

Détection de la dégradation des ressources agro-pastorales par télédétection et part du climat dans ces changements

Mahyou H.¹, Beqqali M.² et Tahri M.³

1. Unité Gestion Durable des Oujda ressources Agro-pastorales. Centre Régional de la Recherche Agronomique. B.P 428. Oujda

2. Département Environnement et Ressources Naturelles. Institut National de la Recherche Agronomique. Rabat.

3. Direction de la Planification et des Affaires Economiques. Km 4, Place Dbagh, route de Casablanca.

Résumé

L'étude de la dégradation des ressources agro-pastorales a été basée sur les techniques de la télédétection spatiale et l'analyse des données climatiques de la Commune Rurale de Mestigmer. C'est une comparaison de quatre indices de végétation normalisé (NDVI) dérivés des images satellites Landsat de 1976, 1988, 1999, 2000 et 2004 afin d'étudier la dégradation des ressources agro-pastorale. Une série de données climatiques sur une période de 36 ans (1967- 2004) a été analysée dans le but de caractériser le climat de la zone et discriminer sa part dans cette dégradation. La caractérisation climatique montre une tendance vers la diminution de la pluviométrie annuelle. Les résultats des NDVI révèlent une dégradation avancée. De même la part du climat dans cette dégradation est estimée à une perte de 58 mm.

Mots-clés : Dégradation, télédétection, NDVI, ressources agro-pastorales, climat

كشف تدهور الموارد الزراعية والرعوية بالاستشعار عن بعد ودور المناخ في هذه التغيرات
محيو حميد ، البقالي محمد ، طهري مصطفى

ملخص

استخدام الاستشعار عن بعد في دراسة تدهور الموارد الزراعية والرعوية في منطقة مستكمر شرق المغرب. تم رصد التغيرات الحاصلة في الغطاء الارضي للمنطقة على مدى اربع فترات زمنية 1976، 1988، 1999، 2000 و 2004 وذلك باستحداث قناة جديدة تأخذ بالحسبان القناة الثالثة والرابعة من الملف الاصيلي لكل صورة "لاندسات" بحيث تقتصر هذه القنوات على الغطاء النباتي. كذلك اجريت دراسة المناخ لفترة زمنية طويلة (1967-2004) بهدف تقييم خصائصه والحصة التي تساهم في التدهور.

النتائج تظهد تدهور حاد في الموارد الرعوية للمنطقة. كذلك المعلومات المناخية تظهر ان التساقطات المطرية في انخفاض. اما حصة الامطار التي تساهم في التدهور تقدر بحوالي 58 مم.

الكلمات المفتاح : تدهور، الاستشعار عن بعد، NDVI، الموارد الزراعية والرعوية، المناخ.

Abstract

The degradation study of agro-pastoral resources has been based on multi-temporal, multi-spectral, satellite sensor acquired data and on the climatic data of Mestigmer area. A technique is based on the comparison of four Normalized Difference Vegetation Indices (NDVI) derived from Landsat satellites image of 1976, 1988, 1999, 2000 and 2004. A set of 36 years (1967 - 2004) climatic data has been analyzed in the goal to characterize the climate of the zone and to discriminate the part of the climate in this degradation. This characterization shows a tendency toward the reduction of the annual precipitation. The results of the NDVI show an advanced degradation. The part of the climate in this degradation is estimated to a loss of 58 mm.

Key-words: Degradation, remote sensing, NDVI, agro-pastoral resources, climate

Introduction

La désertification est un phénomène complexe qui résulte de la combinaison de divers facteurs d'ordre climatique, anthropique, édaphique, biotique, etc. Au Maroc, la désertification est liée à un déficit pluviométrique allié aux activités humaines. Le diagnostic de ce phénomène a été réalisé par le Ministère de l'Agriculture dans le cadre du plan national de lutte contre la désertification. Il en ressort que Le phénomène revêt une grande importance puisqu'il menace actuellement près de 90 % du territoire national. Ainsi, on assiste à un empiétement du désert sur des milliers d'hectares auparavant productifs, soit une perte moyenne de 30 000 ha/an de couvert végétal et forestier (PAN, 2001).

