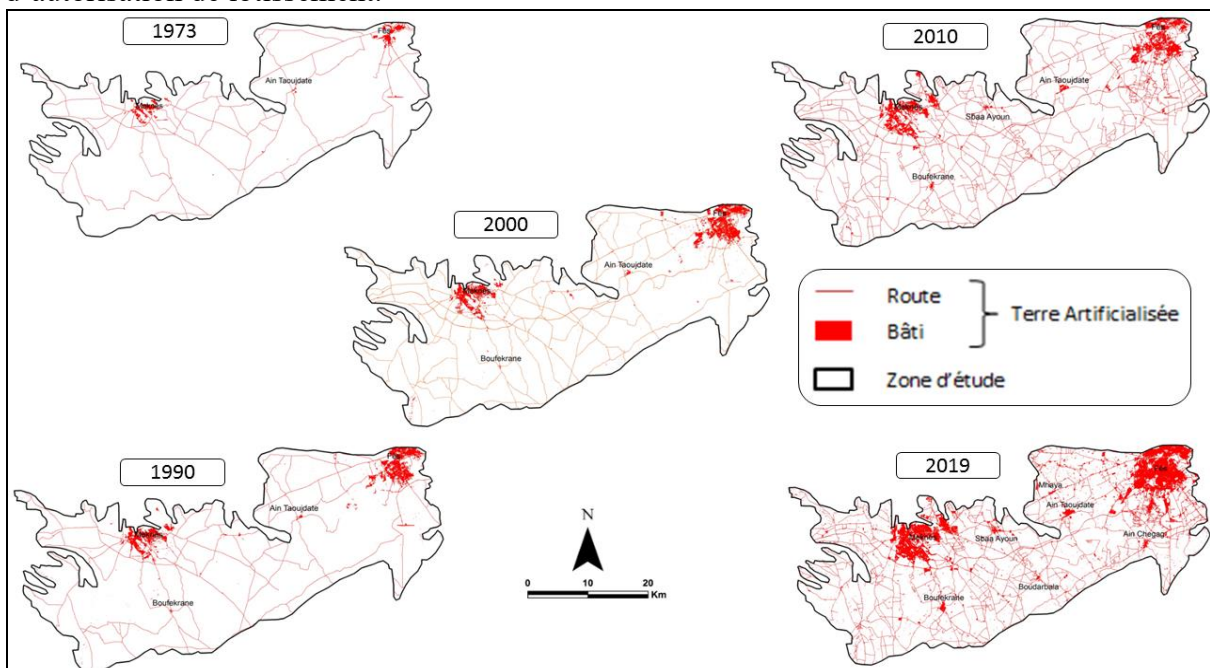


Figure 2. L'évolution de l'espace artificialisé dans le bassin du Saïss entre 1973 et 2019

L'impact de l'augmentation de la population sur cette mutation spatiale est bien réel dans l'espace d'étude. Cependant la progression des deux phénomènes ne se fait pas dans les mêmes proportions. La surface bâtie rapportée à l'habitant a connu un fort allongement au cours de la dernière décennie. Ainsi, la moyenne est passée de 25 m² par habitant à 92 m² pour la période considérée (Figure 3).

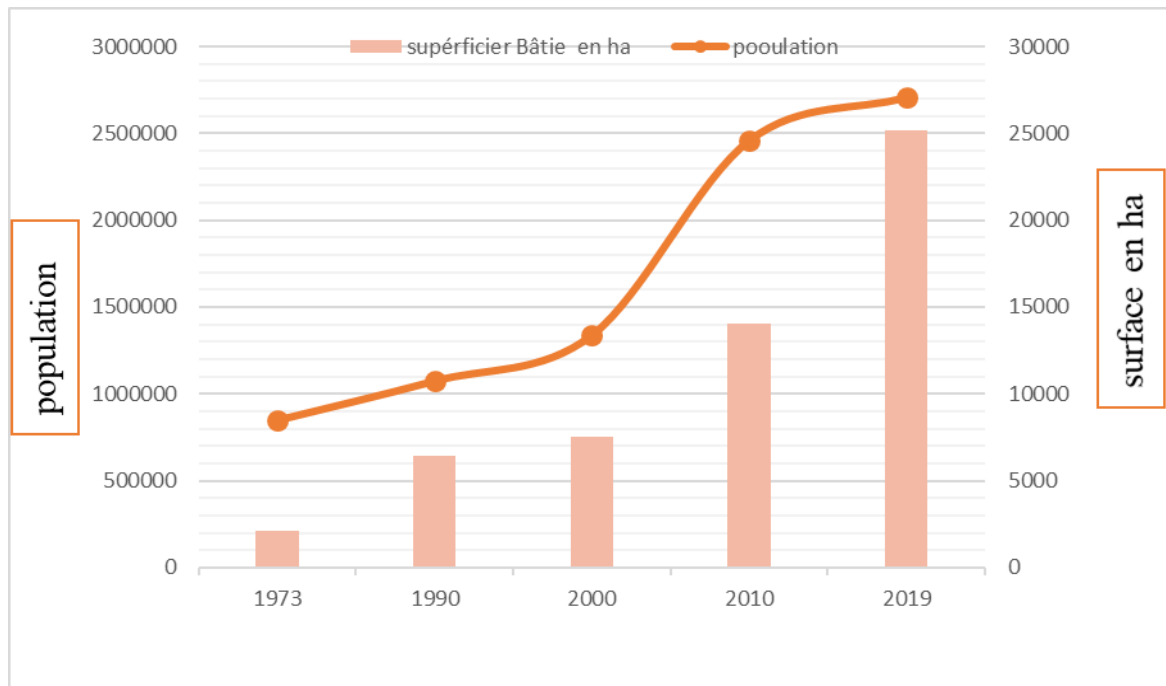


Figure 3. La relation entre l'augmentation de la population et l'espace bâti

La modernisation de la société, le changement du mode de vie et l'amélioration des conditions économiques et sociales expliquent cette tendance. La réduction de la taille des ménages l'importance des revenus de certaines catégories sociales sont parmi les facteurs à l'origine de ces mutations. La préférence de résider en périphérie des villes, facilitée par la banalisation de l'automobile et le développement des infrastructures de transport, pour certaines catégories sociales a largement accentué la périurbanisation de Saiss.

L'artificialisation des sols qui s'amplifie dans la région nuit gravement à la qualité de son environnement et en altère l'équilibre et le fonctionnement normal. En effet ce phénomène cèle une composante naturelle et vivante par une autre couverture inerte, figée et composée en grande partie du béton et d'asphalte. Il en résulte la mise en place d'une surface imperméable qui dissimule et tue le sol. Cette disposition aboutit localement à la déconnection des différentes sphères de la nature (la géosphère, hydrosphère, l'atmosphère et la biosphère) et le blocage des échanges et des flux d'eau et d'air qui s'opèrent entre elles.

Les milliers d'hectares des sols artificialisés dans le Saiss contribuent à l'exacerbation des modifications et des phénomènes qui affectent le cycle hydrologique local. La réduction des volumes des précipitations infiltrés se traduit par l'augmentation du ruissellement et les écoulements des eaux en surface. Le sous dimensionnement des réseaux d'évacuation des eaux dans certaines villes et centres urbains transforment les rues de ces derniers en véritables canaux lors des événements pluvieux. Les inondations récurrentes auxquelles sont sujettes les villes de Fès et de Meknès sont en grande partie dues à l'imperméabilisation de vastes surfaces notamment dans les nouvelles extensions en périphérie de ces deux villes. L'augmentation des volumes d'eau s'écoulant en surface se traduit par la diminution des infiltrations et la réduction des flux assurant la recharge des aquifères. Ces flux d'eau s'écoulant sur des surfaces favorisant l'accumulation des polluants sont de véritables vecteurs de pollution. L'accélération et la concentration des écoulements des eaux induits par l'imperméabilisation de vastes étendues instaurent aussi des conditions accentuant les phénomènes de l'érosion.

Les impacts environnementaux de l'artificialisation des sols dans le Saiss ne se limitent pas aux seuls aspects hydrologiques évoqués, ils se manifestent également dans la fragmentation des paysages, l'accentuation des contrastes climatiques (îlots de chaleur),

l'atrophie de l'activité biologique et la réduction de la biomasse. Cette dernière influence directement les flux de carbone qui constituent une des préoccupations majeures de l'humanité à l'heure actuelle.

CONCLUSIONS

L'artificialisation des sols est assez perceptible dans le Saïss. Elle s'est traduite par un important recul des terres agricoles et des espaces dits naturels au cours des cinquante dernières années. Cette mutation spatiale est le résultat de facteurs historiques, sociodémographiques et économiques. L'urbanisation en est l'un des principaux moteurs. Ce phénomène entraîne une gamme de répercussions négatives dans l'organisation de l'espace et dans le fonctionnement et l'équilibre environnementaux. Il affecte tous les éléments naturels et la qualité des milieux : sol, eau, et organismes vivants. L'ampleur du phénomène impose sa prise en considération dans les stratégies de planification et d'aménagement. L'extension verticale des constructions est une des solutions dont la mise en œuvre est relativement simple vue la stabilité qui caractérise le substrat dans une large partie du Saïss.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BECHET B, LE BISSONNAIS Y, RUAS A, AGUILERA A, ANDRE M, ANDRIEU H, AY S, BAUMONT C, BARBE E, VIDAL BEAUDET L, et al. (2017). Sols artificialisés et processus d'artificialisation des sols, déterminants, impacts et leviers d'action, INRA (France), 609 pages.
- CHARROUD M., CHERAI B., BENABDELHADI M ET FALGUERES C. (2007). Impact de la néotectonique quaternaire sur la dynamique sédimentaire du saïss (Maroc) : du bassin d'avant fosse pliocène au plateau continental quaternaire, *Quaternaire*, 18, (4), 2007, p. 327-334.
- FASSI D. (1993). Les formations superficielles du Saïss de Fès et de Meknès. Edition du service géologique, Rabat, 401 p.
- MAHESH KUMAR JAT, P.K GARG, DEEPAK KHARE. (2008). Monitoring and modelling of urban sprawl using remote sensing and GIS techniques. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, volume 10. p. 26-43.
- MARTIN J, JOVER H, LECOZ, J, MAURIR G, NOIN D. (1967). *Géographie du Maroc*. Paris, Ed. Hatier.
- TALTASSE P., 1953 - Recherches géologiques et hydrogéologiques dans le bassin lacustre de Fès-Meknès. *Notes et Mémoires du Service Géologique, Maroc*, 115, 152 p.

**ETUDE DIACHRONIQUE ET QUANTIFICATION DE LA DYNAMIQUE
D'OCCUPATION DU SOL DANS LE BASSIN VERSANT DU HAUT OUERGHA
(RIF CENTRAL- MAROC) :**

EL OUAZANI ECH-CHAHDI Khadija¹, EL-BOUHALI Abdelaziz¹⁻² et AMYAY Mhamed¹

¹ Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Sais, Fès-Maroc.

khadija.elouazaniechachahdi@usmba.ac.ma

² Université de Lorraine, Metz-France.

RESUME: Le paysage forestier de la partie amont du bassin versant de Haut Ouergha, a connu au cours des dernières décennies des transformations remarquables. La présente étude a pour objectif leur mise en évidence à travers la cartographie de la dynamique d'occupation du sol et la quantification de son évolution entre 1985 et 2018.

Les résultats obtenus montrent de grandes transformations bien que la région soit loin des axes de développement et des centres économiques du Maroc. L'évolution de l'occupation des sols y est caractérisée par la régression progressive des massifs forestiers et l'extension du cannabis. Le recul des forêts de chênes verts est estimé à environ 166 hectares entre 1985 et 2018 soit 56.51 % de la superficie des massifs forestiers de la zone d'étude. Cette dynamique soutenue est le résultat de l'interaction des facteurs naturels (climat, topographie) et des facteurs anthropiques (défrichement, pâturage, incendies). En effet, les pertes successives de la forêt se traduisent localement par l'accélération de la dynamique érosive et la dégradation des écosystèmes forestiers.

Mots-clés: Haut Ouergha, diachronique, quantification, dynamique, occupation du sol.

**LAND USE DYNAMICS IN THE HAUT OUERGHA WATERSHED (CENTRAL RIF
- MOROCCO): DIACHRONIC STUDY AND QUANTIFICATION**

ABSTRACT: The forest landscape of the upstream part of the Haut Ouergha watershed has undergone remarkable transformations in recent decades. The objective of this study is to highlight them through the mapping of the dynamics of land use and the quantification of its evolution between 1985 and 2018.

The results obtained show important transformations although the region is far from the development axes and economic centers of Morocco. The evolution of land use is characterized by the progressive regression of forest massifs and the extension of cannabis. The decline of forests of holm oak is estimated to be about 166 hectares between 1985 and 2018 with 56.51% of the area forest. This sustained dynamic is the result of the interaction of natural factors (climate, topography) and anthropic factors (clearing, grazing, fires). Indeed, the successive losses of the forest is translated locally by the acceleration of the erosive dynamics and the degradation of forest ecosystems.

Keywords: Haut Ouergha, diachronic, quantification, dynamics, land use.

INTRODUCTION

Les milieux montagnards marocains ont enregistré au cours des dernières décennies une dynamique notable d'occupation et d'utilisation des terres. Les études menées sur ces milieux mettent en évidence les différents aspects de cette dynamique : régression des forêts, extension des terrains de cultures, repli des terrains de pâturages..., ce qui a engendré des changements environnementaux, spatiaux et socio-économiques importants.

Dans le Rif central, la dynamique d'occupation du sol est caractérisée par un recul alarmant des massifs forestiers et l'extension des terrains de cannabiculture. Cette dynamique reflète directement la pression anthropique exercée sur les ressources naturelles. Aujourd'hui, l'étude de ces aspects est un élément clef pour évaluer le rythme d'évolution et de dégradation des milieux naturels. La présente contribution s'inscrit dans cette optique et vise la quantification et la cartographie de la dynamique de l'occupation des sols dans le bassin versant du Haut Ouergha entre 1985 et 2018. Elle est établie sur la base de plusieurs missions d'investigation sur le terrain et le traitement des images satellites de différentes dates.

1. DESCRIPTION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Cette étude porte sur la partie amont du bassin versant de Haut Ouergha (bassin versant d'Oued Ech Chrif), qui fait partie du Rif central (figure 1). Administrativement, elle dépend de la collectivité territoriale de Bni Ouenjel Tafraout qui appartient à la province de Taounate.

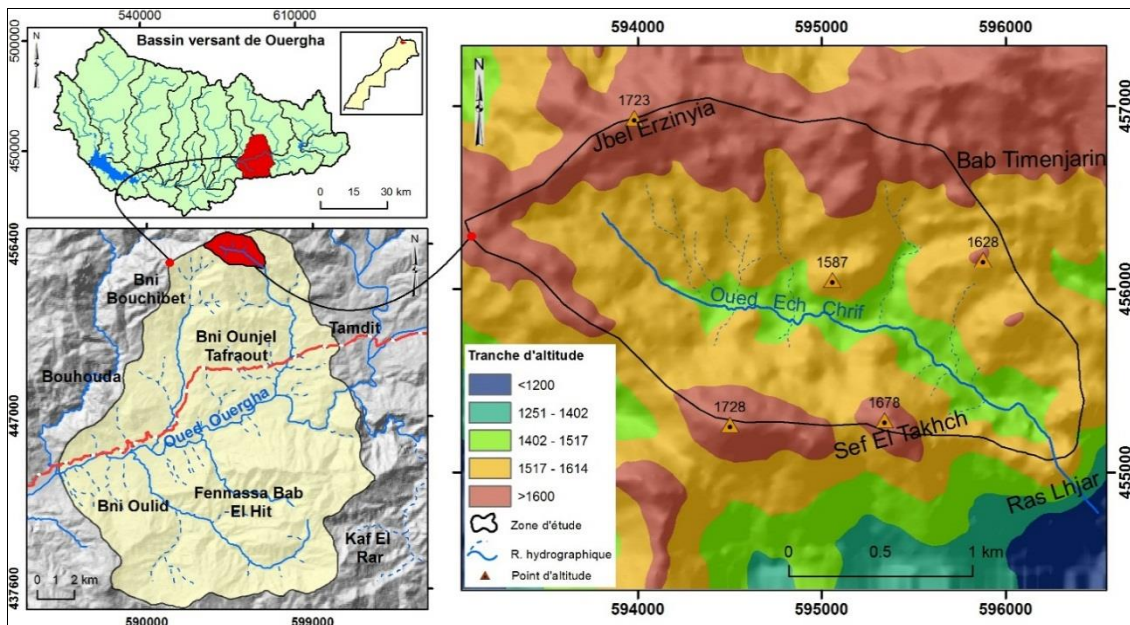


Figure 1: Présentation de la zone d'étude

Elle correspond à la partie la plus élevée du bassin versant de Haut Ouergha. En effet, les altitudes y oscillent entre 1723 m au niveau de Jbel Erzinyia et 1402 m au niveau d'Oued Ech Chrif. Le contexte lithologique est marqué par la dominance du flysch de Miocène

moyen, pépite noire messinienne et calcaire en banc du Lias. Les versants se caractérisent par des pentes moyennes à fortes (entre 18° et 52).

Le climat est de type méditerranéen et se distingue par des précipitations importantes, variant entre 700 mm et 800 mm en moyenne, avec des chutes de neige pendant l'hiver. Selon l'indice **bioclimatique d'Emberger, la zone appartient à l'étage subhumide**. Dans ce contexte climatique évoluent des peuplements du chêne vert qui prédominent la couverture forestière de la zone d'étude.

2. MATERIEL ET METHODES

La démarche méthodologique adoptée dans ce travail est basée sur le traitement des images satellitaires multi dates (Landsat 5 et Landsat 8) et le travail de terrain pour le suivi de la dynamique d'occupation du sol dans la partie amont du bassin versant de Haut Ouergha. A cet effet, nous avons choisi trois dates (1985, 2000 et 2018) pour montrer la variation spatiotemporelle d'occupation du sol dans ce bassin.

La classification des images satellites a été précédée par un prétraitement radiométrique (pour améliorer la qualité des images) et géométrique (pour garantir la superposition aux cartes). La classification supervisée appliquées aux images 'Landsat' nous a permis d'identifier les forêts et les zones cannabiculture qui représentent les deux principales classes d'occupation des sols dans la zone d'étude. La vérification des résultats obtenus a été faite à partir des images Google Earth et les visites de terrain.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

La culture de cannabis (cannabiculture) a connu une extension très remarquable dans le Rif central et ce depuis les années 1970, lorsque a commencé la transformation du cannabis en haschisch pour le commerce (AFSAHI K et KHALID M. 2014). Phénomène consécutif à l'augmentation de la demande européenne en haschisch, **enclenchée au cours des années 1960 et surtout, à partir de 1970** (CHOUVY P-A. 2018). Avant cette période, la culture de cannabis était limitée et était destinée essentiellement à la consommation locale. MOULIERAS A, dans son ouvrage « le Maroc inconnu » a écrit, en 1899, que « les habitants de Bni-Ouandjel sont tous de grands fumeurs de Kif, mangeurs de haschisch ».

L'importance des rendements générés par cette culture, notamment par l'extraction de Hachich pousse les paysannes à l'agrandissement de leurs champs, en exploitant les versants pentus et les lits des oueds. Les besoins grandissant en terre de culture et la rareté des terrains fertiles, ont conduit les populations locales au défrichement des massifs forestiers de Chênes verts, qui constituent la réserve foncière. Le traitement des images satellites Landsat 5 pour l'année 1985 et 2000 (figures 2, 3 et 4), montre que la zone d'étude a perdu environ 76 hectares de la superficie forestière entre 1985 et 2000, en parallèle, une extension remarquable de la cannabiculture dans la zone d'étude, qui a progressé de 28.5 % en 1985 à 47% en 2018.

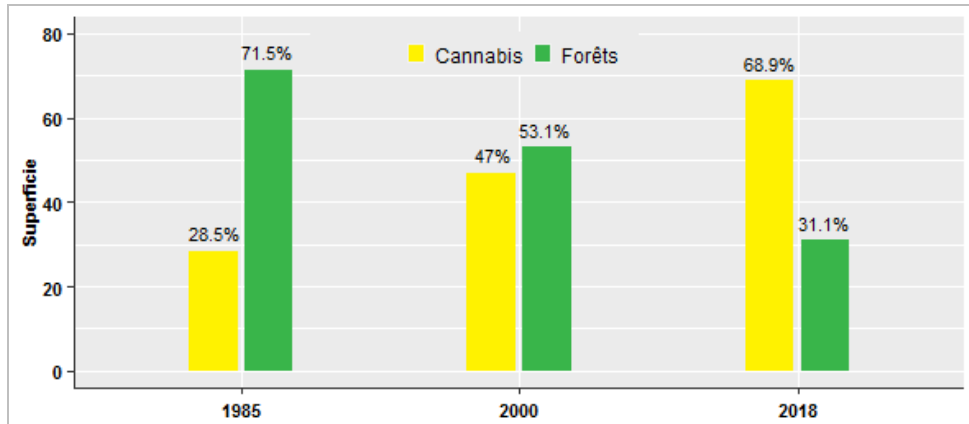


Figure 2: la dynamique des massifs forestiers entre 1985 et 2018

Vers la fin des années quatre-vingt-dix, le cannabis devient la culture principale (monoculture) pour les paysans. « Le kif représente pour eux l'opportunité de passer rapidement d'une économie familiale de subsistance à une économie de rente » (GROVEL R. 1996). Cela a favorisé l'accélération du rythme de défrichage des forêts. Ainsi, entre 2000 et 2018, la zone d'étude a perdu une superficie d'environ 90 hectares de chênes verts (figures 2, 4 et 5). Ainsi, le bassin versant de Haut Ouergha a connu une régression de 166 hectares des superficies forestiers entre 1985 et 2018.

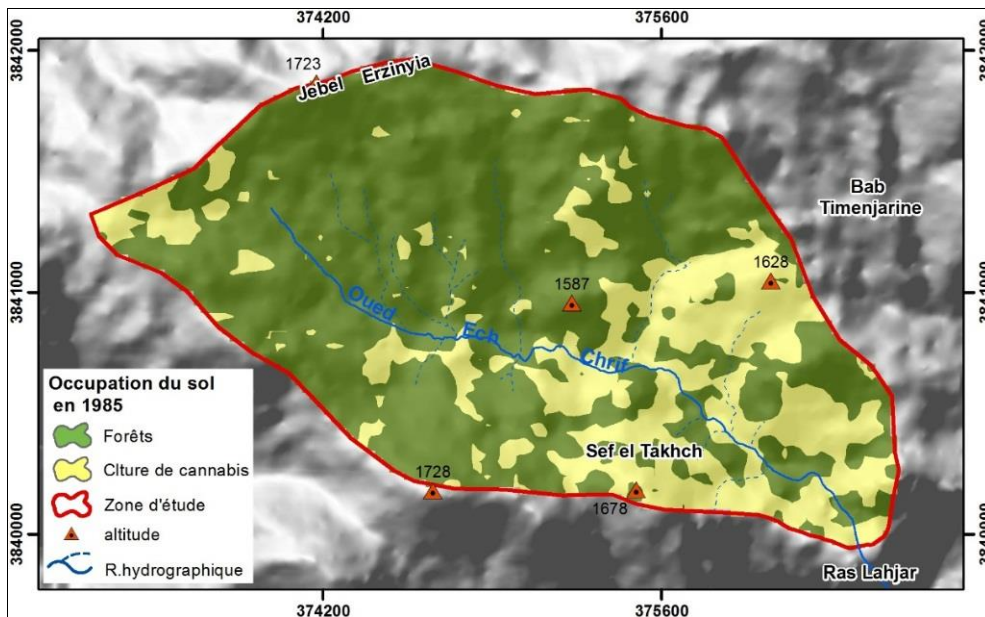


Figure 3: occupation du sol en 1985

Bien que la culture de cannabis soit la principale responsable du recul des espaces forestiers, il existe d'autres pratiques qui accentuent ce processus de déforestation. Les coupes dans les forêts pour la satisfaction des besoins en bois de feu, en bois de construction, en branchages pour les troupeaux et en terrains de parcours participent également à la dégradation des forêts. Ces défrichements permettant à la fois de satisfaire les besoins des populations locales et d'étendre la cannabiculture.

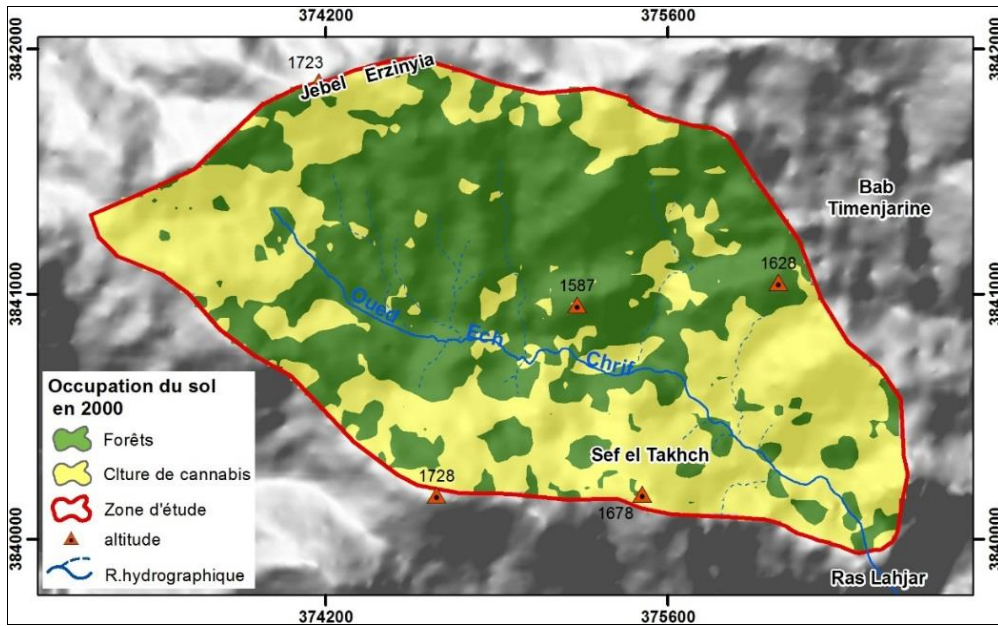


Figure 4: occupation du sol en 2000

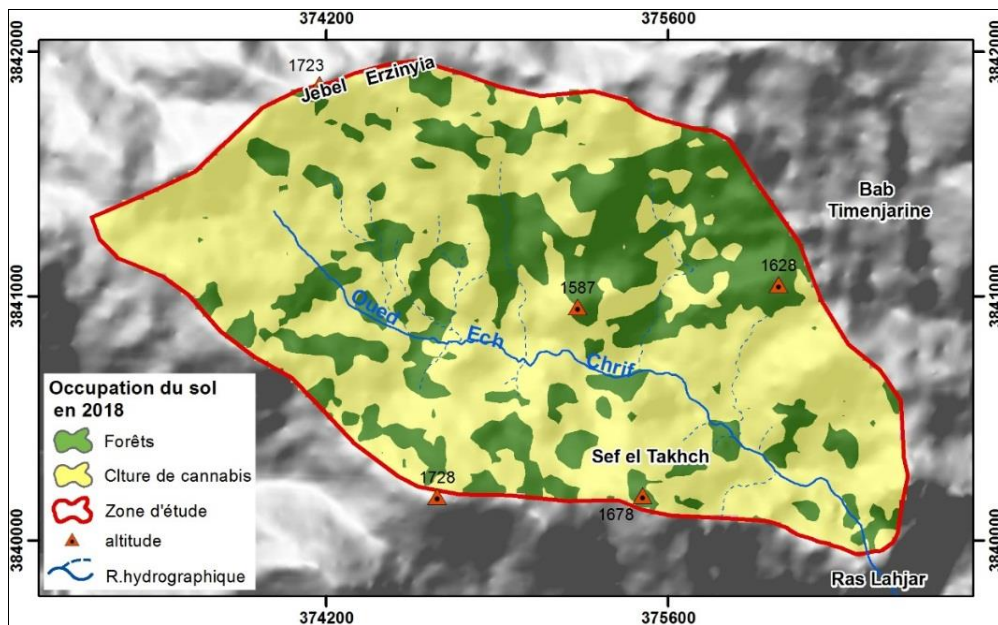


Figure 5: occupation du sol en 2018

L'économie du cannabis a largement contribué à la fixation de la population dans la région rifaine (CHOUVY P-A. 2008), mais il provoque des effets néfastes sur l'écosystème et la durabilité des ressources dont les principaux sont évoqués ci-dessous.

- Le défrichement des forêts pour la mise en culture de cannabis sur des versants fortement inclinés crée des conditions favorables à l'érosion.
- Le cannabis contribue à l'appauvrissement des sols et épuise rapidement leur fertilité, ce qui demande l'utilisation des engrais chimiques. Cette pratique est néfaste pour la qualité des sols.

En effet, l'utilisation abusive des produits chimiques peut conduire à la salinité des sols et à l'augmentation du risque de désertification.

- La déforestation peut influencer les conditions hydriques du sol puisque que « La forêt est un élément central pour optimiser le bilan hydrique du pays. Elle permet de profiter pleinement des pluies abondantes qui s'abattent sur les massifs montagnards » (MHIRIT O et BENCHAKROUN F 2004).

CONCLUSION

Grace à l'utilisation du SIG et l'exploitation des images satellitaires, le suivi et la quantification de la dynamique des massifs forestiers sont devenus faciles et précis. L'analyse et l'interprétation des données disponibles ont montré que la dégradation des massifs forestiers dans le bassin de Haut Ouergha a atteint un stade critique. Les résultats de suivi diachronique montrent que la zone d'étude a perdu une superficie d'environ 166 hectares des forêts entre 1985 et 2018 avec un recul d'environ 56.51 % de la superficie forestière totale. Cette situation contribue à l'accélération de la dynamique érosive et à la dégradation de l'écosystème forestier. Donc l'intervention étatique dans le bassin par une nouvelle stratégie de conservation des massifs forestiers devient très nécessaire.

BIBLIOGRAPHIE

- AFSAHI K ET KHALID M. (2014). Cannabis dans le Rif central (Maroc). Revue interdisciplinaire de sciences sociales. Espaces temps.net
- CHOUVY P-A. (2008). Production de cannabis et de haschich au Maroc : contexte et enjeux. L'Espace Politique, vol. 4, varia.
- CHOUVY P-A. (2018). Du kif au haschich : évolution de l'industrie du cannabis au Maroc. Bulletin de l'Association de géographes français.
- GROVEL R. (1996). La préservation des forêts du Rif Centro-occidental : un enjeu de développement de la montagne rifaine. Revue de géographie alpine, tome 84, n°4. pp. 75-94.
- MHIRIT O ET BENCHAKROUN F. (2004). Les écosystèmes forestiers et périforestiers: situation, enjeux et perspectives pour 2025. Rabat.
- MOULIERAS A. (1899). Le Maroc inconnu étude géographique et sociologique, deuxième partie : exploration des DJBALA (Maroc septentrional). Editions Augusting Challamel. Paris, 814 p.

SUIVI PAR TÉLÉDÉTECTION ET SIG DE LA DYNAMIQUE DU COUVERT VÉGÉTAL POST-INCENDIE: CAS DE LA FORÊT D'IZARÈNE (PROVINCE D'OUEZZANE)

El Mazi Mohamed¹, Hmamouchi Mostafa¹, Saber Er-riyahi², Houari Abdelghani³

- (3) Docteur Chercheur en Géographie, Département de Géographie, FLSH Sais-Fès, USMBA Fès.
- (4) Enseignant chercheur, Laboratoire des Études et Recherches en Géographie, FLSH, UMI, Meknès
- (5) Enseignant chercheur, département de Géographie, FLSH Sais-Fès, USMBA, Fès.

Résumé: Les incendies de forêt au Maroc constituent la première menace de la dégradation des milieux forestiers, induisant d'immenses dégâts économiques et écologiques. L'objectif de cette étude est de caractériser la sévérité des zones brûlées après incendie de la forêt d'Izarène en 2004, de déterminer la reconstitution post-incendie de la végétation et d'analyser la relation entre le régime de feu et la régénération de la végétation. La méthodologie adoptée repose sur l'utilisation des indices spectraux (NBR et NDVI) issus de l'analyse des images Landsat acquises avant et après l'incendie, et les observations sur le terrain. Les résultats obtenus montrent que les écosystèmes forestiers et préforestiers de cette forêt sont très vulnérables aux incendies. L'indice de dNBR montre que l'incendie de 2004 a une sévérité élevée, du fait de l'accumulation de la biomasse de combustible important et les facteurs météorologiques sévères. L'étude diachronique de l'indice NDVI a montré que ces écosystèmes se caractérisent par une résilience élevée et une grande capacité de régénération. La dynamique du paysage végétal post-incendie se fait avec un rythme hétérogène entre les formations forestières et préforestières. La gravité du brûlage du grand incendie de 2004 a montré une relation inverse entre la reprise de la végétation et la sévérité de la brûlure; c'est-à-dire les zones de gravité de brûlage faible ont eu la plus grande vitesse de reconstitution du couvert végétal.

