



Journal Homepage: - [www.journalijar.com](http://www.journalijar.com)  
**INTERNATIONAL JOURNAL OF  
 ADVANCED RESEARCH (IJAR)**

Article DOI: 10.21474/IJAR01/6075  
 DOI URL: <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/6075>



### RESEARCH ARTICLE

## ESSAI DE CARTOGRAPHIE DE LA SUBERAIE ET FORMATIONS DE DEGRADATION DANS LA PROVINCE DE BENSLIMANE (OUEST DU MAROC). APPORT DES DONNEES DE TELEDETECTION OPTIQUE.

**Bouchra Rachdi<sup>1</sup>, Wadi Badri<sup>1</sup>, Mustapha Hakdaoui<sup>2</sup>, Ahmed El Aboudi<sup>3</sup>, Mohammed Hsaine<sup>1</sup> and Hassan Fougrach<sup>1</sup>.**

1. Laboratoire d'Ecologie et d'Environnement, Faculté des Sciences Ben M'sik, Université Hassan II de Casablanca-Maroc.
2. Laboratoire de Géologie Appliquée, Géomatique et Environnement, Faculté des Sciences Ben M'Sik, Université Hassan II de Casablanca-Maroc.
3. Laboratoire de Botanique, mycologie et environnement, Faculté des Sciences, Université Mohammed V-Agdal, Rabat-Maroc.

### Manuscript Info

### Manuscript History

Received: 16 October 2017  
 Final Accepted: 18 November 2017  
 Published: December 2017

### Key words:

Benslimane ; Subéraie ; Peuplements ;  
 Télédétection ; Classification Sub-pixel.

### Abstract

The cork oak forest of Benslimane province, which lies at its southern limit on a world scale, is characterized by the heterogeneity of its forest stands and the fragmentation of its forest area. These characteristics result from the interaction of various factors, including anthropogenic factors which are further aggravated by climate change. The heterogeneity of species that occupy the soil are represented by mixed pixels, which limits the reliability of conventional methods of classification. In the present study, we propose to apply a specific sub-pixel classification technique to spatial imagery from the Operational Land Imager (OLI) sensor of Landsat 8 to disaggregate the information and thus recover the spectral signatures specific to each "pure" component of the populations of the ecosystems studied.

*Copy Right, IJAR, 2017,. All rights reserved.*

### Introduction :-

Comme partout au Maroc, la subéraie de la province de Benslimane a connu au fil du temps d'importantes mutations spatio-temporelles. Ces changements doublés par une aridification progressive du Sud vers le Nord (Sebbar et al., 2011) ont transformé la physionomie de l'écosystème forestier en introduisant des modifications dans la composition floristique et dans la répartition spatiale des groupements végétaux et conduisant cet écosystème à une véritable thérophytisation (Rachdi. 2013).

Traditionnellement, l'estimation du taux de couverture de la végétation à partir de l'imagerie satellitaire se fait soit à l'aide de la classification conventionnelle soit à l'aide d'indices de végétation (Cyr et al., 1995 ; Biard & Baret., 1997 ; Hill et al., 1998 ; Arsenault & Bonn., 2001). Les résultats obtenus par ces indices sont souvent entachés d'erreurs en raison de la contamination due à l'atmosphère et aux sols sous-jacents (Bannari et al., 1999). L'effet de ces derniers domine surtout dans les milieux où la végétation est plus au moins éparse (Elmore et al., 2000 ; Hostert et al., 2003). Par ailleurs, les nouveaux développements des outils de la télédétection ont constitué un atout pour quantifier et identifier les thèmes d'occupation des sols sans qu'il ait une confusion entre les classes. Ainsi, la

**Corresponding Author:- Bouchra Rachdi.**

Address:- Laboratoire d'Ecologie et d'Environnement, Faculté des Sciences Ben M'sik, Université Hassan II de Casablanca-Maroc.