La dégradation accélérée des ressources naturelles dans l'Oriental du Maroc menace l'équilibre de cet écosystème. Tout particulièrement les steppes à *Stipa Tenacissima* et *Artemisia herba alba* sont soumises à une pression croissante liée au surpâturage, à l'extension des surfaces cultivées et à la sécheresse. Une étude sur l'état de dégradation de ces ressources dans la Commune Rurale de Ain Béni Mathar a montré une dégradation rapide des steppes à alfa et armoise blanche (1557 ha/an) avec une tendance vers la disparition de l'armoise (Mahyou et al 2001, Bounejmate et al, 2001).

Les méthodes conventionnelles de suivi de la végétation ne sont pas à la mesure de l'échelle spatiale du phénomène et leurs temps de réponse sont peu compatibles avec la vitesse d'évolution.

La télédétection est un outil très important pour le suivi et l'évaluation des ressources agro-pastorales (Tueller 1991). La littérature consacrée à l'évaluation de la dégradation des ressources naturelles à l'aide des images satellitaires est nombreuse (Liu et al 2004; Tanser et al 2000). De même, plusieurs auteurs ont montré l'importance de l'estimation de la biomasse ou le recouvrement de la végétation à l'aide des indices de végétation dérivés des images satellitaires (Defourny, 1990 ; Tanser et Palmer, 2000). En effet, l'étude de multi-date des ressources naturelles concerne surtout la comparaison des indices de végétation sur plusieurs dates. L'Indice de Végétation à Différence Normalisée (NDVI) est très utilisé dans la littérature (Tucker, 1979). La relation entre la pluviométrie dans les zones arides a été mentionnée par plusieurs auteurs (Schmidt et al 2000, Evans et Geerken, 2004). Cependant, la littérature sur la part du climat et des facteurs anthropiques dans la dégradation est peu nombreuse.

Objectifs

Les objectifs de cette étude visent à :

- . Réaliser une caractérisation climatique de la zone ;
- . Étudier la dégradation des ressources agro-pastorales en utilisant les capteurs TM de Landsat et MSS ;
- . Montrer la part du climat dans ces changements.

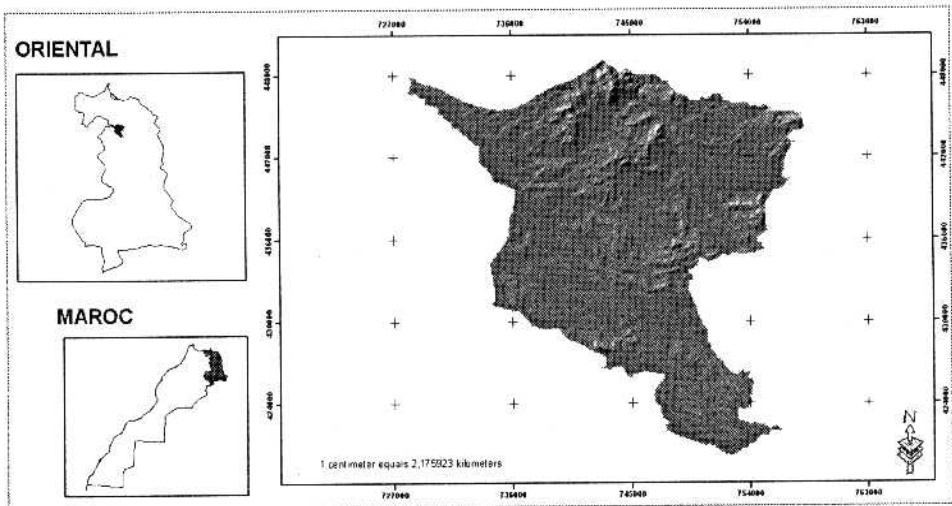
Zone d'étude

La zone d'étude est la Commune Rurale de Mestigmer, localisée dans l'Est du Maroc. Elle est située entre 2° 35' - 2° 55' N, à 470 m d'altitude. Elle s'étend sur une superficie d'environ 53 200 ha (Figure1) .

Elle est limitée par les plaines Hashass et J'fira à l'ouest, les montagnes de Béni Snassen au nord et les vallées de Boussaddane au sud. Les terres de parcours représentent 30.967 ha, la forêt : 1.055 ha, les terres incultes : 12.918 ha.

Les principaux types de sol sont les sols calcimagnésiques peu profonds avec de faibles fertilité et capacité de rétention de l'eau.

La quasi-totalité de la population tire l'essentiel de ses revenus de l'élevage ovin, caprin et bovin associé à la céréaliculture (RGA, 2000).



