

Utilisation des images satellitaires du Landsat dans l'étude de la dégradation des berges des oueds : exemple des berges des oueds Rdat, Zat et Tensift lors de la crue de Novembre 2014 (Marrakech, Maroc)

[Use of Landsat satellite images in the study of the degradation of the riversides of wadis: example of the riversides of wadis Rdat, Zat and Tensift during the flood of November, 2014 (Marrakech, Morocco)]

Mohamed AIT MLOUK, Abdellah ALGOUTI, Ahmed ALGOUTI, and Zouhair OURHZIF

Laboratoire: Géologie, Géomatériaux, Risques Naturelles et Télédétection (2GRNT),
Faculté Des Sciences Semlalia, Département de Géologie,
Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc

Copyright © 2016 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The evolution of the riversides of wadis, Rdat, Zat and Tensift, depends, principally, on the intensity of floods and inundations generated by torrential rains slaughtered at the level of north mountainside of High - Atlas of Marrakech. The climatic conditions makes of the valleys of the wadis studied favorable zones to floods and to the degradation of the soil. From 21 to 23 November 2014, violent torrential storms, attaining 250 mm in few hours, beat down on the very high peaks of High - Atlas of Marrakech. They have resulted in impressive floods of different wadis that originate in high altitudes. Hurtling down the slopes up to the plains of the Haouz, the Muddy Waters, at high load solid, have carted the soils, trees, crops, houses and road infrastructure. The riversides of the wadis have not escaped this destruction. This degradation of soils, orchards and olive groves can be observed and analyzed by the satellite images and the field studies.

As well, we proceeded to a treatment of images with the GIS tools using satellite images of Google Earth at high resolution and the Landsat images (missions of October and December 2014) with a resolution of 30m and 15m (panchromatic band). To highlight the vegetative cover of alluvial plains and its evolution in bare soil during the flood, we have represented the bands the ratios 6/7, 6/5 and 4/2 respectively in red, green and blue using the software ENVI.

The analysis of the risk linked to the degradation of the banks of wadis in the study area, revealed three main processes of degradation; the erosion due to the current under the effect of the water, the landslide in mass after a quick drop in the water level and the collapse.

The results obtained are very interesting and can be very useful for the understanding and the good management of water hazards and more specifically to the phenomenon of soil degradation.

KEYWORDS: floods, Landsat images, degradation, wadis, riversides, vegetation cover, bare soil, Marrakech, Morocco.

RESUME: L'évolution des berges des oueds, Rdat, Zat et Tensift, dépend, essentiellement, de l'intensité des crues et des inondations générées par des averses abattus au niveau de versant nord du Haut-Atlas de Marrakech. Les conditions climatiques dans la région font des vallées des oueds étudiées des zones favorables aux crues et à la dégradation du sol.

Du 21 au 23 novembre 2014, de violents orages diluviens, atteignant 250 mm en quelques heures, se sont abattus sur les très hauts sommets du Haut-Atlas de Marrakech. Ils ont entraîné des inondations et d'impressionnantes crues des différents oueds qui prennent naissance dans les hautes altitudes. Dévalant les pentes jusqu'aux plaines du Haouz, les eaux boueuses, à forte charge solide, ont charrié les sols, les arbres, les cultures, les maisons et les infrastructures routières. Les berges des

oueds n'ont pas échappé à cette destruction. Cette dégradation des sols, des vergers et d'oliveraies peut être observée et analysée par les images satellitaires et les études de terrain.

Ainsi, nous avons procédé à un traitement des images à l'aide d'outils de SIG en utilisant des images satellitaires, à haute résolution et des images Landsat avec une résolution de 30m (missions d'octobre 2014 et de décembre 2014). Pour mettre en évidence le couvert végétal des plaines alluviales et son évolution en sol nu lors de la crue, nous avons représenté les bands ratios 6/7, 6/5 et 4/2 respectivement en rouge, vert et bleu à l'aide du logiciel ENVI.

L'analyse du risque lié à de la dégradation des berges dans la région d'étude, a révélé trois principaux processus de dégradation ; l'érosion due au courant sous l'action de l'eau, le glissement en masse après une décrue rapide et l'éboulement ou l'effondrement par sapement.

Les résultats obtenus sont très intéressants et peuvent être d'une très grande utilité pour la compréhension et la bonne gestion des risques hydriques et plus précisément le phénomène de dégradation des sols.

MOTS-CLEFS: crues, inondations, images Landsat, dégradations, oueds, berges, Zat, Rdat, Tensift, Marrakech.

1 INTRODUCTION

Par définition, la rive et la berge souvent confondues ont deux différents sens. La berge est le talus incliné plus ou moins vertical qui sépare le lit mineur, qui est l'espace occupé par l'écoulement pour des crues courantes y compris les bancs non fixés par la végétation et le lit majeur qui représente toute la plaine inondable limitée par les hautes eaux (crues extrêmes). Cette dernière est le produit géomorphologique de l'action à long terme des processus fluviaux [1]. Cependant, la plaine alluviale fonctionnelle est la zone actuellement exposée à l'action des inondations [2]. La hauteur d'une berge est très irrégulière, elle peut aller de moins de 1 m jusqu'à plusieurs mètres. La rive quant à elle est le milieu géographique qui sépare le milieu aquatique et terrestre, cette dernière commence dès le sommet de la berge et constitue une partie plus ou moins étendue qui reste sous l'influence du milieu aquatique [3].

