

Laboratoire de Géomorphologie Environnement et Société
Revue Paysages Géographiques



Les Forêts des Zones Sèches
Entre curiosité scientifique et capital de
restauration socioécologique



Paysages Géographiques



Les Forêts des Zones Sèches

Paysages Géographiques
Les Forêts des Zones Sèches
Entre curiosité scientifique et capital de
restauration socioécologique

Dépôt légal : 2017MO5074

ISBN : 978-9981-916-42-5

ISSN : 2605-5848

Tous droits réservés ©.

N° 4 - décembre 2017

Coordination

Farid EL WAHIDI – Abderrahim BENALI

N° 4 - Décembre 2017

Les Forêts des Zones Sèches

Entre curiosité scientifique et capital de
restauration socioécologique

Revue
Paysages Géographiques

N°4

Auteur
Laboratoire de Géomorphologie Environnement et Société

Edition : Décembre 2017

Dépôt légal : 2017MO5074

ISBN : 978 – 9981 – 916 – 42 - 5

ISSN : 2605 - 5848

Tous droits réservés ©.

Revue Paysages Géographiques



Numéro publié par

Laboratoire de Géomorphologie,
Environnement et Société – FLSH
Marrakech



Laboratoire de Géomorphologie, Environnement et Société
مختبر الجيومرفلوجيا، البيئة والمجتمع

En partenariat avec

Association Marocaine des
Sciences Régionales (AMSR)



Comité de Lecture

Pr. Abderrahim Benali - UCA
Pr. Abdelatif Khattabi - ENFI
Pr. Farid El Wahidi - UCA
Dr. Tarik Belghazi - CRF
Pr. Mohamed Mansoum – UCA
Pr. Fatiha Mouafak - UCA
Pr. Mohamed Gallad - UCA
Pr. Said Azioui – UCA

Photo de Couverture et des Planches

Pr. Farid El Wahidi

Laboratoire de Géomorphologie et Environnement
Faculté des Lettres et Sciences Humaines de Marrakech
Quartier Amerchich B.P. 40040

Les recherches publiées dans la revue reflètent les opinions de leurs auteurs.

Table des Matières

Les Agroécosystèmes dans les Aménagements Forestiers

- *Les partenariats public-privé comme approche de restauration des agroécosystèmes, cas de l'arganeraie. Farid El Wahidi, Abderrahim Benali, Fouad Mounir et said Lahssini.* [P. 7 -.23]
- *Etude de la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol dans le bassin versant de l'Ourika entre 1984 et 2014. Abdellatif Khattabi, Said Lahssini, Reda Rihane et Nabil Rifai.* [P. 24 -.37]
- *نوي الحقوق: بين حق الانتفاع وشروط المساهمة في التنمية، حالة غابة آيت ويرة بأطلس القصيبة. الشرقاوي مراوي، بنعلي عبد الرحيم.* [P. 39 -.51]
- *Analyse de la vulnérabilité environnementale dans le contexte des changements climatiques- cas du bassin versant de l'Ourika. Said Lahssini, Abdellatif Khattabi et Driss Laaroussi.* [P. 53 -.65]
- *Vers un aménagement récréatif et paysager de la forêt Marocaine : Cas de la subéraie de Maamora et de l'arganeraie de Mesguina. Said Laaribiya, Halim Ouhaddou, Assmaa Alaoui et Najib Gmira.* [P. 66 -.82]

Les Formations Forestières et Pré-forestières Etat des Lieux et Dynamiques

- *Evaluation de l'état des formations végétales forestières dans le bassin versant de l'Ourika dans une optique de restauration des espaces dégradés. Etienne Nduwayo, Abdenbi Zine El Abidine, Abdellatif Khattabi et Ahmed Ouhammou.* [P. 84 -.97]
- *Estimation de la biomasse et de la quantité de carbone dans un jeune peuplement d'Arganier dans la commune rurale d'Imgrad (Province d'Essaouira). Said Ali Ouswati, Said El Messoussi, Tarik Belghazi, Abderrahmane Lahrouni, Hassan Chakib, Said EL Mercht et Rachid Kessa.* [P. 98 -.108]
- *دينامية المجال الغابوي بحوض تاكلفت: بين الهشاشة الطبيعية وأفاق التهيئة الغابوية. محمد رزقي، عبد الرحيم بنعلي، فريد الواحدي، فتيحة موفق.* [P. 110 -.125]
- *Modélisation des effets de la sécheresse sur la dégradation de l'arganeraie dans la commune rurale d'Imin'Tlit (Province d'Essaouira). Abderrahmane Hachmi, Said El Messoussi, Rachid Kessa, Abderrahmane Lahrouni, Hassan Chakib, Tarik Belghazi et Said EL Mercht.* [P. 127 -.137]
- *Itinéraire de production de plants de cyprès de l'Atlas en pépinière pour la restauration des zones arides. M.A. El Alaoui El Fels, Farid El Wahid et Y. Arjouni.* [P. 138 -.150]

La Restauration Ecologique en Milieux arides Techniques et Défis

- *Évaluation écophysiological de la résistance à la sécheresse des plants du cyprès de l'Atlas (Cupresus atlantica Gaussen). Abdenbi Zine El Abidine, Mohamed Bouderrah, Ahmed Moustahssen, Mohammed S. Lamhamedi et Younes Abbas.* [P. 152 -.163]
- *Valorisation des microorganismes du sol dans la restauration durable des écosystèmes forestiers marocains. Younes Abbas., Said EL Mrabet. et Abdenebi Zine El Abidine.* [P. 164 -.177]
- *Comportement germinatif et ravageurs des graines de quelques espèces du genre Acacia utilisées dans la réhabilitation des zones arides. M.A. El Alaoui El Fels, Said El Mercht.* [P. 178 -.192]
- *Changement climatique et restauration des écosystèmes forestiers marocains : apport de la modélisation de la distribution d'espèces (cas du chêne liège). Said Moukrim, Said Lahssini, Mustapha Naggar, Farid El Wahidi, Hicham Mharzi Alaoui, Moustapha Arahou et Laïla Rhazi.* [P. 193 -.206]
- *Evaluation de la qualité de la végétation ripisylve pour une contribution à la lutte contre les inondations : Cas de l'oued Ourika (Haut-Atlas, Maroc). Mostafa Alaoui Lamrani, Biao Affo et Abdellatif Khattabi.* [P. 207-.217]

Evaluation de l'état de formations végétales forestières dans le bassin versant de l'Ourika dans une optique de restauration des espaces dégradés

Etienne Nduwayo⁽¹⁾, Abdellatif Khattabi⁽¹⁾, Abdenbi Zine El Abidine⁽¹⁾, Ahmed Ouhammou⁽²⁾.