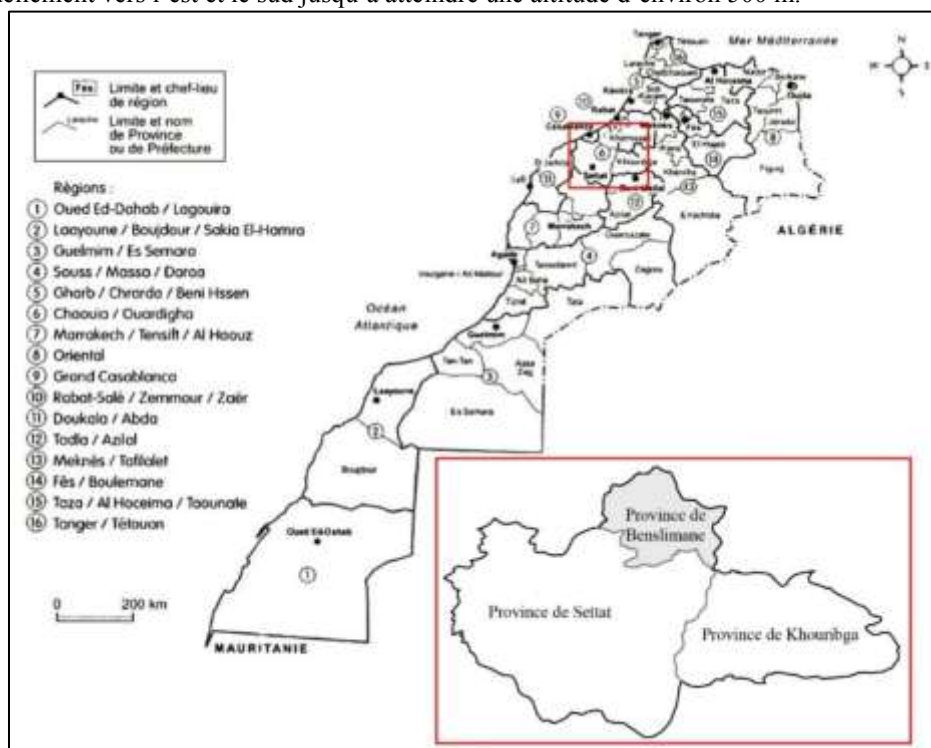
cartographie par télédétection et SIG a bénéficié de la mise au point de nouvelles approches, notamment celles basées sur la désagrégation des pixels (Jauffret., 2001 ; Di Bella., 2002 ; Bahri et al., 2007).

Ces méthodes se fondent sur la similarité spectrale entre les différentes composantes homogènes du milieu observé. Le succès de leur application à l'analyse et à la classification des images dépend de la qualité et de la représentativité des signatures prototypes sélectionnées pour représenter ces composantes homogènes. Ainsi, l'étape la plus cruciale est l'extraction d'un nombre limité de signatures prototypes pouvant caractériser et expliquer la variabilité spectrale dans l'image. À cette fin, plusieurs méthodes d'extraction peuvent être employées : i) la sélection manuelle par l'utilisateur, soit à partir d'une banque de spectres mesurés en laboratoire ou sur le terrain (Tompkins et al., 1997), soit à partir de l'image elle-même (Adams et al., 1993 ; Bateson and Curtiss, 1996) ; ii) la sélection automatique basée sur l'une des approches suivantes :

1. les espaces spectraux R vs PIR ou R et MIR (Sang-Wook and Chong-Hwa, 2004) ;
2. analyse en composantes principales (ACP) (Boardman, 1993) ;
3. analyse d'erreur itérative (AEI) (Nadeau, 2000) ;
4. indice de pureté du pixel dit PPI (Pixel purity index) (Boardman et al., 1995)
5. la moyenne des PPI dite APP (Averagepixelspurity) (Quarmby et al., 1992 ; Foody and Cox, 1994).