Les ressources en terres cultivables au niveau des rivières (le lit majeur) jouent un rôle majeur dans la productivité agricole et dans le développement durable, notamment, pour les habitants installés tout au long des Oueds, elles constituent ainsi leurs principales sources de nourriture. Toutefois, ce patrimoine agricole est souvent menacé par le problème de la dégradation des berges dues aux phénomènes hydrologiques extrêmes (crues). Une étude approfondie s'avère nécessaire pour comprendre le danger lié à la dégradation des berges, d'où l'objectif fondamental du présent article.

Partout dans le monde, les inondations et les crues sont des catastrophes dommageables, notamment, sur les milieux naturels. Durant ces dernières années, ces phénomènes ont pris de l'ampleur à cause du changement climatique que connaît notre planète. Au Maroc, le Haut Atlas du Marrakech par son climat semi-aride est l'une des régions les plus touchées par ces risques naturels néfastes et répétitifs.

Les bassins versants de l'oued Rdat et de Zat (région d'étude) sont parmi les sous bassins de Tensift caractérisés par un climat aride à semi-aride en aval et un climat subhumide en haute montagne. Les précipitations et les débits sont caractérisés par une grande variabilité [4]. Les conditions climatiques font des vallées des oueds des zones favorables aux crues et à la dégradation du sol (bien évidemment des terres cultivables). Ainsi, l'abondance des ressources en eau superficielle dans les bassins étudiés est directement liée à la morphologie de ces bassins [5]. Provoqué par les styles tectoniques dans le Haut Atlas de Marrakech [6].

Du 21 au 23 novembre 2014 et entre le 4 et 5 mai 2016, de violents orages diluviens, atteignant 250 mm en quelques heures, se sont abattus sur la zone axiale du Haut-Atlas de Marrakech. Ils ont entraîné des inondations et d'impressionnantes crues des différents oueds qui prennent naissance dans ces altitudes. Dévalant les pentes jusqu'aux plaines du Haouz, d'Ouarzazate et de Souss-Massa, les eaux boueuses, à forte charge solide, ont charrié les sols, les arbres, les cultures, les maisons et les infrastructures routières (photos 1, 2, 3 et 4). Les berges des oueds n'ont pas échappé à cette destruction. Cette dégradation des sols, des vergers et d'oliveraies peut être observée et analysée par les images satellitaires et les études de terrain.



Photo 1 : destruction de l'infrastructure routière



Photo 2 : dégradation des berges de l'oued



Photo 3 : Pont détruit



photo 4 : Maison détruite

2 MATÉRIELS ET MÉTHODES

Pour mettre en évidence et étudier la destruction des berges, nous avons utilisé des images satellitaires, de Google Earth, à haute résolution et des images Landsat (missions d'octobre 2014 et de décembre 2014). Pour mettre en évidence le sol nu, la limite des eaux et le couvert végétal, nous avons procédé à un traitement des images à l'aide d'outils de SIG.

Avec le logiciel ENVI, nous avons représenté les bands ratios 6/7,6/5 et 4/2 respectivement en rouge, vert et bleu, ainsi, le couvert végétal (champs et polycultures) dans les plaines fluviales, apparaît en rouge, le sol nu alluvial en bleu clair et le cours d'eau en bleu foncé.

Pour distinguer la dégradation dans les zones non couvertes par les images de Google Earth, nous avons utilisé la bande 8 panchromatique pour sa haute résolution (15m).

De nombreux missions de terrains ont été, également, effectués dont l'objectif est de visualiser et d'analyser le problème de la dégradation des berges des Oueds sur le terrain.

3 SITUATION GEOGRAPHIQUES ET CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE

Situé au centre Ouest du Maroc, Le bassin du Tensift auquel appartient la zone d'étude s'étend sur une superficie de 18.210 Km² couvrant totalement la wilaya de Marrakech, et partiellement les provinces d'Essaouira, d'El Kelaâ des Sraghna et de Safi. Il est limité au sud par la ligne de crête du Haut Atlas, au nord par le massif précambrien des Jbilet, à l'est par le bassin du Tassaout et à l'ouest par l'océan Atlantique où se situe son embouchure (Souiria).

Le bassin du Tensift est composé, généralement, de cinq sous bassins bien individualisées. Ces derniers sont étant de l'Ouest à l'Est ; les bassins versants du N'Fis, de Gheraya, d'Ourika, de Zat et de Rdat. Ces deux derniers ont constitués l'objet de la présente étude (**Figure. 1**).

La morphologie du bassin versant de l'Oued R'dat (521 km²) est le résultat d'une évolution géomorphologique très longue comme montré par Sabatier en 1982. La région d'étude est constituée, essentiellement, par des terrains imperméable (30%) et semi-perméable [7].

Le bassin versant de l'Oued Zat (545 km²) est représentée, principalement par la formation permo-triasique. Elle est constituée, d'une part, par des basaltes altérés, sombres ou verdâtres, d'autre part, par un complexe rouge, grès marnes ou argiles salifères. Tandis que, le bassin du Zat, où on rencontre les sommets les plus hauts du Haut Atlas, est constitué de roches éruptives et métamorphiques précambriennes : les granites, diorites, et dolérites [8].