Résumé

Le couvert forestier du bassin versant de l'Ourika, situé dans le Haut Atlas occidental, est soumis à une dégradation due aux conditions naturelles peu favorables et à la pression anthropozoogène. Cette dégradation est à l'origine du processus d'érosion et d'inondation qui caractérisent ce bassin versant et qui présentent une menace pour les populations locales et pour les infrastructures. La restauration des espaces dégradés est une nécessité pour assurer la conservation des ressources naturelles. Les objectifs de ce travail sont de : (1) cartographier l'occupation du sol du bassin versant de l'Ourika ; (2) évaluer l'état de dégradation du couvert végétal forestier ; et (3) localiser les zones dégradées du couvert végétal en vue de proposer des mesures de restauration. L'approche méthodologique adoptée a consisté en le traitement numérique d'images satellitaires Sentinel-2A du 06 Juin 2016 et d'images Google Earth© complété par la collecte de données terrain pour validation. Le croisement des résultats de cartographie et d'analyse de la répartition spatiale des indices de végétation (DVI, NDVI, PVI et TSAVI) a permis de déterminer l'ampleur de la dégradation des formations forestières et de localiser les zones dégradées. Les résultats obtenus sont présentés sous forme d'une carte de l'occupation du sol. La moitié de la surface du bassin versant de l'Ourika est occupée par une formation végétale dégradée dominée par les xérophytes. La forêt occupe une superficie de 35,62 % environ dont seulement 10,95 % pour des forêts denses à moyennement denses et 24,67 % pour les formations claires. Les 28,76 % restants de l'espace du bassin sont occupés par des cultures, le bâti et le sol dénudé. L'ampleur de la dégradation des formations forestières du bassin versant de l'Ourika exige la nécessité et l'urgence de procéder à des interventions de restauration qui doivent cibler en priorité les zones fortement affectées.

Mots clés : Bassin versant de l'Ourika, couvert végétal, dégradation, indices de végétation, cartographie, SIG et Télédétection.

¹ Ecole Nationale Forestière d'Ingénieurs, Salé, nduwaetienne@yahoo.fr.

² Faculté des sciences Semlalia, Département de Biologie, Laboratoire d'Ecologie et Environnement, Herbarier Régional, Marrakech, ouhammou@uca.ma.

1. Introduction

Les écosystèmes forestiers du Haut-Atlas occidental et en particulier ceux du bassin versant de l'Ourika (BVO) sont soumis à des conditions climatiques et géotopographiques assez sévères (Juillerat, 2004; Rhanem, 2015; Sirtou, 1995). Ces écosystèmes sont en outre affectés par la pression anthropique qui est exacerbée par les effets du changement climatique (Meliho et al., 2016a). Dans de nombreuses situations, les formations forestières ont cédé la place à un couvert végétal faible et épars (Duclaux, 2005).

Cette situation se répercute sur les biens et services écosystémiques en réduisant leur qualité et/ou leur quantité (Hammi, 2003). En effet, les événements extrêmes tels que les crues, les inondations que connaît, fréquemment, cette zone sont le résultat de l'effet combiné des facteurs naturels (Sols imperméables et/ou friables, topographie accidentée, précipitations aléatoires et souvent agressives, températures très faibles en hiver et élevées pendant l'été, faible couvert végétal) et socioéconomiques. Ces derniers regroupent la pression pastorale dépassant les potentialités du milieu, le prélèvement du bois de feu et l'extension des terrains agricoles (Benchaabane, 1997; Hammi et al., 2012; Rhanem, 2011 in Rhanem, 2015).

Le rôle du couvert forestier dans la réduction des crues et inondations est significatif dans cette zone (Rihane et al., 2016; Meliho et al., 2016b) ainsi que dans la lutte contre l'érosion (Meliho et al., 2016c). Des projets visant à inverser cette tendance ont été réalisés en l'occurrence le projet de développement intégré du BVO dont l'amélioration du couvert végétal est l'un de ses objectifs (Anonyme, 2012).

La végétation du BVO a fait l'objet de plusieurs études qui ont ciblé la cartographie des formations végétales (Ouhammou, 1986; Ouhammou and Aubin, 1991; Hammi, 2003) et très récemment l'évaluation de l'évolution de l'occupation du sol dans cette zone (Khattabi et al., 2017).

L'objectif de ce travail porte sur l'évaluation de l'état actuel du couvert végétal forestier et l'identification des zones dégradées de ce couvert en vue de proposer des actions de restauration.

2. Matériel et méthodes

2.1. Présentation de la zone d'étude

Le BVO se trouve dans le Haut Atlas occidental 35 km au nord-est de la ville de Marrakech. D'une superficie de 576 km² environ, il se situe géographiquement entre 31° et 31°21' de latitude Nord et entre 7°30' et 7°60' de longitude ouest. Il est limité au Nord par la plaine du Haouz, au sud par le haut bassin de l'oued Souss, à l'Est par le bassin versant de l'oued Zat et à l'Ouest par les bassins versants des oueds Rherhaya et Issil. La géologie est composée surtout des formations du permo-triasse et le substrat est essentiellement siliceux.