### Zone d'étude :-

Sur le plan administratif, la province de Benslimane s'étend sur une superficie de 2571 km<sup>2</sup>, elle fait partie de la meseta côtière marocaine et touche à peine l'extrémité ouest de la meseta centrale (Fig.1). Le territoire apparaît comme un ensemble de bas plateaux (schisteux, quartzitiques et calcaires) inclinés vers la côte atlantique et se relevant graduellement vers l'est et le sud jusqu'à atteindre une altitude d'environ 500 m.



**Figure 1:-** Situation géographique de la province de Benslimane.

La comparaison des valeurs moyennes mensuelles des températures maximales et minimales de la station de Benslimane montre que la température du mois le plus froid est enregistrée au cours du mois de Janvier avec  $m = 6,8^{\circ}\text{C}$ , alors que la température du mois le plus chaud est relevée au cours du mois d'Août avec  $M = 32,2^{\circ}\text{C}$ . Une tendance à la hausse couvrant la période qui débute du mois de janvier jusqu'au fin de la période estivale, en revanche une baisse est très marquée après le mois d'Août, La moyenne annuelle de la température est de l'ordre de  $19,5^{\circ}\text{C}$ . Le volume moyen de précipitation enregistré au niveau de la station de Benslimane (1935-2004) est de 452 mm (Fig. 2), l'année la plus pluvieuse étant l'année 1968 avec 802 mm et l'année qui présente le minimum de précipitation étant l'année 94/95 avec 155 mm.

Nous constatons une baisse notable dans le volume des précipitations surtout à partir des années 70, ceci concorde avec les travaux de Sebbar et al, 2011 qui annonce 1975 comme étant l'année de rupture au Maroc. Ainsi, de 1935 à 1975 nous enregistrons 470,4 mm et de 1976 à 2010 le volume de précipitation est de 430 mm avec une perte de 10%.

Ce déficit hydrique est récompensé par l'humidité de l'air assurée par les trois principaux oueds fortement encaissés (Oueds Mellah, Nefikh et Cherrat) drainent la région. Ils sont grossièrement parallèles, et se jettent dans l'océan Atlantique.

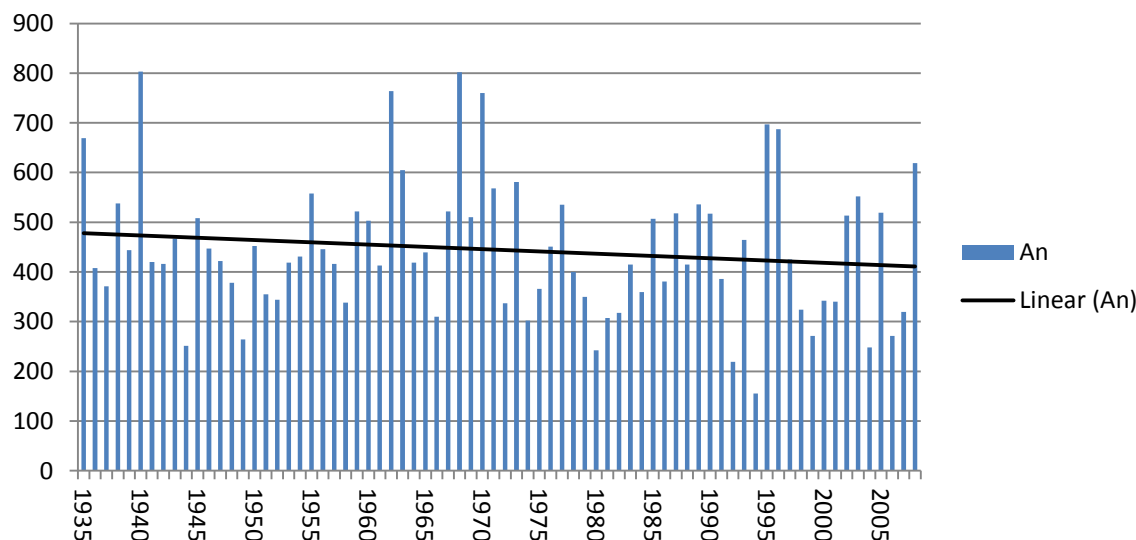


Figure 2:- Répartition des précipitations à Benslimane entre 1935-2005

### Matériel et méthodes:-

Face à l'hétérogénéité des espèces qui occupent le sol et par conséquent la production des pixels mixtes, nous avons appliqué une technique spécifique de classification dite Sub-Pixel pour effectuer l'opération de désagrégation de l'information et permettre ainsi de retrouver les signatures spectrales propres à chaque composante 'pure' des peuplements des forêts de Benslimane.