Méthodologie

Acquisition des données

Les données utilisées sont les cartes topographiques au 1/50000, la série de données pluviométriques (1967-2004) de la station climatique de Layoun (34°35'N, 02°31'W) et cinq scènes d'images satellites Landsat de coordonnées 199/036 : Une multispectral Scanner (MSS) à 56 m de résolution spatiale et quatre Thematic Mapper (TM) à 30 m de résolution ; datées de janvier 1976, mars 1988, octobre 1999, mars 2000 et mars 2004.

Traitement et analyse des images satellites

Le logiciel de traitement d'image utilisé dans cette étude est ERDAS IMAGINE 8.4 développé spécifiquement pour le traitement et l'analyse des images de télédétection et ARCGIS 8.3.

Les opérations de traitement des images satellites sont les prétraitements et la transformation des images satellites.

a. Prétraitement des images satellites

La correction géométrique des quatre images satellites a consisté à rectifier l'image afin de la rendre superposable avec les cartes topographiques. L'erreur quadratique moyenne est de 0.6, 0.8, 0.8, 0.7 et 0.8 respectivement pour MSS de 1976, TM de 1988, 1999, 2000 et 2004.

b. Transformation des images satellites : Indice de Végétation à Différence Normalisée (NDVI)

L'NDVI a été utilisé dans plusieurs études globales et régionales. L'objectif assigné à cet indice est de suivre l'évolution de la végétation notamment dans les zones fragiles (Briggs and Nellis 1991 ; Lyon et al.1998).

Les indices de végétation sont calculés à partir des images satellites. Il consiste à soustraire au canal proche infrarouge (PIR) où la couverture végétale a de fortes réflectances, le canal rouge (R) où les surfaces minéralisées ont de fortes réflectances. Le calcul est effectué selon la formule suivante :

$$\text{PIR} - \text{R} / \text{PIR} + \text{R} \quad (\text{Rouse et al., 1973, Tucker, 1979})$$

Le néocanal résultant présente un gradient croissant d'activité végétale allant du noir signifiant l'absence de couverture, au blanc qui rend compte d'une activité chlorophyllienne très élevée.

Travaux de terrain

L'intérêt de ces sorties est de valider les résultats issus par ordinateur, faire des observations pour l'affinement et la validation des résultats. Les sorties de terrain ont été programmées en mars 2004 de façon à parcourir toutes les zones d'incertitude et de confusion. Le repérage sur le terrain est effectué par l'utilisation du système de positionnement global (GPS). Les principales observations effectuées sont le type et l'état de la végétation.

Résultats et discussion

1. Caractérisation climatique

Régime des précipitations

La pluviométrie annuelle moyenne sur une longue période (36 ans) est de 267 mm. Elle est faible et présente une variabilité inter-annuelle importante ($CV=32\%$). Le maximum de la pluviométrie a été enregistré durant la campagne 1967/68 (514 mm); le minimum en 1982/83 (113 mm). La courbe de tendance montre une diminution des précipitations depuis 1967 (Figure 2).

Dans ces situations de grande variabilité de la quantité annuelle de pluies, les valeurs moyennes même assorties de coefficients de variation, ne permettent pas à elles seules d'appréhender les risques de sécheresse. On est alors amené à analyser le régime pluviométrique en terme de probabilité.

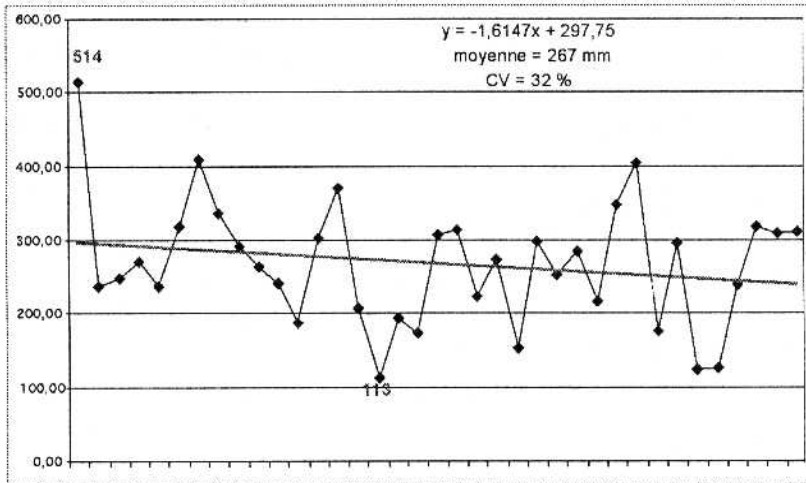


Figure 2 : Variation interannuelle des précipitations et courbe de tendance

Probabilité des précipitations annuelles

La figure 3 montre les quantités de pluie annuelle attendues par niveau de probabilité. En effet, pour la zone de Mestigmer, on peut s'attendre à 220 mm sept années sur dix, à 258 mm cinq années sur dix et plus que 315 mm une année sur dix.