Le BVO jouit d'un bioclimat semi-aride tempéré à subhumide frais et localement humide et de haute montagne vers les parties alticoles. Il est caractérisé par une pluviométrie annuelle moyenne variant de 450 à plus de 650 mm sur le piémont et la zone subatlasique et de 800 à 1000 mm sur les hauts sommets soumis aux influences océaniques (Ouhammou, 1986). La végétation est composée de formations forestières s'organisant autour des principales essences ; notamment, *Quercus rotundifolia* (Lam.), *Tetraclinis articulata* (Vahl) Link, *Juniperus thurifera* L., *Juniperus phoenicea* L. et *Juniperus oxycedrus* L.) (Ouhammou, 1986).

2.2. Sources de données et outils utilisés

Ce travail a été réalisé sur la base de données existantes telles que les cartes d'occupation du sol (Melihou et al., 2016c; Rihane, 2015; Hammi, 2003), la carte topographique et l'image satellitaire Sentinel-2A (<https://scihub.copernicus.eu>). Les bandes considérées sont celles correspondantes à l'image du 06 juin 2016 choisie pour sa qualité (très faible couverture nuageuse et bonne résolution spatiale). L'image est constituée de 13 bandes dont 4 sont de 10 m de résolution spatiale et correspondent aux canaux bleu (Bande 2), vert (Bande 3), rouge (Bande 4) et proche infrarouge (Bande 8). Les 3 dernières bandes ont été utilisées dans ce travail. Les images Google Earth© ont été utilisées pour la délimitation des zones de cultures et du bâti.

L'analyse de l'occupation du sol et la cartographie des zones dégradées ont été facilitées par l'usage de logiciels de systèmes d'information géographique et de traitement d'images. Le logiciel Google Earth© a été utilisé dans le processus de classification de l'image pour l'établissement de la carte de l'occupation du sol. La cartographie a été validée par des données collectées lors des missions de vérité terrain.

2.3. Occupation du sol et état des formations forestières

La carte de l'occupation du sol a été réalisée par la méthode de classification supervisée de l'image Sentinel-2A du 06 juin 2016 couvrant le BVO. La classification a été facilitée par l'exploitation des images Google Earth© et les cartes d'occupation du sol existantes. En se basant sur les cartes existantes, les unités suivantes composent l'occupation du BVO : Forêt dense, forêt moyennement dense, forêt claire, xérophytaies épineuses, les cultures (Arboriculture, céréaliculture en sec), les sols dénudés (Sol quasiment nu) et le bâti. L'algorithme maximum de vraisemblance a été choisi pour la classification. Les classes 'cultures' et 'bâti' ont été numérisées à partir d'images Google Earth© et superposées sur le résultat de la classification validée par la matrice de confusion produite par la confrontation des points échantillons pris dans chaque unité de l'occupation du sol.

Les indices de végétation sont des ratios ou des combinaisons algébriques de la réflectance mesurée entre deux bandes choisies sur la base des propriétés spectrales des plantes (Mróz et al., 2004). Ils sont utilisés pour la discrimination entre des unités de l'occupation du sol (Joshi, 2011) et donnent des informations sur le taux de couvertures végétales et peuvent aussi renseigner sur les zones dégradées de végétation (Meneses-Tovar, 2011; Tchibozo et Toundoh, 2014). Le choix des indices à utiliser doit se faire avec précaution, surtout que certains aboutissent à des informations redondantes (Baret et Guyot, 1991) et d'autres doivent être utilisés dans des conditions bien spécifiques. Dans ce travail, les indices DVI (Difference Vegetation Index), NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), PVI (Perpendicular Vegetation Index) et TSAVI (Transformed Soil Adjusted Vegetation Index) ont été utilisés. La régression linéaire a été adoptée pour estimer les paramètres nécessaires au calcul des indices PVI et TSAVI (Caloz and Collet, 2001).

Selon la FAO, on considère la réduction du couvert forestier végétal comme l'un des indicateurs de dégradation des forêts (FAO, 2009). Dans ce travail, nous considérons qu'une forêt est dégradée lorsque le couvert végétal, évalué par les valeurs des indices de végétation, est faible ou absent. Le croisement des résultats de calculs et d'analyses de la répartition spatiale des indices renseigne sur les niveaux de dégradation du couvert végétal de la zone d'étude. L'indice DVI, sensible à la végétation, différencie les zones occupées par la végétation des sols nus. Il donne l'information sur les niveaux du couvert végétal. Une valeur de cet indice égale à 0 correspond aux sols nus, une valeur inférieure à 0 correspond aux plans d'eau et une valeur supérieure à 0 correspond à la végétation.

L'indice normalisé de végétation (NDVI) fournit de l'information relative au contenu en biomasse de la végétation. Les valeurs de cet indice varient de -1 à 1. Les valeurs inférieures à -0,1 indiquent les roches, les sables et zones bâties. Les valeurs égales à 0 indiquent l'eau, celles comprises entre 0,1 et 0,3 la végétation faiblement dense et celles se situant entre 0,6 et 0,8 la végétation dense.

Tableau 1. Description des indices de végétation utilisés, (où PIR= réflectance dans le canal proche infrarouge, R=réflectance dans le canal rouge, a= pente de la droite des sols et b son ordonnée), Source : Adapté de (Bannari et al., 1995; Caloz and Collet, 2001; Zhang et al., 2005).