Cette opération de désagrégation a fait l'objet de nombreux travaux au niveau international (Bierwirth., 1990 ; Puyou-Lascassies et al., 1994 ; Kerdiles et Grondona., 1995 ; Jasinski., 1996). Au Maroc, Bahri et al., 2007 ont utilisé les méthodes basées sur la similarité spectrale pour cartographier les espèces forestières dominantes de l'écosystème de la cédraie du moyen Atlas, soit l'analyse de mixture spectrale linéaire (AMSL) et le Spectral Angle Mapper (SAM). Les objectifs poursuivis consistent à comparer des procédures d'extraction des signatures spectrales « pures » prototypes, dites endmembers, et les approches de l'AMSL et du SAM en termes de cartographie des espèces végétales dominantes de cette forêt.

Kerdiles et al., (1995) et Faivre & Fischer (1997) ont supposé que la variabilité spectrale à l'intérieur des pixels mixtes était seulement due aux variations de l'utilisation du sol dans les pixels eux-mêmes et non à l'évolution de la végétation. De cette manière, on utilise un modèle linéaire qui considère que la réflectance d'un pixel est la combinaison linéaire des réflectances des éléments qui composent le pixel multipliées par leurs proportions respectives à l'intérieur du pixel.

Des sorties sur terrains ont été faites pour choisir les sites d'entraînements avec un GPS de 10m de résolution. Les zones d'échantillonnage ont concernées :

1. la forêt de Chêne liège ;
2. La forêt de Chêne liège et l'Oléo-lentisque ;
3. La forêt de Chêne liège et le Ciste de Montpellier ;
4. La forêt de Chêne liège et le Sumac ou « Tizgha » ;

5. La forêt de Chêne liège et le Myrte
6. Le matorral à Oléo-lentisque ;
7. Le matorral à Ciste de Montpellier ;
8. Les Reboisements à base d'Eucalyptus et de Pin.

Chaque point est transporté sur la composition colorée RVB de l'image du capteur OLI 2013 sur laquelle on s'est basée pour réaliser la désagrégation des pixels de 30×30 m donnant ainsi une carte binaire pour chaque type d'occupation des sols. Cette carte a fait l'objet d'un filtre de 70% , 80%, et 90% sur lesquels nous avons appliqué des filtres majoritaires de 3×3 et 5×5. Le résultat est ensuite drapé sur la composition colorée (fausse couleur). Seuls les pixels purs de 90% avec un filtre majoritaire de 3×3 qui ont été retenus.

### Résultats:-

Les résultats schématisés sur la carte (Fig.3) ci-dessous montrent que :

Sur une superficie de 7 666 ha que s'étend le Chêne liège en deux types de formation et formant plusieurs groupements forestiers. Il occupe 16,5% de la surface forestière totale de la Province de Benslimane.

Sur des sols hydromorphes et dans les subéraies claires que nous rencontrons le groupement Chêne liège et Ciste de Montpellier. Il y occupe 7% de la surface forestière totale de la Province de Benslimane.

Le groupement de Chêne liège, Ciste de Montpellier et Sumac repose sur 3 004 ha, soit 6,5% de la surface forestière totale de la Province de Benslimane. On y rencontre, en plus du chêne liège, le ciste de Montpellier et le sumac, dans certaines stations nous avons trouvé le doum également.

Le groupement de Chêne liège, Ciste à feuilles de sauge et Arbousier est caractérisé par la présence de chêne liège, le lentisque, le ciste à feuille de sauge et le myrte et l'arbousier. Il repose sur une surface de 2 281 ha soit 2% de la surface forestière totale de la Province de Benslimane. On le rencontre dans les subéraies denses.