Mots clés: Télédétection, SIG, régénération, forêt d'Izarène, Ouezzane.

REMOTE SENSING AND GIS MONITORING OF POST-FIRE REGENERATION DYNAMICS: THE CASE OF THE IZARÈNE FOREST (OUEZZANE PROVINCE)

Abstract: Forest fires in Morocco constitute the first threat of the degradation of forest environments, inducing immense economic and ecological damages. -The objective of this study is to characterize the severity of the 2004 Izarène forest burn, to determine the post-fire vegetation recovery and to analyze the relationship between the fire regime and vegetation regeneration. The methodology adopted is based on the use of spectral indices (NBR and NDVI) derived from the analysis of Landsat images acquired before and after the fire and field observations. The results obtained showed that the forest and pre-forest ecosystems of this forest are very vulnerable to fire. The NBR index shows that the burns have high severity due to fuel accumulation and severe meteorological factors. The diachronic study of the NDVI showed that these ecosystems are characterized by high resilience and regenerative capacity. The dynamics of the post-fire vegetation landscape are heterogeneous between forest and pre-forest formations. The burn severity of the large fire of 2004 showed an inverse relationship between vegetation recovery and burn severity; that is, areas of low burn severity had the greatest rate of vegetation recovery.

Key words: Remote sensing, GIS, regeneration, Izarene forest, Ouezzane.

INTRODUCTION

Les incendies de forêt dans la région méditerranéenne constituent la première menace de la dégradation des milieux forestiers, induisant des dégâts économiques et écologiques (FAO, 2018). Cependant, ces incendies contrôlent l'âge, la structure et la composition floristique (Trabaud, 1996). La superficie moyenne incendiée au Maroc durant la période 1960-2008 (48 ans) est de 2984 ha par an (M'harzi Alaoui, 2015). Ce taux paraît très élevé par rapport au taux de boisement au niveau national (8%) et aux difficultés de reconstitution des forêts dans le contexte socioéconomique et environnemental (Assali et al., 2016). Ceci est particulièrement remarquable dans la région du Rif où se concentre plus de 63% de la superficie incendiée au Maroc (M'harzi Alaoui et al., 2015). La forêt d'Izarène située dans la partie Est de la province d'Ouezzane a enregistré plusieurs incendies dont le plus grave est celui de 2004 qui a ravagé 3800 ha en 6 jours.

Durant les dernières décennies le nombre d'incendies a augmenté. L'intensité de ces incendies varie d'une région à l'autre en fonction des facteurs météorologiques, floristiques et topographiques, ce qui rend difficile d'étudier toutes leurs caractéristiques spatiales (Fernández-García et al, 2018). Dans ce sens, les techniques de la télédétection et des systèmes d'information géographique (SIG) permettant de cartographier des zones incendiées. Ces techniques reposent sur l'utilisation des indices spectraux. L'indice *Normalized Burn Ratio* (NBR) est largement utilisé pour classer la sévérité des brûlures. L'indice NDVI est très sensible à la couverture de la canopée et à l'activité chlorophyllienne, mais présente une idée globale sur la dynamique du couvert végétal post-incendie. L'analyse spectrale des mélanges (SMA) est une autre technique appliquée à l'étude de la régénération post-incendie (Jaziri et al, 2020).

Plusieurs travaux ont porté sur la modélisation et la cartographie du risque d'éclosion et de propagation d'incendies au nord du Maroc (Assali et al., 2016) et sur la répartition spatiale des incendies en fonction des étages bioclimatiques (M'harzi Alaoui et al., 2015). D'autres ont porté sur la modélisation de la susceptibilité des écosystèmes forestiers au risque d'incendie par l'utilisation des modèles empiriques (Faleh et al., 2012).

L'objectif de cette étude consiste à évaluer la sévérité des incendies forestiers dans le massif d'Izarène, de déterminer la reconstitution post-incendie de la végétation et d'analyser la relation entre le régime de feu et le rythme de reconstitution du paysage végétal en se basant sur l'utilisation de la télédétection et le travail de terrain.

PRESENTATION GENERALE DE LA ZONE D'ETUDE

La forêt d'Izarène qui couvre une superficie de 14560 ha se trouve dans le Rif occidental, à 12 km de la ville d'Ouezzane (Fig.1). Elle s'étend entre les parallèles 34°45'N et 34°58'N et les méridiens 5°25'W et 5°32'W. Elle est gérée par le centre de gestion et de conservation des ressources forestières d'Ouezzane. La gestion directe est assurée par le triage d'Izarène. L'amplitude altitudinale oscille entre 350 et 680 m environ. Les pentes sont généralement moyennes à fortes. Le climat dominant est de type méditerranéen avec une moyenne de précipitations de 910 mm/an. Les formations forestières et pré-forestières d'Izarène couvrent une superficie dépassant les 14560 ha. Elle est caractérisée par un ensemble floristique des sols faiblement acides, avec chêne-liège, les reboisements (*Pinus halepensis*, *Pinus pinaster*, *Pinus canariensis*...) et un maquis à éricacées et cistes (Allam, 2005).

MATERIELS ET METHODES

L'étude des incendies parcourus dans la forêt d'Izarène repose sur l'analyse d'une série d'images Landsat acquises à différentes dates avant et après l'incendie. Afin de caractériser la gravité du grand incendie de 2004, nous avons calculé l'indice spectral NBR à partir des scènes ETM⁺ de Landsat avant et après le passage de l'incendie. Les scènes Landsat 7 ETM⁺ et OLI obtenues ont subi des corrections géométriques et radiométriques en utilisant le module *FLAASH* sous le logiciel ENVI 5.1. Les bandes corrigées ont été utilisées pour calculer l'indice NBR selon la formule suivante :

$$NBR = (Bande\ 5 - Bande\ 7) / (Bande\ 5 + Bande\ 7)$$

La sévérité du feu est calculée par la différence NBR (dNBR) avant et après l'incendie. Les valeurs de dNBR oscillent entre -1 et 1, et les classes issues des études du programme américain *USGS FireMon* (2004) qui sont largement utilisées dans le monde entier.

La reconstitution de la végétation incendiée a été évaluée en utilisant l'indice de végétation par différence normalisé (NDVI). Les bandes corrigées ont été utilisées pour calculer l'indice NDVI selon les formules suivantes :

$$NDVI = (PIR - R) / (PIR + R)$$

La différence de l'NDVI avant et après le passage de l'incendie (dNDVI) permet de quantifier la régénération de la végétation. Les valeurs dNDVI 0 indiquent une reconstitution complète de la végétation brûlée. Les résultats obtenus ont été validés sur le terrain.

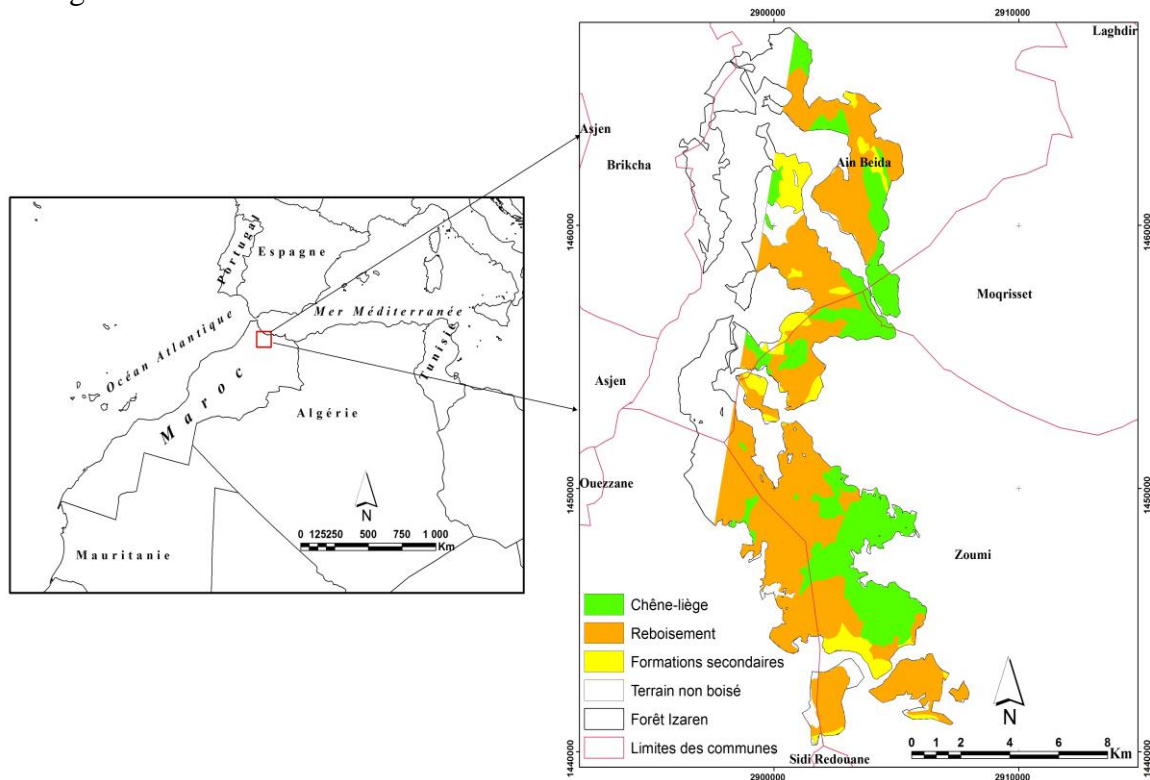


Figure 1. Localisation de la forêt d'Izarène

RESULTAT ET DISCUSSION

La sévérité des feux

En se basant sur les classes de sévérité du feu issues des études du programme Américain *USGS FireMon* (2004), on constate que l'incendie qui a parcouru 3800 ha, en 2004, la forêt d'Izarène se caractérise par une très forte sévérité (Fig.2). En effet, les brûlures de haute gravité (dNBR > 0,66) où toutes la végétation a été carbonisée touchent 55,9% de la

superficie incendiée, vient ensuite les brûlures de forte gravité ($dNBR$ de 0,44 à 0,66) avec 32,33%, alors que les zones de faible (0,1 à 0,27) et moyenne gravité (0,27 à 0,44) ne représentent que 3,21% et 7,46% respectivement de la forêt incendiée.

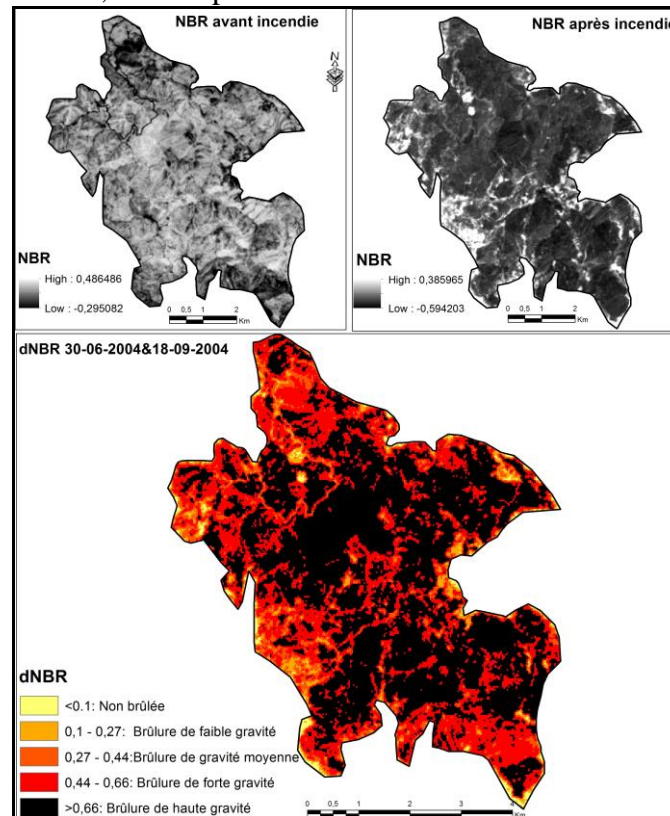


Figure 2. carte des classes de la sévérité d'incendie de 2004 de la forêt d'Izarène

La sévérité élevée et l'importance de la superficie brûlée de la forêt d'Izarène en 2004 sont liées à la fois à sa composition floristique et aux facteurs météorologiques. Les facteurs météorologiques notamment les précipitations, la température, l'humidité de l'air et le vent ont contribué à la propagation des feux. En effet, Les précipitations importantes enregistrées au printemps de l'année 2004 (462 mm à Bab Taza) ont favorisé le développement d'un sous-bois dense qui dessèche rapidement suite à l'augmentation de la température en été, ce qui favorise l'accumulation d'une biomasse combustible importante. Parmi les espèces hautement inflammables dans cette forêt nous citons : *Cistus salvifolius*, *Cistus albidus*, *Cistus monspeliensis*, *Erica arborea*, *Pinus halepensis*, *Pistacia lentiscus*... Ainsi, la vague de chaleur élevée où les valeurs de la température maximale dépassent les 44 °C accompagnée du vent de *Chergui* et des pentes fortes ont amplifié la propagation du feu en direction de la végétation non brûlée et ont entravé les opérations d'extinction d'incendie.

Régénération de la végétation par la lecture de l'NDVI

Avant l'incendie de 2004 de la forêt d'Izarène, la valeur moyenne de l'NDVI était de 0,65. La valeur maximale s'élevait à 0,8 ce qui correspond à une activité chlorophyllienne maximale, alors que la valeur minimale n'enregistrait que 0,04 correspondant aux terrains non boisés surtout les affleurements rocheux, les pistes, les pare-feu, etc. Immédiatement après l'incendie les valeurs de l'NDVI baissent brutalement indiquant que la forêt est totalement dénudée (Fig. 3). Après l'incendie on observe une reprise de l'activité végétale, mais avec un rythme hétérogène entre les formations forestières et préforestières.

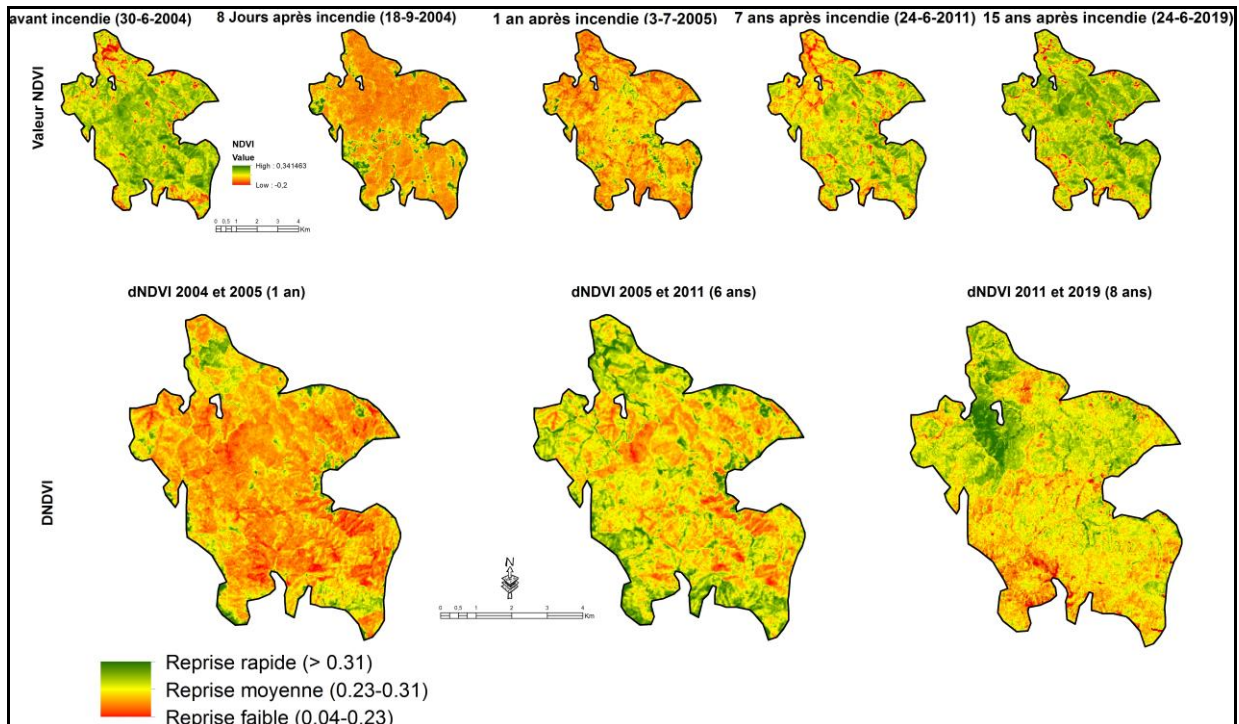


Figure 3: Rythme de la reprise de la végétation après l'incendie de la forêt d'Izarène

L'indice $dNDVI$ permet d'évaluer le rythme de la reprise végétale après le passage de feu. Une année après l'incendie les valeurs du $dNDVI$ étaient de 0,24 à 0,5 indiquant une reprise végétale faible (Fig.3). Cependant, la régénération se fait avec un rythme moyen à rapide après 7 ans ($dNDVI$ entre 0,10 et 0,08). À long terme (15 ans), plus de 65% de la surface brûlée atteignent ses valeurs initiales avant l'incendie ($dNDVI < 0$). Ceci correspond à la forêt de Chêne-liège, les formations secondaires et les reboisements à base de *Pinus halepensis* et *Pinus pinaster*, mais les 35% restants de la surface incendiée avaient des valeurs plus faibles par rapport à la situation avant l'incendie ($dNDVI > 0$). Ceci concerne le reboisement à base de *Pin des Canaries* (*Pinus canariensis*) et les zones défrichées mises en cultures.

D'une manière générale, les écosystèmes forestiers et préforestiers de la forêt d'Izarène comme partout dans les pays du pourtour méditerranéen, sont caractérisés par une grande capacité de régénération et une résilience élevée. La reprise végétale après l'incendie se fait, grâce à deux stratégies principales : la régénération végétative en émettant des rejets de souches ou rejets des bourgeons (Chêne-liège, Pin des Canaries), et la régénération sexuée à partir de graines portées par la plante mère ou enfouies dans le sol (les cistes, les pinèdes...). Le Chêne-liège est parmi les espèces qui résistent mieux au feu grâce à son écorce isolante et qui se régénère rapidement par la production de rejets de souches et de drageons (Amandier, 2004). Les pinèdes à base de pin d'Alep et de pin maritime se régénèrent par graines protégées par les cônes et couvrent la surface brûlée, tout en essayant de retourner à l'état initial.

En outre, la perturbation a provoqué une modification de la composition floristique de la végétation préexistante marquée par la prolifération spectaculaire des diverses espèces pyrophytes, notamment les cistes, qui ont profités des feux et l'ouverture du milieu. On cite surtout *Cistus salviifolius*, *Cistus monspeliensis*, *Cistus albidus*, *Cistus crispus*... D'autres espèces tels que l'arbousier, la filaire, la bruyère, et le lentisque, ont connu une réinstallation spectaculaire par rejets de souches et forment, par endroits, un matorral dense.

CONCLUSION

Cette étude présente un exemple illustrant la sensibilité des espaces forestiers marocains face aux feux. En effet, 6 jours successifs de feux intenses en Aout 2004 étaient capables de dénuder 3800 ha de la forêt d'Izarène.

La Télédétection spatiale est un outil utile pour déterminer les forêts incendiées, caractériser leurs sévérités et suivre la reprise de la végétation, mais elle reste insuffisante. Les résultats de *dNBR* montrent que l'incendie qui a ravagé la forêt d'Izarène en 2004 a une sévérité très forte. Ceci pourrait s'expliquer par des conditions météorologiques sévères et l'accumulation de la biomasse de combustible important. L'analyse diachronique de *dNDVI* montre que la reprise de la végétation brûlée varie selon les types de formations forestières. La reprise du Chêne-liège est rapide grâce à son écorce protectrice. Les pinèdes, particulièrement celles de pin d'Alep et de pin maritime et les formations secondaires se régénèrent moins vite après le passage de feu. Cependant, les travaux de défrichement qui suivent les incendies pour l'extension des zones agricoles entravent la capacité de régénération de végétation climacique. De ce fait, deux interventions s'avèrent indispensables pour lutter contre les incendies et pour sauvegarder les zones incendiées: des interventions sylvicoles visant la diminution de la charge de combustible pour limiter la propagation du feu. De même, il est nécessaire d'empêcher l'extension de l'agriculture au détriment des zones incendiées.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Assali F, Rouchdi M, Ajerame M, Lahlou M, Alaoui H., (2016). Cartographie du risque d'incendies de forêt dans la région de Chefchaouen-Ouazzane (Maroc). *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.* 4 (2) pp: 05-22.
- Amandier L., 2004- Le comportement du Chêne-liège après l'incendie conséquences sur la régénération naturelle des subéraies. *In Actes du Colloque international, « Le Chêne-liège face au feu ».* Vivès (France), pp: 70-83.
- Allam Kh., (2005). *Écosystèmes forestiers et incendies dans la province de Chefchaouen : structure architecture et résilience.* Mémoire ENFI Salé. 105 p.
- FAO et Plan Bleu. (2020). *État des forêts méditerranéennes 2018.* 363 p.
- Faleh A, Lakhouaja EH, Sadiki A, Chaaouan J., (2012). SIG, Télédétection et évaluation du risque d'incendie de forêts « Exemple du massif forestier Khezana (Province de CHAOUENE, Maroc). *Papeles de Geografia* 55–56, pp:37–48
- Fernández-García V, Quintano C, Taboada A, Marcos E, Calvo L, Fernández-Manso A., (2018): Remote Sensing Applied to the Study of Fire Regime Attributes and Their Influence on Post-Fire Greenness Recovery in Pine Ecosystems. *Remote Sens.*10, 733; doi: 10.3390/rs10050733.
- Jaziri B., Baccouche N., (2020). Suivi par télédétection de la dynamique de la végétation de Jbel Bil Lahrish un an après l'incendie de 2017 (Bizerte-Beja, Tunisie septentrionale). *Geo-Eco-Trop.*, 2020, 44, pp: 65-82.
- USGS 2004. FIREMON BR: https://burnseverity.cr.usgs.gov/pdfs/LAv4_BR_CheatSheet.pdf
- Mharzi Alaoui H., Assali F., Rouchdi M., Lahssini S., Tahiri D., (2015). Analyse de l'interaction entre l'éclosion des feux de forêts et les types de bioclimat au Nord du Maroc - cas de la région du Rif occidental. *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.* (3), pp : 46-53.
- Trabaud L., (1996) Post Plant Community Dynamics in the Mediterranean Basin, Restauracion de Suelos en Zonas Afectadas por Incendios, Instituto Agronomico Mediterraneo de Zaragoza, Espagne, 13 p.

Axe 3
Risques côtiers:
littoralisation amplifiée et/ou
accélération de la montée du
niveau marin?

LA DYNAMIQUE D'INSTABILITE' DES MILIEUX LITTORAUX FACE A DES RISQUES NATURELS : CAS DU LITTORAL DE CAP DE L'EAU (MAROC NORD-EST)

SAIDI Abdelouahid¹, SBAI Abdelkader², EL MAHDAOUI Mimoun³ et Bouabdallah Mostafa

1) Laboratoire: Espace, Histoire, Dynamique et Développement Durable, USMBA, Faculté Polydisciplinaire Taza

2) Université Mohamed 1^{er}. Oujda

3) Equipe de recherche sur les villes et la régionalisation au Maroc. Université Sultan Moulay Slimane, Beni Mallal

Abdelouahid.saidi@usmba.ac.ma

Résumé: Compte tenu de sa situation entre terre et mer, le littoral est un espace sur lequel s'interfèrent les agents de la sédimentation et ceux d'érosion. L'association des facteurs à la fois anthropiques et naturels influent sur la dynamique de ses échanges hydro-sédimentaires. L'équilibre d'interaction de ce système pourrait être exposé à un risque de déstabilisation s'il est durement influencé par des pressions humaines. Dans ce contexte, nous avons choisi le littoral de Cap de l'Eau au nord-est du Maroc pour étudier la dynamique du trait de côte et l'évolution morphologique des compartiments de la plage tant que ces deux espaces sont d'une part le siège des forçages hydrodynamiques à l'approche de la côte (vague de déferlement, jet de rive, courant de turbulente, marée) et d'autre part un domaine qui subit les pressions anthropiques et les aménagements. Nous tenterons à travers cette communication de relever les variations morphologiques du cordon dunaire, de l'avant plage, de l'estran et de suivre la mobilité diachronique de la ligne du rivage. Cette analyse prospective essaie également d'évaluer la vulnérabilité de ces composantes face à une probable submersion marine. La méthode adoptée est basée sur le travail de terrain et le traitement d'une série de photos aériennes multi dates à partir des outils du SIG.

Mots clés: Littoral, Dynamique, Risque naturel, Pressions humaines, Cap de l'Eau.

THE DYNAMICS OF INSTABILITY OF COASTAL AREAS FACING NAURAL RISKS: COASTAL CASE OF CAP DE L'EAU (NORTHEAST MOROCCO)

Abstract: Due to its location between land and sea, the coast is an area where sedimentation and erosion are interfered. The combination of both anthropisation and natural factors influence the dynamics of its hydro-sedimentary exchanges. The interaction equilibrium of this system could be exposed to a risk of destabilization if is affected strongly by human pressures. In this context, we have chosen the coast of Cap de l' Eau in the north-east of Morocco to study the dynamics of the shoreline and the morphological evolution of the compartments of the beach while these two spaces are on the one side the site of hydrodynamic forcing near the coast (surf wave, stream jet, turbulent current, tide) and on the other side a field where pressures and human management are illustrated. We will try through this paper to identify the morphological variations of the berms, the foreshore, the backshore and to follow the diachronic mobility of the shoreline. This work is part of a prospective analysis to evaluate the vulnerability of these components to a probable marine submersion. We adopted a methode based on field work and the analysis of aerial photographs from GIS tools.

Keywords: Coast, Dynamics, Natural risk, Human pressures, Cap de L' Eau.

INTRODUCTION

Les systèmes d'information géographique et la télédétection ont apporté actuellement une contribution scientifique ajoutée aux études relatives à la dynamique des phénomènes géographiques dans l'espace et dans le temps. C'est grâce à ces outils modernes que la géographie quantitative a exploré, étudié et ensuite interprété les problématiques attachées à l'évolution de l'espace. Dans les milieux littoraux, l'étude de l'évolution diachronique du trait de côte à partir d'une comparaison pertinente des clichés anciens et récents ont permis de mettre en relation deux états de comportement du trait de côte: un état libéré des pressions et aménagements humains et un autre soumis à ces aménagements.

L'objectif principal tracé pour ce travail s'inscrit dans le cadre d'une analyse prospective pour évaluer la vulnérabilité de ces composantes face à une submersion marine. Pour ce faire, la mobilité du trait de côte de la bande sableuse entre Cap de l'Eau et la rive gauche de la Moulouya a été analysée. Des profils ont également été effectués à partir de mesures micro-topographiques dans deux sections pour suivre les variations morphologiques du cordon dunaire, de l'avant plage et de l'estran.

1. Présentation de la zone d'étude

Le littoral de Cap de l'Eau se situe sur la façade de la Méditerranée à l'extrême Nord-Est du Maroc (Figure 1). Sa situation revête une grande importance, car il s'étend entre deux sites d'intérêt biologique et écologique: à l'Est, l'embouchure de la Moulouya et à l'ouest, la lagune de Nador.

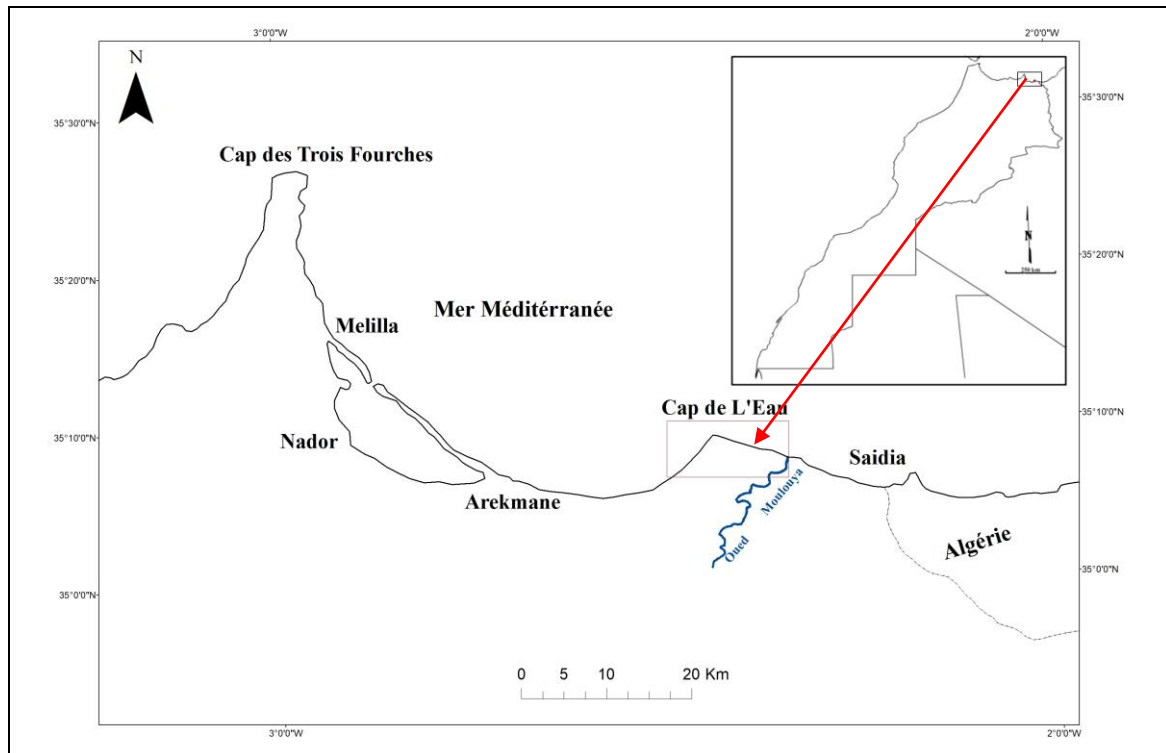


Figure 1. Localisation du littoral de Cap de l'Eau sur la façade méditerranéenne

La topographie du relief combine des buttes dunaires allongées succédant avec des dépressions dunaires. L'altitude s'abaisse vers l'est où ce système dunaire se raccorde avec les terrasses de l'oued Moulouya à l'intermédiaire d'une plaine alluviale. Au bord de la mer,

le relief se termine par des falaises vives où par des falaises mortes dominant la plage en contrebas (Figure 2).

Les isobathes de la plage submergée de Cap de l'Eau sont régulières. De ce fait, cette belle plage d'une longueur de 8 km est classée parmi les plages dissipatives selon la classification proposée par Wright et Short (1984).

La zone étudiée appartient au climat méditerranéen semi-aride caractérisé par l'irrégularité de ses précipitations et par l'importance de la saison sèche avec une température moyenne interannuelle de l'ordre de 17°,4 C. La végétation naturelle et le reboisement longent l'espace côtier depuis les bords de la plage jusqu'à la falaise morte. La population urbaine de Cap de l'Eau a augmenté de 1622 habitants en 1982 à 4532 en 2014 et à 7580 en 2014 (R.G.P.H).