Nom des Indices	Abréviations	Formules	Référence (s)
Difference Vegetation Index	DVI	PIR-R	Tucker (1979)
Normalized Difference Vegetation Index	NDVI	$\frac{(PIR - R)}{[PIR + R]}$	Rouse et al. (1974)
Perpendicular Vegetation Index	PVI	$\frac{(PIR - aR - b)}{[(a^2 + 1)^{1/2}]}$	Richardson et al., (1977)
Transformed Soil Adjusted Vegetation Index	TSAVI	$\frac{a(PIR - aR - b)}{[R + aPIR - ab + 0,08(1 + a^2)]}$	Baret et al. (1989)

Les indices DVI et NDVI ne prennent en compte que la réflectance de la végétation., Les indices PVI et TSAVI ont été calculés pour contourner les effets des sols sur la réflectance de la végétation (Caloz and Collet, 2001; Rondeaux et al., 1996).

L'indice PVI, au même titre que l'indice TSAVI, prend en considération les effets du sol sur la réflectance de la végétation. Les valeurs de PVI égales à 0 indiquent des sols nus, inférieures à 0 correspondent à des plans d'eau et celles supérieures à 0 correspondent à la végétation.

3. Résultats

3.1. Occupation du sol du bassin versant de l'Ourika

Les formations forestières du BVO occupent une superficie de 20518,36 ha soit 35,62 % dont seulement 10,95 % de forêts denses à moyennement denses et 24,67 % de forêts claires. Les autres composantes de l'espace de cette zone se répartissent sur le reste du territoire comme suit : 6,63 % pour les cultures, 49,74 % pour les xérophytes épineuses, 7,23 % et pour les sols dénudés et 0,78% pour le bâti plus lit de l'oued (Cailloux + Sables) (tableau 2, figure 1).

Les forêts denses à moyennement denses correspondent essentiellement aux formations à chêne vert mais également à genévrier oxycèdre, genévrier rouge, thuya et des reboisements de cèdre et de pin d'Alep ou de pin maritime. Les forêts claires sont dominées par le chêne vert, le thuya, le genévrier oxycèdre, le genévrier thurifère et les reboisements. Les Sols dénudés correspondent au stade très dégradé des formations à chêne vert, thuya, genévrier thurifère et genévrier oxycèdre.

Tableau 2. Faciès de l'occupation du sol au niveau du bassin versant de l'Ourika, Haut Atlas Occidental.

Unités de l'Occupation du sol	Surface (ha)	%	Surface Forestière	
			(ha)	%
1 Forêts Denses	1960,21	3,40	1960,21	3,40
2 Forêts Moyennement Denses	4350,45	7,55	4350,45	7,55
3 Forêts Claires	14207,70	24,67	14207,70	24,67
4 Xérophytaies Epineuses	28647,40	49,74		
5 Cultures irriguées (Arboriculture + Céréales)	2669,50	4,63		
6 Cultures en Bour	1153,33	2,00		
7 Sols dénudés	4165,74	7,23		
8 Oued	320,17	0,56		
9 Constructions	125,50	0,22		
TOTAL	57 600,00 ha	100,00 %	20518,36 ha	35,62 %

3.2. Identification des formations forestières dégradées

Les niveaux du couvert végétal dans le BVO sont présentés par la répartition spatiale de l'indice DVI (figure 2). Les résultats de l'analyse révèlent que plus de la moitié de la superficie du bassin (63,71%) présente un couvert végétal faible à très faible avec des taux de 21,22% et 42,49%, respectivement. Le couvert moyen représente 30,41% de la surface totale du bassin tandis que le couvert fort ne couvre que 5,87% de la surface totale du BVO. Les couverts faibles à très faibles correspondent aux formations xérophytiques, sols dénudés et forêts claires. Quant aux couverts moyens à forts, ils correspondent aux forêts denses à moyennement denses ainsi qu'aux cultures irriguées.

Le couvert avec une biomasse végétale faible à très faible occupe 70,95% de la superficie totale du bassin avec 38,2% et 32,82% pour la très faible et la faible biomasse végétale, respectivement. Les biomasses moyenne et forte témoignant d'une santé moyenne à bonne de la végétation représentent 25,28% et 3,77% de la superficie totale de la zone d'étude pour la biomasse moyenne et la biomasse forte, respectivement (figure 3).