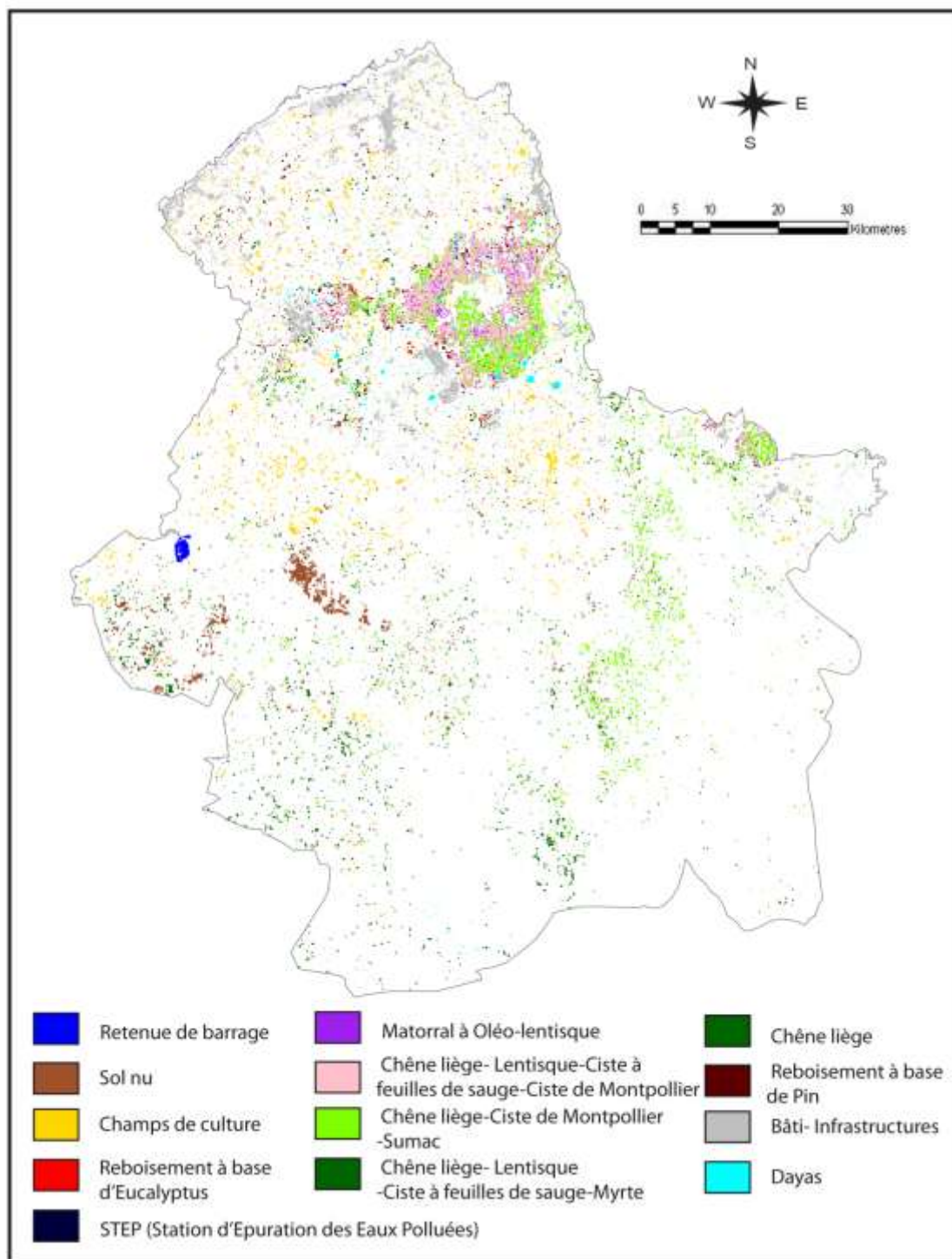
Sur des sols hydromorphes et fersialitiques que repose le matorral à oléastre-lentisque. Il s'étend sur 2281ha soit 4% de la surface forestière totale de la Province de Benslimane.