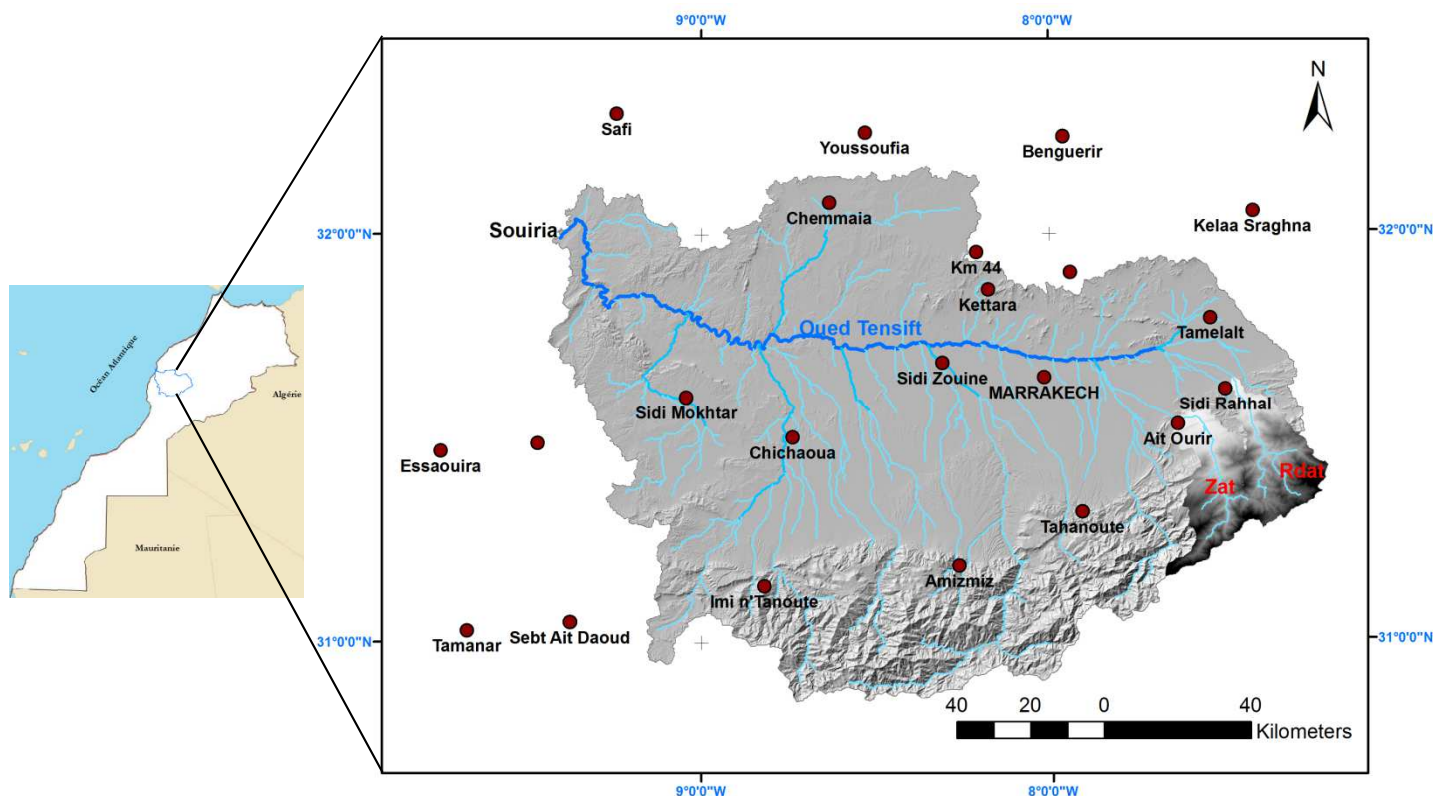


Figure. 1: Localisation de la zone d'étude

4 RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

L'érosion hydrique, l'une des conséquences les plus remarquables de crues, est un sérieux problème de point de vue, aussi bien économique qu'environnemental, à l'échelle mondial ainsi qu'à l'échelle du Maroc. Toutefois, ce phénomène est très accentué au niveau des berges des oueds R'dat, Zat et Tensift, dont on assiste, généralement, à des terres agricoles, ces derniers sont facilement érodées, notamment, pendant les moments des crues et des inondations (crues du mois novembre 2014).

L'analyse de l'état du couvert végétal, présenté en rouge, au niveau des berges des Oueds en question, avant et après les crues de l'automne 2014 (**Figure 2, 3 et 4**), a montré une destruction remarquable du couvert végétal après la décrue du Novembre 2014. Cette destruction est due, d'une part, à l'intensité des crues et des inondations générées par les averses dans la région, et d'autre part, à la nature des matériaux constitutifs de la berge.

D'après les résultats obtenus de l'analyse des figures 2, 3 et 4. Nous sommes convaincus que la destruction du couvert végétal au niveau des oueds Rdat, Zat et Tensift, se traduit, essentiellement, par la dégradation des berges de ces derniers, en augmentant la surface de sol nu alluvial lors des impressionnantes crues.

Les superficies érodées (sol nu alluvial) sous l'effet érosif des crues dans les oueds étudiés, peuvent aller de quelques m² jusqu'à plusieurs dizaine de mètres carrés dans certains endroits, notamment, dans les parties avales des bassins versants.