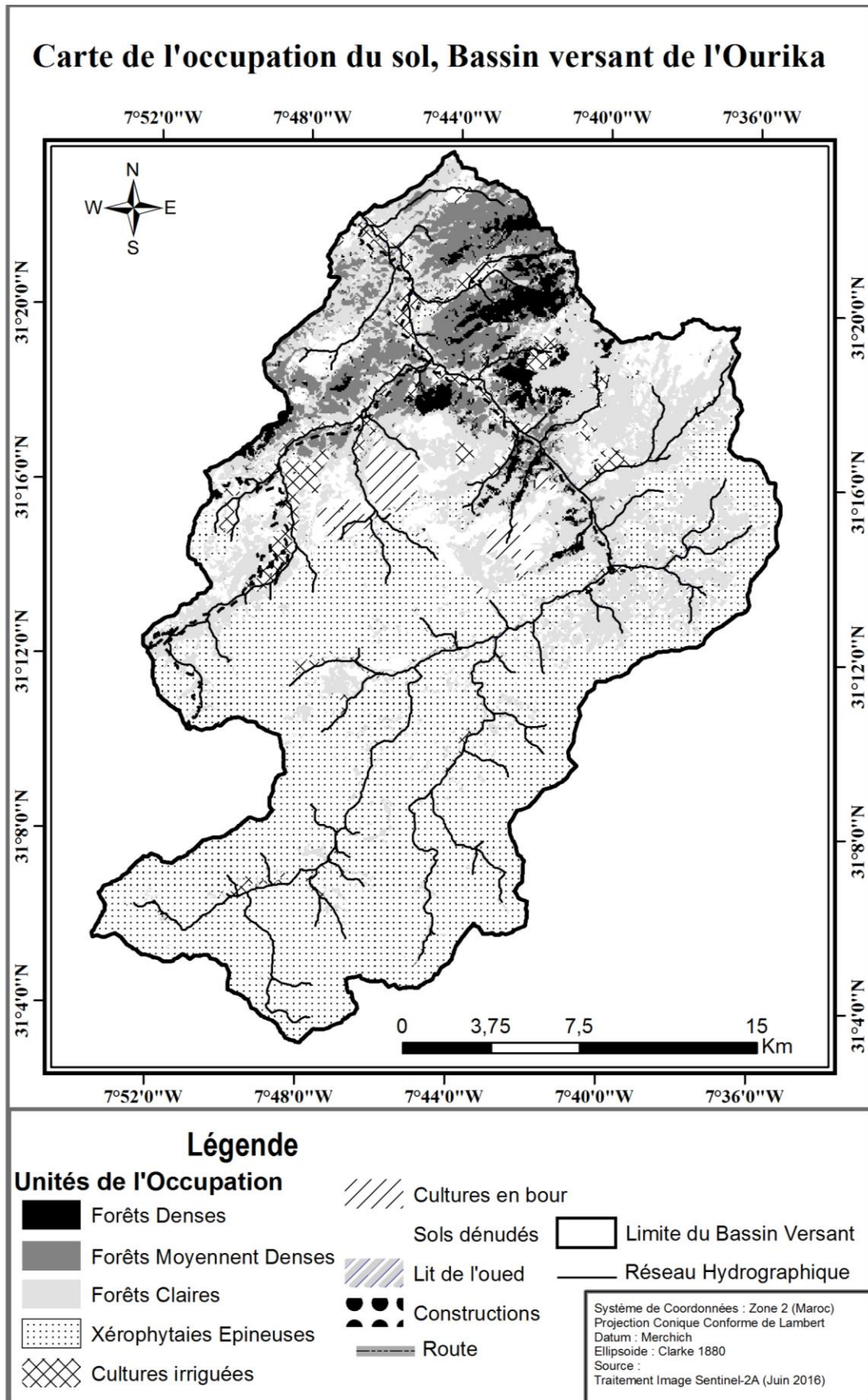


Figure 5. Carte de l'occupation du sol, au niveau du bassin versant de l'oued Ourika, Haut Atlas Occidental

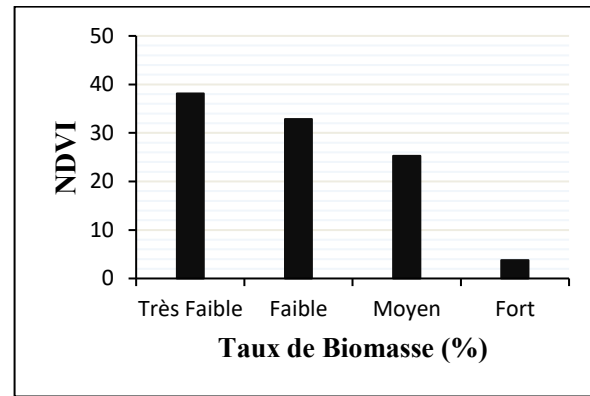
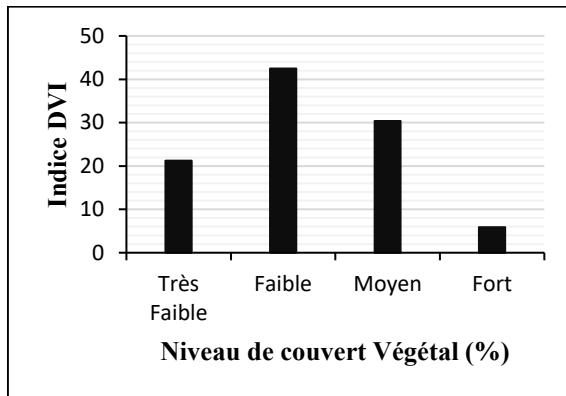


Figure 6. Histogramme de répartition de DVI **Figure 7.** Histogramme de répartition de NDVI

L'indice PVI dont la répartition spatiale présentée dans la figure 4 exprime la densité de la végétation. Les densités faibles à très faibles représentent 63,07% de la superficie totale du bassin avec 25,81% et 37,26% pour la très faible et la faible densité respectivement (Figure 4). Les densités moyennes et fortes représentent 19,92% et 17,01% respectivement de la superficie totale de la zone.

L'indice TSAVI exprime l'état de santé de la végétation. La figure 5 montre que la santé faible à très faible représente 44,62% de la superficie totale du bassin avec très faible (25,71%) et faible (18,91%). Un état de santé moyenne à bonne représente 37,85% et 17,53% respectivement de la superficie totale de la zone.

Sur le terrain, le couvert végétal d'une santé faible à très faible correspond aux zones occupées par les xérophytes et les forêts claires. La bonne santé se remarque surtout au niveau des forêts denses et au niveau des cultures irriguées ainsi qu'au niveau des forêts moyennement denses.

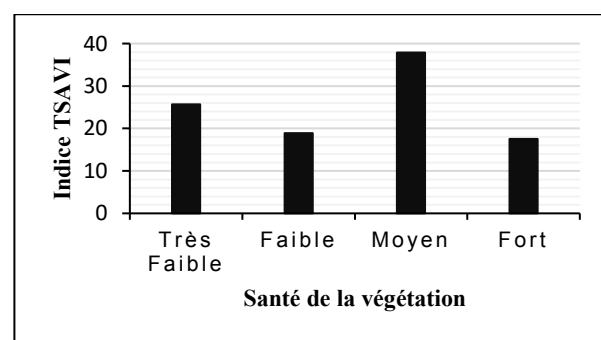
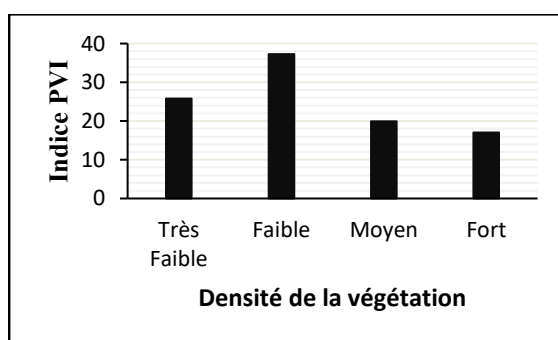