Le groupement de Thuya, Oléastre, Lentisque et le matorral à Ciste de Montpellier et Ciste à feuilles de sauge se retrouve sur les sols hydromorphes et les sols non évolués et peu évolués, occupé principalement de lentisque, olivier sauvage et ciste de Montpellier et ciste à feuilles de sauge. Il occupe 702 ha soit 1,5% de la surface forestière totale de la Province de Benslimane.

Il ne s'agit pas d'aire totale de distribution de reboisement d'Eucalyptus, mais uniquement l'*Eucalyptus camaldulensis* « pur ». Il couvre une surface de 402 ha soit 0,8% de la surface forestière totale de la Province de Benslimane.

Il s'agit principalement de la céréaliculture et de la viticulture. Elles occupent 14 894 ha soit 3,5 % de la surface totale de la province de Benslimane. Il est à signaler que la zone d'échantillonnage ne reflète pas toutes les cultures pratiquées dans la province surtout l'arboré-culture « abandonnée » dans certaines fermes et aux bords des oueds. Certaines cultures seraient certainement confondues avec la classe des sols nus.

Les mares temporaires ou communément appelées Dayas ont été détectées et cartographiées et par la normalisation d'un nouvel indice de discrimination des Dayas IBR (Rachdi et al., 2011).



**Figure 3:-** Carte des types de peuplement des forêts de la province de Benslimane.

### Discussions et conclusions:-

La carte des types de peuplements (Fig.3) a permis de détecter et spatialiser les principaux groupements qui reflètent parfaitement les conditions écologiques du milieu. Ce travail, premier dans son genre au Maroc, a démontré l'apport de la classification Sub-Pixel dans l'étude des types de peuplements par imagerie satellitaire du capteur OLI tout en prenant en considération les problèmes d'hétérogénéité spatiale et de complexité spectrale caractéristiques des régions semi arides et des milieux naturels en dégradation (Bahri, 2007).

Les principales composantes du territoire de la zone d'étude se présentent comme suit :

1. Le Chêne liège s'étend sur une surface de 7 666 ha, soit 16,5% de la surface totale du couvert forestier de la province de Benslimane. La subéraie dense et la subéraie claire y occupent respectivement 598, 5 ha et 3 262 ha.
2. Les périmètres de reboisement s'étendent sur 19 744 ha où *Eucalyptus camaldulensis* « pur » s'étale sur 402 ha.

Les peuplements et groupements identifiés et leurs répartitions sont restés les mêmes que ceux déterminés par Sauvage (1960) et Zidane (1990) ce qui confirme l'apport de la télédétection dans la contribution à l'élaboration des cartes des types de peuplements. Ces peuplements constituent une base de données réalisée à partir d'un SIG, ils ont l'avantage d'être numérisés et par conséquent serviraient de référence pour des études diachroniques ultérieures.

Etant donné qu'il devrait exister un équilibre dans la stratification verticale des formations, toute modification de la composante de ce système se répercute sur les autres, donnant naissance à de nouvelles architectures dont les caractéristiques ne sont plus les mêmes.

La dominance du Ciste de Montpellier est très apparente dans la carte des types de peuplements, elle s'explique par l'ouverture des peuplements forestiers qui favorise le développement d'une strate arbustive à base de Ciste.

En effet, avec les perturbations de tout ordre qu'ont connues les subéraies de Benslimane, elles ont cédé la place à un sous-bois plus dynamique, rustique et s'accommodant aux différents types de perturbations. Actuellement, le Ciste domine l'architecture paysagère de cet écosystème forestier.

Cette étude a confirmé également les travaux réalisés par Machouri (2005) qui confirment que la reconstitution des peuplements de Chêne liège après des opérations de reboisement à base du Pin d'Alep notamment. En revanche, elle montre l'impact indirect de l'urbanisation sur l'évolution du couvert forestier car le bâti se développe (dans sa majorité) tout en gardant les limites forestières plus au moins préservées.