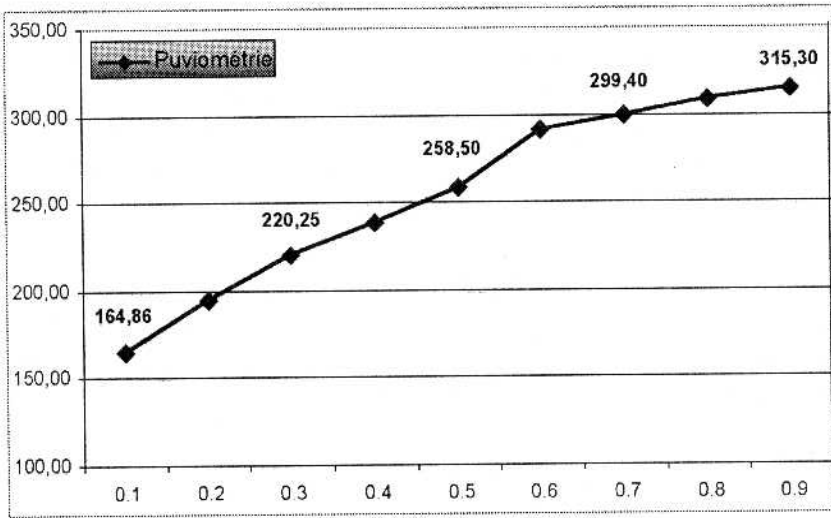


Figure 3 : Pluviométrie annuelle attendue par niveau de probabilité

Distribution mensuelle de la pluviométrie

La pluviométrie mensuelle moyenne sur une série de 36 ans est variable d'un mois à l'autre. Néanmoins, elle est surtout concentrée entre les mois d'octobre et mai. Le mois le plus pluvieux est mars (37 mm) (Figure 4).

Les quantités de pluies mensuelles reçues dans cette région sont très variables et connaissent de grandes fluctuations d'une année à l'autre. Les coefficients de variation sont élevés, 81% en mois de mars. Elle atteint 220% en août.

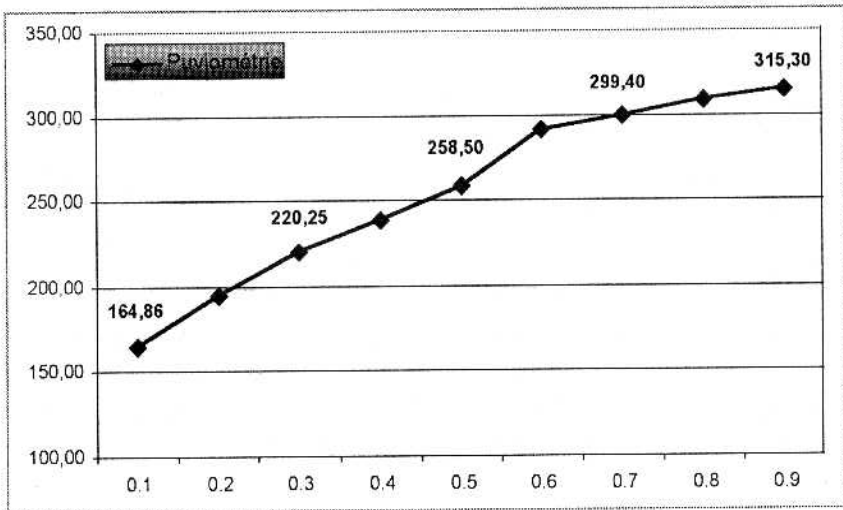


Figure 4 : Variation intra-annuelle des précipitations

La zone d'étude est classée comme zone à faible pluviométrie (267 mm par an) avec une tendance à la baisse. Ces types de zones ne peuvent produire des céréales qu'à l'aide des techniques permettant l'accumulation des pluies sur une partie des surfaces. L'analyse fréquentielle annuelle montre que la pluviométrie reste faible à différents niveaux de probabilité et donc les chances d'avoir une bonne année sont faibles. Les orages sont fréquents et peuvent provoquer des érosions hydriques considérables.