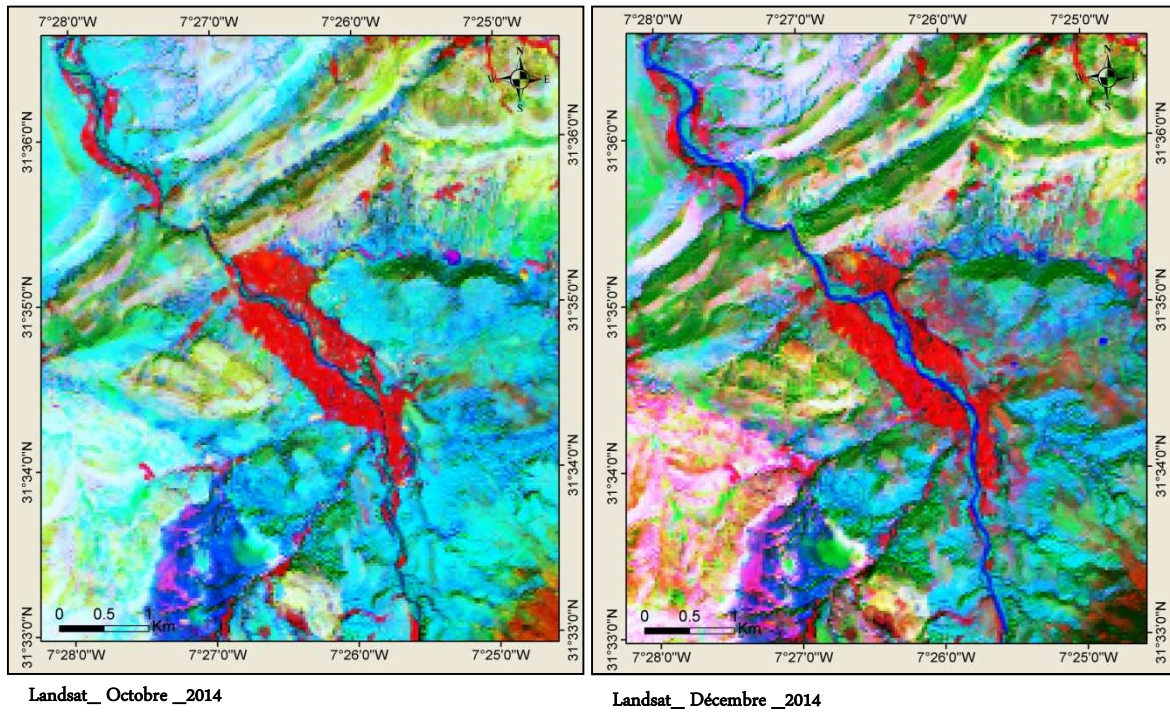


Figure.2 : Observation de la destruction du couvert végétal après les crues du mois novembre 2014 au niveau de l'Oued R'dat à Sidi Rehal (à droite)

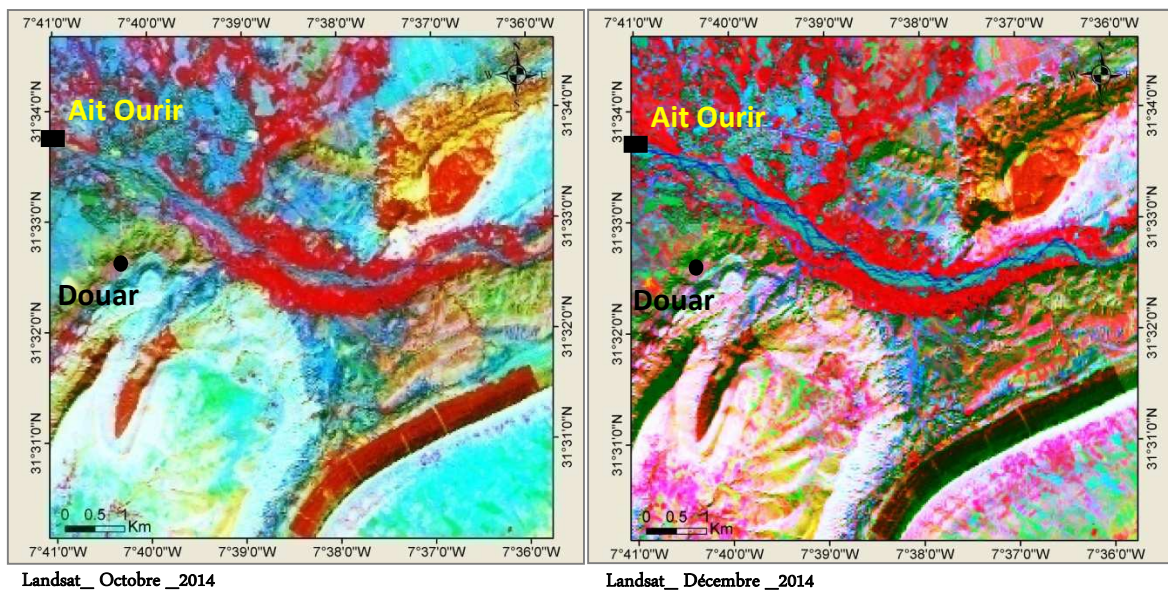


Figure.3 : Observation de la destruction du couvert végétal après les crues du mois novembre 2014 au niveau de l'Oued Zat à Ait Ourir (à droite)