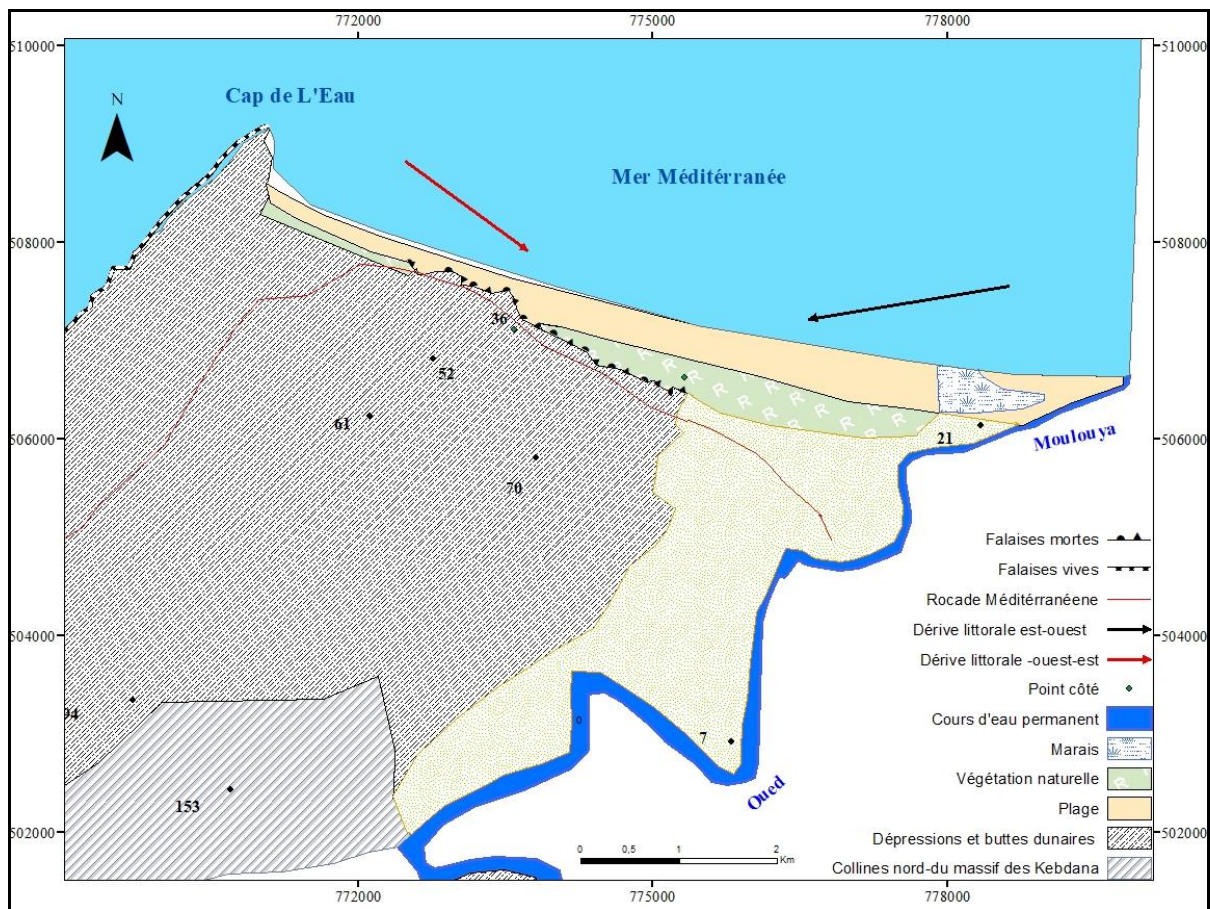


Figure 2. Topographie et relief du littoral de Cap de l'Eau
Source : Carte topographique à 1 /25000 (feuille de Cap de l'Eau)

2. MATERIEL ET METHODE

L'approche cartographique utilisée repose sur l'analyse multodate des photographies aériennes en vue de poursuivre le siège où se déroule la mobilité du trait de côte. La méthode s'appuie sur les démarches suivantes:

- Correction et rectification des cartes topographiques à l'échelle de 1/25000 et dont les coordonnées X et Y sont visibles. Le but de cette opération est de les transformer en images de références.

- Géoréférencement des photographies aériennes en s'appuyant sur des amers et des repères de la carte topographique suivant la projection Lambert Nord, Maroc, Zone 1 sous Erdas 9.3.

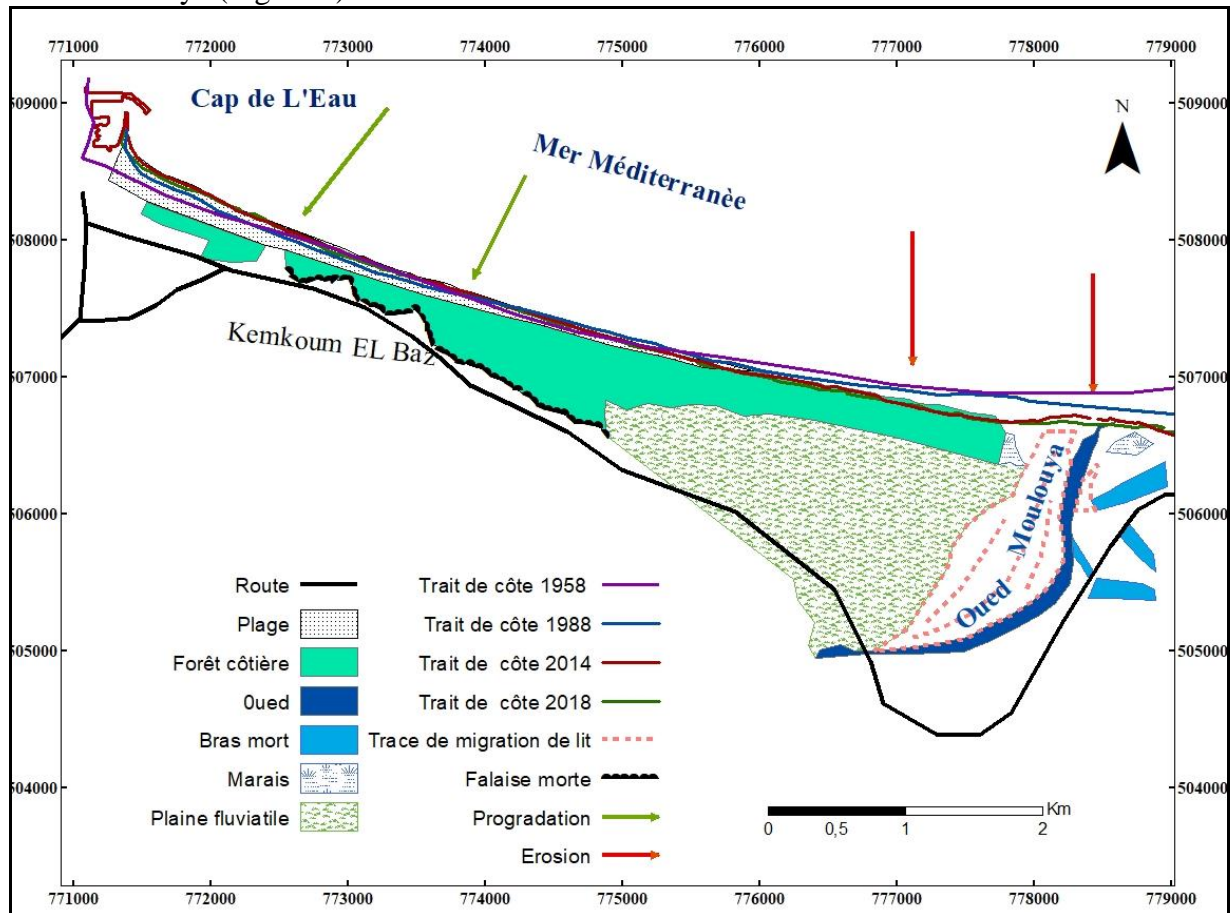
- Assemblage des photographies et images disponibles (1958-1963-1988-2014-2018).
- Superposition des différentes couches en utilisant un logiciel du SIG (ArcGis 9.1).

Cette approche a été complétée par des levés de terrain topographiques à l'aide d'un système de positionnement global (GPS) au cours des années 2013, 2014 et 2015 et lors de la marée basse de vives eaux dans des sites à l'est et à l'ouest de la zone d'étude. Chaque point de contrôle au sol (entre le zéro marin et la dune récente y compris la haute plage et l'estran) a été relevé en insérant ces coordonnées de référence X, Y, Z. Au laboratoire, les points ont été déchargés et convertis en hauteur et distance sous forme des profils grâce au logiciel Profiler d'Auto-Cad, puis, présentés en graphiques sous le tableur Excel.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

La superposition des deux couches d'information du trait de côte des missions des années 1958 et 1988 montre un recul du trait de la côte en moyenne de 85 m pour les sites du secteur en érosion situés entre l'embouchure de la Moulouya et la falaise de Kemkoun El Baz. Les tronçons du trait de côte entre cette falaise et le port de Cap de l'Eau ont connu, en revanche, un avancement qui varie de 20 à 150 m. Au cours de cette période, le trait de côte au niveau de la plage de Kemkoun El Baz est caractérisé par une stabilité.

Le même scénario a impacté la dynamique du trait de côte entre 1988 et 2014, entre 2014 et 2018 à travers ces trois différentes formes d'évolution (Figure 3) : une tendance à l'engraissement à proximité du port de Cap de l'Eau; une tendance à la stabilité relative à la plage de Kemkoun el Baz ; une tendance à l'érosion dans les sites avoisinant l'embouchure de la Moulouya (Figure 3).



Le profil longitudinal de la ligne du rivage s'est déplacé de sa position antérieure presque partout entre 1958 et 2018. L'avancement de la ligne du rivage avant 1958 a été attaché largement à la régularité et l'abondance des apports fluviaux qui ont contribué intensivement à l'édification d'un delta au front de la mer sous forme d'un nuage à teinte blanche. La redistribution des sédiments fins et grossiers se fait par le biais de deux dérives de sens opposé tout au long du trait de la côte (Figure. 2).

Après l'édification du barrage de Mechra Hammadi en 1958, les apports fluviaux commençaient à se réduire. Cependant, les matériaux issus des crues 1963 (photo aérienne prise en mai 1963) ont remblayé la partie inférieure du lit majeur d'Oued Moulouya. Ils ont également élargi l'extrême parcours du cours d'eau de la rive droite et enfin ils ont fait apparaître une nouvelle direction de l'embouchure à la rive gauche.

La redistribution par les agents hydrodynamiques des sédiments charriés enrichie par ceux résultant de l'éradication de l'ancien delta d'oued ont abouti à une progradation du trait de côte au cours de la période de 1963 à 1988 (Figure.3). Ceux-ci présentent des cheminements équilibrés des transits sédimentaires et reflètent la complémentarité du fonctionnement des éléments appartenant à deux genres d'hydrodynamique fluviale et marine (houle, dérive littorale, courants, débits) (Saidi & Sbai, 2014). Cette situation serait sujette à une dynamique de déséquilibre due aux aménagements fluviaux édifiés successivement sur Oued Moulouya (les barrages: 1958, 1967).

Le dysfonctionnement de la dynamique des moyens du transport des sédiments fluviaux a eu d'abord une influence directe sur l'état méandrique de la rivière, puis a entraîné une diminution de la largeur du lit d'Oued Moulouya. Ainsi, de nombreux plans d'eau isolés ont apparu et des chenaux ont été abandonnés. Ces changements morphologiques sont largement attachés d'une part à des échanges hydro-sédimentaires déséquilibrés dont les apports fluviaux sont négatifs par rapport à ceux qui sont marins ou éoliens et d'autre part à des courants hydrodynamiques (Saidi A., 2017).

Il ressort de cette analyse que le trait de côte à proximité de la rive gauche de la Moulouya s'est exposé aux situations des reculs tandis qu'à l'ouest, le trait de côte s'est progressé grâce aux sables qui sont accumulés par les jetés du port de Cap de l'Eau.

Les deux courbes de 2013 et 2014 que nous avons tracées à partir des levés topographiques au mois d'octobre à la plage de Cap de l'Eau tendent à un aplanissement sans dénivellation à l'arrière de la haute plage intertidale de 0 à 150 m (Figure. 4) et par conséquent les banquettes sableuses intermédiaires tels les bermes ont été arasées.

La corniche implantée dans des endroits occupés auparavant par les dunes bordières a rétréci la surface de celles-ci dans des lieux où les vagues peuvent les atteindre lors des épisodes de tempêtes ou de vives eaux exceptionnelles à savoir que la pente des compartiments de la plage varie de 0,08 à 0,25% sur une distance de 250 m (Figure 4). Les conditions météo marines calmes au début de l'été ont développé, au contraire, une berme derrière la plage (100 à 150 m) selon les mesures du mois de juin 2015. Les trois courbes du profil de la plage (150 à 250 m) s'abaissent progressivement vers la ligne du rivage.

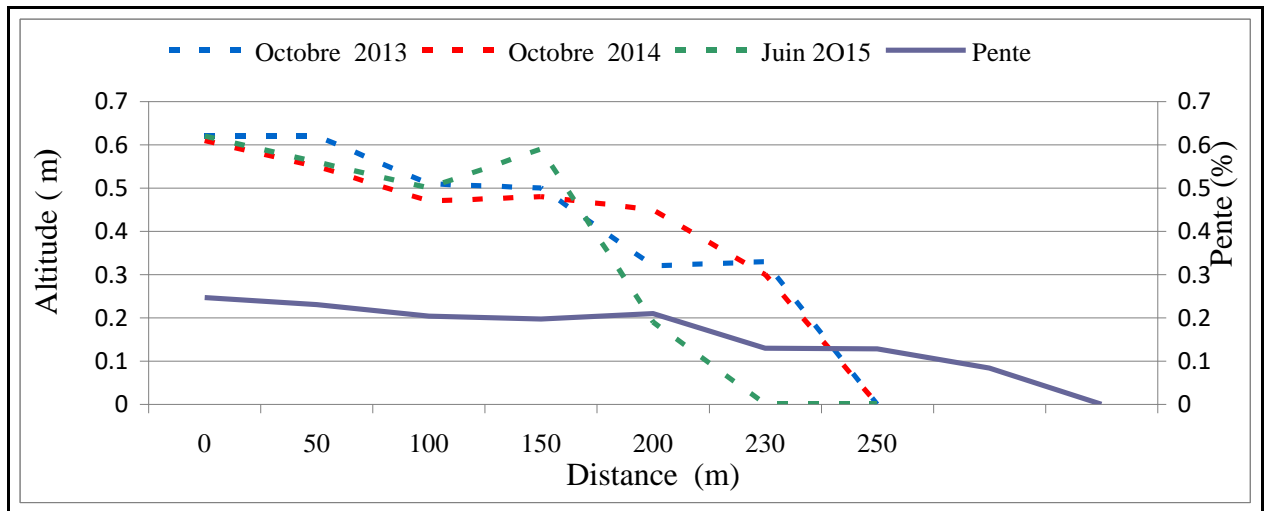


Figure. 4 Variation micro-topographique et de la pente à la plage de Cap de l'Eau

De l'autre côté, le profil de la rive gauche de la Moulouya a manifesté au cours des périodes calmes en deux années 2013 et 2015 de fortes variations mini topographiques. L'altitude de la dune et la haute plage ont enregistré des abaissements respectivement de - 150 cm et - 40 cm. La dune dont la hauteur était d'environ 3,5 m en 2013 a perdu en 2015 presque la moitié de son altitude. Les changements au niveau de l'arrière dune et de l'estran ont été peu variables: moins de 40 cm (Figure. 5).

Le déplacement des matériaux à partir de l'estran et de la haute plage vers les dunes bordières se dégrade à cause de la quantité faible du sable des barres pré littorales projetées par les courants de jet de rive vers ces surfaces côtières. Ceci est le résultat d'un profil de plage qui ne cesse de perdre son ajustement selon Pascoff R (1998).

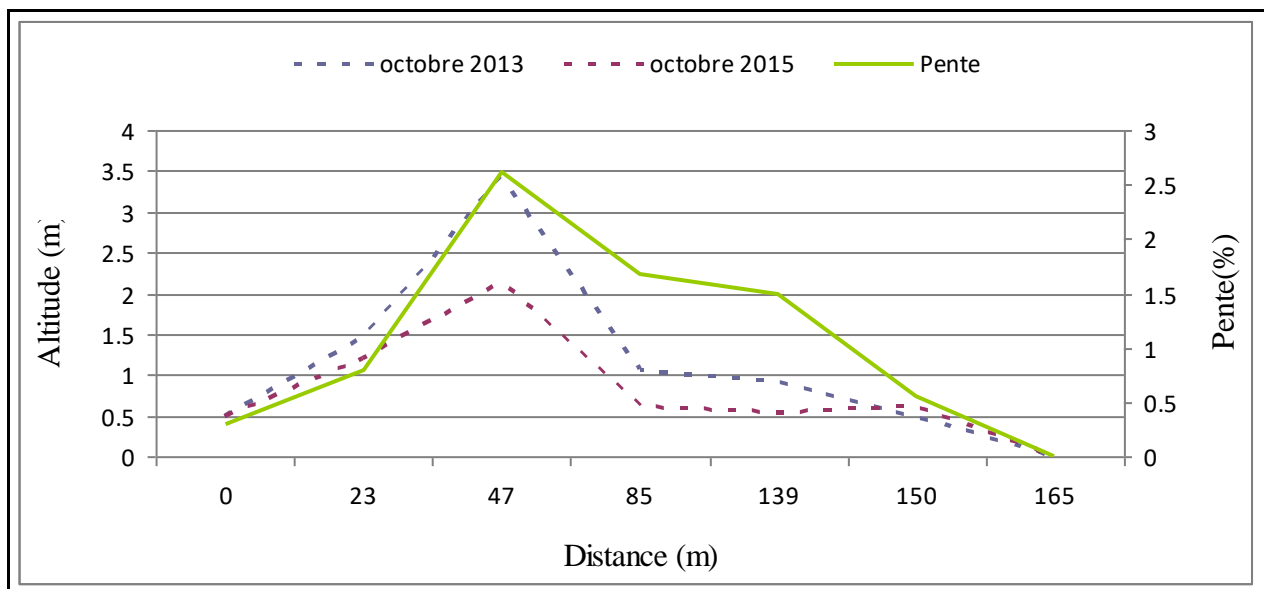


Figure5. Variation micro-topographique et de la pente à la plage de la Moulouya

CONCLUSION

Les variations altitudinales saisonnières des compartiments de la côte sableuse de Cap de l'Eau (dune, berme, haut de plage, estran, trait de côte) traduisent le passage de la

frange côtière vers une dynamique d'instabilité marquée par un processus érosif plus actif comparativement aux mécanismes de la sédimentation. Les résultats les plus significatifs sont ceux qui font apparaître des évolutions en érosion particulièrement dans l'extrémité orientale du secteur étudié. Il faut, donc pour empêcher toute invasion marine probable dans cette zone entamer une stratégie de protection et d'adaptation. Cette stratégie doit prendre en compte d'une part la quantité sédimentaire nécessaire à équilibrer la dynamique côtière et d'autre part un débit hydrique sécurisant le domaine environnemental de l'embouchure de la Moulouya.

Références bibliographiques

- HAUT COMMISSARIAT AU PLAN (MAROC). Recensement général de la population humaine du Maroc (RGPH). Rapport de l'année (1982, 2004 ,2014).
- PASKOFF R. 1998 – La crise des plages: pénurie de sediment. Mappemonde 52.
- SAIDI A. et SBAI A. 2014 - Le littoral de Cap de l'Eau entre fragilité du milieu physique et impact des pressions anthropiques (Maroc nord-est) XII^{èmes} Journées Nationales Génie côtier- Génie Civile. Accessible at : Hpp:// www.paralia.fr.
- SAIDI A. 2017– Le littoral des Kbdana (Nord-est du Maroc) : Modelé et dynamique actuelle Thèse de doctorat, Univ. Mohammed I, FLSH. Oujda, 506 p.
- WRIGHT L.D. and SHORT A.D. 1984 - Morphodynamic variability of surf zones and beaches: A synthesis. Marine Geology, 56, 93–118.

DYNAMIQUE DU TRAIT DE CÔTE D'UNE PLAGE PEU ANTHROPISEE CAS DE LA PLAGE SIDI OUASSAI, MASSA (MAROC ATLANTIQUE)

NMISS M'hamed ^{1*}, AMYAY Mhamed¹, OUAMMOU Abderahman²

¹: **Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Faculté des lettres et des sciences humaines**, Equipe de Recherche : Milieux naturels, Aménagement et Dynamique Socio-Spatiales (MNADSS). ^{1*}: mhamed.nmiss@usmba.ac.ma

²: **Université Ibn Zohr, Faculté des lettres et des sciences humaines, Equipe** de Recherche : Géographique, Aménagement, Démographie et Développement. (GEAMDD)

Résumé :

Cette contribution expose la dynamique du trait de côte d'une plage peu anthropisée à l'extrémité sud du littoral de Chtouka ouest. Elle s'appuie sur une approche diachronique de la cinématique du trait de côte sur un demi-siècle (1970 jusqu'à 2020). Le suivi de sa dynamique à long terme montre 3 secteurs bien distincts avec une tendance générale vers l'accrétion. La construction du barrage Youssef Ben Tachefin en 1972 érigé sur l'oued Massa a bloqué un volume important des sédiments dans leur retenue. Pourtant, ce blocage n'a pas impacté d'une manière visible l'évolution du trait de côte de la plage de Sidi Ouassai.

Mots clés: Trait de côte, Accrétion, Oued Massa, Sidi Ouassai, Barrage.

Abstract:

This contribution exposes the dynamics of the coastline of a little anthropized beach at the southern end of the coastline of Chtouka West. It is based on a diachronic approach of the kinematics of the coastline over half a century (1970 to 2020). The monitoring of its long-term dynamics shows 3 distinct sectors with a general trend towards accretion. The construction of the Youssef Ben Tachefin dam in 1972 built on the Massa wadi has blocked a significant volume of sediment in their retention. However, this blockage is not visibly impacted the evolution of the coastline of the beach of Sidi Ouassai.

Keywords: Coastline, Accretion, Wadi Massa, Sidi Ouassai, Dam.

Introduction

L'évolution géomorphologique des plages dépend essentiellement de la conjonction des facteurs hydrodynamiques marins, des apports fluviaux et de l'efficacité des vents. En effet, les cours d'eau restent le premier pourvoyeur des plages en sédiments à côté de la dérive littorale. Ils fournissent les plages en sédiments terrigènes ce qui contribue au maintien de l'équilibre de leur bilan sédimentaire. La construction des barrages à l'amont sur les cours d'eau engendre des répercussions sur les plages à l'aval. Cela est d'autant plus tangible lorsqu'elle est accompagnée d'une forte anthropisation provoquant la destruction de la dune bordière. De telles situations se traduisent souvent par une érosion marine suivie par un recul de trait de côte.

Au Maroc, les impacts de la littoralisation et l'aménagement des bassins versants notamment par l'édification de barrages ayant causé le recul de trait de côte sur de nombreuses plages ont été évoqués par plusieurs auteurs (Sbai F. et al 2004, Salmon M.M. et al 2010, Sbai A. et al 2011, Saidi A. et al 2014, Mimouni A. et al 2015, Aouiche I. et al 2015).

Dans cette étude nous exposons la dynamique du trait de côte d'une plage peu anthropisée située sur la rive gauche de l'embouchure de l'oued Massa à travers la cinématique côtière. Cette dernière nous a permis non seulement d'envisager la dynamique de la ligne de rivage à différentes échelles temporelles, mais surtout la détermination des tendances évolutives des plages. En effet, l'analyse diachronique du trait de côte demeure un moyen incontournable dans le suivi de l'évolution des littoraux meubles. Il a été communément utilisé et adopté dans de nombreuses recherches (Dolan R. et al 1991, Crowell M. et al 1991, Moore L.J. 2000, Robin M. 2005, Juigner M. et al 2012...). Dans cette contribution l'analyse diachronique de la plage de Sidi Ouassai est basée sur des photos-aériennes et des images satellitaires issues de différents capteurs (images Google Earth, et des images orbview) Ensuite ces différentes sources de données ont été traitées sous des logiciels SIG.

Présentation de l'aire de l'étude :

Sur la façade atlantique marocain, l'oued Massa draine les eaux d'un bassin versant anti-atlasique extrêmement vaste qui est le bassin versant de Massa (Fig. 1). Les apports de ses eaux ont contribué à la constitution de deux plages sableuses, celles de Sidi Rbat sur la rive droite étroite et courte, et celle de Sidi Ouassai sur la rive gauche vaste et très étendue. Cette dernière est une plage sableuse basse et semi rectiligne largement ouverte sur le continent. Elle s'étend sur une longueur d'environ 3,3 km avec un estran assez large et une dune bordière jonchée par des chénopodiacées macaronésiennes de type *Traganum moquini* (Fig. 2).

En effet, la situation de la plage de Sidi Ouassai dans une réserve naturelle qui est le parc national Souss Massa lui offre une situation de protection. Le blocage des apports solides dans la retenue du barrage Youssef Ben Tachefin construit en 1972 sur l'oued Massa n'a pas d'influence ou du moins peu perceptible sur la dynamique du trait de côte. L'existence d'une dune de haut de plage très développée ainsi qu'un stock sédimentaire très important dans l'arrière plage favorise un état d'équilibre voire même une accrétion de la plage. De plus, l'influence anthropique reste moins importante sur cette plage, ce qui lui confère un état de fonctionnement morphodynamique peu perturbé.

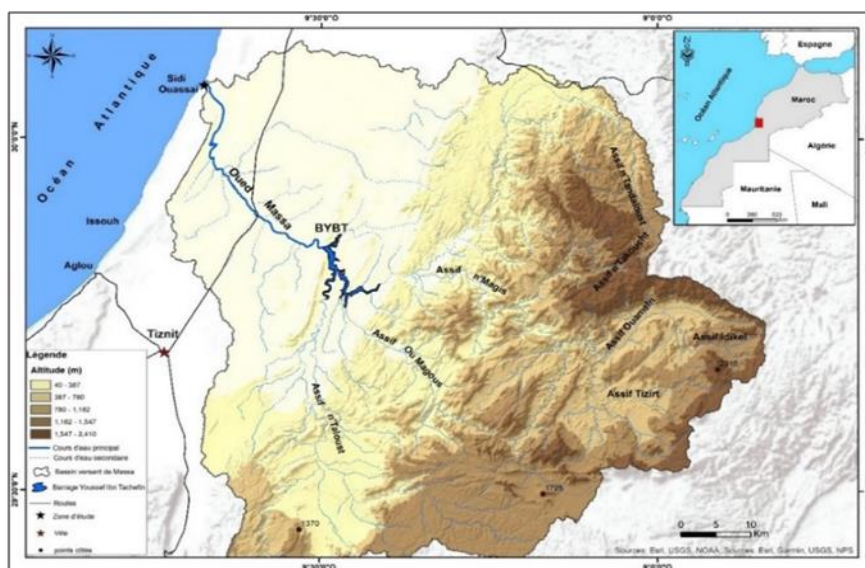


Figure 1: Localisation de la plage de Sidi Ouassai et du barrage Youssef Ben Tachefin sur le bassin versant de Massa.

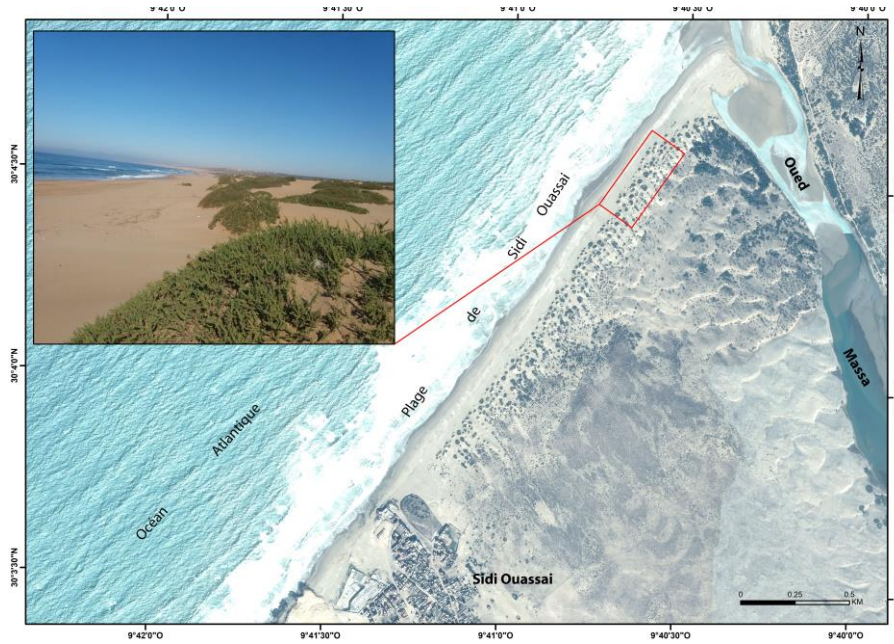


Figure 2 : Plage de Sidi Ouassai sur la rive gauche de l'oued Massa

Matériel et méthode

Le suivi de la dynamique du trait de côte de la plage de Sidi Ouassai s'est basé essentiellement sur une étude diachronique de la ligne de rivage sur un demi-siècle. En effet, la démarche méthodologique adoptée dans cette étude consiste à matérialiser l'évolution du trait de côte entre 1970 et 2020. Pour cela, nous nous sommes appuyés sur la cinématique côtière en se basant sur des données spatiales multi-source (photos-aériennes et images satellitaires). Ce sont essentiellement des photos-aériennes verticales de deux missions 1970 et 1986, ainsi que des images satellitaires issus de différents capteurs (images google Earth, Image Orbview3) (Tab1). Bien que ces données révèlent des situations ponctuelles et spontanées, elles peuvent surtout par comparaison, mettre en évidence les différentes phases de l'évolution géomorphologique de la ligne de rivage (Nmiss, M et al 2019).

Sources de données spatiales		Date de prise	Résolution spatiale
- Photos aériennes		- Mission 1970 - Mission 1986	1/30000 1/20000
Image satellitaire	- image Orbview-3	- 21.11.2005	1 m
	- image Google Earth	- 24.10.2020	1 m

Tableau 1: Sources de données spatiales utilisées pour l'étude diachronique

Les données spatiales des différentes sources ont été géoréférencé et superposé l'une à l'autre à l'aide d'un logiciel SIG afin de diminuer les distorsions et les déformations qui peuvent influencer les résultats. Puis, nous avons déterminé la ligne de référence commune dans toutes les images. En effet, le trait de côte de référence utilisé dans cette étude est la ligne de pleine mer (High water line) (Fig. 3). Celle-ci est très visible sur les photos-aériennes et les images satellitaires par la couleur de l'estran découvert par la dernière marée haute (Crowell et all 1991, Robin M., 2005). Elle reste l'indicateur le plus fréquemment utilisé pour

l'étude des variations de la ligne de rivage (Moore L.J, 2000, Boak and Turner, 2005). Ensuite, nous avons digitalisé les différents traits de côte pour enfin les introduire dans un SIG en s'appuyant sur l'application DSAS. Cette application permet aux utilisateurs de calculer les taux d'évolution du trait de côte sur une série chronologique de plusieurs positions (USGS 2005). Elle sert à la création des profils automatique en se basant sur une ligne de référence (Baseline). Le contact de ses profils avec les différents traits de côte va permettre de calculer plusieurs paramètres. Dans cette étude, nous avons focalisé seulement sur deux mesures : la NSM (Net Shoreline Measurement) qui calcule le taux d'évolution global et la EPR (End Point Rate) qui mesure le taux d'évolution annuel.



Figure 3 : Détermination du trait de côte sur les différentes sources de données spatiales

Résultats et discussion

Le suivi de la dynamique d'évolution du trait de côte de la plage de Sidi Ouassai sur la rive gauche de l'oued Massa nous a permis de déceler la tendance évolutive de sa ligne de rivage sur un demi-siècle (1970-2020). Les résultats obtenus montrent trois secteurs bien distincts avec une tendance générale vers l'accrétion. Le premier secteur (secteur I) correspond à l'extrémité sud de la plage. Il est marqué par la dominance d'une faible tendance à l'accumulation et la présence de quelques zones d'érosion. Le taux d'évolution global (1970-2019) dans ce secteur varie selon les différents transects mesurés, il oscille entre +31 m et -11 m avec un taux d'évolution annuel variant de +0,7 à -0,22 m/an (Fig. 4 et Fig. 5). Le deuxième secteur (secteur II), coïncide avec la partie médiane de la plage. Il montre une forte tendance à l'engraissement avec un taux oscillant entre +55 m et +15 m soit un taux d'évolution annuel variant de 1,1 à 0,3 m/an (Fig 4 et Fig 5). Le troisième secteur (secteur III) concorde avec l'embouchure de l'oued Massa. Il affiche une certaine tendance à l'engraissement mais avec une vigueur moindre que celle observée dans le secteur précédent et aussi l'apparition de zones d'érosion au niveau de certains transects. Le taux d'évolution global oscille entre +40 m et -22 m soit un taux annuel variant entre +0.8 et -0.44 m/an. Dans ce secteur, nous remarquons une obstruction totale de l'embouchure par une barre littorale difficilement franchissable par l'oued massa (photo1). L'analyse du taux d'évolution de la plage de Sidi Ouassai illustre une tendance évolutive vers l'accrétion.