2. Détection des changements par l'indice de végétation normalisé (NDVI)

Les données sont acquises dans le visible et le proche infrarouge, et sont combinées selon la formule de l'indice de végétation normalisé (Tucker, 1979) qui est en très forte corrélation avec la densité du couvert végétal et la capacité des végétaux à absorber la lumière solaire pour la convertir en biomasse.

La figure 5 montre les NDVI des années 1976, 1988, 1999, 2000 et 2004. Les valeurs des indices ont été traduites en niveau de gris variant du noir (sans végétation), au blanc (végétation très dense). Les différents niveaux de gris traduisent les valeurs intermédiaires de l'indice. Les valeurs moyennes des cinq images sont faibles dans l'ensemble.

En 1976, l'indice de végétation a varié entre -0,85 à 0,44 avec une moyenne de 0,003. Les valeurs les plus élevées de NDVI sont au sud (zone forestière), au centre (périmètre irrigué) et quelques taches dans le nord-est. Les indices les plus faibles ne représentent que quelques plages.

En 1988, l'indice de végétation a varié entre -0,85 et 0,73 avec une moyenne de 0,06. La végétation durant cette période était active, surtout au Sud, et au Nord-Est. La période correspond au mois de Mars, les herbacées annuelles sont importantes. Au Nord-Ouest l'NDVI a été négatif. Cela est dû aux sols nus et à l'existence d'une végétation à faible densité et à faible activité chlorophyllienne.

En 1999, l'indice de végétation a été entre -0,17 et 0,47 avec une moyenne de 0,001. Durant cette période, l'activité végétative est faible, la zone sud (forêt) et un îlot au centre (périmètre irrigué) ont des indices élevés.

En 2000, la végétation est très faible à cause de la sécheresse survenue durant cette année. L'indice a varié entre -0,48 et 0,58.

En 2004, la végétation était plus importante dans toute la Commune Rurale. Les valeurs élevées sont dues à la pluviométrie importante durant cette période.

L'évaluation qualitative de la végétation pour les différentes périodes (1976-2004) montre des valeurs faibles. La majeure partie de la zone marque des tendances à la dégradation des ressources naturelles. Cette tendance est plus marquée dans les zones Nord et Nord-Ouest où les activités humaines sont plus intenses.

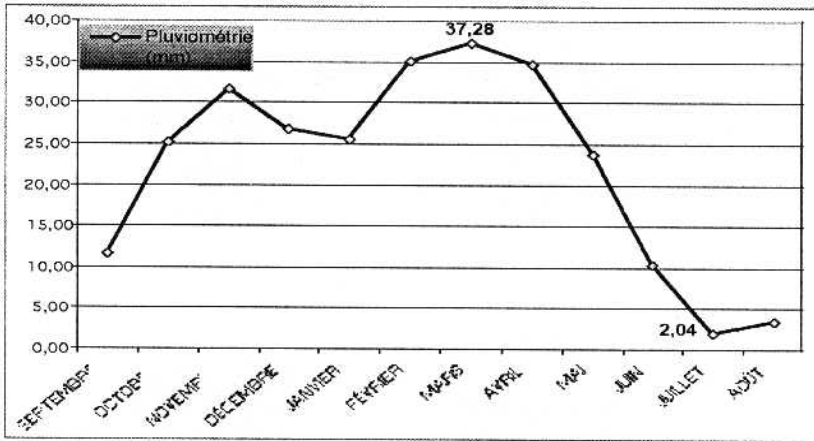


Figure 5 : NDVI pour cinq images landsat (1976, 1988, 1999, 2000 et 2004)

L'analyse du profil des indices de végétation et des pluies cumulées (en mm) durant les périodes des images satellites montre que ces deux variables suivent la même allure (Figure 6). Les années à pluviométrie élevée (1988, 2004) ont des NDVI plus importante que celles moins pluvieuses.

Les valeurs des indices de végétation et de pluviométrie sont faibles durant toutes les périodes. Ces facteurs associés à l'action de l'Homme (surpâturage, défrichement..) ont affectés de manière considérable les ressources agro-pastorales de la Commune Rurale.

L'état de dégradation est très prononcé dans la partie Nord-Ouest, dans le Sud notamment le domaine forestier et dans la zone pastorale.