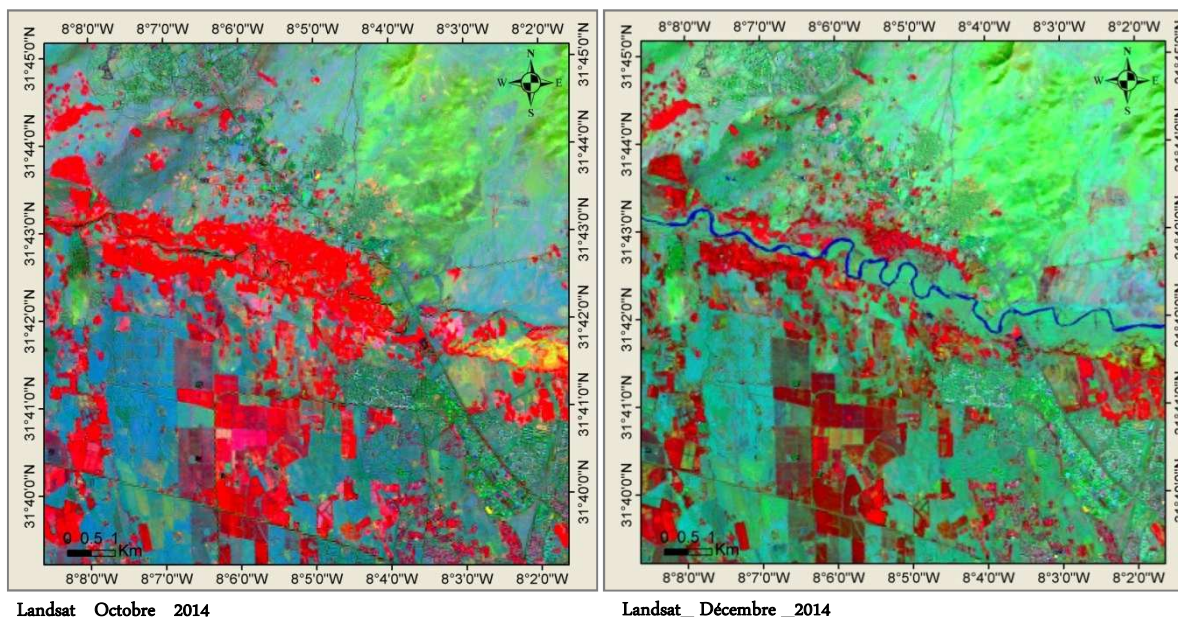


Figure.4: Observation de la destruction du couvert végétal après les crues du mois novembre 2014 au niveau de l'Oued Tensift (à droite)

L'observation de la destruction du couvert végétale par les images Landsat a été validée par les images satellitaires de Google Earth et par la bande panchromatique du Landsat (la bande 8) pour les zones non couvertes par les images du Google Earth (Figure, 5, 6 et 7).

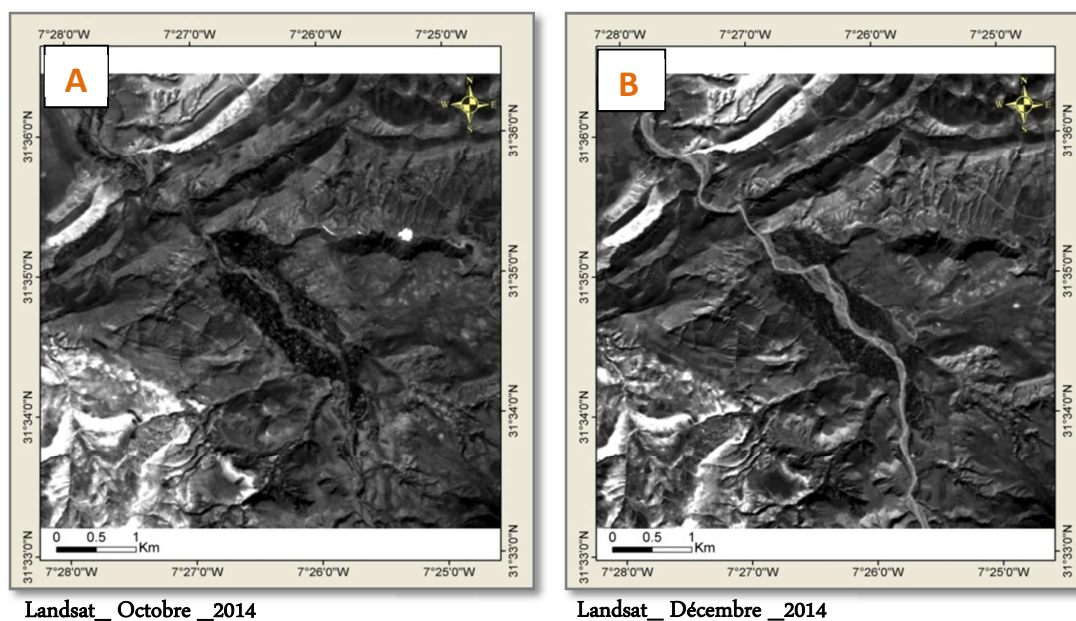


Figure.5: Observation de la destruction du couvert végétal par la bande 8 panchromatique du Landsat avant (A) et après (B) les crues du mois novembre 2014 au niveau de l'Oued R'dat à Sidi Rehal