Figure 8. Histogramme de répartition de PVI

Figure 9. Histogramme de répartition de TSAVI

3.3. Localisation des zones dégradées

Le niveau de dégradation des formations végétales naturelles au niveau du BVO est variable. L'analyse spatiale montre que 72,80% du bassin versant se caractérise par une

dégradation forte et moyenne avec des taux de 27,66% et 45,14% pour la dégradation forte et la dégradation moyenne, respectivement. La faible dégradation du couvert végétal représente 19,17% de la superficie totale du bassin versant alors que la dégradation très faible ne représente que 8,04% (figures 6 et 7). Les zones de dégradation forte à moyenne se localisent essentiellement à proximité des agglomérations d'habitations d'Amassine, d'Anrar, de Tafza, de Timalizene, de Tamzendirt, de Sgour, d'Anins, de Toug El Kheir, d'Anfgayne, d'Ait Amar, de Tikhfist, de Tourcht et sur le plateau de Timnkar. Il s'agit essentiellement, des forêts claires et des zones occupées par les xérophytes épineuses dégradées d'altitude et des zones très touchées par le phénomène d'érosion y compris les zones dénudées (quasiment nues). Les zones avec une dégradation très faible à faible correspondent aux forêts denses à moyennement denses, aux cultures irriguées et une partie des forêts claires.