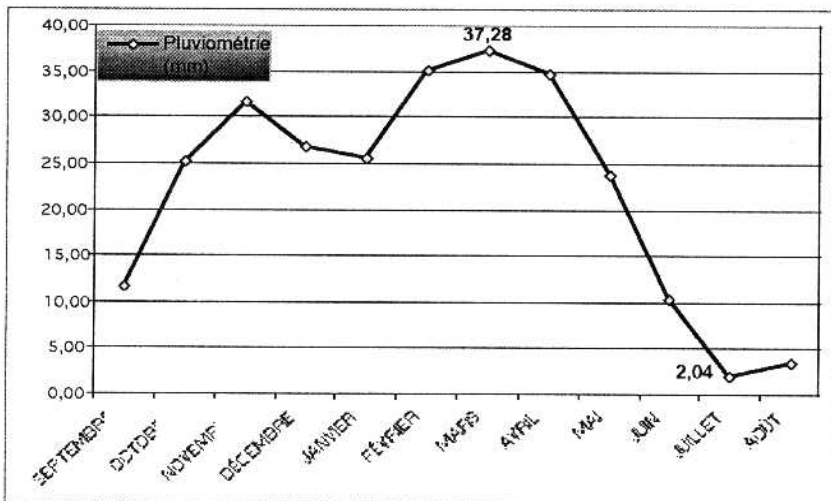
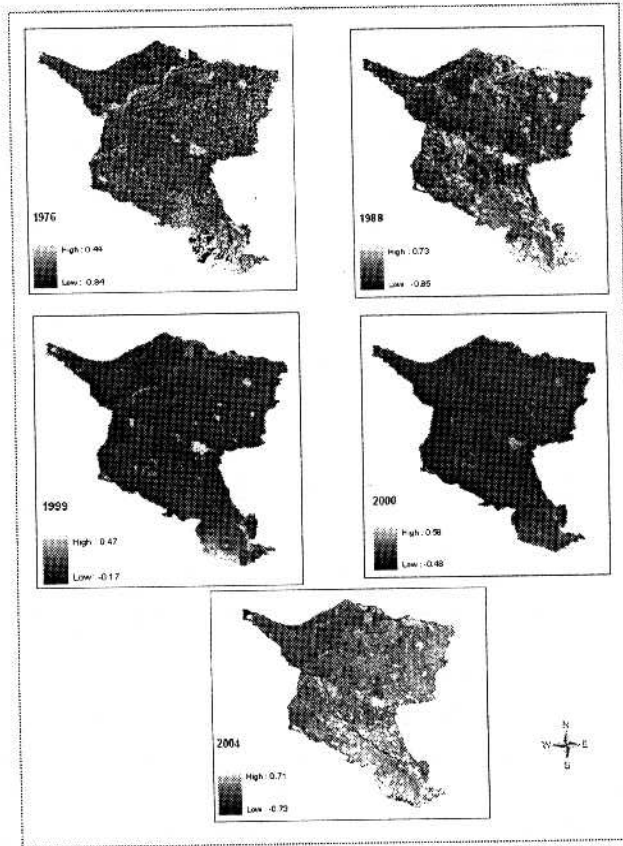


Figure 6: Evolution de la pluviométrie et de NDVI entre 1976 et 2004



3. Relation entre pluviométrie et NDVI

La relation entre NDVI et la pluviométrie a été utilisée par plusieurs auteurs pour expliquer l'évolution de NDVI (Evans et Geerken, 2004). En effet, Davenport et Nicholson (1993), Wong et al. (2003) ont montré une corrélation élevée entre NDVI et pluviométrie. La figure 7 note une importante corrélation entre la pluviométrie et NDVI ($R^2=0.80$). Les variations des indices de végétation s'expliquent par des variations pluviométriques pouvant soit réduire ou augmenter cet indice. C'est le cas des années 1999 et 2000, la pluviométrie n'a pas dépassé 28 mm et 98 mm respectivement. Les valeurs moyennes de NDVI concernant la zone sont faibles. Ceci s'expliquerait par l'absence de la végétation annuelle ou la présence des espèces à faible réflectance.

La réponse végétale à la pluviométrie en 1988 et 2004 est surtout due à la strate herbacée annuelle importante (valeur fourragère faible).