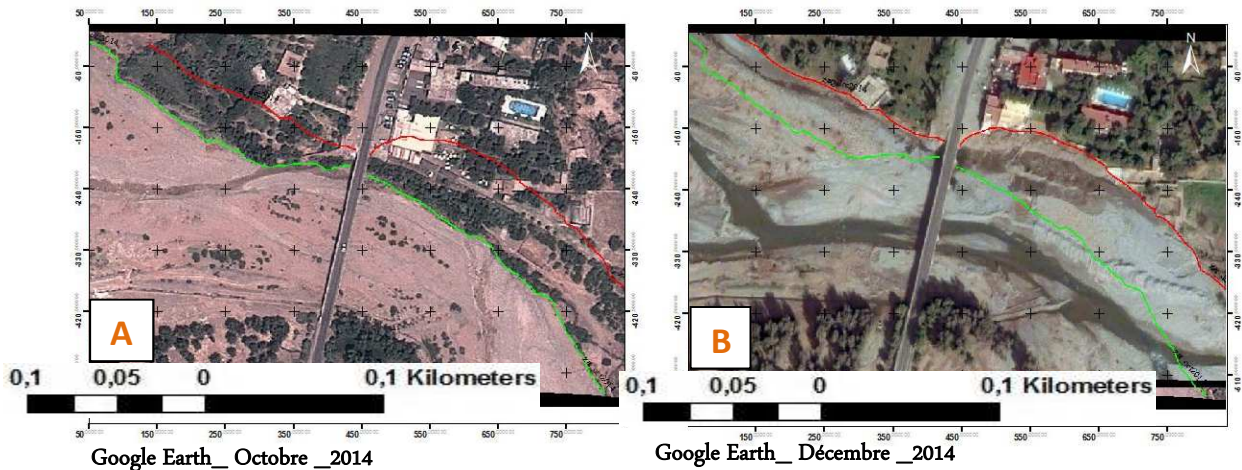


Figure.6: Observation de la destruction du couvert végétal et les infrastructures par les images de Google Earth avant (A) et après (B) les crues du mois novembre 2014 au niveau de l'Oued Zat

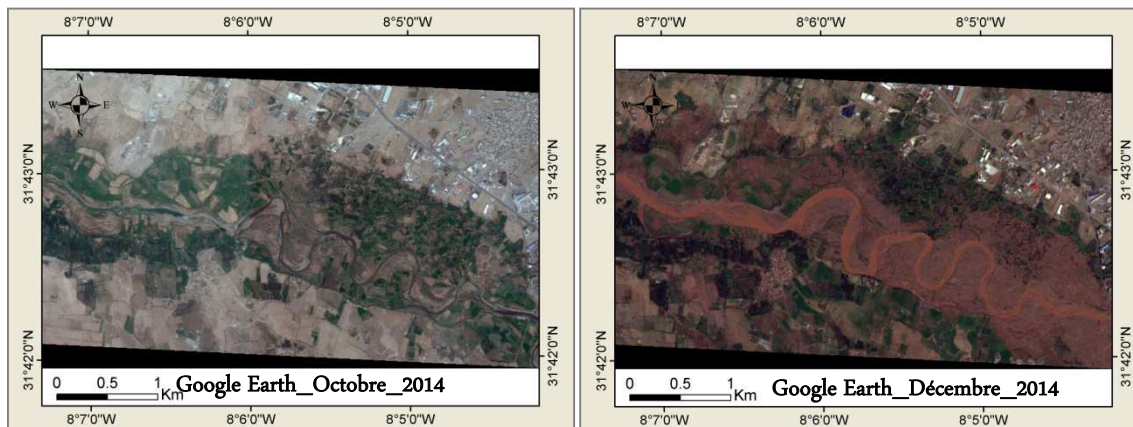


Figure.7: Observation de la destruction du couvert végétal par les images de Google Earth avant (Octobre 2014) et après (Décembre 2014) les crues du mois novembre 2014 au niveau de l'Oued Tensift

5 ETUDES DE TERRAIN

Après avoir observé, par les images satellitaires, le problème de la dégradation des berges, nous avons réalisés des études de terrain dont l'objectif était de visualiser et d'analyser les effets des crues et des inondations sur les berges des Oueds. D'après les études, nous avons constaté que, d'une manière générale, les berges d'une rivière peuvent se dégrader selon trois principaux mécanismes suivant :

- Erosion par la vitesse du courant ;
- Glissement en masse ;
- Eboulement / effondrement.

5.1 ÉROSION DUE À LA VITESSE DU COURANT

L'érosion d'une berge se produit lorsque des grains de matériaux constitutifs de la berge sont arrachés par l'eau de la rivière. Cet enlèvement des particules peut avoir lieu lorsque la vitesse du courant et sa turbulence sont capables de vaincre le poids des particules et éventuellement leurs cohésions [3]. Dans la région d'étude ces conditions sont toujours satisfaites lors des crues qui caractérisent la région par leurs agressivités. Le processus d'érosion se produit aussi bien au niveau de la partie visible de la berge qu'à son pied sous l'eau (sapement ou affouillement). Ce dernier est un cas particulier d'érosion et due à la turbulence de l'eau à la base d'une berge. L'affouillement ou sapement d'une berge est une vraie menace des arbres (Photo 6) et des ouvrages (ponts).