Cependant, l'image utilisée reste incapable de discriminer de façon très nette entre les principales espèces ligneuses comme le Pin et le Thuya. Cela aurait pu se faire si nous avions utilisé des capteurs très hautes résolutions qui nous auraient permis d'étudier les structures et les formes de chaque thème d'occupation des sols qui sont actuellement très recommandées.

### Référence:-

1. Adams J.B., Smith M.O., Gillespie A.R. (1993): *Imaging spectroscopy: Interpretation based on spectral mixture analysis* p.145-166, in C.M. Pieters and P. Engelet (réd.) Remote geochemical analysis: element and mineralogical composition. Cambridge University Press, New York.
2. Arsnault E. and Bonn F. (2001): *Evaluation of soil erosion protective cover by crop residues using vegetation indices and spectral mixture analysis of multispectral and hyperspectral data*. 299-308, in Comptes rendus du 23e Symposium canadien de télédétection/10e Congrès de l'Association québécoise de télédétection. Sainte-Foy (Québec), 21-24 août 2001, Canadian Aeronautics and Space Institute, sur CD.
3. Bahri E., Haboudane D., Bannari A., Bonn F., Chillasse L. (2007): *Essai de cartographie des espèces forestières dominantes dans le moyen atlas (Maroc) à l'aide des données ASTER*. Revue Télédétection, vol.7, n° 1-2-3-4, 283-301.
4. Bannari A., Teillet P., Leckie D., Fedosejevs G. (1999) : *Impact des conditions internes et externes au couvert forestier sur les indices spectraux dérivés de simulations spectrales de AVHRR*. Télédétection, vol. 1, no 3, 157-181.
5. Bateson A., and Curtiss B. A. (1996): *Method for manual Endmember Selection and Spectral Unmixing*. Remote Sensing of Environment, vol. 55, n° 3, 229-243.
6. Biard F. and Baret F. (1997): *Crop residue estimation using multiband reflectance*. Remote Sensing of Environment, no 59, 530-536.
7. Bierwirth P.N. (1990): *Mineral mapping and vegetation removal via data-calibrated pixel unmixing, using multispectral images*. Int. j. remote sensing, 1990, vol.11, n°11, 1999-2017.
8. Boardman J.W., Kruse F.A., Green R.O. (1995): *Mapping target signatures via partial unmixing of AVIRIS data*. P. 23-26, in JPL (réd.) Summaries of the Fifth JPL Airborne Earth Sciences Workshop, Pasadena (CA), JPL Publication 95-1, vol. 1.