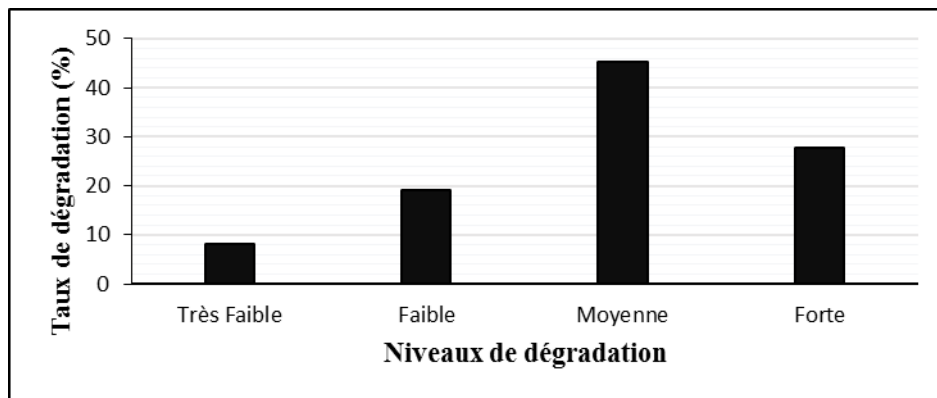


Figure 10. Niveaux de dégradation du couvert végétal

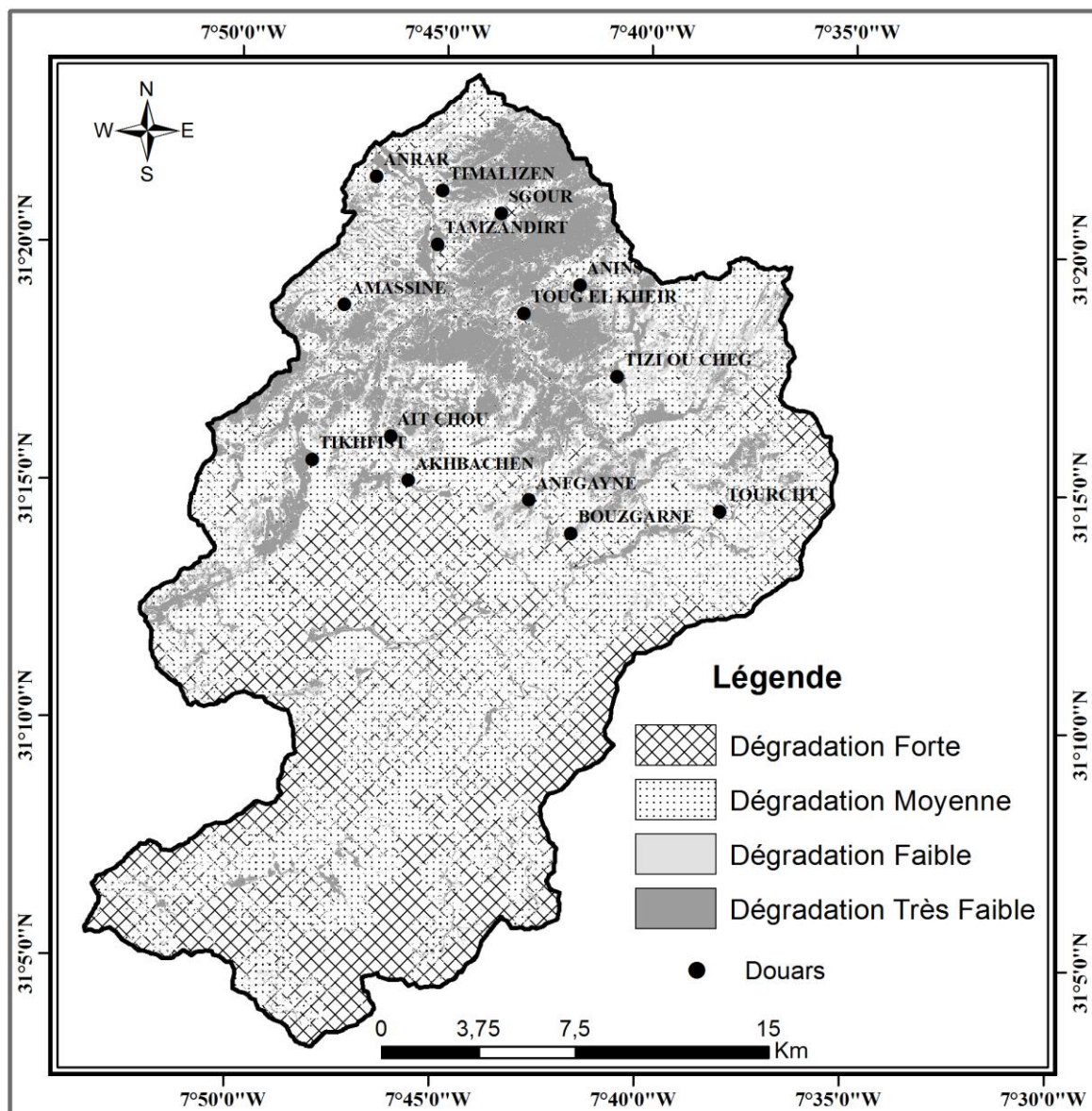


Figure 11. Carte des niveaux de dégradation du couvert végétal dans le bassin versant de l'Oued Ourika, Haut Atlas Occidental, Source : Traitement d'Image Sentinel-2A

4. Discussion

L'évaluation de l'état de l'occupation du sol montre que le BVO est occupé par les formations à xérophytes épineuses (49,74%), les forêts denses (3,40%), les forêts moyennement denses (7,55%) et claires (24,67%), les cultures irriguées (4,63%) et les cultures en 'Bour' (2,00%) et enfin le sol dénudé et le bâti (8%).

La détection des zones dégradées du couvert végétal a montré que la zone d'étude est caractérisée par une dégradation du couvert végétal de forte à moyenne sur 72,21% de

son aire totale. La faible dégradation représente 19,17% et la très faible dégradation 8,04% de la superficie totale du bassin.

Ces résultats confirment ceux trouvés par Khattabi et al. (2017), exceptées certaines petites différences qui s'observent au niveau des classes 'sol nu' et cultures. La superficie occupée par les cultures est plus importante dans ce travail alors que celle du sol nu est faible par rapport aux résultats précédents. Ceci peut être dû, d'une part au fait que la période à laquelle les images utilisées ne permettent pas de détecter certaines zones de céréaliculture qui, une fois récoltées se confondent à du sol nu, d'autre part, au fait que dans ce travail, les zones de cultures ont été digitalisées à partir des images Google Earth© permettant de matérialiser tout l'espace de culture mais également la différence de résolution des images utilisées.

Les indices de végétation ont été utilisés pour l'évaluation de l'état de dégradation de la végétation. L'ampleur des zones dégradées concorde avec celles évaluées par d'autres auteurs ayant travaillé dans la zone d'étude et dans la région (Hammi, 2003; Rihane, 2015). Hammi (2003) a montré que les recouvrements des formations végétales dans les bassins versants de l' Ourika et de Rheraya sont globalement faibles et que les formations de chêne vert et de genévrier oxycèdre présentent des recouvrements denses. Par ailleurs, les formations fortement anthropisées, les formations xérophytiques présentent un recouvrement faible en ce sens qu'une partie importante de leur espace est occupée par du sol quasiment nu.

5. Conclusion

Ce travail a permis la réalisation d'une carte d'occupation du sol dans le BVO à l'aide de la classification de l'image sentinel-2A caractérisée par une résolution spatiale de 10 m. Le BVO se caractérise par un couvert végétal faible et dispersé. La forêt de densité moyenne à dense n'occupe que 10,95% de la superficie totale du bassin et 24,67% pour les forêts claires. Plus de la moitié du bassin est dépourvu de couverture forestière avec 49,74 % pour les formations à xérophytes épineuses et 13,86% pour le sol dénudé et les cultures. Une grande partie de la superficie du bassin versant (72,80%) se caractérise par une dégradation forte à moyenne du couvert végétal. Ces zones dégradées correspondent aux zones menacées par l'érosion, des zones asylvatiques et les zones fortement anthropisées. Des interventions de restauration (reboisements) sont recommandées pour reconstituer le couvert végétal qui aide à la stabilisation des sols et à la régulation des écoulements hydriques dans le bassin.

Remerciements : Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet de recherche GIREPSE financé par le Centre de Recherches pour le Développement International (CRDI), Canada.

Références bibliographiques

- Anonyme, 2012. Projet de développement du bassin versant de l'Ourika financé par le Fonds Hassan II (Rapport d'achèvement). HCEFLCD-Haut-Atlas. 46 p.
- Bannari, A., Morin, D., Bonn, F., Huete, A.R., 1995. A review of vegetation indices. *Remote Sens. Rev.* 13, 95–120. doi:10.1080/02757259509532298
- Baret, F., Guyot, G., 1991. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. *Remote Sens. Environ.* 35, 161–173. doi:10.1016/0034-4257(91)90009-U
- Benchaabane, A., 1997. Impact de l'exploitation du prélèvement du bois de feu sur l'érosion du sol en haute montagne (cas du haut Atlas de Marrakech, Maroc). *Sécheresse* 8, 265–269.
- Caloz, R., Collet, C., 2001. Précis de télédétection, Volume 3, Traitements d'images de télédétection, Presses de l'Université du Québec. ed. Agence Universitaire de la Francophonie. 386 p.
- Duclaux, A., 2005. Modélisation hydrologique de 5 Bassins Versants du Haut-Atlas Marocain avec SWAT (Soil and Water Assessment Tool). Marrakech, MAROC. (Mémoire pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur Agronome). Institut National Agronomique de Paris-Grignon. 56 p.
- FAO, 2009. Vers une définition de la dégradation des forêts : Analyse comparative des définitions existantes. (Réunion technique sur l'évaluation et le suivi de la dégradation des forêts - Rapport succinct), Évaluation des ressources forestières mondiales Document de travail 171. FAO, Rome, Italie. 66 p.
- Hammi, S., 2003. Cartographie des recouvrements de la Végétation naturelle des deux bassins versants de la Rheghaya et de l'Ourika par télédétection spatiale, Haut Atlas de Marrakech, (Mémoire du Diplôme d'Etudes Supérieures Approfondies (D.E.S.A)). Université Cadi Ayyad, U.F.R : Ecologie et Fonctionnement des Ecosystèmes terrestres, Faculté des Sciences Semlalia. Marrakech, Maroc. 42 p.
- Hammi, S., Simonneux, V., Alifriqui, M., Auclair, L., Montes, N., 2012. Étude sur le long terme de la dynamique forestière dans la haute vallée des Ayt Bouguemmez. Impact des modes de gestion, in: Agdal, Patrimoine Socio-Écologique de l'Atlas Marocain. Institut Royal de la Culture Amazighe (IRCAM) et Institut de Recherche pour le Développement (IRD), pp. 127–149.
- Joshi, P.C., 2011. Performance evaluation of vegetation indices using remotely sensed data. *Int. J. Geomat. Geosci.* 2, 231-240.
- Juillerat, M., 2004. Etude hydrologique comparative de 5 bassins versants du Haut Atlas marocain (Projet SUDMED). (Projet SudMed: Projet de recherche francomarocain :