Cette situation semble peu commune. Comment cette plage est toujours en accrétion bien que sa principale source pourvoyeuse en sédiments soit perturbée ? Les causes de l'engraissement de cette plage sont diverses. Il y a d'abord la présence d'une dune bordière bien développée capable en quelque sorte de préserver l'équilibre de la plage pendant les périodes de déficit sédimentaire. Ensuite, il faut croire que les volumes de sable accumulés dans la zone infralittorale sont importants et continuent de fournir la plage. Les sables peuvent également provenir du large de l'érosion ou du démaigrissement d'un secteur voisin (Pinot J.J, 1995, Stephan P. et al 2004). De plus, la dynamique éolienne très active est un élément

explicatif de l'état d'engraissement de la plage. Elle joue un rôle primordial dans l'alimentation de la plage surtout les vents de terre qui remobilise les sables accumulés dans l'arrière plage immédiate vers le large. Enfin, la protection de la plage de Sidi Ouassai par le parc national Souss Massa limite les impacts des actions anthropiques.

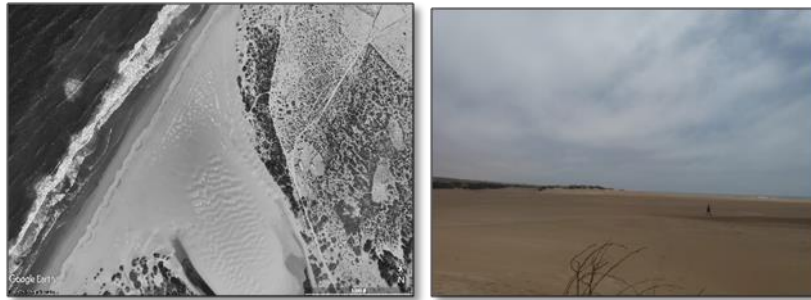


Photo 1 : Accumulation importante au niveau de l'embouchure de l'oued Massa

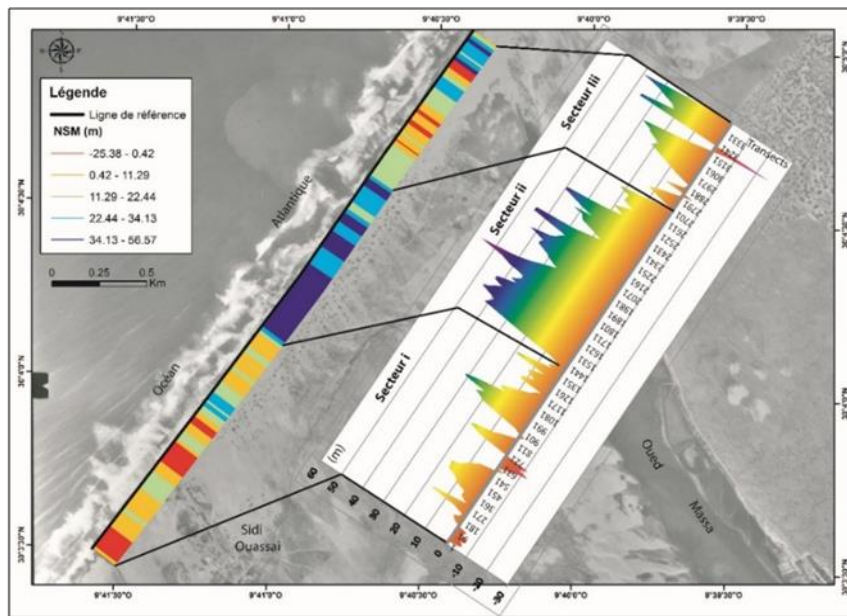


Fig. 4: Taux d'évolution global (NSM) du trait de côte entre 1970 et 2020

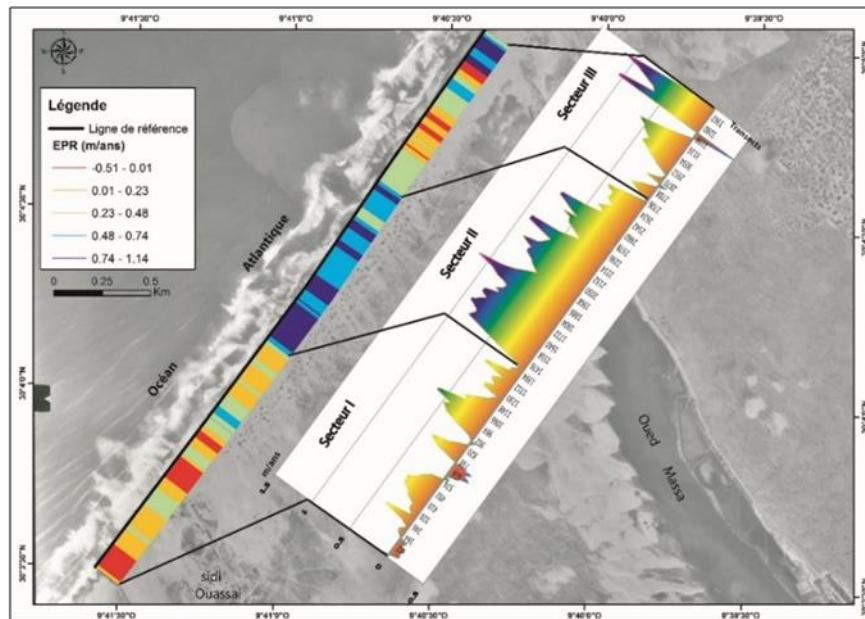


Figure 5: Taux d'évolution annuel (EPR) du trait de côte entre 1970 et 2020

Conclusion

L'appréciation de la dynamique d'évolution du trait de côte de la plage de Sidi Ouassai révèle une évolution spatio-temporelle importante. Cette plage bien qu'elle soit dépourvue d'une de ses principales sources en matériaux ne montre pas de signes d'une érosion marquée. Mise à part quelques rares transects, la plage de Sidi Ouassai sur la totalité de son étendue, affiche un engraissement bien patent. Une telle situation met en évidence le rôle joué par les fonds les plus proches et la zone infralittorale dans l'alimentation de cette plage. Le positionnement de la plage dans le périmètre du Parc National lui confère une certaine protection qui a contribué à la diminution de l'impact des actions anthropique.

Références bibliographiques

- Aouiche I., Daoudi L., Harti A., Ziani E (2015): Apport de l'étude diachronique dans l'évolution spatio-temporelle de la baie d'Agadir (Maroc). *J. Mater. Environ. Sci.* 6 (11) (2015) pp 3307-3318.
- Crowell M., Leatherman S.P., Buckley M.K., 1991: Historical Shoreline Change: Error Analysis and Mapping Accuracy. *Journal of Coastal Research*, 7, 3, pp 839-852.
- Dolan R., Fenster M.S., and Holme S.J., 1991: Temporal Analysis of shoreline recession and accretion. *Journal of Coastal Research*, 7, 3, pp 723-744.
- Juigner M. et al (2012): Cinématique d'un trait de côte sableux en Vendée entre 1920 et 2010. Méthode et analyse. *Dynamiques Environnementales*, 2012, pp. 29-29.
- Moore L.J., 2000: Shoreline mapping techniques. *Journal of Coastal Research*, 16, 1, pp111-124.
- Nmiss M., Amyay M., Atiki N., et Irifi H., 2019: Apport des SIG et de la télédétection dans le suivi de la dynamique de la ligne de rivage et dans l'aménagement des espaces côtiers : Application sur le littoral de la baie d'Agadir (Maroc). *Publication de la faculté des lettres et des sciences humaines ; série de séminaires et débats* 15/2019, 51-59 P.
- Pinot J.J., 1995: Quelques plages en voie d'engraissement dans la région de Lannion. *Norois*, 1995, Poitiers, t. 42, n° 165, pp. 99-117.
- Robin M., 2005: Télédétection modélisation du trait de côte et de sa cinématique, le littoral regard et pratiques et savoirs. pp 87-115, Edition Rue d'Ulm

- Salmon M.M., Sbai S., Boumeaza T., Benata M., et Ozer A., 2010: L'érosion des côtes meubles de l'extrême Nord-Est du Maroc. *BSGLg*, 54, pp 97-106.
- Saidi A., Sbai A., Boulhoual H., 2014 : Le littoral de Cap de l'Eau entre fragilité du milieu physique et impact des pressions anthropiques (Maroc nord-est). *XIII^{èmes} Journées Nationales Génie Côtier - Génie Civil*, pp 841-848.
- Sbai F., Labraimi F., Haddane M. 2004 : Evaluation du recul du trait de côte sur une portion du littoral atlantique marocain de Mohammedia. *PANGEA n° 41/42*, pp 25-32.
- Stephan P. et Suanez S 2004 : Mobilité du trait de côte en baie de Saint-Michel-en-Grève (Côtes d'Armor) ou le résultat d'une plage en accrétion, *VIII^{èmes} Journées Nationales Génie Civil - Génie Côtier*, Compiègne, 7-9, pp 273-279.
- USGS (2005): User Guide and Tutorial for the Digital shoreline Analysis system. p33. U.S. Geological Survey Open-File Report.

DYNAMIQUE ET EVOLUTION DU LITTORAL D'AZEMMOUR

ABKHAR Fatima*, MOUHIDDINE Mohamed**

*Université Chouaib Doukkali, Département de géographie, FLSH, El-Jadida

**Université Hassan II, Département de géographie, FLSH, Ben-Msik Casablanca

Résumé: Le littoral d'Azemmour, situé sur la façade atlantique marocaine, connaît des changements concernant la forme et la direction de l'embouchure de l'Oum Rbia, ainsi que la nature et les quantités des sédiments qui sont acheminés vers les plages. Le but principal de ce travail est de comprendre les processus à l'origine de la transformation et la mobilité de l'embouchure. Cette étude se base sur des observations de terrain, l'analyse granulométrique du sable et l'analyse diachronique des variations du trait de côte. Ce littoral ne connaît pas d'activité industrielle ou de projets touristiques bien développés ou une urbanisation dense et croissante, qui viennent perturber le fonctionnement naturel des environnements côtiers et modifier la distribution sédimentaire dans les plages. En effet, la principale cause de ces transformations est l'aménagement de son bassin et les aléas climatiques.

Mots clés: littoral, géomorphologie, érosion, accrétion, mobilité, diachronique, embouchure de l'OER.

Dynamics and evolution of the Azemmour coastline

Abstract: The coastline of Azemmour, located on the Moroccan Atlantic coast, is undergoing changes in the shape and direction of the mouth of the Oum Rbia, as well as the nature and quantities of sediment that are transported to the beaches. The main purpose of this work is to understand the processes that cause the transformation and the mobility of the mouth of the OER. It is based on field observations, sand particle size and diachronic analysis of the variation of the coastline. This coastline is not subject to industrial activity or well-developed tourist projects or dense and increasing urbanization, which disturb the natural functioning of coastal environments and alter the sedimentary distribution in beaches. In fact, the main cause of these transformations is the development of its basin and the construction of the dams and the climatic hazards.

Keywords: coast, mouth of the OER, geomorphology, erosion, accretion, mobility, diachronic.

Introduction

Le littoral d'Azemmour s'étend sur 24km de linéaire entre la pointe d'Azemmour et le Cap d'El-Jadida. Il est compris entre 33° 15' et 33° 17' 30" de latitude Nord et entre 8° 17' 30" et 8° 30' de longitude Ouest. L'Oum Rbia prend son origine au Moyen Atlas à 1800m d'altitude. Il parcourt une distance de 600km. Son littoral a connu de grandes transformations, qui sont postérieures aux diverses phases de l'aménagement de son bassin versant. Ce qui a impacté le littoral et a augmenté le risque de la fermeture de l'embouchure par les sédiments.

Ce travail s'appuyait sur une approche analytique de l'évolution morphologique du littoral. Elle est basée sur l'étude bibliographique, le travail de terrain, l'analyse sédimentaire et aussi à travers une étude historique et analytique d'un ensemble de photos aériennes (1949-1988-2010-2019), et des cartes topographiques à l'aide du logiciel ArcGis.

I. Cadre physique et hydrodynamique du littoral d'Azemmour

Ce littoral présente une morphologie en forme de baie ouverte sur la mer, constituant un arc sableux interrompu par l'embouchure de l'OER. Il correspond à la partie septentrionale du synclinal d'Azemmour d'âge tertiaire, celui-ci est caractérisé par le pendage d'ensemble du Cénomaniens du bas de l'OER vers l'Ouest. Sa direction est donc N-S et sa partie septentrionale disparaît sous l'Océan. Ce littoral est colmaté par les formations quaternaires et

actuelles, qui sont représentées par les alluvions que l'OER transporte et dépose et par des formations sableuses surtout éoliennes.

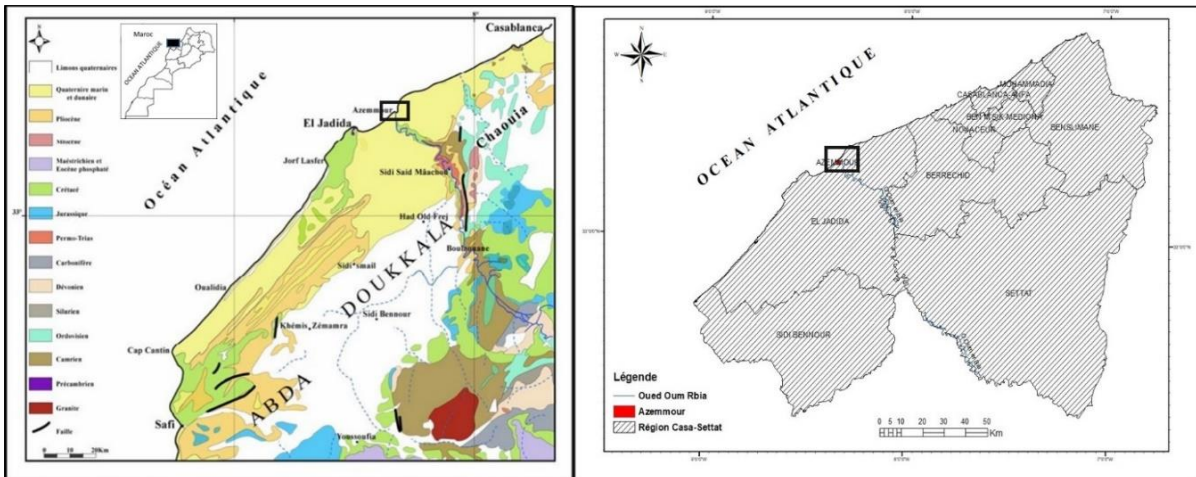


Fig.1: Localisation du littoral d'Azemmour

Le climat est de type atlantique méridional, la température moyenne annuelle est de l'ordre de 18° avec un maximum de 25° et un minimum de 12° . La pluviométrie est de l'ordre de 366 mm/an. Les vents dominants soufflent du N et du NE durant presque toute l'année.

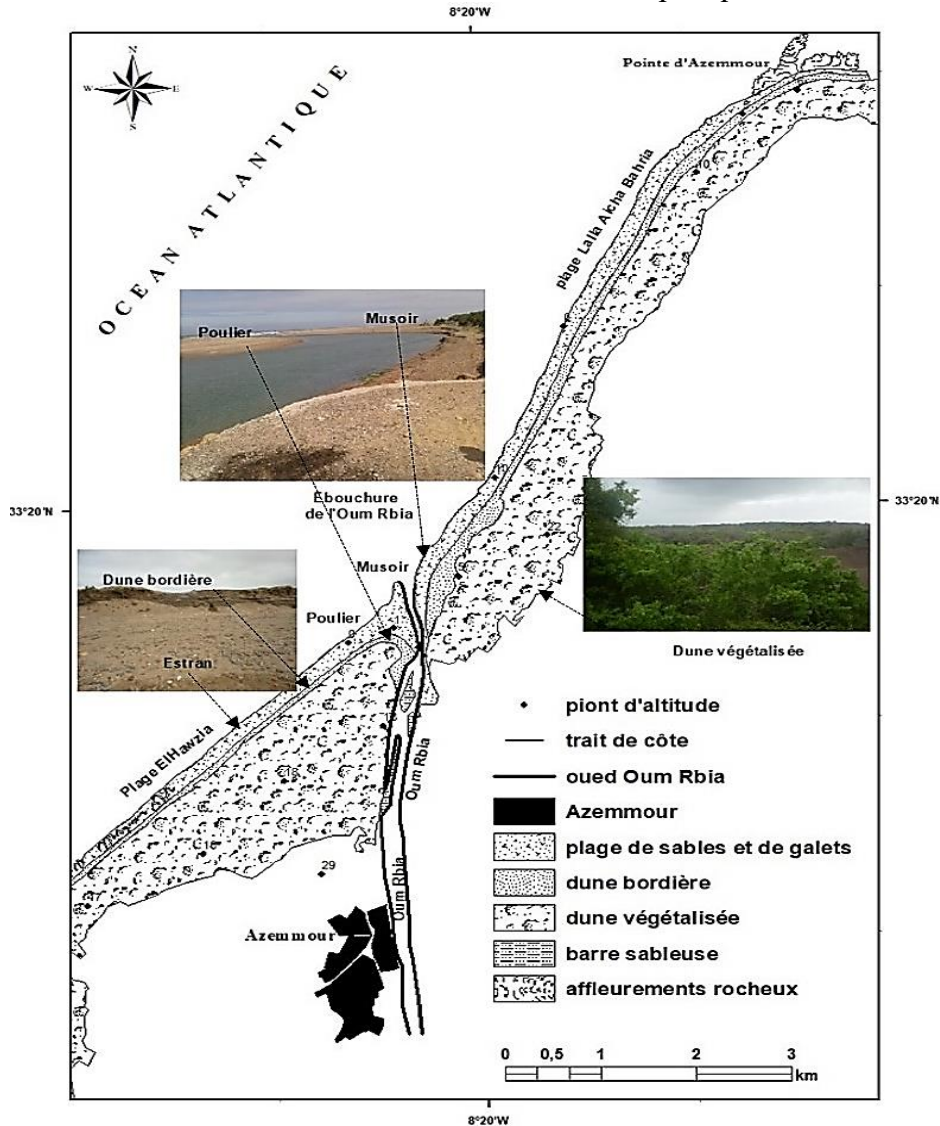


Fig.2: Morphologie du littoral d'Azemmour (Abkhar, 2020)

Les facteurs hydrodynamiques qui conditionnent l'évolution et la morphologie du littoral sont la marée, qui est de type semi-diurne avec une période de 12h 25minutes et la houle, qui se compose des houles de secteur NNO-NO qui sont dominantes et les houles secondaires de direction (N, ONO et O).

L'OER constitue la seule brèche importante dans le système dunaire; ces dunes dans l'arrière- pays sont consolidés et occupent une grande surface. Leur orientation est NE-SO. Par ailleurs, aux alentours de l'embouchure, divers types de dunes se juxtaposent: dunes végétalisées, dunes embryonnaires, dunes transversales, longitudinales et dunes bordières. Nous avons distingué deux secteurs morphologiques:

1- L'embouchure de l'Oum Rbia

Cette embouchure a une forme en entonnoir. Elle présente un évasement et un élargissement accentué vers le large. C'est un milieu hydrodynamique et sédimentaire de transition, entre les apports liquides et solides de l'oued. Les dépôts au niveau de l'embouchure sont composés de galets d'épandage formant un complexe fluvio-marin et des bancs de galets qui sont assez abondants avec une matrice friable.

2- Les plages avoisinantes de l'embouchure

-La plage de la rive droite (Lalla Aïcha Bahria), caractérisée par un redressement de son tracé vers le nord ; elle est orientée NNO à l'approche de l'embouchure. Elle est riche en figures sédimentaires et constituées d'éléments détritiques grossiers, dont les galets représentent une masse très importante, sous forme de cordon de galets entre 2 et 4 m de hauteur.

-La plage de la rive gauche (El Hawziya) est rectiligne, orientée SO-NE. Elle constitue un stock sédimentaire considérable, constitué de sables et d'éléments grossiers, essentiellement des graviers. Sa largeur varie de 100 m jusqu'à 200 m vers le NE, avec une pente douce et régulière qui ne dépasse pas 5°.

II. Caractéristiques sédimentologiques

La calcimétrie indique des sables riches en carbonates (35% et 27%) engraisés en débris de coquilles. La granulométrie enregistre un caractère bimodal des courbes peu marqué, avec un mode bien net sur les sables moyens à grossiers entre 0,2 et 1mm et un mode moins accentué sur les sables fins, représentant des sables hétérogènes. La moyenne est de 0,25mm dans les deux stations. L'écart type varie entre 1 et 1,1 représentant des sables bien classés. L'indice d'asymétrie est positif et inférieur à 1; l'indice d'asymétrie se situe entre 0,04 et 0,02 signifiant le bon classement des grosses particules. Les grains de quartz les plus dominants sont les émoussés luisants (EL) 61%, suivis des ronds mats (RM) 16%, des émoussés mats (EM) 12% et enfin des non usées (NU) 2%. On déduit que les sableuses fines à moyennes sont globalement bien classées avec une légère dissymétrie vers la faction grossière.

1-Formes et dynamique du littoral d'Azemmour

Cet embouchure communique avec l'Océan par un seul chenal principal. Ce dernier est caractérisé par un fond peu profond (-4 m à marée basse) et une largeur irrégulière et variable. Elle ne dépasse pas 200 m. En 1949, la direction de ce chenal était orientée vers le Nord, il se prolongeait sous la mer. Par contre, en 2019 sa direction a suivi la déviation de l'embouchure vers l'OSO (Fig.3). Étant donné que l'orientation de la côte est vers le NE-SO avec une inflexion vers le SO, les courants la frappent obliquement, ce qui explique la dissymétrie de l'embouchure avec un poulcier sur la rive gauche et un musoir sur la rive-droite. Entre 1949 et 2019, le poulcier a connu un recul important de -5,3m /an et une pointe immergée affleure en

période de haute marée. D'autre part, en 2019 (Fig. 3), la pointe a migré vers la rive gauche, et les volumes de sable sont plus importants du côté droit avec une tendance à la fermeture qui fait évoluer le côté nord vers le côté sud.

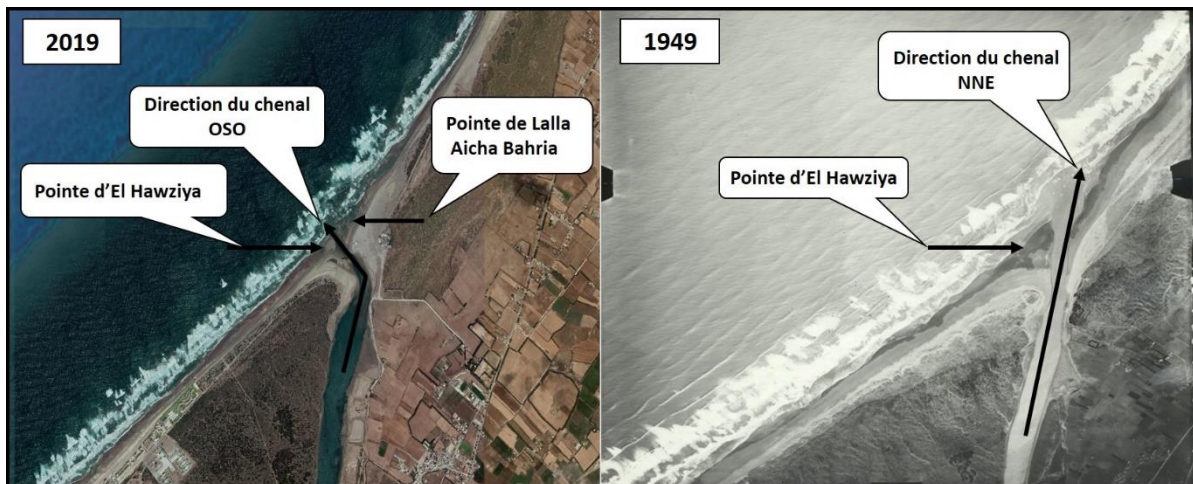


Fig. 3 : Changement de direction du chenal d'oued OER du NNE vers l'OSO

Sur la figure 4, la transformation de l'embouchure est évidente; l'année 1988 est marquée par la flexion de la direction de l'embouchure et par un ensablement massif de son tronçon aval. L'ensablement s'individualise en barres et en pointes sableuses. Celles-ci migrent, selon les saisons en fonction de l'intensité des facteurs hydrodynamiques, sur une distance de 3km à l'intérieur de l'estuaire, et forment de véritables obstacles aux apports sédimentaires fluviaux qui se concentrent à leur front.

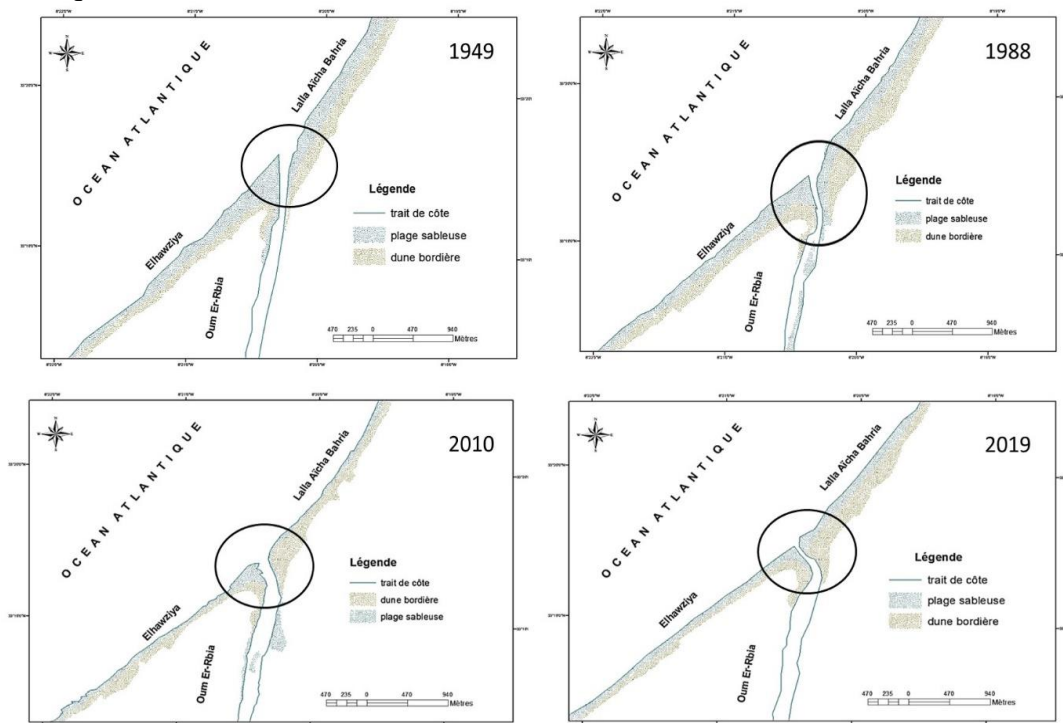


Fig.4: Évolution morphologique et mobilité de l'embouchure entre 1949 -1988-2010 et 2019

La situation en 2010 témoigne de l'élargissement de l'embouchure (131 m de largeur) et d'un développement des barres sableuses au niveau du chenal, ainsi que leur expansion vers l'intérieur de l'estuaire, et sur les rebords de l'embouchure. En outre, cet élargissement est le résultat des opérations de dragage, qui ont permis le maintien de l'embouchure ouverte et la

circulation des masses d'eau. En revanche, la photo de 2019, met en évidence une tendance à la fermeture de l'embouchure et la progression de la flèche du côté sud-ouest vers le côté Nord -Est.



**Photo 1: Barre de galets et graviers transversale affleure à marée basse (04/11/2010),
(33°19'07.8"N 8°20'18.1"W).**

2-Dynamique des plages El Hawziya et Lalla Aïcha Bahria

L'analyse de l'évolution du trait de côte des deux secteurs a révélé une nette variabilité spatiale, caractérisée par une érosion importante et continue. Lors de la période de 1949 à 2019 : environ 70 ans (Fig. 5) dans les stations des deux rives, l'érosion a entraîné un recul du trait de côte estimé à $S4 = -0,6$; $S5 = -1,1$; $S6 = -2,2$ par an, mais dans la station 7, on a enregistré un taux moyen d'accumulation de $0,7$ m /an. Entre 1988 et 2010, dans la rive gauche, on distingue deux tendances: une tendance à l'érosion exprimée par un recul du trait de côte, dont le taux moyen de recul est égale à $-2,1$ m/an dans la S5. Sur la même ligne en se dirigeant vers l'embouchure, on constate une autre tendance à l'engraissement sous l'effet de l'accumulation de matériaux de progradation sur le littoral. Cet engraissement est évalué à $3,1$ m/an dans la S3 et $13,3$ m/an dans la S4. La rive droite est marquée aussi par l'alternance des périodes d'érosion et des périodes d'accumulation. Le changement s'est manifesté par une accumulation sableuse avec un taux moyen annuel de $22,16$ dans la S6. En revanche, la S7 a connu une érosion avec un taux moyen annuel de $-14,7$ m. L'amplitude du recul moyen annuel s'est affaiblie pour atteindre une moyenne de $-0,8$ m/an à la S7 entre 2010-2019. Le secteur en érosion situé au Nord-Est pourrait témoigner du transit sédimentaire Nord-Sud dans cette zone. Les sédiments mis à disposition par les courants de la dérive littorale, provenant des secteurs en érosion, s'accumulent sur la plage de la rive gauche d'oued OER pour former la flèche sableuse, ce qui a favorisé l'avancée du trait de côte. En revanche, la zone en accrétion située au Nord-Est montre que les sédiments érodés de la partie Est vont être bloqués à l'extrémité Est de la rive droite et vont s'accumuler en engendrant un engraissement de cette extrémité.

Le changement morphologique et la déviation de l'embouchure, seraient liés à la construction de la digue de Sidi Daoui à 15km de l'estuaire pour stopper la remontée de la marée saline au-delà de cette distance. Par ailleurs, en consultant les archives climatologiques, on remarque que le Maroc a connu dix périodes de sécheresses généralisées 1930-33, 1944-45, 1948-50, 1960-61, 1974-75, 1981-84, 1986-87, 1991-93, 1994-95. L'examen des années sèches fait ressortir une fréquence élevée de la sécheresse et une extension spatiale plus large entre 1981 et 1991. Le bassin d'OER a connu une dégradation moyenne des écoulements superficiels estimée à 1536 Mm³/an (40 %) entre les périodes 1941-1980 et 1981-2008. Les

déficits pluviométriques (20% entre les périodes 1940-1980 et 1981-2008) sont considérablement amplifiés sur les apports (40% sur la même période) ABHOER 2011.

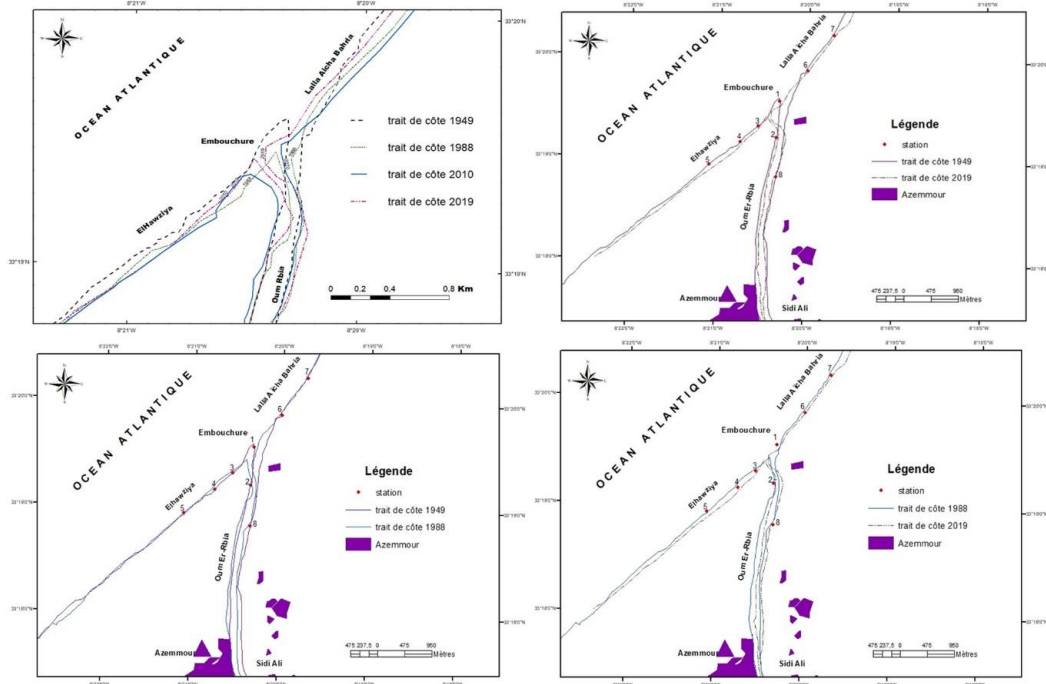


Fig. 5 : Évolution du trait de côte de l'estuaire d'OER entre 1949-1988-2019

L'irrégularité des précipitations a comme conséquence directe l'irrégularité des débits fluviaux. Ainsi, l'aménagement du bassin d'OER a commencé vers les années 20 par la construction d'ouvrages à but hydroélectrique, production d'énergie et alimentation en eau potable, en plus d'autres ouvrages de déviation à des fins d'irrigation. Ce qui a provoqué le piégeage de sédiments au niveau des barrages et des retenues collinaires (envasement), ainsi que la baisse des apports liquides, résultat du déficit pluviométrique constaté ces derniers temps.