9. Boardman J. (1993): *Automated spectral unmixing of AVIRIS data using convex geometry concepts*. P. 11-14, in JPL (réd.) Summaries of the fourth annual JPL Airborne Geoscience Workshop, October 25-29, Washington, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena (CA) Publication 93-26, vol. 1.
10. Cyr L., Bonn F., Pesant A. (1995): *Vegetation indices derived from remote sensing for an estimation of soil protection against water erosion*. Ecological Modelling, vol. 79, 277-285.
11. Di Bella C.M. (2002): *Utilisation de données satellitaires couplées à un modèle de fonctionnement pour l'évaluation de la production prairiale à l'échelle nationale*. Thèse National de Recherche Agronomique Paris-Grignon. 138 p.
12. Elmore A.J., Mustard J.F., Manning S.J., Lobell D.B. (2000): *Quantifying vegetation change in semiarid environments: Precision and accuracy of spectral mixture analysis and the normalized difference vegetation index*. Remote Sensing of Environment, vol. 73, n° 1, 87-102.
13. Faivre R. and Fischer A. (1997): *Predicting crop reflectances using satellite data observing mixed pixels*. Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics 2, 87-107.
14. Foody G.M. and Cox D.P. (1994): *Sub-pixel land-cover composition estimation using a linear mixture model and fuzzy membership functions*. International Journal of Remote Sensing, vol. 15, n° 3, 619-631.
15. Hill J., Hostert P., Tsiurlis G., Kasapidis P., Udelhoven Th., Diemer C., (1998): *Monitoring 20 years of intense grazing impact on the Greek island of Crete with earth observation satellites*. Journal of Arid Environment, vol. 39, 165-178.
16. Hostert P., Röder A., Hill J. (2003): *Coupling spectral unmixing and trend analysis for monitoring of long-term vegetation dynamics in Mediterranean rangelands*. Remote Sensing of Environment, vol. 87, n° 2-3, 183-197.
17. Jasinski M.F. (1996): *Estimation of Subpixel Vegetation Density of Natural Regions Using Satellite Multispectral Imagery*. IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing, vol. 34 N° 3, 804-813.
18. Jauffret S. (2001) : *Validation et comparaison de divers indicateurs des changements à long terme dans les écosystèmes méditerranéens arides : Application au suivi de la désertification dans le Sud tunisien*. Thèse. Univ. de droit, d'économie et des sciences d'Aix-Marseille. 328 p.
19. Kerdiles H. and Grondona M. (1995): *NOAA-AVHRR NDVI decomposition and subpixel classification using linear mixing in the Argentinean Pampa*. International Journal of Remote Sensing 1995, vol.16, no. 7, 1303-1325.
20. Machouri N. (2005): *Potentialités pastorales et systèmes d'exploitation des zones forestières et périforestières. Évaluation en vue de l'élaboration d'une stratégie de développement durable participatif*. Thèse de Doctorat, Option : Gestion de l'Environnement et Développement Durable. UFR. Chaire UNESCO-GN. Univ. Med V, Fac. Des Lettres et Sciences Humaines. Rabat et Univ. De Ca' Foscari. Venise. Italie, pp. 444.
21. Nadeau C. (2000) : *Analyse des effets atmosphériques dans les données en télédétection du moyen infrarouge sur la classification des minéraux de surface en milieu aride*. Mémoire de maîtrise, Département de géographie et télédétection, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, 116 p.
22. Puyou - Lascassies, P., Flouzat, G., Gay M. & Vignolles, C. (1994) : *Validation of the use of Multiple Linear Regression as a Tool for Unmixing Coarse Spatial Resolution Images*. Remote Sensing of environment 49: 155-166.
23. Quarmby N.A., Townshend J.R.G., Settle J.J., White K.H. (1992): *Linear mixture modeling applied to AVHRR data for crop area estimation*. International Journal of Remote Sensing, vol. 13, n° 3, 415-425.
24. Rachdi B., Badri W., Hsaine M., Hakdaoui M., Fougrach H. (2011) : *Apport de la télédétection et des SIG pour l'évaluation des mares temporaires dans la province de Benslimane (Maroc)*. Journal of Forestry Faculty, 165 – 174.
25. Sang-Wook K., and Chong-Hwa P. (2004): *Linear Spectral Mixture Analysis of Landsat Imagery for Wetland Land-Cover Classification in Paldang Reservoir and Vicinity*. Korean Journal of Remote Sensing, vol. 20, n° 3, 197-205.
26. Sauvage CH. (1960) : *Recherches Géobotaniques sur les Subéaies Marocaines*. Thèse de Doctorat Es-Sciences naturelles. Faculté des Sciences de Montpellier. 414 p.
27. Sebbar A., Badri W., Fougrach H., Hsaine M., Saloui A. (2011) : *Etude de la variabilité du régime pluviométrique au Maroc septentrional (1935 – 2004)*, Sécheresse, Volume 22, 139-148.
28. Tompkins S., Mustard J.F., Pieters C.M., Forsyth D.W. (1997): *Optimization of endmembers for spectral mixture analysis*. Remote Sensing of Environment, vol. 59, n° 3, 472-489.
29. Zidane L. (1990): *Etude bioclimatique et étude phytoécologique des forêts de la province de benslimane « l'Ouest marocain »*. Thèse de l'Université Mohammed V, Rabat, Maroc, 187 p.+annexes.