- Fonctionnement et ressources hydro-écologiques en région semi-aride (Tensift, Maroc) : Caractérisation, modélisation et prévision). UFR sciences et techniques de Besançon (Université de Franche-Comté, France) & IRD & Faculté de Sciences et Techniques (Université Cadi Ayyad- Marrakech, Maroc). 70 p.
- Khattabi, A.; Lahssini S.; Rihane R. et Rifai, N., 2017. Etude de la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol dans le bassin versant de l'Ourika entre 1984 et 2014. Sous presse.
- Meliho M., Khattabi A., Zine El Abidine A., 2016a. Etude de la sensibilité à l'érosion hydrique dans le bassin versant d'Ourika (haut atlas, Maroc). First AMSR Congress and 23rd APDR Congress 'Sustainability of Territories in the Context of Global Changes', 30-31 May 2016, Marrakech, Morocco, pp: 189-196.
- Meliho M., Khattabi A., Mhammdi N., Hongming Z., 2016b. Cartographie Des Risques De L'érosion Hydrique Par L'équation Universelle Révisée Des Pertes En Sols, La Télédétection Et Les Sig Dans Le Bassin Versant De L'Ourika (Haut Atlas, Maroc). European Scientific Journal November 2016 edition vol.12, No.32 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431, pp: 227-297.
- Meliho M., Khattabi A., Mhammdi N., Hongming Z., 2016c. Impact of Land Use and Vegetation Cover on Risks of Erosion in the Ourika Watershed (Morocco). American Journal of Engineering Research (AJER) e-ISSN: 2320-0847, p-ISSN: 2320-0936 Volume-5, Issue-9, pp-75-82.
- Meneses-Tovar, C.L., 2011. L'indice différentiel normalisé de végétation comme indicateur de la dégradation. Unasylva No 238, Mesurer la Dégradation des Forêts 62, 39–46.
- Mróz, M., Sobieraj, A., 2004. Comparison of several vegetation indices calculated on the basis of a seasonal SPOT XS time series, and their suitability for land cover and agricultural crop identification. Tech. Sci. 7, 39–66.
- Ouhammou, A., 1986. Recherches sur l'étagement de la végétation dans le bassin versant de l'ourika (Haut-Atlas Central, Maroc) (Thèse de doctorat de 3ème Cycle). Université Cadi Ayyad, Faculté des Sciences de Marrakech.
- Ouhammou, A., Aubin, P., 1991. II-Aperçu sur l'étagement de la végétation du bassin de l'Ourika (Haut-Atlas de Marrakech, Maroc). In: Bulletin mensuel de la Société linnéenne de Lyon 60è année, n°10, décembre 1991. pp. 401–405. doi:10.3406/linly.1991.14131
- Rhanem, M., 2015. La topoclimatologie, un outil au service de l'écologie. Applications et implications possibles au niveau de la gestion des forêts d'altitude des montagnes du Moyen et Haut Atlas (Maroc). Quad. Bot. Ambient. E Appl. 77–107.
- Rihane, R., 2015. Contribution à l'évaluation des services hydrologiques de la forêt et des aménagements antiérosifs dans le bassin versant de l'Ourika (Mémoire de 3ème cycle). Ecole Nationale Forestière d'Ingénieurs de Salé, ENFI.
- Rihane R., Khattabi A. et Lahssini S., 2016. Modélisation de l'impact des changements d'utilisation des terres sur le comportement hydrologique du bassin versant de l'Ourika. First AMSR Congress and 23rd APDR Congress 'Sustainability of Territories in the Context of Global Changes', 30-31 May 2016, Marrakech, Morocco, pp: 44-45.

- Rondeaux, G., Steven, M., Baret, F., 1996. Optimization of soil-adjusted vegetation indices. *Remote Sens. Environ.* 55, 95–107. doi:10.1016/0034-4257(95)00186-7
- Sirtou, M., 1995. Etude hydro-climatologique des bassins du N’Fis, du Rheraya, de l’Ourika et du Zat (MAROC) (Thèse de doctorat de l’Université de Metz). Université de METZ. 311 p.
- Tchibozo, E.A., Toundoh, O.P., 2014. Détection localisée des zones dégradées de végétation par télédétection: application à la zone de transition entre le bassin sédimentaire et le socle cristallin (Centre-Bénin). *Int. J. Innov. Sci. Res.* 477–493.
- Tucker, C.J., 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sens. Environ.* 127–150.
- Zhang, C., Guo, X., Wilmshurst, J.F., Sissons, R., 2005. The evaluation of broadband vegetation indices on monitoring northern mixed grassland. *Prairie Perspect.* 8, 23–36.