Conclusion

La dynamique du littoral d'Azemmour est validée par l'étude sédimentologique, qui reflète l'intervention de deux ou trois agents dans le transport et le dépôt et par l'analyse diachronique du trait de côte. La dynamique de la flèche littorale met en évidence une accrétion importante associée à une érosion accentuée sur la plage de Lalla Aïcha Bahria. Les raisons principales qui expliquent le recul de la ligne de rivage seraient: le débit sédimentaire constitué des fractions sableuses fines à moyennes et l'incapacité des débits solides de l'OER à compenser l'érosion marine. D'autre part, l'ouverture de l'embouchure a changé de direction après 1988 et elle est bloquée par l'avancée de la flèche. Cette situation engendre le déplacement de l'embouchure et/ou sa fermeture. En plus, l'aménagement du bassin-versant est pour une grande part à l'origine de cette situation.

BIBLIOGRAPHIE

- ABKHAR F., 2020: Évolution géomorphologique des zones humides du littoral des Doukkala et interventions anthropiques (lagune de Oualidia et estuaire d'Oum Er-Rbia). Thèse de Doctorat d'État, Univ. Mohammed premier, Oujda. 300 p.
- BOULANOUAR Z., 1999: L'arc sableux d'El Jadida Azemmour (Maroc): Étude morphosédimentaire et approche dynamique pour une gestion environnementale. Thèse de Doctorat Uni. Bretagne Occidentale, 190 p., 96 fig., 11 tab.
- MOUHIDDINE, M., 2007: Morphogenèse et dynamique environnementale dans les Doukkala - Abda. Thèse de Doctorat d'État. 450 p. Rabat.

**TRANSFERT DES MATÉRIAUX SOLIDES, PRÉCISION DES CONDITIONS
HYDRODYNAMIQUES IN SITU DU DOMAINE INTERTIDAL DE LA BAIE
D'ESSAOUIRA, MAROC.**

ELMIMOUNI Abdelhadi.¹; CHARIQ Sanae.¹; TOUFIQ Fadma.¹; RAZIQ Mounia²; CHAIBI
Mohamed.³; LOTFI, Fouad.⁴DAHMANI Mohamed⁵

¹Laboratoire de Géomorphologie, Environnement et Société ; FLSH Marrakech Université Cadi
Ayyad.

²Faculté des lettres et sciences humaines ; Université ibn Toufail ; Kenitra.

³ Équipe GEGEL, Route Sidi Bouzid, BP 4162, Safi., , Faculté Polydisciplinaire ; Université Cadi
Ayyad

⁴Faculté Polydisciplinaire de Taroudant, Université Ibn Zohr

⁵ Faculté des langues, arts et sciences humaines - ait melloul

Résumé: L'espace littoral d'Essaouira, limité à l'ouest du haut Atlas montre une direction méridienne à subméridienne sur une extension de quelques dizaines de km, présente un domaine de transfert des matériaux du nord au sud assuré par les différents agents de transport. L'hydrodynamisme du milieu a été étudié durant la marée basse le long de la baie en trois zones localisées au nord, au centre et au sud de la ville. Les résultats obtenus traduisent la prédominance du courant longitudinal N sur l'ensemble du littoral, cependant son extrême sud correspond à la direction de la dérive littorale (SSW).

Mots Clés: Hydrodynamisme, Interactions, Littorale, Essaouira, Maroc.

**Transfer of solid materials, precision of hydrodynamic conditions in situ of the intertidal
domain of the bay of Essaouira, MOROCCO.**

Abstract: Limited on the west of the High Atlas, The coastal of Essaouira shows a meridian / submeridian direction over an extension of a few tens of km, this area presents a field of materials transfer from north to south provided by multiple transport agents. The hydrodynamics of this area were studied during the low tide along the coast. The results obtained reflect a predominance of the longshore drift over the entire coast.

Key-words : Hydrodynamics, Interactions, Littoral, Essaouira, Morocco.

Présentation

Situé dans la partie occidentale extrême du Haut Atlas, le littoral d'Essaouira présente une extension d'environ 34 km de long localisé entre le Cap Hadid au nord et le Cap Sim au sud (Fig. 1). Cette zone littorale est largement ouverte sur l'Océan Atlantique et illustre une forme rectiligne traduisant une direction générale NNE-SSW. Elle correspond à une zone très dynamique où transitent les particules de sables mobiles ayant une source au niveau du nord de la ville et une destination vers le sud. Ce transit est assuré grâce aux différents agents de transport (courants marins, transport éolien déclenché par les alizés).

Le but principal de la présente étude consiste à la détermination et la compréhension des caractéristiques des différents processus hydrodynamiques (notamment les courants) et leur rôle sur les modalités de transport sédimentaire et de dépôt dans la baie ainsi que sur la plage d'Essaouira.

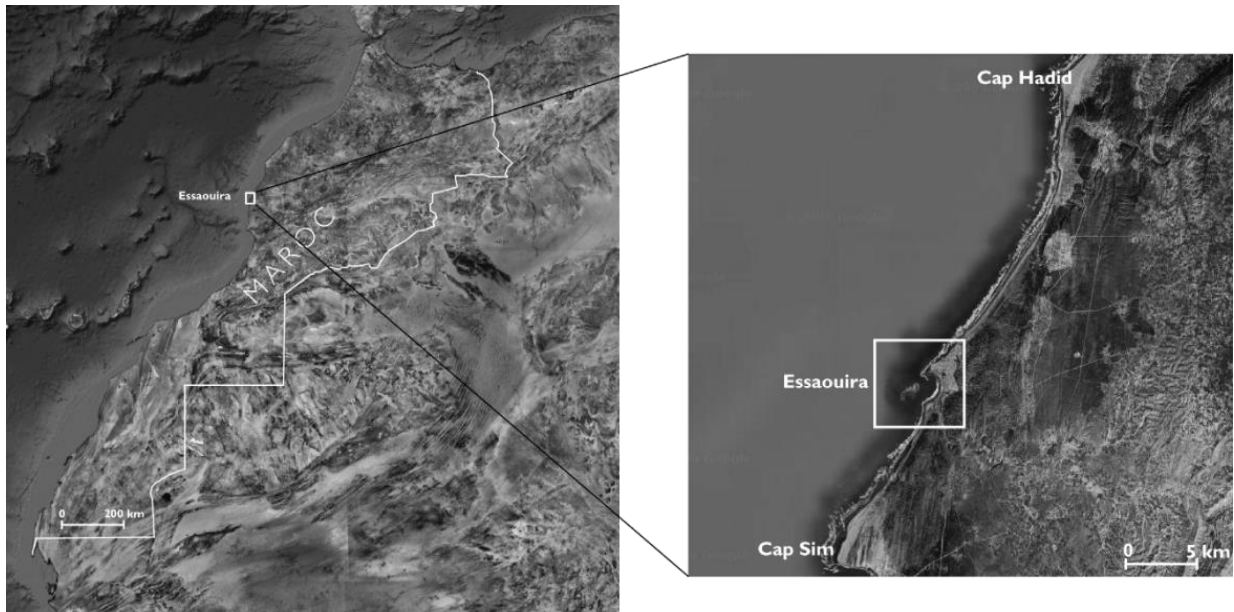


Fig. 1 : Situation géographique du secteur d'étude, a) Localisation géographique de la ville d'Essaouira dans le territoire marocain, b) extension géographique de la zone d'étude depuis le Cap Hadid au nord jusqu'au Cap Sim au sud

Méthode et outils de travail

Afin de répondre au but cité auparavant, des campagnes de mesures hydrodynamiques ont été réalisées *in-situ* en utilisant l'Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) (Fig.2a). Cet instrument permet la mesure de la vitesse ainsi que la direction des courants marins du fond océaniques jusqu'à la surface et les spécificités de la houle en utilisant le principe de l'effet Doppler (Anthony et al., 2004; Reichmüth et Anthony, 2007).

A



B



Fig. 2 :A- Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP). B- ADCP instrument deployed in the ocean at the beach of Essaouira. 1 : ADCP instrument

Vers la fin de chaque campagne de mesure, un transfert des données enregistrées dans la mémoire de l'ADCP est réalisé à l'aide d'un logiciel WinADCP fourni aussi avec l'appareil. Cette analyse commence par l'exportation des données sous format TXT puis le traitement et la visualisation des différents tableaux et graphes par croisement des données. Ceci permet d'obtenir les différents paramètres contribuant à la dynamique et d'extraire la vitesse et la direction des courants moyens (Fig. 3).

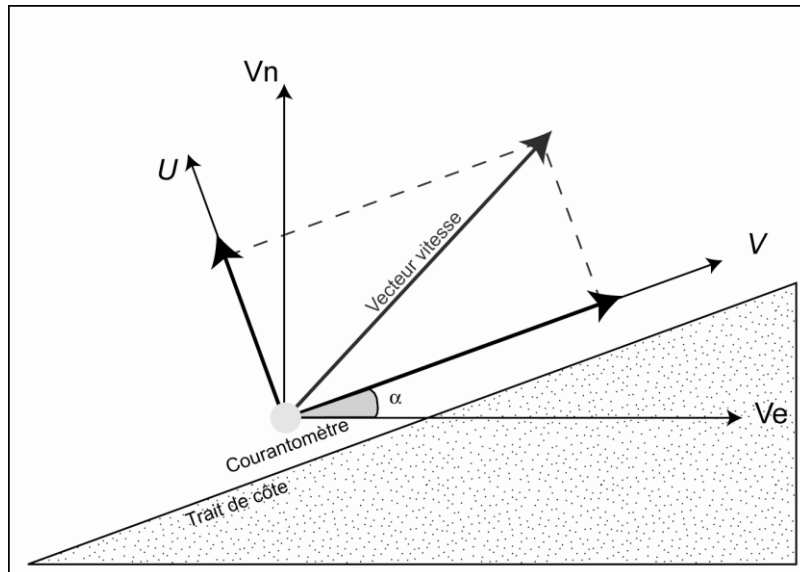


Fig. 3 : Décomposition du vecteur du courant moyen en courants longitudinal (V ou V_l) et transversal (U ou V_t), (Sedrati, 2006, Elmimouni 2009, Elmimouni et al. 2012).

Résultat

Les campagnes de mesures effectuées comportent six marées enregistrées durant la descente du coefficient (respectivement 65, 62, 59, 55, 52, 49). Les points de mesure sont répartis sur la partie nord, centrale et sud de la plage d'Essaouira (Fig. 4). La vitesse du vent, durant la période de mesure, varie entre 3 et 8 m/s dont 87% sont des vents supérieurs à 4 m/s avec une prédominance des directions NNW, NNE et N (70%) (Fig. 5). Durant cette campagne de mesures, nous ne sommes pas parvenus à avoir des données sur la houle au niveau de la baie d'Essaouira suite à des conditions hydrodynamiques très calmes (observation sur le terrain).

Les conditions climatiques et hydrodynamiques ont été très calmes lors de cette campagne. Les mesures hydrodynamiques effectuées ont montré que la composante longitudinale est N sur toute la plage à l'exception de l'extrême sud de la plage (S6) et au niveau de S2 (Fig. 4) lors de la marée descendante, et S6 qui respectent la direction de la dérive littorale nette (SSW).

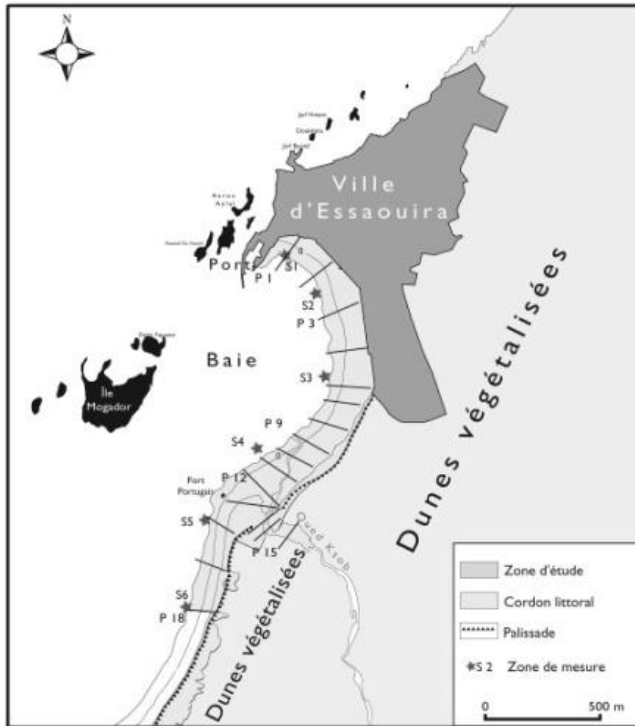


Fig. 4 : Situation des zones de mesure de la baie lors de la campagne.

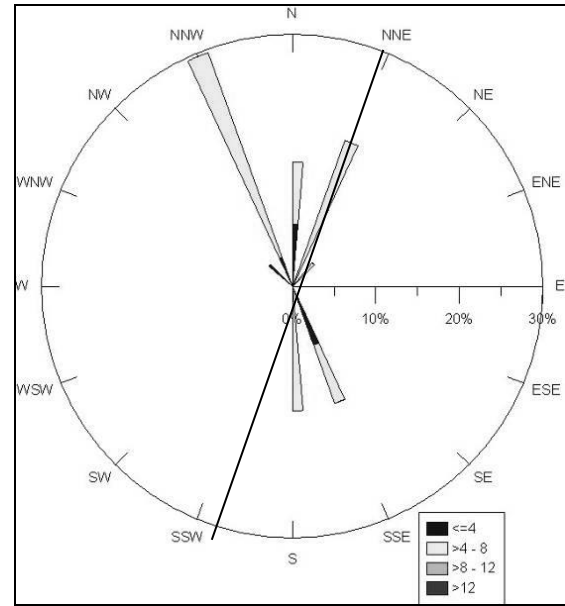


Figure 5: Le Vent (en m.s-1) lors de la campagne.

Les données des courants ont montré les résultats suivants :

Tableau 1 : Caractéristiques des courants au niveau de la plage d'Essaouira (Elmimouni 2009).

Caractéristiques Zone	Hauteur d'eau (m)	Vitesse moyenne (cm/s)	Direction moyenne	Composante transversale	La composante longitudinale
S1	1,4	De 2 à 4 cm/s	Du S au SW	Onshore en marée montante offshore en marée descendante. 3cm/s	De direction S avec une vitesse de 2 à 3 cm/s
S2	1,1	De 2 cm/s à 5 cm/s à marée montante et de 5 cm/s à 10 cm/s en marée descendante	S et NW	Offshore 0 à 6 cm/s	De direction N en marée montante et S en marée descendante
S3	1,2	De 15 et 20	N au NE	Offshore avec des vitesses entre 0 et 15 cm/s	De direction N (contre- dérive) avec une vitesse de 20 cm/s à marée montante et entre 3 et 10 cm/s à marée descendante.
S4	0,9	De 20 à 40	NNE	Onshore 5 et 30 cm/s	De direction N avec une vitesse oscillant entre 5 et 38 cm/s
S5	1	De 2 et 10	NNE/NNW	Une direction offshore en marée montante et Onshore en marée descendante avec une vitesse entre 0 et 6 cm/s	De direction N (en contre-dérive) et une vitesse entre 0 et 8 cm/s.
S6	0,8	De 20 à 45	SW	Une direction avec une vitesse entre 2 et 14 cm/s avec Onshore	De direction S (dans le sens de la dérive) et une vitesse oscillante entre 5 et 30 cm/s

Conclusion

De façon générale, les conditions climatiques et hydrodynamiques montrent une zone très calme au cours des campagnes de mesures. Les mesures hydrodynamiques effectuées ont montré que la composante longitudinale est N sur toute la plage à l'exception de l'extrême sud de la plage (S6) qui respecte la direction de la dérive littorale nette (SSW), et au niveau du S2 lors de la marée descendante.

BIBLIOGRAPHIE

- ANTHONY, E. J., LEVOY, F. & MONFORT, O. (2004). Morphodynamics of intertidal bars on a megatidal beach, Merlimont, Northern France. *Marine Geology*, Vol.208, pp. 73-100.
- ELMIMOUNI (2009). Approche expérimentale de suivi de la dynamique morphosédimentaire du littoral d'Essaouira, Maroc : implications pour un aménagement raisonne.
- ELMIMOUNI A., DAOUDI L. (2012). Evolution à moyen terme du contexte hydrodynamique et morphosédimentaire de la baie d'Essaouira (Maroc atlantique). *XIIèmes Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil Cherbourg*. PP. 273-280.
- REICHMÜTH et ANTHONY, (2007). Tidal influence and intertidal bar morphology of macrotidal beaches, southern North Sea. *Geomorphology*, Volume 90, Issues 1-2, pp. 101-114.
- SEDRATI, M. (2006). Morphodynamique et transport hydro-sédimentaire sur les estrans macrotidaux du Nor-Pas-de-Calais : Implications en aménagement du littoral. Thèse de doctorat l'Université du Littoral Côte d'Opale. 215 p.

Axe 4

Désertification et climat, peut-on prédire?

**IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LA BIODIVERSITE
VEGETALE DU PARC NATIONAL DE TAZEKKA
ELHARRANI Hanae¹, ASSEM Najat¹, EL HAFID Latifa²**

¹Laboratoire Substances Naturelles, Pharmacologie, Environnement, Modélisation, Santé & Qualité de Vie (SNAMOPEQ), Faculté Polydisciplinaire de Taza, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah (Fès), Maroc

²Laboratoire de l'Eau, de l'Environnement et du Développement Durable (LEEDD), Faculté des sciences, Université Mohamed Premier (Oujda), Maroc
hanae.elharrani@usmba.ac.ma

Résumé: Le Parc National de Tazekka (PNT), est situé dans la partie la plus septentrionale du Moyen-Atlas, à 21 km de la ville de Taza. Il s'étend sur une superficie de 13 737 ha et a été créé en 1950, pour conserver les écosystèmes naturels et préserver des richesses paysagères et culturelles. En effet, le PNT offre une grande diversité floristique, aussi bien par ses formations forestières remarquables que par le grand nombre d'espèces de plantes vasculaires. Cependant, des études ont rapporté que la biodiversité du parc est menacée en raison de facteurs anthropiques et climatiques. Le but de ce travail est d'étudier l'influence des changements climatiques durant les années 1985, 2018 et 2019 sur la répartition des espèces végétales dans différentes stations du Parc national de Tazekka. Pour réaliser ce travail, plusieurs prospections de terrain ont été réalisées. Les résultats obtenus sous forme de SIG par utilisation du logiciel ArcGis, ont montré que les changements climatiques influencent de façon significative la biodiversité végétale du Parc. Il est nécessaire de trouver des stratégies d'évaluation, de suivi et de gestion de ces risques climatiques afin de préserver la phytobiodiversité.

Mots clés: Parc National de Tazekka, changements climatiques, phytobiodiversité, risques, stratégies.

**IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON THE VEGETAL BIODIVERSITY OF
TAZEKKA NATIONAL PARK**

Abstract

The Tazekka National Park (PNT), is located in the northernmost part of the Middle Atlas, 21 km from the town of Taza. It covers an area of 13,737 ha and was created in 1950 to conserve natural ecosystems and preserve landscape and cultural wealth.

Indeed, the PNT offers a great floristic diversity, both by its remarkable forest formations and by the large number of vascular plant species. However, studies have reported that the park's biodiversity is threatened due to anthropogenic and climatic factors. The aim of this work is to carry out a comparative study concerning the influence of climate change during the years 1985, 2018 and 2019 on the distribution of plant species in different stations of the Tazekka National Park (Ras al ma, Bab Boudir, Bab Azhar and Jbel Tazekka).

To carry out this work, several field trips were carried out. The results obtained in the form of GIS using the ArcGis 10.4.1 software have shown that climate change significantly influences the plant biodiversity of the Park. It is necessary to find assessment, monitoring and management strategies for these climate risks in order to preserve phytobiodiversity.

Keywords: Tazekka national park, climate change, phytobiodiversity, risks, strategies

1- Introduction

Le Maroc est l'un des pays méditerranéens les plus originaux d'un point de vue géographique, climatique et écologique. Il est considéré parmi les plus intéressants sur ses richesses en biodiversité.

Plusieurs facteurs s'interagissent pour offrir une vaste diversité floristique dans le bassin occidental de la méditerranée. Afin de protéger ce patrimoine national, le Royaume du Maroc a identifié un réseau de dix parcs nationaux dont le parc National de Tazekka (PNT) situé dans la chaîne montagneuse du Moyen atlas oriental. Il offre une grande variété concernant le paysage et la diversité des peuplements forestiers. Cependant, ce parc national souffre de plusieurs contraintes qui constituent des freins à son essor. En effet, la pression humaine et les changements climatiques sont parmi les facteurs les plus importants qui conditionnent l'évolution de cette flore gravement menacée de disparition.

Dans ce contexte, nous avons étudié les effets des changements climatiques sur la biodiversité végétale du PNT et proposer des stratégies pour atténuer les risques liés à ces changements.

Les analyses des images Landsat des années 1985, 2018 et 2019, faite par le logiciel ArcGis 10.4.1, nous ont permis de mettre en évidence des variations spatio-temporelles des groupements végétaux au niveau du parc national de Tazekka (PNT).

2- Contexte géographique de la zone d'étude

Le massif de Tazekka est rattaché à la province de Taza (Figure 1). Limité par le Riff au Nord, le Moyen Atlas au Sud, la plaine du Rharb à l'Ouest et la plaine de Guercif à l'Est, il constitue la terminaison septentrionale du Moyen Atlas, et s'étend sur une longueur de 50 Km et une largeur de 15 Km. Les altitudes sont comprises entre 500 et 1980 m (Fougrach et al., 2007).

Le Moyen Atlas septentrional offre 3 parties distinctes :

- Le massif primaire de Tazekka
- La cause moyen atlasique, tabulaire du secondaire : Bab-Boudir
- Le moyen atlas plissé du secondaire, Bou Iblane

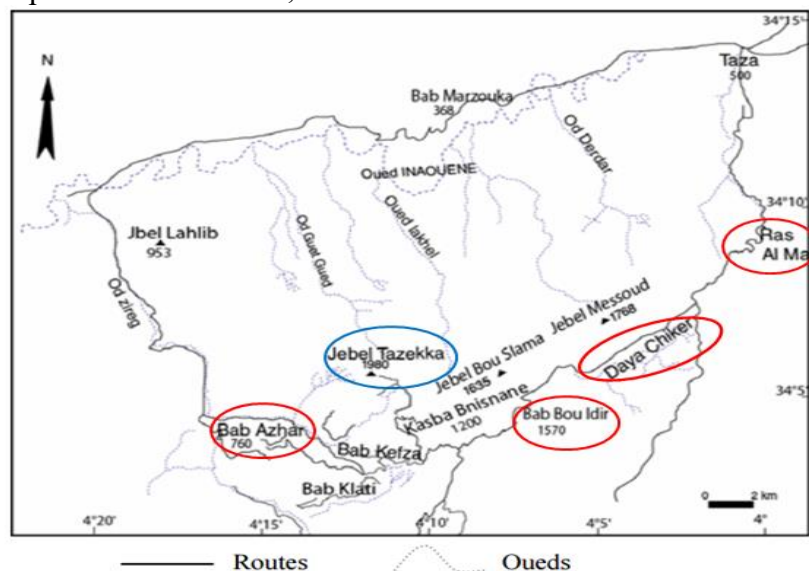


Figure 1 : Carte de situation géographique de la zone d'étude (Fougrach et al., 2007)

2-1 Présentation générale de la zone d'étude (PNT)

Dans le moyen Atlas, en particulier au sud-ouest de la ville de Taza est situé le parc national de Tazekka (PNT), qui couvre maintenant 13.737 ha et qui abrite une biodiversité végétale très riche en formations forestières (Cèdre, Chênes, pins...) et en flore vasculaire.

2-2 Données climatiques

D'après les figures 2 et 3, on remarque une différence très nette concernant les températures et les précipitations mesurées au niveau de Taza durant les années 1985, 2007, 2017, 2018 et 2019. Cela a certainement des influences importantes sur la répartition des espèces végétales au niveau du PNT.

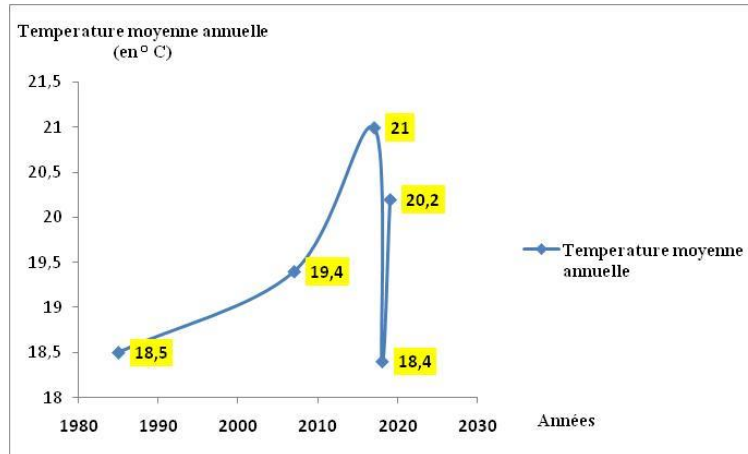


FIGURE 2: TEMPERATURES MENSUELLES DE TAZA DURANT LES ANNÉES 1985, 2007, 2017, 2018 ET 2019

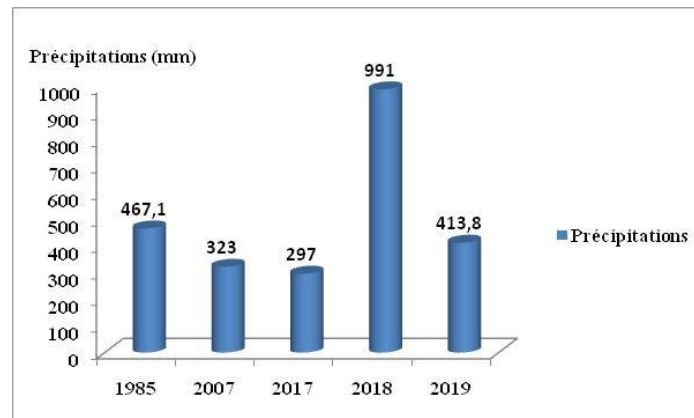


FIGURE 3: PRECIPITATIONS MENSUELLES (MM) DE TAZA DURANT LES ANNEES 1985, 2007, 2017, 2018 ET 2019

3- Méthodologie

Dans cette étude, nous avons utilisé des images Landsat avec une résolution de 30 m, issues des capteurs LANDSAT OLI 8 (Operational Land Imager) et TM 4 -5 (Thematic Mapper), pour suivre l'évolution spatio-temporelle de la couverture végétale naturelle dans le PNT (figure 4).

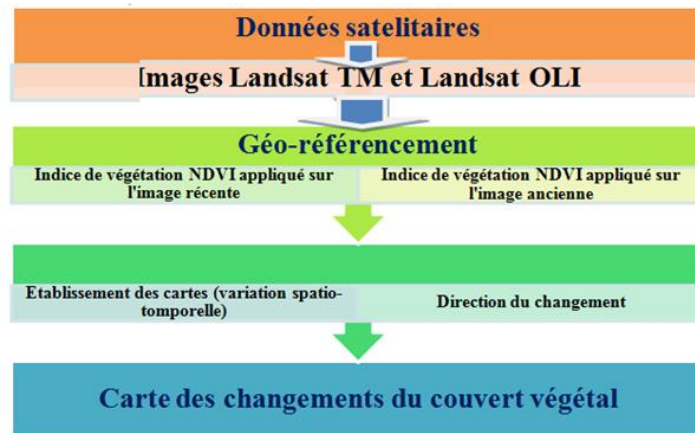


Figure 4: Méthodologie de travail

4- Résultats et discussion

Les résultats obtenus par utilisation du logiciel ArcGis 10.4.1 et par comparaison entre des données climatiques des années 1985, 2018 et 2019, ont montré des conséquences liées aux variations de certains facteurs environnementaux sur les écosystèmes (figures 5, 6, 7 et 8).

- Les valeurs négatives correspondant aux surfaces autres que le couvert végétal (neige, eau ou nuages...), pour lesquelles la réflectance dans le rouge est supérieure à celle du proche infrarouge.
- Les valeurs proches de 0, correspondant aux sols nus, lesquelles les réflectances étant à peu près du même ordre de grandeur dans le rouge et le proche infrarouge.
- Les valeurs positives correspondant aux formations végétales, généralement comprises entre 0,1 et 0,7. Les valeurs les plus élevées correspondant aux couverts les plus denses.

Les différentes cartes de la figure 5 représentent des images de l'NDVI des années 1985, 2018 et 2019, leurs intégration par utilisation du logiciel ArcGis donne les cartes représentées sur la figure 6 (A et B), figure 7 (A et C) et la figure 8 (B et C).

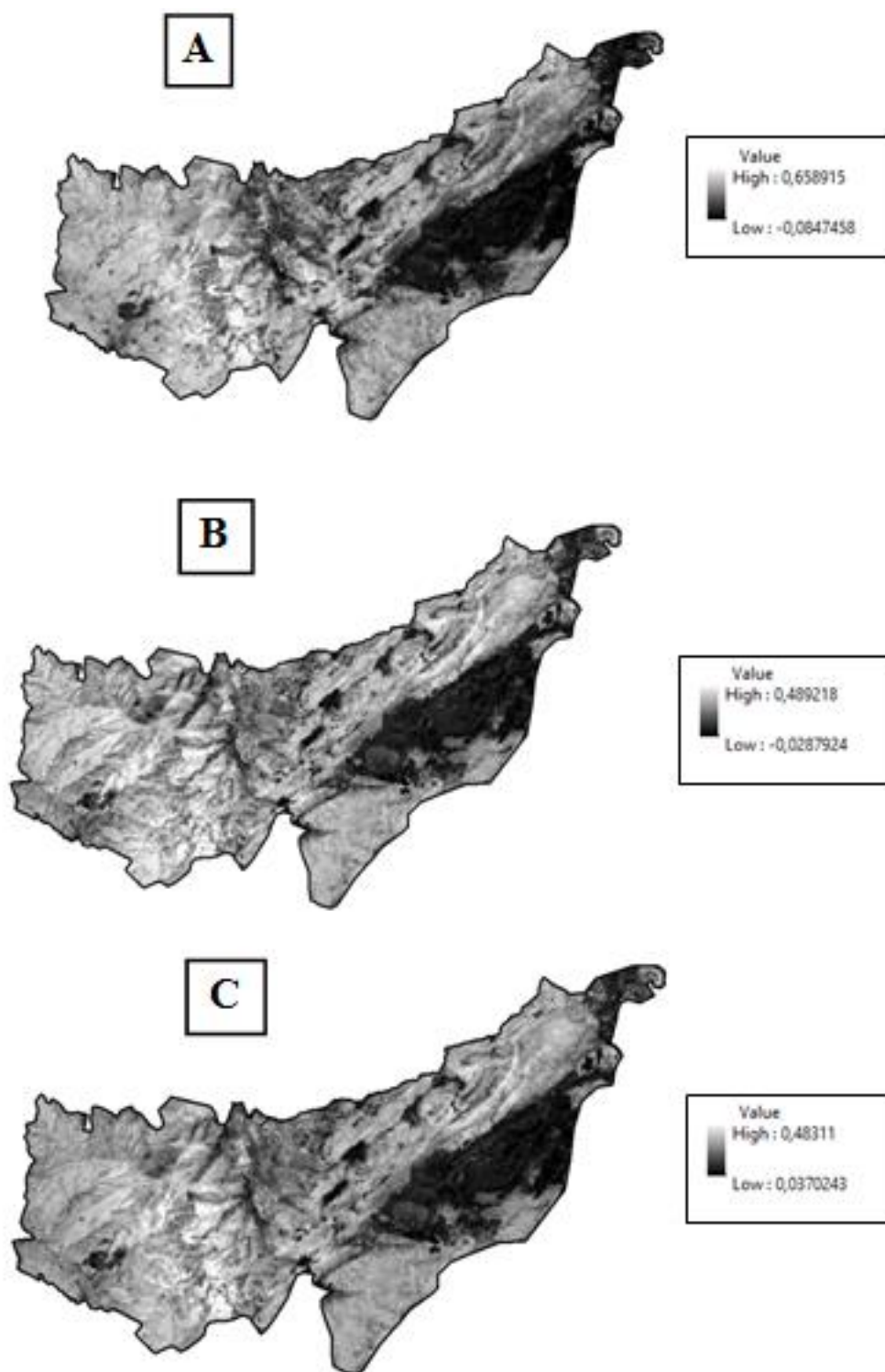


Figure 5: Images NDVI de 1985 (Carte A), 2018 (Carte B) et 2019 (Carte C)

Les figures (6, 7 et 8) représentent la répartition de la végétation sur les images du satellite LandSat, de différentes stations du Parc National de Tazekka (PNT), sous l'influence du changement climatique au cours des années (1985, 2018 et 2019). En d'autres termes, chaque image représente l'évolution de la chlorophylle sur une période comprise entre 2 ans.