Lorsque le courant fait un angle avec la berge, l'érosion atteint son taux maximal. C'est le cas d'une berge concave (**Photo 5**). La présence d'un obstacle (arbre abattu, gros bloc, ...) au niveau du cours d'eau, perturbe les filets liquides du courant, conduit à l'érosion des berges en produisant un courant réfléchi (**Photo 7**).



Photo 5 : Berge concave au niveau de l'Oued Rdat : A en aval à Sidi Rehal et B en amont à Iswal.



Photo 6 : Sapement des berges sous l'enracinement des arbres.

Photo 7 : Un arbre qui a tendance de tomber et un bloc rocheux (obstacles), au niveau de l'Oued Rdat.

5.2 GLISSEMENT EN MASSE

Le glissement lorsqu'une masse de terres constitutives de la berge se déplace en bloc (en masse) avec une ligne de cisaillement qui sépare la zone déplacée et la zone qui reste en place (**photo 8**). Ce dernier est analogue à une faille normale. Le glissement se produit très souvent au moment de la décrue. Cette dernière constitue la condition la plus défavorable pour les berges. An niveau de ces derniers on peut rencontrer, également, des ouvertures plus au moins parallèles au sommet des berges (**photo 9**) et qui sont considérés comme des témoignages du phénomène de glissement.



Photo 8 : Le phénomène de glissement en masse an niveau des berges de l'Oued Rdat

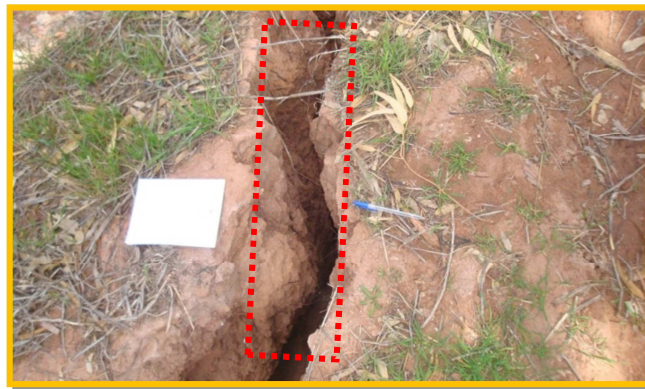


Photo 9 : Ouverture témoignant du phénomène de glissement

5.3 EBOULEMENT / EFFONDREMENT

Le mécanisme de sapement, érosion par le courant à la base des berges qui sont plus au moins cohérentes, conduit à la création des zones en surplomb (**photo 10**). L'éboulement/effondrement (**photo 10**) se produit par la chute brutale de ces zones sous l'effet de la gravité (leurs propres poids) ou, éventuellement, par d'autres facteurs (le passage d'une charge/force au-dessus, ...).

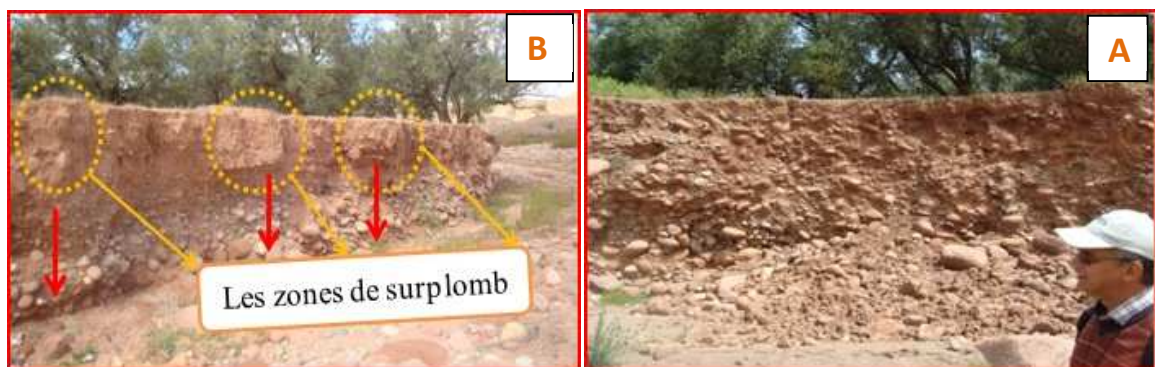


Photo 10 : Effondrement des berges (A) suite à la création des zones en surplomb(B) au niveau de l'Oued Rdat.

Les phénomènes et les formes de dégradation les plus fréquemment observés dans la région d'étude sont l'érosion et l'effondrement. Les berges constituées de matériaux limo-argileux et sableux, sont particulièrement sensibles au phénomène de la dégradation [9]. L'effondrement est une conséquence directe de l'érosion au pied des berges, il se produit au moment des crues comme il peut avoir lieu lorsque le plan d'eau atteint le toit des zones en surplomb lors des prochaines crues.

Le mécanisme d'éboulement est relativement similaire à celui du glissement. Dans les deux cas, c'est une masse de terres constitutives des berges qui se déplace en bloc. Cependant, le glissement est un processus plus lent et il se produit le plus souvent au moment de la décrue contrairement à l'éboulement.

Les crues de 21 au 23 novembre 2014, qui ont causées nombreux dégât (humains, agricoles, infrastructures, ...) dans les secteurs de Guelmim, Agadir, Ourzazate Et Marrakech, peuvent être comparées à celles de l'Ourika. Parmi ces dernières on cite les crues de 17 out 1995 et de 28 octobre 1999 qui sont les plus destructives (**photos 11 et 12**) de l'histoire moderne du Maroc avec les débits de point respectivement de 1030 m³/s et 762 m³/s. Les crues de l'Ourika sont très fréquentes. Elles surviennent, généralement, en tout saison. Pendant une période de 34 ans d'observation, chaque mois d'une année hydrologique a connu au moins une crue, à l'exception le mois de Décembre [10].