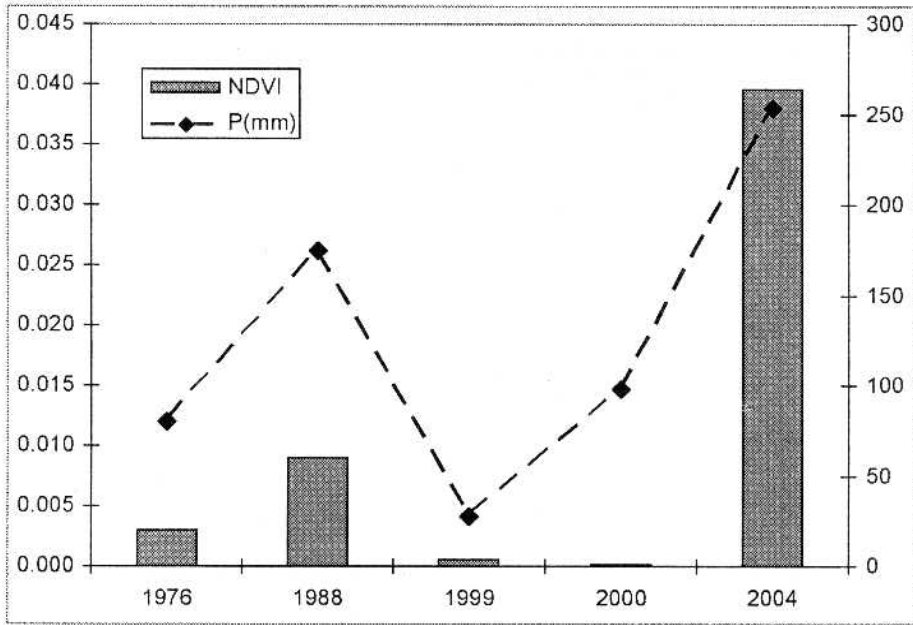


Figure 7: Corrélation entre l'NDVI et la pluviométrie

3. Part du climat dans la dégradation des ressources agro-pastorales

Les tendances observées pour les précipitations sont à la baisse. Dans cette partie, nous essayons de discriminer la part du climat qui a induit la dégradation des ressources agro-pastorales. On s'est basé sur l'évaluation de quatre périodes de données climatiques qui correspondent aux périodes de prise des images satellites. Les périodes sont de 1967 à 1976, de 1977 à 1988, de 1989 à 1999 et de 2000 à 2004. Les moyennes pluviométriques annuelles varient de 240 mm à 318 mm durant les quatre phases (figure8).

Une baisse est observée à partir de la phase 77-88. A partir de cette période, la pluviométrie moyenne des trois périodes est inférieure à la moyenne globale.

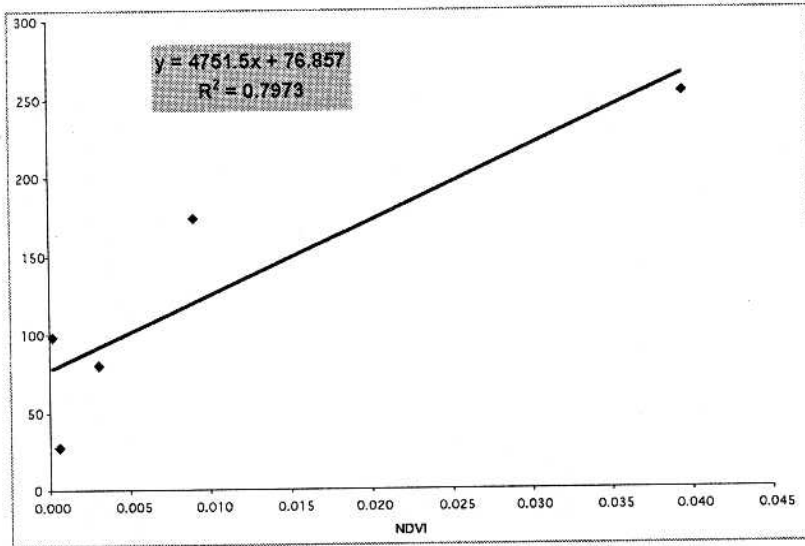


Figure 8 : Différence de pluviométrie des quatre périodes par rapport à la moyenne globale

La différence de pluviométrie entre la moyenne de 1967 à 2004 par rapport à la moyenne de chaque phase est illustrée dans la figure 8. Un surplus de 50 mm est constaté durant la phase 67-76. Des déficits de 78, 61 et 58 mm respectivement durant les périodes 77-88, 89-99 et 00-04.