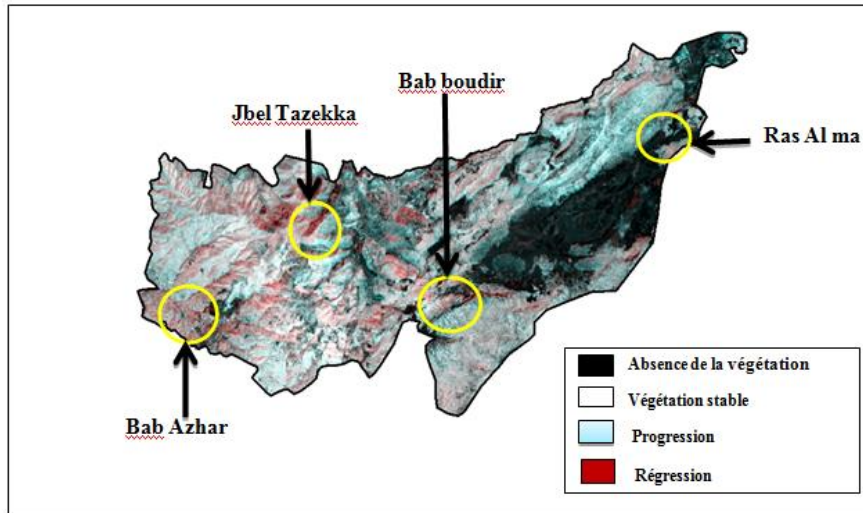


Figure 6: La répartition de la végétation au niveau du PNT sous l'influence du changement climatique entre 1985 et 2018 (ArcGis 10.4.1)

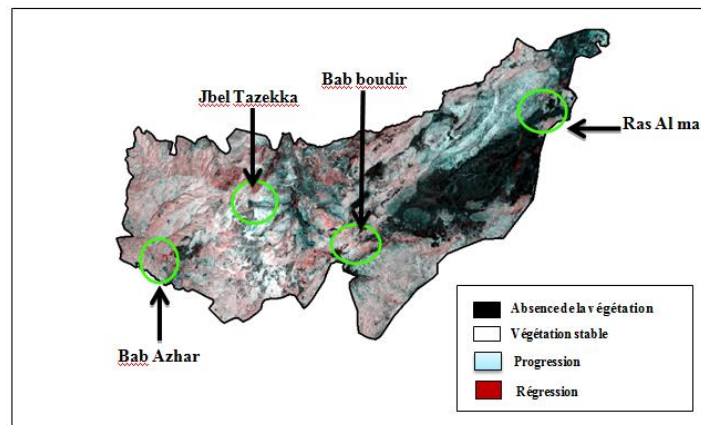


Figure 7: La répartition de la végétation au niveau du PNT sous l'influence du changement climatique entre 1985 et 2019 (ArcGis 10.4.1)

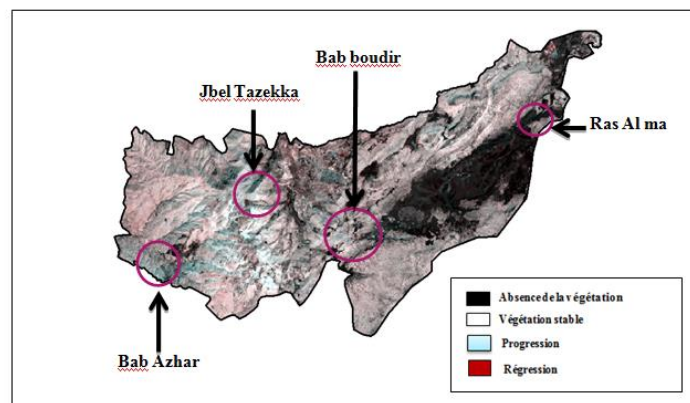


Figure 8: La répartition de la végétation au niveau du PNT sous l'influence du changement climatique entre 2018 et 2019 (ArcGis 10.4.1)

La régression et la progression végétative sont dues à l'activité humaine et au changement climatique (la température et la précipitation). Plusieurs études (Bigot et al., 2005; Cecchi et al., 2009; Soro 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.

Donc, les applications des techniques spatiales par utilisation du logiciel ArcGis permettent d'établir des cartes de l'occupation des sols et de son évolution selon différentes échelles spatiales et temporelles et émettre une alerte précoce en cas de sécheresse en s'appuyant sur différents indices spatiaux comme l'indice de végétation par différence normalisée.

L'ensemble de ces résultats fournit la preuve que les plantes sont entrain de migrer avec le changement climatique actuel pour conserver les températures nécessaires à leur survie.

Les changements climatiques correspondent donc, à des modifications à long terme d'un ou plusieurs éléments du climat, principalement la température et les précipitations (Stucki et al., 1998). Ce qui entraîne donc une transformation du milieu qui se traduit par la disparition et l'apparition de certains habitats et, plus globalement, par le déplacement de la zone géographique qui accueille les habitats nécessaires à une espèce.

Certaines espèces d'arbres peuvent être en mesure de s'adapter au changement climatique, permettant aux arbres de survivre dans de nombreuses réserves naturelles, mais certaines ne le peuvent pas (Jinghua yu et al., 2014).

Donc, les changements climatiques contribueront de plus en plus à la perturbation d'écosystèmes naturels de la terre, ce qui pourrait causer l'extinction des espèces végétales.

Conclusion

L'objectif principal de cette étude était de montrer l'évolution du climat au niveau du parc national de Tazekka sur trois périodes durant les années **1985, 2018 et 2019** et son influence sur la répartition des espèces végétales dans les différentes stations du parc. En effet, les résultats obtenus par le logiciel ArcGis ont montré qu'il y a vraiment un changement climatique qui influence la biodiversité végétale du Parc. Ces changements peuvent avoir des impacts importants sur la structure et le fonctionnement des écosystèmes, en modifiant la biologie ou le comportement des organismes (plantes, animaux, microorganismes).

Pour cela, il est très nécessaire de développer des recherches dans ce domaine et de multiplier les efforts afin de proposer des solutions et de nouvelles stratégies qui permettent d'atténuer les facteurs qui accélèrent les changements climatiques notamment, l'utilisation des énergies renouvelables, pratiquer une agriculture climato-intelligente et préserver les forêts.

Références bibliographiques

- Bigot, S., Yao Brou, T., Oszwald, J., Diedhiou, A. (2005). Factors of rainfall variability in Côte d'Ivoire and relationship with certain environmental changes. *Science and planetary changes (John libbey)*, 16 (1), 5-13.
- Cecchi, P., Gourdin, F., Koné, S., Corbin, D., Etienne, J., Casenave, A. (2009). Small dams in the north of Côte d'Ivoire: inventory and hydrological potential. *Science and planetary changes (John libbey)*, 20 (1), 112-22.
- Fougrach H., Badri, W., Malki, M. (2007). Rare and endangered vascular flora of the Tazekka massif. *Bull Inst Scient (Rabat), Life Sciences section*, (29), 1 - 10.
- [Jinghua, Y., Chunjing, W., Jizhong, W., Shijie, H., Qinggui, W., Siming, N.](#) (2014). A model-based method to evaluate the ability of nature reserves to protect endangered tree species in the context of climate change. *Forest ecology and management*, (327), 48-54.
- Soro, T. D., Djè, K. B., Ahoussi, K. E., Soro, G., Kouassi, A. M., Kouadio, K. E., Oga, Y. M. S., Soro, N. (2013). Hydroclimatology and land use dynamics of the Haut Bandama watershed in Tortiya (North of Côte d'Ivoire). *VertigO - the electronic journal in environmental sciences*, 13 (3), 1-22.
- Stucki, E., Rognon, P. (1998). The Ormonts Valley facing climate change and natural disasters; PNR 31 summary report, 68.

ASPECTS ET IMPACTS DE L'ENSABLEMENT SUR L'OASIS DE RISSANI (TAFILALET, MAROC)

LAAOUANE Mohamed, BENKACEM Abdelfatah et AMYAY Mhamed

*Equipe de Recherche: Milieux naturels, Aménagement et Dynamique Socio-Spatiales FLSH Saïss-Fès,
USMBA laaouanemoh@yahoo.fr*

Résumé: Au Maroc, la désertification est un défi majeur que devait affronter les communautés humaines et les institutions du pays. Ce phénomène aux origines complexe touche actuellement, d'une manière accrue, les périmètres oasiens situés au Sud d'une ligne reliant Agadir, Ouarzazate et Errachidia.

L'oasis de Rissani, partie intégrante de la grande plaine du Tafilalet, subit de plein fouet les affres de la désertification reflétés par la dégradation des terres. Cette dernière se manifeste par plusieurs formes qui sont : l'avancement de l'ensablement, la perte de fertilité, la détérioration du patrimoine palmier, la salinité, l'érosion hydrique et la perte de la capacité de rétention en eau des sols.

L'ensablement est l'un des facteurs dévastateur du système oasien : les accumulations sableuses envahissent les terrains agricoles, les qsour, l'infrastructure routières, le réseau d'irrigation traditionnel et moderne. L'impact socioéconomique de ce phénomène se résume en la dépréciation des terrains cultivables, la dégradation des revenus des agriculteurs et par conséquent l'augmentation de la précarité des familles et l'exacerbation de l'exode rural.

Mots clés: désertification, ensablement, impact, oasis, Rassani, Tafilalet, Maroc

Introduction

Au Maroc, la désertification est un phénomène évident qui constitue un défi majeur pour la population et pour les pouvoirs publics. Ses manifestations spatiales sont la résultante de l'interaction de multiples formes de dégradation des terres de l'étage saharien à l'étage subhumide (Laouina, 2017). Au Maroc, les aires arides couvrent 70% du territoire (Benmohammadi et al, 2000; Ghanam, 2003). Les périmètres touchés actuellement par la désertification sont situés au sud d'une ligne Agadir-Ouarzazate-Errachidia (Akdin et al., 2017).

Les palmeraies de Tafilalet sont les palmeraies les plus importantes du Maroc. À Tafilalet et essentiellement à la Palmeraie de Rissani (figure 1), la désertification représente un péril majeur traduisant la dégradation des palmeraies et la réduction de la production agricole et par conséquent, elle favorise la dynamique de l'exode rural vers les agglomérations urbaines ou vers les campagnes plus accueillantes.

La problématique qui encadre ce travail peut être déclinée par la question suivante « si la désertification est un fait indiscutable dans le Tafilalet, alors quels sont ses impacts socio-économiques et environnementaux » ? Pour traiter cette question nous avons privilégié une approche reposant sur le travail de terrain (observation et enquête), l'analyse diachronique des documents cartographique et images satellitales.

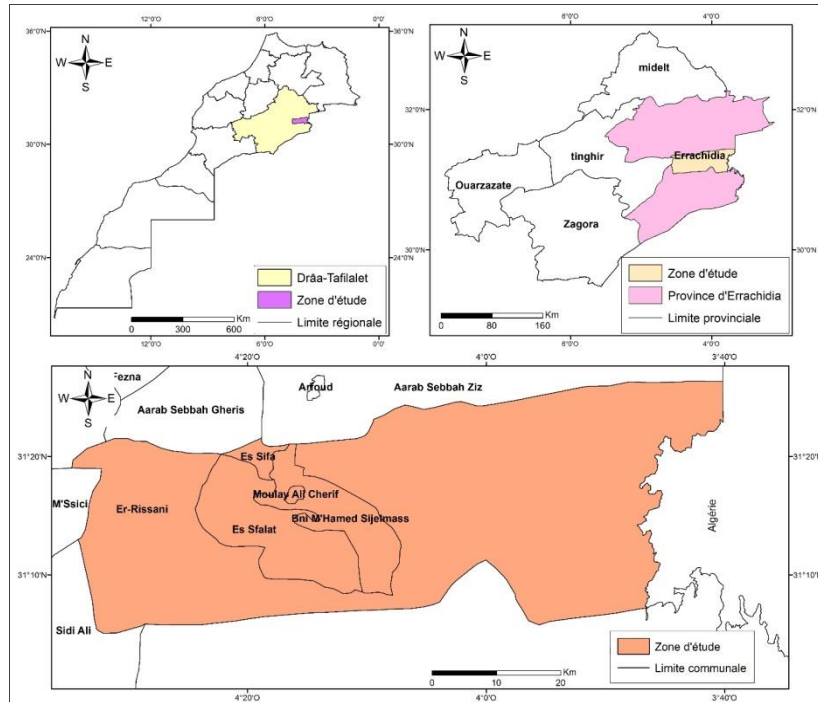


Figure 1. Localisation de l'oasis de Rissani.

1. Aspects de la dégradation par l'ensablement de la palmeraie de Rissani

La palmeraie de Rissani est cernée de tous côtés par les accumulations sableuses (figure 2) dont l'ampleur et les formes sont nuancées et ce selon les processus et les conditions du contexte géographique: avancement de l'ensablement, perte de fertilité, réduction du patrimoine palmier, etc.

Le mot ensablement, pour notre cas, prend un sens plus large, il désigne tout envahissement d'objets ou de surfaces par des grains de sable, aboutissant ainsi à l'accumulation de sable et/ou à la formation des dunes qui peuvent être continentales ou maritimes» (FAO, 1988; Kerroumi, 2013). L'ensablement à Tafilalet, phénomène ancien, est le reflet le plus spectaculaire de la désertification (Mainguet et al, 2010). Dans ce sens, nous le considérons comme étant la phase ultime de la dégradation de l'écosystème oasien. L'ampleur du phénomène a attiré la curiosité de plusieurs chercheurs (Benmohammadi, 2000 ; Chemin, 1984 ; Joly, 1962 ; Mainguet, 1984, 2010 ; Margat, 1953, 1984; Rognon 2004 ; Laouane, 2005, Akkaoui, 2006 ; Kerroumi, 2013 ; etc.) pas seulement pour son aspect physique mais aussi pour le risque qu'il représente pour la population locale et ses installations.

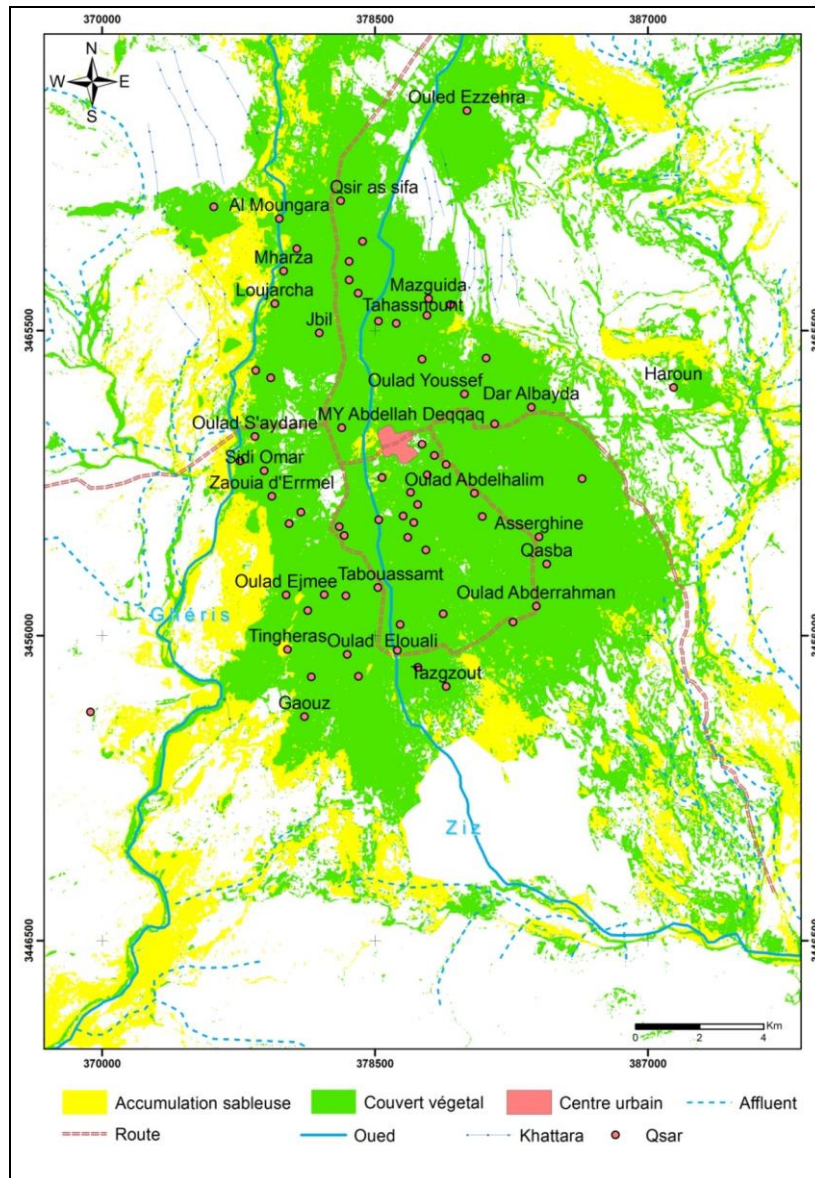


Figure 2. Situation de l'ensablement dans la plaine de Tafilalet-Rissani en 2019 (source: Benkassem, 2017).

L'érosion éolienne à Rissani se traduit par l'émiettement du sol, l'arrachage des particules sableuses, le déchaussement de la végétation et la corrasion des roches (Kabiri et al, 2003). Nos observations de terrain ont révélé que le vent prend sa charge en matériaux fins sur différents types de substrat: sur les formations gréseuses des montagnes anti-atlasiennes orientales au sud et à l'ouest de Rissani (Tiklmet, Bou M'ayz, Adrar, etc.), dans les plaines alluviales endoréiques où ils disposent des sols sablo-limoneux, dans des dépôts alluviaux et des Sebkhas.

Les résultats obtenus par les analyses granulométriques du système dunaire de Rissani indiquent que les sables dunaires sont transportés essentiellement par saltation (Benkassem, 2017). Au moment des tempêtes, notamment dans le front oriental de Rissani, les substrats cohérents favorisent beaucoup plus la saltation par rapport aux substrats meubles qui la freinent. Lorsque le vent faiblit, les grains transportés et arrachés aux regs, aux parois rocheuses, dans les lits des oueds et sur le fond des sebkhas, s'accumulent en prenant plusieurs formes.

Dans l'aire d'étude, plusieurs types de dunes ont été constatés. Deux catégories de dunes ont été déterminées : les dunes simples (barkhane, nebka et dune transverse) et les dunes complexes. Cette diversité est à attribuer à la direction du vent et à la hauteur et la nature des obstacles.

1.2. Impacts socio-économiques de l'ensablement

Le palmier dattier est l'un des piliers de l'agroécosystème de Tafilalet; c'est le premier rempart devant l'action du vent en obligeant ce dernier à déposer sa charge particulaire. Malheureusement, et par ricochet, les lisières des palmeraies en sont les premières victimes (photo1). Les résultats de notre investigation révèlent une dégradation de grande ampleur du patrimoine palmier dattier :

- le nombre total des palmiers dans la plaine de Tafilalet était vers l'indépendance du Maroc 1,20 million ;
- vers les années 2000, l'effectif des palmiers est réduit à près de 700 000 palmiers.



Photo 1. État du palmier dattier piégé dans les accumulations sableuses à Zaouïa d'Ermel (cliché : Benkacem, 05-04-2017).

En comparaison avec les autres palmeraies de Tafilalet en matière de la dégradation des palmeraies, celle de Rissani est la plus touchée puisque le taux de renouvellement ne représente que 11% de l'ensemble du taux de régression. Les causes les plus avancées pour l'explication de cette dégradation du palmier dattier sont le *bayoud* et la sécheresse. L'ensablement n'est pris en considération que tardivement, alors qu'il a englouti, rien que ces dernières décennies, 7337 palmiers (Benkacem, 2017).

Cette étude a estimé la superficie envahie par les sables à Rissani à 390 ha, dont 75% dans le front occidental et 25 % dans le front oriental. Par ailleurs, l'ensablement a abouti à la réduction du rendement des palmeraies (tableau 1), et la perte de 17 990 palmiers, l'équivalent de 6,2% du nombre total des palmiers dattiers.

Tableau 1. Proportion du palmier-dattier abandonnée à cause de l'ensablement.

Localité	Palmier détérioré (%)	Localité	Palmier détérioré (%)
Essifa	11,6	Ouled Ejmie	42,4
Terroir khattarien de Loujarcha	12,5	Ouled Yahya	4,5
Ouled Sidi Ibrahim	23	Tinghras	14
Taghnjaout	42	Gaouz	26,3

(Source: enquête, 2017)

L'accumulation des sables dans les parcelles agricoles est une contrainte majeure car elle empêche leur irrigation sauf dans le cas de crues violentes. Cela explique l'abondance de plusieurs parcelles. La gravité du phénomène est spatialement nuancée (tableau 2). Cette nuance trouve son explication dans la localisation géographique face au vent Sahéli venant du sud-ouest de Rissani.

Tableau 2. Épaisseur de la couverture sableuse sur les terrains cultivables à Rissani (les valeurs en %).

Ksar	Essifa	Loujarcha	S. Ibrahim	Taghnjaout	O. Ejmie	O. Yahya	Tinghras	Gaouz
Epaisseur								
< 0,5 m	24	15	23	22	21	85,7	15	20
de 0,5 à 1 m	22	13	25	26	21	14,3	30	20
de 1 à 2 m	20	32	34	27	25	0	30	25
> 2 m	34	40	18	25	33	0	25	35

(Source: travail de terrain)

À Tafilalet, l'avancement du voile sableux et la migration des dunes impactent aussi le réseau d'irrigation et les khattaras. Ainsi, dans le secteur d'Essifa, plus de 50% des khattaras sont tarées suite à leur comblement par le sable. Il s'agit des khattaras Elaagilia, Ejdida, Elbouria, Elpiria, ELbekhbakhe, Ighzer et Lyahoudia.

Les infrastructures, les équipements et les habitations sont, également, victimes du phénomène. L'axe routier liant Qsar Gaouz et Tinghras (photo 2) est fréquemment envahie par le sable car situé dans l'ouverture nord du couloir aérologique de Bezma. Dans les localités de Sidi Ahmed Benmadani, Tinghras, Zaouïa d'Ermel et Haroun des maisons et des établissements scolaires (photo 3) sont envahis par des accumulations sableuses.



Photo 2. Envahissement de la route liant Ksar Gaouz et Tinghras (cliché : Benkacem 07-04-2017).



Photo 3. Envahissement du Lycée Hassan II par le sable.

Les effets socioéconomiques de l'avancement de l'ensablement sont lourds. La tentative de quantification des pertes qui lui sont imputées a mis en évidence des valeurs non négligeables pour l'économie locale. A titre indicatif nous avançons ce qui suit :

- le coût moyen d'un hectare cultivable est 40 000 dh ; sachant que la superficie envahie par les sables est 390 ha, on peut conclure que le coût de la perte foncière est 15 600 000 dh ;
- la régression de la productivité des cultures basses est estimée à 3 900 000 dh.

- le coût moyen d'un palmier dattier est 3500dh. 17990 pieds de palmiers dattiers sont asséchés ou abandonnés à cause de l'ensablement, leur valeur est estimée à 62 965 000 dh.
- chaque hectare cultivable offre du travail en moyenne à 8 personnes. Cette perte de jours de travail se traduit automatiquement par l'accroissement de la précarité des foyers. D'ailleurs, 35% des paysans enquêtés projettent de fuir le bled !!

Conclusion

L'ensablement, phénomène à genèse complexe, est un des facteurs de dégradation des agrosystèmes oasiens de Tafilalet. Son impact est pluridimensionnel. Il est à la fois environnemental, culturel et socio-économique. Il contribue directement ou indirectement au dysfonctionnement voire à la destruction de l'agrosystème phoénicicole du Tafilalet. Suite à cette situation, ne peut-on pas craindre, à moyen terme, un grand exode des victimes de la désertification ?

Bibliographie

- Akdim B., 2012. Les équilibres des oasis marocaines et perspectives de leur développement : une approche synthétique. *Geomaghreb*, 12: 1-23 (en arabe)
- Akdim. B., Laouane M. et Sabiri A. (2017). Le Sud-Est marocain (Présahara). Travaux d'association de recherche en gestion durable des terres. En marge de la publication du rapport de 2013 du programme national de lutte contre la désertification, actualisation et adaptation aux spécificités zonales. Rabat. Pp. 79-112.
- Benmohammadi A. Benmohammadi L. Ballais J.L. et Riser J. (2000). Analyse des interrelations anthropiques et naturelles : leur impact sur la recrudescence des phénomènes d'ensablement et de désertification au sud – est du Maroc. *Sécheresse*; 11 (4) : 297-308.
- Bensaid A. (2006). SIG et Télédétection pour l'étude de l'ensablement dans une zone aride : cas de la Wilaya de Naâma (Algérie), Thèse de doctorat, institut de Géographie alpine, université Es-Senia.
- Chemin M.C. (1984). L'ensablement dans les palmeraies du Sud-est marocain. Nécessité d'une approche locale, régionale et synoptique pour la compréhension des effets de la dynamique éolienne. *Études de cas. Travaux de l'Institut de Géogr. de Reims*, n°59- 60, pp.111-130.
- FAO (1988). Manuel de fixation des dunes, département des forêts de la FAO, Roma (www.FAO.Org).
- Ghanam M. (2013). La désertification au Maroc-Quelle stratégie de lutte? 2 nd FIG régional conférence, Marrakech, Maroc, pp 1-13.
- Khardi A. (2001). Désertification et gestion des systèmes fragiles oasiens : cas du Tafilalet. *Revue H.T.N. N° 119 - juin 2001*.
- Kerroumi M. (2013). Contribution à l'étude de lutte contre l'ensablement aux palmeraies de Rissani. Examen d'aptitude professionnelle pour l'accès au technicien premier grade (ORMVAT).
- Laouane M., 2005. Héritages quaternaires: significations paléoclimatique et paléogéographiques dans la Hamada de Meski (SE du Maroc). Thèse de doctorat d'Etat es-Lettres, Université Abdelmalek Essaadi, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines Tétouan. 340 p, 3 planches hors texte.
- Margat J., 1962. Mémoire explicatif de la carte hydrogéologique de la plaine de Tafilalet. Notes et mémoires du Serv. Géol. n° 150 bis, 275p

- Mainguet M., 1984. Où il faut parler d'éologie, d'épilithe, d'actions éoliennes et de protection des cadres de vie humaine sur la terre. Travaux de l'institut de géographie de Reims. n° 59-60. pp. 3-8.
- Mainguet M, Dumay F, Kabiri et Rémini B., 2010. Prodrômes of desertification in the oasis of Tafilalet in Morocco and specific local solution. Global, Environmental Change, Disasters and Security, Threats, Challenges, "Vulnerabilities and Risks OTAN". Vol 5, pp: 901-919.
- argat J., 1953. Evolution morphologique récente des plaines du bassin quaternaire du Tafilalet et l'âge des limons de palmeraie. Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc 117: 123-133
- Riser J., 2010. Les espaces de vent. Edition Quae, RD 10, F-78026 Versailles cedex. Pp 255.
- Rognon P., 2007. Quel avenir pour les déserts face aux progrès de la désertification ? Sécheresse, 18, 4: 349-353
- Sadiki A., Navas A., Machin J., Gaspar L., Kabiri L. et Faleh A., 2013. Les sols dans le pays du Ziz (Sud-est marocain), caractéristiques et aspects de dégradation. Info-Print: El Kadissia-Lido- Fès p106.
- عقاوي الغازي، 2006 . الماء والتهية والدينامية الريحية الحالية بحوض غريس الأوسط، أطروحة لنيل شهادة الدكتوراه في الجغرافيا، كلية الآداب والعلوم الإنسانية سايس-فاس.

HYDROGEOLOGIE ET MODELISATION HYDRODYNAMIQUE DE LA NAPPE DE TINEJDAD (SUD-EST MAROCAIN)

Abderrahman MAHBOUB⁽¹⁾, Brahim AIT SAID⁽²⁾, El Mati EL FALEH⁽²⁾, El-Mostafa MILI⁽²⁾, Hala MOUDDEN⁽¹⁾, Jihane TLEMCANI⁽¹⁾, Souad BOUMESHOUL⁽¹⁾, Abderrahman OUTALB⁽¹⁾, Dounia KAMSA⁽¹⁾.

⁽¹⁾ Agence du Bassin Hydraulique du Guir-Ziz-Rhéis, Errachidia, Maroc - e-mail : mahboub.abderrahman@gmail.com

⁽²⁾ Equipe de Recherche Laboratoire de Géosciences, géodynamique et géoressources. Faculté des Sciences de Meknès, Maroc - e-mail: br.ait.said@gmail.com

Résumé: L'aire de cette étude fait partie de la zone d'action de l'Agence du Bassin Hydraulique du Guir-Ziz-Rhéis, située dans le bassin de Rhéis au Sud-Est marocain. La zone d'étude présente deux différentes caractéristiques de relief, la majeure partie se présente sous forme d'une plaine occupant une dépression couverte de sols alluvionnaires et présente un bon potentiel de recharge de la nappe superficielle. Cette zone est en pente douce de l'ordre de 5% vers l'Est. La deuxième concerne les reliefs montagneux dont l'élévation maximale dépasse à quelques endroits 1800 m (Ifegh). En termes d'hydraulique souterraine, les ressources en eau se répartissent selon les domaines géologiques constituant le système aquifère dépendent essentiellement dans leur partie quaternaire des précipitations. Le milieu naturel est marqué par l'aridité climatique qui s'exprime en premier lieu par la faiblesse et l'irrégularité spatiotemporelle des précipitations et par les fluctuations remarquables de la température. La synthèse hydrogéologique a permis de déduire que la nappe présente actuellement un bilan négatif, tandis que l'utilisation du modèle de simulation développé par l'ABHGZR a permis de relever l'état de la nappe par rapport à l'exploitation des eaux souterraines à différents horizons et sous l'effet de son alimentation par les apports du barrage de Timkit et des seuils de recharges. Les résultats ont montré que le barrage peut assurer le maintien du niveau d'eau de la nappe dans le cas des prélèvements normaux même au-delà d'une durée de 20 ans d'exploitation, même avec une augmentation des prélèvements d'un pourcentage de 15%.

Mots clés: Modélisation hydrodynamique, Nappe de Tinejdad, Sud-Est marocain.