Photo 11 : Maison détruite par la crue du 17 Aout 1995 (source : [10]. saidi at al, 2010)



Photo 12 : Mur de soutènement de l'Ourika détruit par la crue du 28 octobre 1999 (source : [10]. saidi at al, 2010)

6 CONCLUSION

La présente étude a pour objectif de détecter le changement de la superficie du couvert végétale dans les plaines fluviales, au niveau des Oueds Rdat, Zat et Tensift pendant les crues du Novembre 2014 en utilisant les images satellites provenant du capteur de Landsat (missions d'octobre et de décembre). Les résultats obtenus permettent de dégager un recul de la superficie couverte par la végétation et l'augmentation de la surface du sol nu alluvial après la décrue témoignant de la dégradation des berges Oueds étudiée.

Les bassins versants des différents affluents de Tensift sont propices aux phénomènes d'érosion hydrique et notamment la destruction des berges alluviales. Lors des dernières crues de l'automne 2014 (de 21 au 23 novembre 2014), des pertes importantes en terres cultivables, suite à la dégradation des berges des Oueds, ont été transporté par les écoulements boueux.

L'analyse du risque lié à de la dégradation des berges dans la région d'étude, a révélé trois principaux processus de dégradation : l'érosion due au courant sous l'action de l'eau, le glissement en masse après une décrue rapide et l'éboulement ou l'effondrement par sapement au pied des berges.

Les impacts des crues dans la région d'étude sont considérables et directement visibles au niveau des infrastructures routières (ponts, routes nationales, ...), les habitations, les terrains agricoles (notamment au niveau des plaines fluviales) et une forte charge solide au niveau des eaux. D'où la nécessité d'une attention particulière envers ce phénomène.

Ces immenses dégâts sont visibles grâce aux images satellitaires, couplées à une série des études du terrain, dont le traitement et l'étude peut s'avérer d'une très grande utilité, aussi bien, pour comprendre le phénomène de dégradation ainsi que pour la réflexion à une bonne gestion de ce risque naturel.

RÉFÉRENCES

- [1] Nanson, G.C., CROKE, J.C. (1992). A genetic classification of floodplains. *Geomorphology*, vol. 4, n° 6, p. 459-486.
- [2] Demers, Silvio., Olsen, Taylor., Buffin-Bélanger, Thomas., Marchand, Jean-Philippe., M. Biron, Pascale., Morneau, François., (2014). L'hydro-géomorphologie appliquée à la gestion de l'aléa d'inondation en climat tempéré froid : l'exemple de la rivière Matane (Québec), *Physio-Géo* [En ligne], Volume 8 ; DOI : 10.4000/physio-geo.3813.
- [3] Degoutte, Gérard., (2012). Diagnostic, aménagement et gestion des rivières (2^e Éd.) : Hydraulique et morphologie fluviales appliquées, Tec et Doc - Lavoisier.
- [4] Saidi, M.E.M., Boukrim, S., Fnguire F., Ramromi, A., (2012). Les écoulements superficiels sur le Haut Atlas de Marrakech cas des débits extrêmes. *Iarhyss journal*, issn 1112-3680, n° 10, mars, pp. 75-90.
- [5] Saidi, M.E.M., AGOUSSINE, M'Bark., DAOUDI, Lahcen., (2006). Effet de la morphologie et de l'exposition sur les ressources en eau superficielle de part et d'autre du Haut Atlas (Maroc) ; exemple des bassins versants de l'Ourika et du Marghène. *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Terre*, 2006, n°28, 41-49.
- [6] Missenard, Yves., Taki, Zouhair., Frizon de Lamotte, Dominique., Benammi, Mohamed., Hafid, Mohamad., Leturmy, Pascale., Se'brier, Michel., (2007). Tectonic styles in the Marrakesh High Atlas (Morocco): The role of heritage and mechanical stratigraphy. *Journal of African Earth Sciences* 48 (2007) 247–266
- [7] Pacson, P., (1977), Le Haouz de Marrakech, Thèse de Doctorat d'Etat, 2 tomes, 693p, Rabat.
- [8] Duclaux, A., (2005). Modélisation hydrologique de 5 Bassins Versants du Haut-Atlas Marocain avec SWAT (Soil and Water Assessment Tool). Mémoire du diplôme d'Ingénieur Agronome de l'Institut National Agronomique de Paris-Grignon. 53 p.
- [9] Saint-Laurent, D., Guimont, P., (1999). « Dynamique fluviale et évolution des berges du cours inférieur des rivières Nottaway, Broadback et de Rupert, en Jamésie (Québec) ». *Géographie physique et Quaternaire*, vol. 53, n° 3, p. 389-399.
- [10] Saidi, M.E.M., DAOUDI, Lahcen., Aresmouk, Mohamed El Hassane., Fnguire, Fatima., Boukrim, Siham., 2010. Les crues de l'oued Ourika (Haut Atlas, Maroc): Événements extrêmes en contexte montagnard semi-aride, *Comunicações Geológicas*, 2010, t. 97, pp. 113-128.