La part de déficit qui contribue à la dégradation des ressources agropastorale depuis 1976 est estimée à 58 mm.

Ces déficits pluviométriques associés aux impacts humains ont eu des impacts sur la végétation, les ressources en eau, l'utilisation des terres, la productivité des sols, etc. Ces impacts peuvent à leur tour entraîner des conséquences sur la qualité de vie des populations touchées. Dans ces zones arides, les changements climatiques risquent d'aggraver le processus de dégradation des sols et de désertification.

Conclusion

L'Indice de végétation normalisé (NDVI) a permis de mettre en évidence la dégradation des ressources agro-pastorales dans la Commune Rurale de Mestigmer s'il est utilisé sur une longue période, sans pour autant discriminer entre les espèces.

L'analyse climatique de la zone a démontrée une tendance vers la dégradation. L'étude fréquentielle annuelle a confirmé que la pluviométrie reste faible à différents niveaux de probabilité et donc les chances d'avoir une bonne année sont faibles. Ces changements climatiques risquent d'aggraver le processus de dégradation des sols et une tendance

vers la désertification. La dégradation est très avancée dans cette zone. Les principaux facteurs sont les déficits hydriques associés aux activités humaines.

Références bibliographiques

- Bounejmate, M., Mahyou, H., et Bechchari, A., 2001. Rangeland degradation in Morocco: A concern for all. ICARDA Caravan N°15, December 2001.
- Briggs, J., and Nellis, D. (1991). Seasonal variation of heterogeneity in the tallgrass prairie: a quantitative measure using remotely sensing. *Photogrammetric Engineering and Remote sensing*. 57 p 407-411.
- Davenport, M. L., and Nicholson, S. E. (1993). On the relation between rainfall and the Normalized Difference vegetation Index for diverse vegetation types in East Africa. *Int. J. of Remote Sensing*. 14. 2369-2389.
- Defourny, P., 1990. Méthode d'évaluation quantitative de la végétation ligneuse en région soudano-sahélienne à partir de données Landsat TM (Burkina Faso). *Téledétection et sécheresse*. Ed. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. Paris.63-74.
- Evans, J., Geerken, R. 2004. Discrimination between climate and human-induced dry-land degradation. *Journal of arid environment*. 57, 535-554.
- Liu, Y., Zha Y., Cao, J., Ni, S., 2004. Assessment of grassland near Lake Qinghai, west China, using Landsat TM and in situ reflectance spectra data. *Int. J. remote Sensing*, Vol. 25, N° 20, 4177-4189.
- Lyon, J.G., Lunetta, R. S., Elvidge, C.D. (1998). A change detection experiment using vegetation indices. *Photogrammetric Engineering and Remote sensing*. 64 p 143-150.
- Mahyou, H., Tahri, M., Nicola, T. et Bounejmate, M., 2001. Etude de la dégradation des parcours de la commune rurale de ABM à l'aide du SIG et la Téledétection. *Compte rendu de l'atelier régional*. 20-22 février 2001. Oujda, Maroc.
- PAN (Programme d'Action National de lutte contre la désertification). 2001. Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et des Eaux et Forêt. Royaume du Maroc.
- RGA (Recensement Général d'Agriculture). 2000. Statistiques sur la Commune Rurale de Mestigmer.
- Rouse, J.W., Haas, R. H., Shell, J. A., and Deering, D. W. (1973). Monitoring vegetation system in the Great Plains with ERTS. *Third ERTS symposium*, NASA SP-351, vol. 1, 309-317.
- Schmidt, H. Karnieli, A., 2000. Remote sensing of the seasonal variability of vegetation in semi-arid environment. *Journal of Arid Environments* 45, 43-59.

Tansfer F. C., Palmer A., R., 2000. Vegetation mapping of the great Fish River Basin, South Africa: Integrating spatial and multi6spectral remote sensing techniques. *Applied vegetation science* 3: 197-204.

Tucker, C.J. (1979). Red and photographic Infrared linear combination for monitoring vegetation, vol. 8, 127-150.

Tueller, P.T., 1991. Remote sensing technology for rangeland management applications. *Journal of range management*, vol 42, N°6, p. 442-453.

Wong, J., Rich, P.M. and Price, K.P. (2003). Temporal responses of NDVI to precipitation and temperature in the central Great Plains, USA. *Int. J. of Remote Sensing*. 24. 2345-2364.