HYDROGEOLOGY AND HYDRODYNAMIC MODELLING OF THE TINEJDAD GROUNDWATER (SOUTH-EAST MOROCCO)

Abstract: The area of this study is part of the action zone of the Agency of the Hydraulic Basin of Guir-Ziz-Rheris, located in the Rheris basin in South-East Morocco. The study area presents two different relief characteristics, the major part of is in the form of a plain occupying a depression covered with alluvial soils and has a good potential for recharging the area water table aquifer. This area is gently sloping south by 5%. The second concerns the mountainous reliefs whose maximum elevation exceeds in some places 1800 m (Ifegh). In terms of underground water in this area, the water resources are distributed according to the geological domains constituting the aquifer system depend essentially in their quaternary part on precipitations. The natural environment is marked by climatic aridity which is expressed primarily by the low and spatiotemporal irregularity of precipitation and by the remarkable fluctuations in temperature. The hydrogeological synthesis has revealed that the groundwater presents a negative balance, while the use of the simulation model developed by the ABHGZR allowed to note the state of the water aquifer by contribution to the exploitation of groundwater at different horizons and under the effect of its recharge by the contributions of the Timkit Dam and the recharging weirs. The results showed that the dam can ensure the maintenance of the groundwater level in the case of normal withdrawals even after 20 years of operation and with an increase in withdrawals of a percentage of 15%.

Keywords: Hydrodynamic modeling, Tinejdad aquifer, Southeast Morocco.

Introduction

La nappe de Tinejdad-Touroug est menacée par la surexploitation en raison de l'intensification des pompages agricoles. Afin de restaurer le niveau d'eau à son état normal et bénéficier des fortes pluies occasionnelles, la technique la plus adaptée pour les eaux des crues est la mise en place de seuils au niveau des oueds pour augmenter artificiellement la surface de contact au niveau des bras morts et diminuer les vitesses de l'écoulement à l'aval du seuil (Mahboub et al., 2019).

La présente étude a été menée dans le bassin de Ferkla dans le Sud-Est du Maroc, dans le but d'étudier la situation hydrologique et hydrogéologique du bassin et de développer des stratégies de gestion de l'eau sur la base des données de l'Agence du Bassin Hydraulique de Guir-Ziz- Rhéris. Cette étude tente à vérifier également l'apport favorable des seuils de recharge artificielle réalisés au niveau de la zone d'étude ainsi que l'apport du barrage de Timkit situé en amont et ensuite quantifier les ressources en eau souterraines disponibles et réaliser des scénarios pour une gestion rationnelle de cette substance vitale au niveau de la région de Tinejdad.

1. Description de la zone d'étude

La zone d'étude est située au Sud-Est du Maroc et appartient au territoire administratif de la province d'Errachidia. Elle fait partie du bassin versant du Rhéris (partie aval) et couvre la totalité de la palmeraie de Tinejdad.

La morphologie est typiquement oasienne dans cet endroit qui fait partie des oasis du Sud-Est marocain. La région se présente sous une plaine allongée E-W et entourée de part et d'autre par des terrains montagneux. Elle est traversée par un cours d'eau principal : l'Oued Ferkla qui joint l'Oued Rhéris au niveau de Touroug vers l'extrémité Est de la zone d'étude. Les altitudes sont comprises entre 1840 (Timkit) et 857 m (Touroug) au-dessus du niveau de la mer (Fig. 1).

La région est soumise à un climat aride-continentale caractérisé par un déficit de précipitations et un excès en termes des températures. La moyenne des précipitations annuelles enregistrées au niveau de la station Merroucha pendant la période allant de 1977 à 2012 est de 90,4 mm dont plus de 80 % de ces précipitations ont lieu entre septembre et Avril. La température maximale la plus élevée est enregistrée au mois d'août (47,2 °C) et la plus basse est enregistrée pendant le mois de janvier (-3,4 °C).

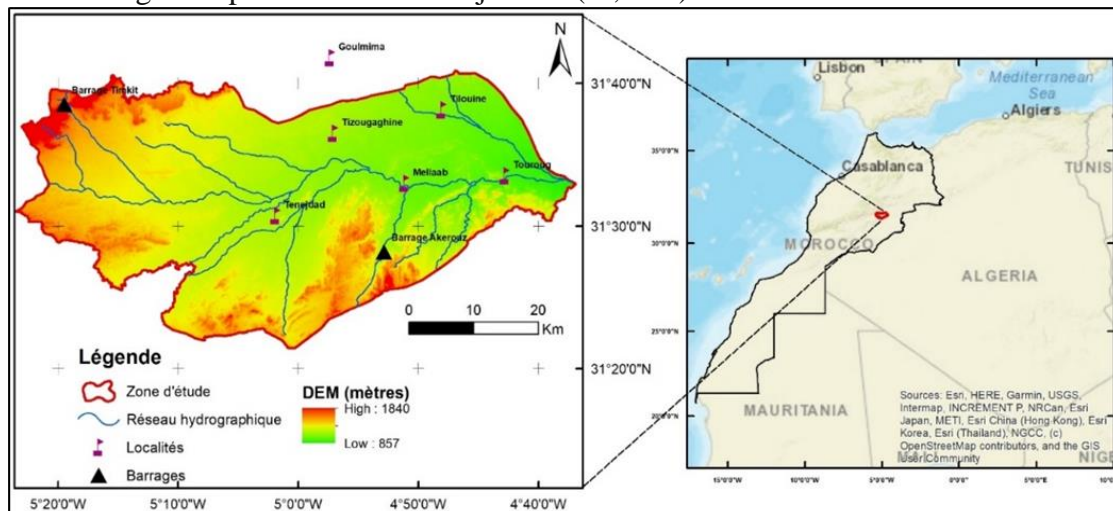


Figure 1: Carte de localisation, model numérique de terrain (MNT) et réseau de drainage du bassin de Ferkla.

2. Géologie et hydrogéologie

La partie Sud de la région est occupée par les prolongements du massif de l'Ougnat, il s'agit des affleurements sédimentaires, volcaniques et volcano-détritiques en plus des roches

éruptives du Protérozoïque et de Néoproterozoïque (Dainelli, P., et al. 2007). Le Paléozoïque localement schisteux, constitue partout le substratum du Quaternaire et le mur de la nappe. Le Mésozoïque apparaît au Nord-Ouest de la zone où l'unité crétacée est fortement restreinte au contact anormal avec le Haut-Atlas calcaire le long de l'accident Sud-atlasique au niveau d'Ifegh. La plaine est occupée par des dépôts alluvionnaires quaternaires principalement du sable, des limons, des galets grossiers et des conglomérats (Ruhard J.P. 1977).

La superficie de la nappe est d'environ 347 km² et son épaisseur est d'environ 15 m (Mahboub et al., 2019). L'écoulement s'effectue du SW au NE à l'Ouest de Tinejdad et devient Ouest-Est en direction de Touroug avec un gradient qui diminue de l'Ouest vers l'Est. La recharge est assurée principalement par les eaux des crues des Oueds, l'infiltration directe des précipitations en plus du retour des eaux d'irrigation.

Les transmissivités varient de 3,5 à Mellaab et $7 \cdot 10^{-2}$ m²/s à Touroug. Soit une moyenne de $4,5$ à $5 \cdot 10^{-2}$ m²/s dans la totalité de la nappe (Ruhard J.P. 1977, Mahboub et al., 2019), la perméabilité moyenne est de l'ordre de $2,9 \cdot 10^{-4}$ m/s.

La qualité des eaux est généralement bonne en particulier au niveau de la palmeraie de Tinejdad alors que la qualité des eaux au niveau des palmeraies situées en aval paraît affectée par la salinité qui augmente en raison du lessivage des sols (Baki S., 2017).

3. Matériels et méthodes

❖ Essais de pompage

Comme l'aquifère est dans des conditions non confinées et est composé de dépôts alluvionnaires non consolidés, la méthode de Cooper et Jacob a été utilisée pour l'interprétation et le calcul des paramètres hydrodynamiques.

Les valeurs de transmissivité calculées sont comprises entre $3,4 \cdot 10^{-2}$ et $6 \cdot 10^{-2}$ m²/s avec une moyenne de $4,7 \cdot 10^{-2}$ m²/s (Fig. 2.A), tandis que la capacité de stockage pour cet aquifère est de l'ordre de $6,1 \cdot 10^{-2}$ (Fig. 2.B). Le rayon d'influence est situé entre 0,3 et 43,8 m avec une moyenne d'environ 9 m.

Les valeurs calculées dans cette étude pour la transmissivité sont très faibles par rapport aux valeurs citées précédemment par les autres auteurs, ce qui renseigne sur un approvisionnement en eau plus faible. Les valeurs de coefficient d'emménagement sont à leurs tours très faibles indiquant une bonne capacité à retenir plus d'eau.

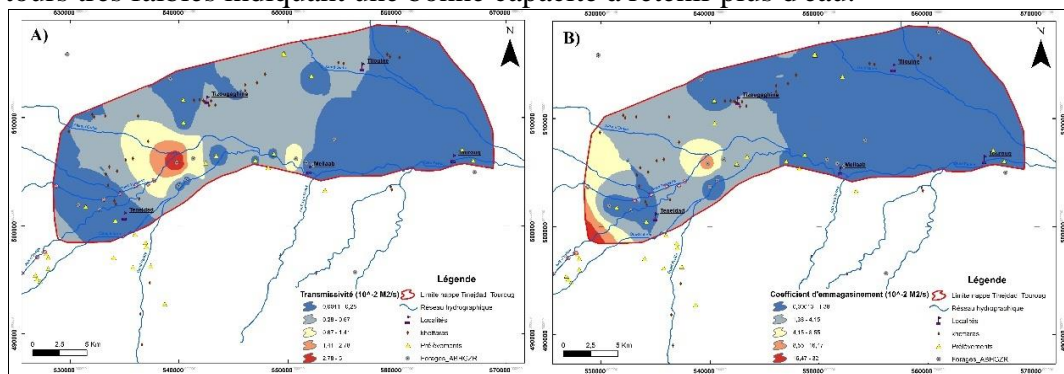


Figure 2 : A) carte de la transmissivité dans la zone d'étude, B) carte des coefficients d'emménagement de la zone d'étude.

❖ Modélisation hydrodynamique de la nappe

La méthode choisie est celle des éléments finis, elle consiste à faire une approximation des équations aux dérivées partielles en un système d'équations mathématiques. Dans notre cas on a choisi un maillage carré (500 m x 500 m) ayant quatre nœuds qui permettent de définir une fonction H (Potentiel Pondéré) en fonction des 4 nœuds constituant chaque élément.

Pour discrétiser le système on tient compte de la densité et de la variabilité des données disponibles, selon les mailles carrées régulières de l'ordre de 500 m x 500 m.

Les équations utilisées pour la transformation des coordonnées d'un élément quadrilatéral (e) en un élément carré sont les suivantes:

$$x = x(\varepsilon, n) = \tilde{N}_i^\varepsilon(\varepsilon, n) x_i + \tilde{N}_j^\varepsilon(\varepsilon, n) x_j + \tilde{N}_m^\varepsilon(\varepsilon, n) x_m + \tilde{N}_n^\varepsilon(\varepsilon, n) x_n \quad (1)$$

$$y = y(\varepsilon, n) = \tilde{N}_i^\varepsilon(\varepsilon, n) y_i + \tilde{N}_j^\varepsilon(\varepsilon, n) y_j + \tilde{N}_m^\varepsilon(\varepsilon, n) y_m + \tilde{N}_n^\varepsilon(\varepsilon, n) y_n \quad (2)$$

Avec :

$$\tilde{N}_i^\varepsilon(\varepsilon, n) = 14(1-\varepsilon)(1-n); \quad \tilde{N}_j^\varepsilon(\varepsilon, n) = 14(1+\varepsilon)(1-n)$$

$$\tilde{N}_m^\varepsilon(\varepsilon, n) = 14(1+\varepsilon)(1+n); \quad \tilde{N}_n^\varepsilon(\varepsilon, n) = 14(1-\varepsilon)(1+n)$$

Et :

$$G_{L,i}^\varepsilon = \iint \left(\frac{\partial \tilde{N}_i^\varepsilon}{\partial x} \frac{\partial \tilde{N}_L^\varepsilon}{\partial x} + \frac{\partial \tilde{N}_i^\varepsilon}{\partial y} \frac{\partial \tilde{N}_L^\varepsilon}{\partial y} \right) \quad (3)$$

Avec :

$$\frac{\partial \tilde{N}_i^\varepsilon}{\partial x} = \frac{\partial \tilde{N}_i^\varepsilon}{\partial \varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} + \frac{\partial \tilde{N}_i^\varepsilon}{\partial n} \frac{\partial n}{\partial x}; \quad \frac{\partial \tilde{N}_i^\varepsilon}{\partial y} = \frac{\partial \tilde{N}_i^\varepsilon}{\partial \varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} + \frac{\partial \tilde{N}_i^\varepsilon}{\partial n} \frac{\partial n}{\partial y}$$

Donc :

$$G_{L,i}^\varepsilon = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \left\{ \left(\frac{\partial \tilde{N}_i^\varepsilon}{\partial \varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} + \frac{\partial \tilde{N}_i^\varepsilon}{\partial n} \frac{\partial n}{\partial x} \right) \left(\frac{\partial \tilde{N}_L^\varepsilon}{\partial \varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} + \frac{\partial \tilde{N}_L^\varepsilon}{\partial n} \frac{\partial n}{\partial x} \right) + \left(\frac{\partial \tilde{N}_i^\varepsilon}{\partial \varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} + \frac{\partial \tilde{N}_i^\varepsilon}{\partial n} \frac{\partial n}{\partial y} \right) \left(\frac{\partial \tilde{N}_L^\varepsilon}{\partial \varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} + \frac{\partial \tilde{N}_L^\varepsilon}{\partial n} \frac{\partial n}{\partial y} \right) \right\}$$

$|J|d\varepsilon dn$

L'équation de l'hydrodynamique souterraine est la suivante : $T_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + T_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = S \frac{\partial h}{\partial t} - R$

Avec :

T_x: Transmissivité suivant X; **T_y**: Transmissivité suivant Y ;

S: Coefficient d'emmagasinement; **R**: Recharge (source et puits).

Le principe est d'optimiser le résidu de l'équation de Poisson sur tout le domaine de l'étude par intégration par partie en utilisant la méthode de Galerkinge (H.F.Wang, 1982). Cette dernière permet de transformer un problème continu en un problème discret et consiste à utiliser un maillage du domaine d'étude en considérant la restriction de la fonction solution sur chacune des mailles.

Le code de calcul utilisé est développé par l'équipe de l'ABHGZR. C'est une simulation par le modèle hydrodynamique couplé avec VBA-Excel-SIG afin de prévoir les réponses des nappes souterraines par rapport aux scénarios de prélèvements d'eau.

4. Résultats et discussion

Les résultats obtenus par le modèle sont satisfaisants, ce qui permet de l'utiliser sans réserve pour simuler les différents scénarios (Tlemcani et al., 2019). Les résultats sont présentés sous forme des cartes des contours d'égales valeurs (carte piézométrique) dans lesquelles on note la fluctuation du niveau piézométrique issu des conditions aux limites initiales, ainsi que la comparaison entre la simulation de l'année actuelle afin d'aboutir à la simulation d'ici 20 ans.

❖ 1^{er} scénario: Simulation de la réponse hydrodynamique de la nappe en absence du flux du barrage de Timkit (Fig. 3.A) :

En absence des apports provenant du barrage de Timkit, on observe des abaissements du niveau piézométrique en particulier autours des palmeraies. La zone de Tinejdad enregistre des niveaux presque stables en présence de l'apport des seuils de recharge situé à cet endroit, la baisse est très négligeable (0,02 m).

Les écarts calculés pour la simulation de 20 ans d'exploitation sont plus importants vers la partie Est qui connaît des prélèvements importants. La baisse dans ce cas est estimée à 0,15 m pendant les 20 ans d'exploitation.

❖ **2^{ème} scénario : Simulation de la réponse hydrodynamique de la nappe en présence du flux du barrage de Timkit (Fig. 3.B):**

Malgré le nombre important des khetaras et des points de prélèvements situés en amont de la nappe de Tinejdad, cette zone enregistre des niveaux piézométriques élevés par rapport à la partie Est en présence des apports provenant du barrage de Timkit.

La piézométrie simulée montre une baisse de 0,07 m pour une durée de 20 ans d'exploitation et de 0,01 m pendant un an d'exploitation, l'effet donc positif du barrage est très évident et c'est illustré par l'allure des isopièzes présentés ci-dessous.

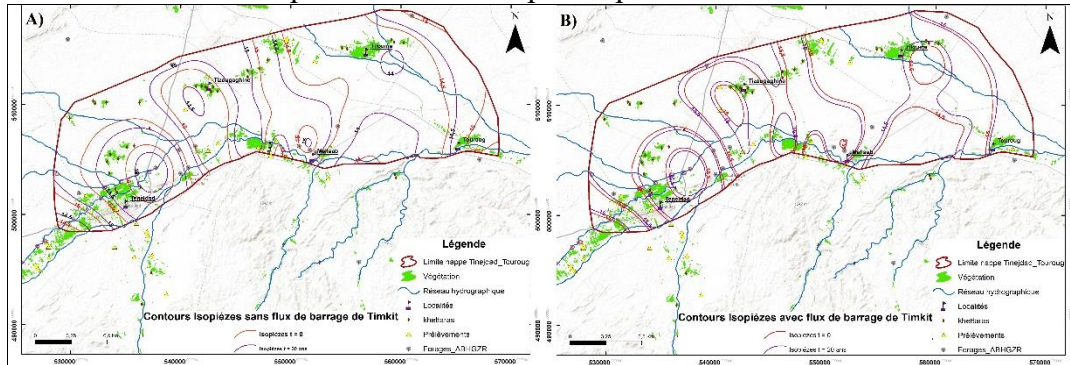


Figure 3 : Contours isopièzes des différents scénarii simulés par le model pour des périodes d'un an et de 20 ans : A) 1^{er} scénario, B) 2^{ème} scénario

❖ **3^{ème} scénario: Simulation de la réponse hydrodynamique de la nappe dans le cas d'accentuation des prélèvements (une augmentation de 15% des prélèvements) en absence du flux provenant du barrage de Timkit (Fig. 4.A)**

L'augmentation du taux des prélèvements peut entraîner une fluctuation importante du niveau piézométrique dans le sens négatif. L'impact des prélèvements s'avère intense dans la partie Sud-Est (Mellaab et Touroug) par rapport aux autres localités. La baisse dans ce cas est de 0,03 m pour une période d'un an et de 0,16 m pour une période de 20 ans.

❖ **4^{ème} scénario: Simulation de la réponse hydrodynamique de la nappe dans le cas d'accentuation des prélèvements (une augmentation de 15% des prélèvements) en présence du flux provenant du barrage de Timkit (Fig. 4.B)**

Dans ce cas et malgré l'augmentation des prélèvements de 15 %, les apports du barrage de Timkit ont permis une baisse piézométrique non significative soit une augmentation du niveau de 0,1 m par rapport au scénario précédent. On observe aussi une différence spatiale du niveau piézométrique entre la zone de Tinejdad (Ouest) qui profite des apports du barrage de Timkit et de la recharge artificielle à partir des seuils de recharge construits par les services de l'ABHGZ et la zone de Touroug (Est). On observe dans ce cas une baisse de 0,01 m pendant une durée d'un an et de 0,07 m pendant une période de 20 ans.

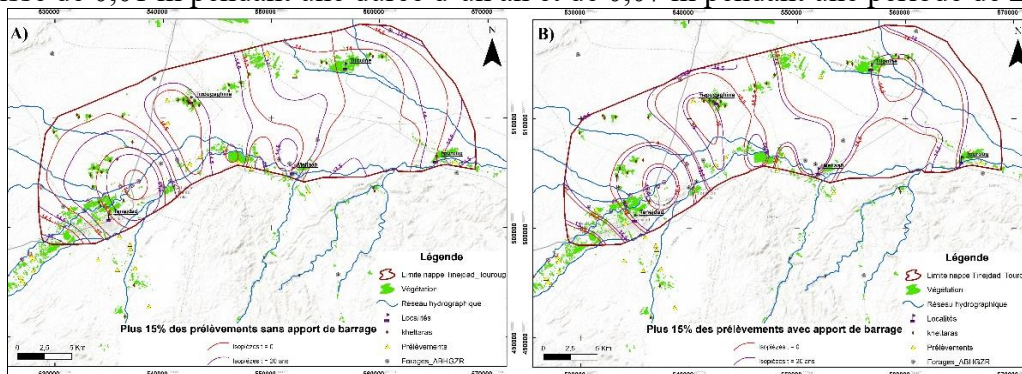


Figure 4 : Contours isopièzes des différents scénarii simulés par le model pour des périodes d'un an et de 20 ans: A) 3^{ème} scénario et B) 4^{ème} scénario.

Conclusion

Les résultats de la modélisation hydrodynamique ont montré une baisse des niveaux d'eau autour des points des prélèvements et des palmeraies surtout dans la partie Est de la zone d'étude, la baisse la plus importante est observée dans le scénario qui prévoit la diminution des apports moyens annuels de 30%. Dans ce cas la baisse peut atteindre 1 m à l'horizon de 20 ans, alors que la campagne de mesures effectuée par l'ABHGZR au niveau de cette nappe en juin 2006 a montré une baisse de 2 m pendant une période de 10 ans et de 4 m depuis 1981.

Ceci montre l'effet bénéfique des apports du barrage de Timkit et des seuils de recharge sur la nappe dans les différents scénarii considérés ci-dessus, particulièrement au niveau des localités de Tinejdad et Tizougaghine où se situe le grand nombre de points de prélèvement et des khetaras drainantes. Ces résultats ont été confirmés par des mesures enregistrées au niveau des piézomètres (N° IRE 2602/56, 2603/56, 2604/56, 2605/56) réalisés par l'Agence du Bassin Hydraulique de Guir-Ziz- Rhéris dans la région afin de contrôler la nappe quaternaire de Tinejdad-Touroug.

Références bibliographiques

- BAKI, S., (2017). Les ressources en eau dans les zones arides et sahariennes : Apport de la Géomatique à la caractérisation des ressources en eau ; cas du bassin versant de l'Oued Rhéris Sud-Est Marocain : Thèse d'Etat, Faculté des Sciences Rabat.
- DAINELLI, P. et al., (2007) Dir. Geol. Maroc. Geological map of Morocco at 1 / 50.000 Taroucht Explanatory note. Notes and Mem. Serv. Geol Morocco NH-30- XIX-2d.
- H.F. WANG, M. P. A., (1982). H.F. Wang, M.P. Anderson, Introduction to groundwater modeling; Finite Difference and Finite Element methods. University of Wisconsin, Madison. Academic Press Inc. California, 1982, 246p.
- MAHBOUB, A. et al., (2019). Hydrogeological characterization and artificial recharge of the Tinejdad palm groove aquifer (South-East Morocco), Environmental and Water Sciences, public Health and Territorial Intelligence Journal, pp. 01-14 Pages.
- RUHARD J.P., (1977). Le bassin quaternaire du Tafilalt. In : Ressources en Eau du Maroc, tome 3, Domaines atlasique et sud-atlasique. Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc, 374-514.
- TLEMCANI, J. et al., (2019). Hydrogeology and groundwater modeling of the Boudenib senonian aquifer (Southeastern Morocco), Environmental and Water Sciences, public Health and Territorial Intelligence Journal, pp. 221-230 Pages.

**MAPPING OF FAVORABLE GROUNDWATER POTENTIAL RECHARGE AREAS
IN ARID REGIONS: A CASE OF THE ISLY BASIN
(HORST BELT, NORTHEASTERN MOROCCO)**

Soufiane ZIANI, Driss KHATTACH, Nordine NOUAYTI et Jamila ABDERBI
Laboratory of Applied Geosciences, Department of Geology, Faculty of Sciences, Mohammed 1st
University, Oujda, Morocco. *sziani2013@gmail.com*

ABSTRACT: In the Isly basin, an arid area in Morocco, access to water resources is a key factor in its socio-economic development. The purpose of the present study is to contribute to the search for areas suitable for the establishment of productive water wells by mapping potential groundwater area storage. It is based on the use of remote sensing methods and a geographic information system (GIS) to cover the entire region (920 km²). Data on five parameters influencing groundwater storage (rainfall, lithology, rock fracture, slope, and drainage) were integrated into an empirical model and validated using well discharge data and the location of springs. Results show that the survey area is potentially rich in groundwater, with over 60% of the Isly watershed having a “moderate” to a “very high” potential for groundwater reservoirs. The resulting model makes up an important decision support tool since it allows favorable groundwater drilling locations to be identified.

Keywords: Isly basin - groundwater - water storage - remote sensing - GIS.

1. INTRODUCTION

The arid regions of Morocco such as the studied area, where rainfall is not regular, are suffering from water scarcity problems. The difficulties are exacerbated by the over-exploitation of water resources for agriculture, mining, or daily activities. However, access to water resources, especially potable water, is a crucial factor for sustainable development (BAKI *et al.* 2017). The aim of this study is to assess the potential for groundwater storage in the region that is underlain by the Isly basin, to contribute to the search for suitable areas for groundwater withdrawal for productive uses, and to enable a good coverage of the water needs of the region.

In the present study, we have combined remote sensing and Geographic Information System (GIS) techniques with a hydrogeological conceptual model to determine the groundwater prospects of the region. This was done as these are the most effective and economical methods of assessing the likely availability of groundwater while covering large areas. The application of these procedures to estimate groundwater potentiality has recently attracted the attention of many researchers in different regions of the world (AHMED *et al.* 1984; TEEUW 1995; SANDER *et al.* 1996; EDET *et al.* 1998; MASHAEL 2010).

The process that used in this study to assess the likely availability of groundwater was based on the exploitation of data extracted from topographic maps, satellite images, digital terrain models and geological map, to develop a thematic mapping of the parameters that were used to develop a groundwater availability model. The validation procedure was based on a comparison of the results got from the developed model with flow rates at known groundwater withdrawal locations.

Geological and hydrogeological review

The Isly basin is in the northeast of Morocco (Fig.1), geographically, situated between X=790 000, X=850 000 and Y=415 000, Y= 460 000 (Lambert_Conformal_Conic). Representing one of the principal watersheds of the Horst belt, Isly valley is surrounded by

several mountain ranges (Metsila, Touissit and Tiouli mountains) that extend from 597 m to 1654 m in altitude.

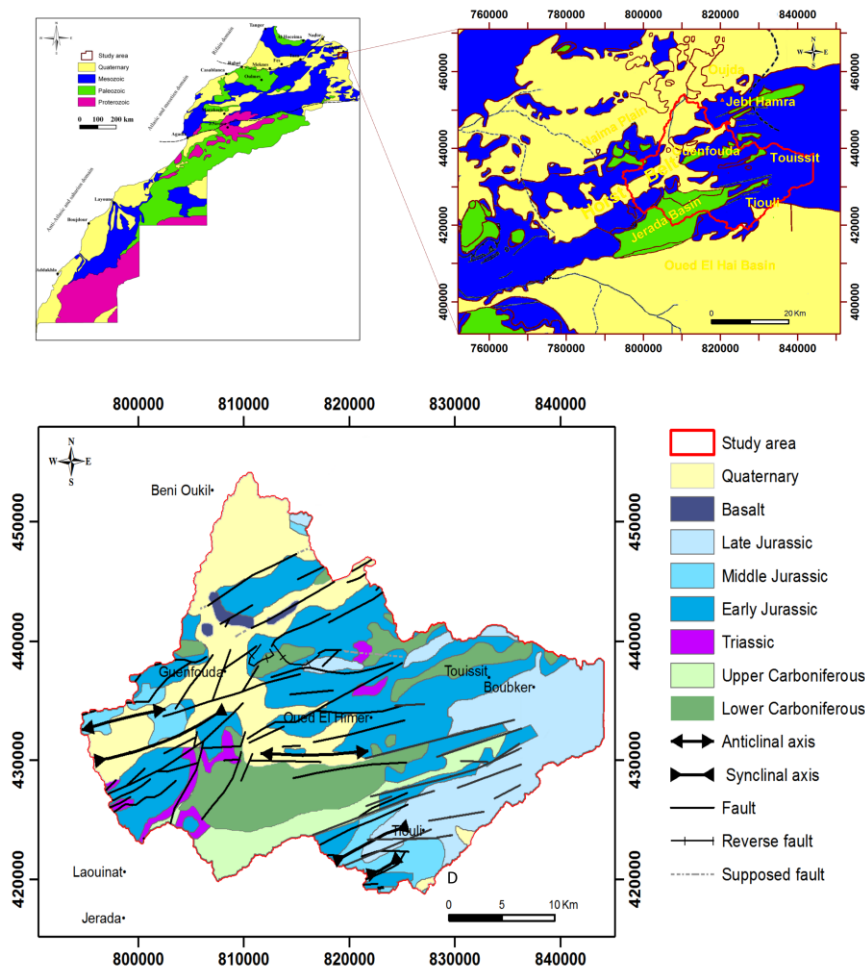


Figure 1. Location of the study-area and simplified geological map of the Isly basin

Geologically, rocks within the Isly basin range from the Paleozoic to the Plio-Quaternary in age. The oldest rocks are intruded by granitic bodies and have been deformed by Hercynian then Alpine orogenesis (PIQUE *et al.* 1989). The Mesozoic and Plio-Quaternary cover comprise detrital deposits, basalt flows and carbonate sediments (CATTANEO 1987).

The geomorphology of the Isly basin covers a variety of mountain ranges, from which several streams flow into the Isly valley over an area of about 920 km². The hydrological setting of the study-area is characterized by a dense hydrographic network, constituting the headwaters of a majority of the rivers that run along the Isly watershed (Fig.2a).

The groundwater depths in the study-area vary from a few meters to over 76 m. Yields from individual wells can exceed 40 l/s in the fractured Liassic formations in the region and the electric conductivity values of groundwater and vary between 890 and 1190µS/cm. The main springs documented in the Isly watershed have been identified by Mortier *et al.* (1967).

The Isly basin is in an arid bioclimatic region (El Hafid *et al.* 2017). The temperature has significant seasonal variations with a cold winter and a hot summer, while annual rainfall regime is characterized by the existence of two rainy seasons in autumn and spring, with an average annual rainfall reaching 245 mm in the high basin and 200 mm downstream of the basin (Fig. 2b).

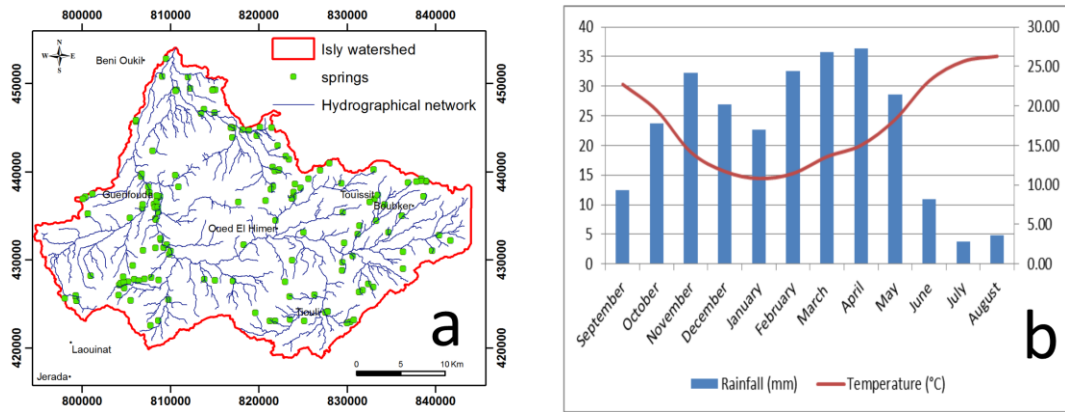


Figure 2. (a) The Isly watershed and location of springs (b) Correlation of rainfall with temperature from Guenfouda meteorological station.

2. DATA AND PROCESSING

It involves various factors in determining potential areas for groundwater storage. MASHAEL (2010) summarized several studies by indicating the quality of the results got according to the parameters used. He found that the variables that were considered in developing a groundwater availability model would have an enormous influence on the outcomes and their reliability. The elements that are often used to develop such models are usually rainfall, rock type, lineaments, slope, and drainage.

Integrating these factors systematically into a GIS tool as thematic layers will cause a map showing potential zones for groundwater storage, with several categories (Fig. 3). In this study, this was done using the following weights for each parameter: rainfall (10%), rock fractures (lineaments) (30%), lithology (30%), drainage (15%) and slope (15%).

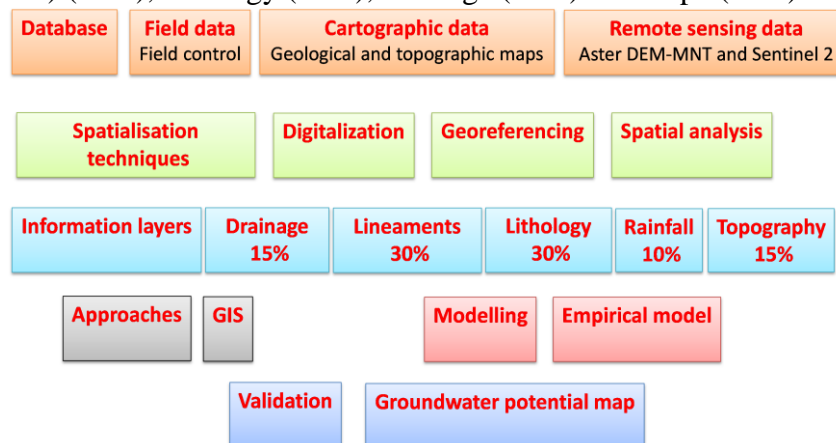


Figure 3. Organizational methodology adopted for empirical Model of the Isly basin

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

The frequency and magnitude of rainfall events and their reliability have a significant impact on the amount of recharge that groundwater systems will receive. In this study, we classified the rainfall map into five major classes. Fig. 4a shows that annual average precipitation gradually decreases from the east to the western part of the study area.

Lithology has a significant impact on groundwater availability as this factor influences the amount of water that can be stored in the sub-surface (EL-BAZ and HIMIDA 1995) and that can be transported in groundwater flow (OIKONOMIDIS et al. 2015). In the study-area, an empirical classification of the lithological formations was carried out. A chart with five classes revealed rock layers with similar hydrologic properties. (Fig.4b).

Fracturing may enhance the porosity and permeability of rocks and increase the ability of surface water to infiltrate into the subsurface and seep into groundwater (DHEKRA et al. 2018). The distribution and density of fractures on the study area were included in the groundwater prospects model to identify potential areas for groundwater storage (Fig.4c).

We divided the resulting lineaments density map into five classes (Fig. 4d). A high lineament length density shows the likelihood of good permeability and porosity in rocks and provides better targets for groundwater recharge than geologic joints, with potentially high levels of deep percolation (YEH HSIN-FU et al. 2016).

Topography plays a role in influencing the amount of surface water that can infiltrate into the groundwater. The greater slope, the faster surface runoff and the less recharge will result (Fig. 4e). In this study, we got the generation of a slope map from a digital elevation model (DEM), which gives a three-dimensional view of the field surface. The classification adopted is the SOTER model (EUROPEAN COMMISSION 1995).

Drainage density has a contribution in distributing storm-water and provides a sign of the infiltration regime (HUANG CHIH-CHAO et al. 2013). The resulting drainage density map (Fig. 4f) yielded five drainage classes. The area with high drainage density has a high level of groundwater recharge.

The empirical model results from the integration and superposition of the different parameters, which influence groundwater storage as layers in the GIS tool. For each parameter, we assigned a coefficient with a weight according to its importance. The map of potential groundwater storage zones is got by adding the effect of the five factors (Fig. 5a).

This model presents 10% of the total area corresponds to the zone of “very high” recharge potential, 20% “high” potential, 30% “moderately” potential, 25% and 15% “low” to “very low” recharge potential of groundwater in the study area. The zone of “medium” to “very high” potential surfaces represents approximately 60% of the total area, suggesting that the Isly basin is relatively rich in groundwater.

To validate the empirical model, the positions and yields of wells and springs in the study area were verified and compared with the potential groundwater availability for these zones that was got from the model (Fig. 5b). It should be noted that these parameters are geographically dependent. From the water point flows we found that there was a good agreement between the predicted productivity of different areas and the returns of the actual water supply points, except for a few water springs and boreholes with high flows in parts with “medium” to “very low” groundwater storage potential.

Accordingly, the observed groundwater yields from water springs and boreholes generally correlate well with the mapped zones of groundwater storage potential. Consequently, the empirical model would allow developers to target areas that are the most prospective for proving an adequate water supply without wasting time and resources in investigating groundwater availability in unprospective area.

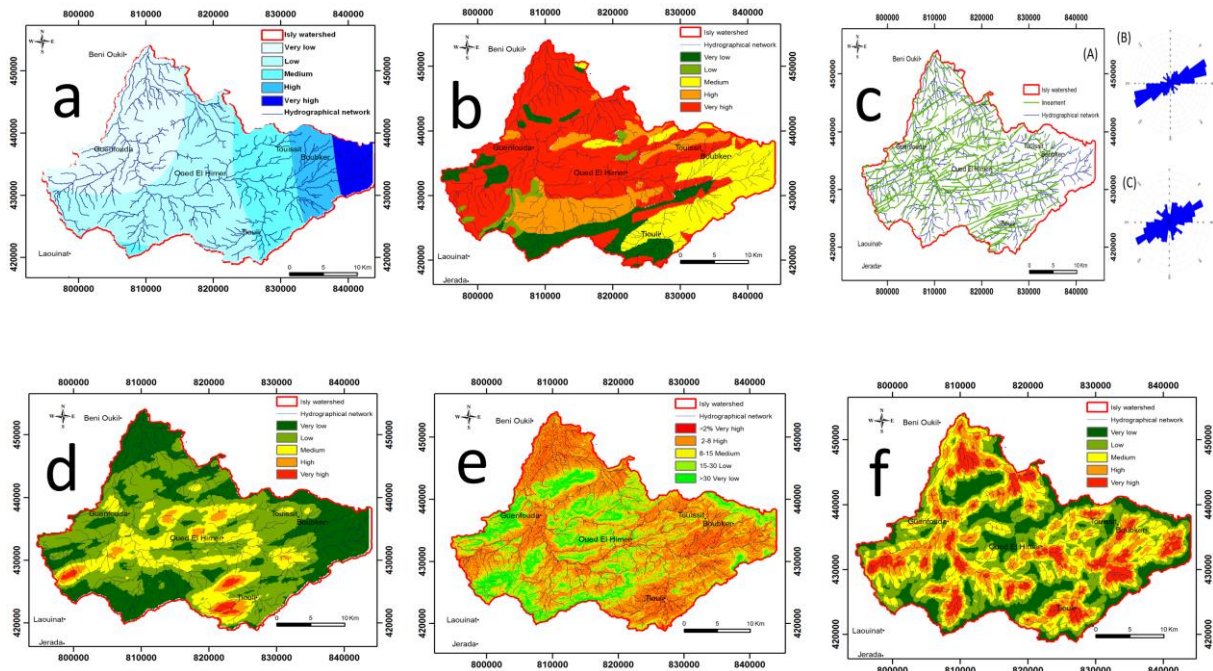


Figure 4. (a) Rainfall map classes of the Isly watershed (b) Map of lithology classes (c) Lineaments map and the directional rosettes (B: total length, C: frequencies) (d) Map of lineament density classes (e) Slope map classes (f) The map of drainage density classes.

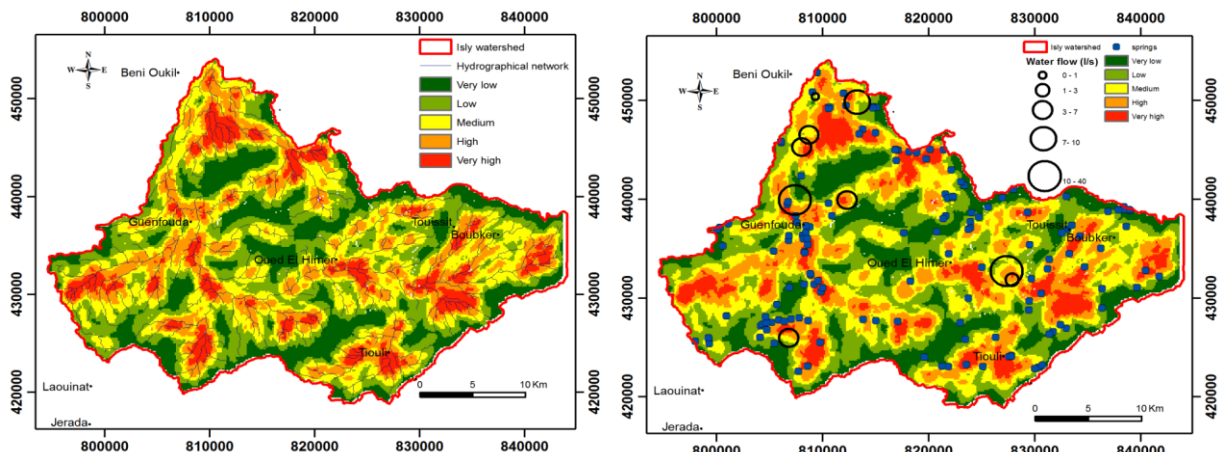


Figure 5. (a) Empirical Model showing groundwater potential zones of the study area (b)

Location of springs and boreholes and their productivity in the potential model of groundwater storages.

CONCLUSION

We developed an empirical model in this study to predict groundwater availability in the Isly basin in Morocco. The model assumes that the spatial variability of groundwater in the study area depends on annual rainfall, lithology, land slope and the density of surface drainage in the watershed. We integrated existing data for these parameters within a GIS environment to map the predicted variation of groundwater storage capacity in the survey area.

This new empirical model shows that about 60% of the Isly watershed has a “moderate” to a “very high” potential for groundwater storage, indicating that the survey area

is potentially rich in groundwater. The proposed model was proved very satisfactory and could be used to select a favorable area to dig water wells.

REFERENCES

- AHMED F., HAGZ Y.A., ANDRAWIS A.S. (1984). Landsat model for Groundwater Exploration in the Nuba Mountains, Sudan. *Adv Space Res* 4(11):123–131.
- BAKI S., HILALI M., KACIMI I et al. (2017). Assessment of Groundwater Intrinsic Vulnerability to Pollution in the Pre-Saharan Areas-the Case of the Tafilalet Plain (Southeast Morocco). *Procedia Earth Planetary Sci* 17:590–593.
- CATTANEO G. (1987). Les formations du jurassique supérieur et du crétacé inférieur de l'avant-pays rifain oriental (Maroc). Unpublished thesis, University of Bourgogne, Dijon, 300 p.
- DHEKRA S., MOHAMED H.M., LAHCEN Z et al (2018). Mapping Groundwater Recharge Potential Zones in Arid Region Using GIS and Landsat Approaches, Southeast Tunisia. *Hydrol Sci J* 63(2):251–268.
- EDET A.E., OKEREKE C.S., TEME S.C et al (1998). Application of Remote Sensing Data to Groundwater Exploration: a Case Study of the Cross River State, South Nigeria. *Hydrogeol J* 6(3):394–404.
- EL-BAZ F., HIMIDA I. (1995). Groundwater Potential of the Sinai Peninsula, Egypt. Project Summary. Boston, MA: Center for Remote Sensing.
- EL HAFID D., ZERROUQI Z., AKDIM B. (2017). Study of Drought Sequences in the Isly Basin (East Morocco); *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n°31, 2017, pp. 83-94.
- EUROPEAN COMMISSION SOIL TERRAIN DATABASE (1995) Land Management & Natural Hazards Unit. IES and JRC, European Commission, Brussels. https://esdac.jrc.ec.europa.eu/projects/SOTER/Soter_Model.html.
- HSIN-FU Y, YONG-SIN C, HUNG-I L et al (2016) Mapping groundwater recharge potential zone using a GIS approach in Hualian River, Taiwan. *Sustain Environ Res* 26(1):33–43
- MASHAEL A.S. (2010). Mapping Potential Areas for Groundwater Storage in Wadi Aurnah Basin, Western Arabian Peninsula, Using Remote Sensing And GIS Techniques. *Hydrogeol J* 18(6):1481–1495.
- MORTIER F., NGUYEN QUANG T., SADEK M. (1967). Hydrogéologie des formations volcaniques du nord-est du Maroc. Service des Ressources en Eau de l'Office National des Irrigations du Maroc.. pp 327-333.
- OIKONOMIDIS D., DIMOGIANNI S., KAZAKIS N et al (2015). A GIS /Remote Sensing-Based Methodology for Groundwater Potentiality Assessment In Tirnavos Area, Greece. *JHydrol* 525:197–208.
- PIQUE A., MICHAEL A. (1989). Moroccan Hercynides, a synopsis. The Palaeozoic Sedimentary And Tectonic Evolution at the Northern Margin of West Africa. *Am J Sci* 289:286–330.
- SANDER P., CHESLEY M., MINOR T. (1996). Groundwater Assessment Using Remote Sensing And GIS in a Rural Groundwater Project in Ghana: Lessons Learned. *Hydrogeol J* 4(3):40–49.
- TEEUW R.M. (1995). Groundwater Exploration Using Remote Sensing and a Low-Cost Geographic Information System. *Hydrogeol J* 3(3):21–30.

**CONTRIBUTION DE LA GEOPHYSIQUE ET L'HYDROGEOLOGIE POUR LE
CHOIX DES MEILLEURS SITES DE FORAGES EN MILIEU DISCONTINU DU
SOCLE FISSURE DE LA REGION DU HODH EL GHARBI, MAURITANIE**

SIDI Sidi-mohamed¹, Abdelaziz Lahmili¹

¹Ecole Mohammadia d'Ingénieurs, L3GIE Université Mohammed V de Rabat
Doctorant, École mohammadia d'ingénieurs / sidimohamed@research.emi.ac.ma

RESUME: Le présent travail porte sur des études hydrogéologiques et géophysiques pour l'approvisionnement en eau potable dans 11 localités de la région du Hodh El Gharbi, au Sud de la Mauritanie. La méthodologie consiste à la mise en œuvre de la géophysique en utilisant les techniques électromagnétiques, magnétiques et électriques. A l'issue de la prospection pour chaque localité, les points les plus intéressants sont sélectionnés en vue de faire l'objet de forages de reconnaissance transformables en forages d'exploitation pour les débits de 5m³/h au minimum, A la fin de l'investigation toutes les localités sont alimentées en eau potable à l'exception des localités d'Oum-lekhcheb et Edebaye-ould-egueyle où tous les forages réalisés sont avérés négatifs.

Mots-clés: Mauritanie, Hodh El Gharbi, Hydrogéologie, Géophysique, Forage, Alimentation en eau potable.

**Contribution of geophysics and hydrogeology for the choice of the best drilling sites in
discontinuous medium, of the fissured basement of the region of Hodh el gharbi,
Mauritania**

ABSTRACT: The present work concerns hydrogeological and geophysical studies for the supply of drinking water in 11 localities of the Hodh El Gharbi region, in the south of Mauritania. The methodology consists of the implementation of geophysics using electromagnetic, magnetic and electrical techniques. At the end of the prospecting for each locality, the most interesting points are selected to be the subject of reconnaissance drilling that can be transformed into exploitation drilling for flows of 5m³/h minimum. During the last step of the campaign all the localities will be supplied with drinking water except for the ones of Oumlekhcheb and Eddebaye-ould-eguele where all the drillings are negative.

Keywords: Mauritania, Hodh El Gharbi, Hydrogeology, Geophysics, Drilling, Drinking water supply.

I. Introduction

La Mauritanie est un pays africain saharien, presque la totalité de la superficie est situé dans le désert du Sahara, le climat est chaud et sec, des précipitations très faibles, par conséquence grande pauvreté en eau. Ces conditions climatiques coercitives et aléatoires ont contribué à la dégradation des faibles ressources hydriques, qui connaissent une forte pression sous l'effet des activités anthropologiques. Donc une étude d'approvisionnement en eau dans les zones rurales est parmi les approches privilégiées (Friedel et Finn 2008).

À cet effet, L'Agence Française de Développement et l'Union Européenne ont financées un projet qui a été menée par le Groupement Hydro-Conseil, et a pour objectif de réaliser une étude hydrogéologique et géophysique dans la Région du Hodh El Gharbi, pour répondre aux besoins fortes des populations en eau potable.

L'investigation consiste à la mise en contribution des méthodes géophysiques dans cette région, pour préciser les anomalies conductrices qui peuvent être des structures associées à la

présence d'eau souterraine et caractériser les aquifères existants dans les zones investiguées afin de proposer des sites d'implantation des forages productifs dans chaque localité.

II. Contexte Géographique, Géologique et Hydrogéologique

La Région du Hodh El Gharbi est placée au Sud-Est de la Mauritanie, la Position géographique est Située entre les 16°30' de latitude Nord et les 10°0' de longitude Ouest. La région est limitée à l'Ouest par l'Assaba, au Nord par le Tagant, à l'Est par le Hodh El Chargui et la frontière malienne la borde au sud (Anthony, 2008).



Figure1. Situation géographique de la région du Hodh el Gharbi

Malgré la répartition géographique des sites et la multiplicité des localités à couvrir, Le contexte géologique est quasiment le même, l'ensemble de la zone d'étude se situe dans le bassin sédimentaire ancien de Taoudenni infra-paléozoïque, primaire et secondaire, (Schlüter 2006). Tandis que l'hydrogéologie diffère d'une zone à l'autre, la région se trouve dans un domaine d'aquifères discontinus. Les formations en présence sont constituées de grès à stratification entrecroisée d'Aioun, l'aquifère est fissuré et à porosité d'interstices. Les pélites occupent quasiment la partie Ouest de la région. Ces pélites peuvent être injectées de filons de roches basiques de type (dolérites, diorites) et deviennent massives dans la partie Sud-Est de la Région (Upton K et *al*, 2018)

III. Matériels et Méthodes

Lors de la campagne, une étude de reconnaissance a eu lieu comme étape préliminaire à l'aide d'une recherche bibliographique, des photographies aériennes et des différentes cartes du territoire, Ainsi que les anomalies géomorphologiques visibles sur le terrain comme les discontinuités dans les affleurements, les réseaux hydrographiques, alignement d'arbres, etc. (Koussoubé et al, 2003). Afin de mettre en évidence les directions des linéaments qui vont être ciblés par les méthodes électromagnétismes et électriques.

La méthode électromagnétique est réalisée à l'aide d'un appareil EM34-3 de marque GEONICS, la prospection consiste à la mesure de la résistivité apparente du sous-sol par l'étude de la variation du champ électromagnétique émis par l'appareil lui-même. Les résultats se présentent sous forme de profils à plusieurs profondeurs d'investigation selon la configuration du système. Cependant, une interprétation en modèle bicouche à partir des mesures en dipôles horizontal et vertical permet de déterminer les structures du sous-sol. La position de l'anomalie conductrice est atteinte lorsque le profil est maximum pour la Boucle Verticale et minimum pour celle Horizontale en même position, (Borne, V. 1990).

Les profils de mesures ont une longueur qui varie entre 400 à 600m et de pas de mesure de 20m. Cette méthode bénéficie d'un rendement de mesure élevé, du fait de la facilité de mise en œuvre et la rapidité d'établir une cartographie géologique générale pour des vastes surfaces (Baltassat J.M, 2015). Les zones d'anomalies déterminées par cette méthode vont être vérifiées par la méthode électrique selon le dispositif Schlumberger et à l'aide du résistivimètre de marque SYSCAL R2 d'IRIS Instrument. La méthode consiste à injecter un courant continu dans le sol à l'aide des deux électrodes A et B et à en mesurer la différence de potentiel entre deux points MN situé entre A et B, (S. BAKKALI S, 2006).

Le traîné électrique a été appliqué pour une longueur de ligne (AB=200m, MN=20m) pour suivre la continuité latérale des couches en une position donnée (Bakkali et al 2004), dans le but de confirmer ou d'infirmer l'anomalie électromagnétique à l'aide des profils de résistivité représentés à l'aide de fichiers de données. Par ailleurs, dans certaines zones la carte géologique ou les reconnaissances de terrain montrent la présence de roches intrusives basiques de types dolérites et diorites, dans ce cas, les traînés électriques sont doublées par des profils magnétiques à l'aide d'un magnétomètre GEOMETRICS G856, permettent d'éviter la réalisation de sondage électrique sur des paliers de faible valeurs du champ magnétique qui sont souvent des zones de contacts des formations.

Ensuite, pour tenter de quantifier la profondeur et les épaisseurs de terrain en présence, on réalise un (ou des) sondage(s) électrique(s) à l'aplomb des déflexions détectées par traînée. Les données de sondages sont représentées sous formes de courbes de sondages et interprété à partir du logiciel IPI2win. Selon le contexte hydrogéologique, les résultats de la campagne géophysique et l'accessibilité au site obtenus, ont fixé les points de forage proposé par ordre prioritaire dans un rayon d'au maximum égal à 5 kilomètres autour de la localité.

Au total, 63 profils électromagnétiques, 26 profils magnétiques, 63 traînés électriques, 73 sondages électriques et 23 forages de reconnaissances ont été réalisés dans le cadre de cette étude.

IV. Résultats et Discussions

Les profils électromagnétiques, les traînés électriques et parfois magnétiques, mettent en évidence les systèmes de fracturation du sous-sol à partir des zones d'anomalies conductrices. D'ailleurs, plusieurs anomalies électriques sont rencontrées dans la région de formes U, V, W et H. Ces anomalies permettent d'identifier les accidents géologiques qui affectent le socle et joue un rôle important dans la recherche hydrogéologique.

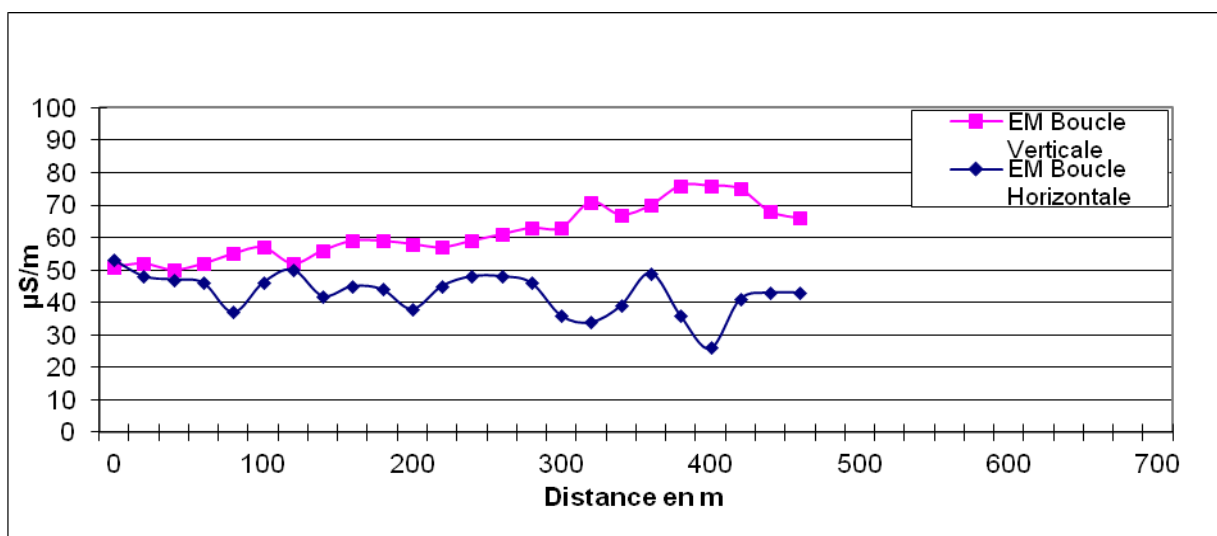


Figure2. Exemple de profil électromagnétique

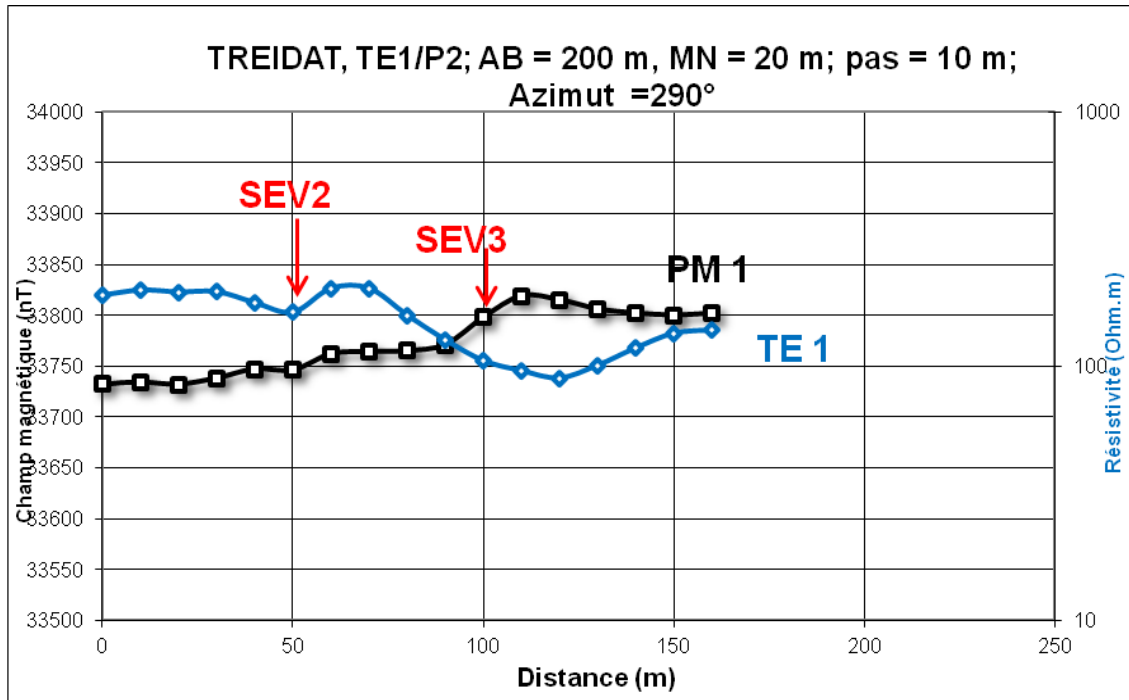


Figure3. Exemple de profil magnétique (PM) et de traîné électrique (TE)

Au niveau de la prospection verticale, le contraste de résistivités implique la présence d'une anomalie à la profondeur correspondante. Lorsque la remontée d'une branche est traînante, alors cela témoigne de la présence de fissuration en profondeur. En effet, il y a réapparition des résistivités relativement moins élevés au niveau du socle qui lui-même est très résistant. L'étendue de la frange fissure est proportionnelle avec l'importance de la zone traînante (Savado, 1984)

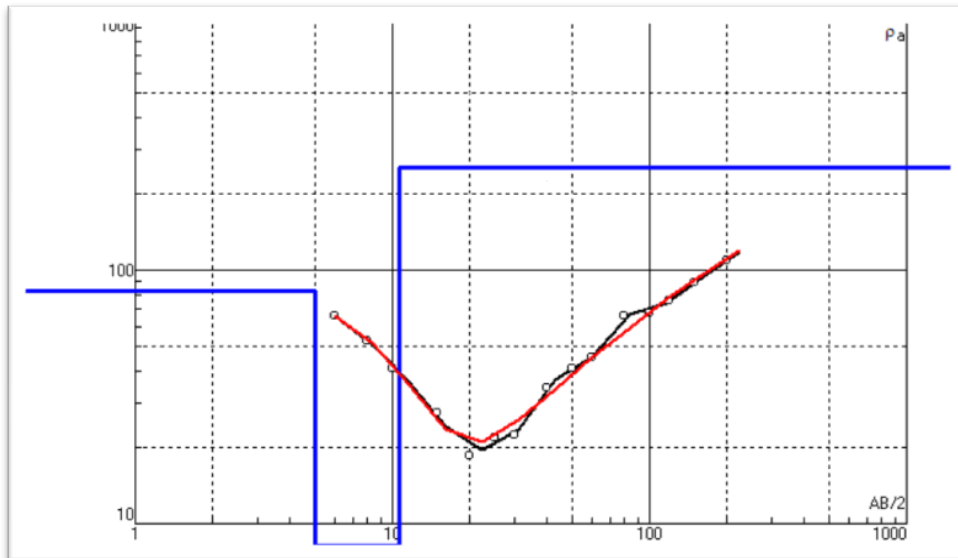


Figure4. Exemple de courbe de sondage électrique (SEV)

Après avoir fini l'analyse des données hydrogéologiques et géophysiques, une campagne de forages a été réalisée dans chaque localité, le tableau ci-dessous récapitule les résultats de forage.

Tableau1. Les résultats de forages de reconnaissance

Localités	Nombre de forages réalisés	Nombre de forages positifs	Nombre de forages négatifs
Koubeir	2	2	0
Oumjreika	3	1	2
Oumlekhcheb	3	0	3
Mneissira	2	2	0
Minetoullahi	1	1	0
Treidat	3	2	1
Edebaye ould egueil	3	1	2
Gounguel	2	2	0
Ain selama	1	1	0
Hassi abdellah	1	1	0
Berelle	2	1	1
Total	23	13	10
Pourcentage (%)		56,52	43,47

Ces résultats montrent que le taux de succès de forages dans cette région est de l'ordre de 57% pour un débit égal ou supérieur à 5 m³/h à l'exception de la localité de Minetoullahi de débit de forage 2,93m³/h mais considéré positive grâce à la faible densité de population. En revanche, pour les localités d'Oum-lekhcheb et Edebaye-ould-egueyle tous les forages réalisés sont avérés négatifs. En comparant les formations, seule la zone des grès d'Aioun où les sites prioritaires d'ordre 1 qu'ils donnent les résultats escomptés, avec des débits très élevés pour les localités de Ain Selama et Hassi-Abdella qui sont respectivement 7,6 et 9,04m³/h. Alors que dans la zone des dolérites et diorites on se rend compte que les sites prioritaires ne donnent pas les meilleurs débits à l'exception de la localité de Koubeir de débit 11,16m³/h. Tandis que certains classés deuxième voir troisième qui donnent les meilleurs débits, c'est le cas Bejdour, Oumjreika, Mneissira, Berelle et Treidat.

V. Conclusion

L'utilisation des méthodes géophysiques dans la recherche des eaux souterraines en milieu discontinues du socle fissuré dans la région du Hodh el Gharbi, ont permis de déterminer la position des anomalies conductrices et l'épaisseur des niveaux altérés dans le substratum, faisant suites une implantation des forages afin d'équiper les localités ciblées de la région d'un forage de débit 5m³/h au minimum à l'exception des localités de Oum-lekhcheb et Edebaye ould egueyle, l'étude n'a pas pu quantifier les nappes bien que différents sites de forage aient été suggérés.

Références bibliographiques

- ANTHONY G. PAZZANITA, « HODH EL-GHARBI », in historical dictionary of mauritania, scarecrow press, lanham (maryland); toronto, plymouth (royaume-uni), 2008 (3e éd.), p. 254-255 (isbn 9780810855960)
- BAKKALI S. AND M. AMRANI, (2006) un modèle 3d des "perturbations" des séries phosphatées basé sur l'optimisation des réponses du signal analytique des données de résistivité électrique, african journal of science and technology (ajst) science and engineering séries, vol. 7, no. 1 (2006) 121-131.

- BAKKALI S. ET BOUYALAOUI J., 2004 - prospection géophysique appliquée à l'évaluation des eaux souterraines de médiouna (tanger, maroc). Journal des sciences pour l'ingénieur, n°4/2004, pp 13-22
- BALTASSAT J.M, 2015; méthodologie et résultats d'application de la tomographie électrique de résistivité par courant continu pour l'exploration hydrogéologique des aquifères discontinus en domaine de socle; « aquifères de socle : le point sur les concepts et les applications opérationnelles » la roche-sur-yon, juin 2015.
- BORNE, V. (1990) la méthode électromagnétique em 34-3 pour la prospection de sous-surface. bulletin de l'association internationale de géologie technique 42, 11–20 (1990). <https://doi.org/10.1007/bf02592615>
- FRIEDEL MJ AND FINN CA. 2008. hydrogeology of the islamic republic of Mauritania. usgs open-file report 2008-1136
- KOUSSOUBE Y., SAVADOGO A.N. ET NAKOLENDOUSSE S., 2003 - les différentes signatures des fractures de socle cristallin en zone sahélo-soudanienne du burkina faso (bassin versant de bidi, province du yatenga). Télédétection, 2003, vol. 3, n° 5, p. 419–427.
- SAVADOGO N.A., 1984-geologie et hydrogéologie du socle cristallin de la Haute-Volta. étude régionale du bassin versant de la sissili. these de doctorat ès sciences naturelles, université scientifique et médicale de Grenoble, 351 pages
- SCHLÜTER T. 2006. geological atlas of africa. springer berlin heidelberg new york
- UPTON K, Ó DOCHARTAIGH BÉ ET BELLWOOD-HOWARD, I. 2018. atlas des eaux souterraines en afrique: hydrogéologie de la Mauritanie. british geological survey. consulter [18/02/2021]. http://earthwise.bgs.ac.uk/index.php/hydrog%c3%a9ologie_de_la_mauritanie