

Dynamique de l'occupation de sol à travers une classification multi-temporelle des images Landsat-5 et 7 dans le bassin versant d'Oum Zessar (Sud Tunisien)

Mourtala BACHIR¹, Bouajila ESSIFI², Ammar ZERRIM², Mohamed OUESSAR²

¹Institut National Agronomique de Tunisie (INAT)

²Institut des Régions Arides (IRA), Médenine 4119, Tunisie.

Résumé

Situé dans le Sud-est de la Tunisie (gouvernorat de Médenine), le bassin versant d'Oum Zessar, vaste de 350 Km² est caractérisé par un climat méditerranéen aride et une pluviométrie moyenne annuelle de 160- à 220mm.

Vulnérable au phénomène d'ensablement et aux changements climatiques, ce site se trouve être limité par sa vocation d'offrir à la population riveraine les moyens de subsistance nécessaires. Cependant, bien que cette zone soit assez bien documentée, des recherches sur la dynamique de l'occupation de sol s'imposent, afin que les zones pour lesquelles la répartition spatiale des ressources naturelles profite puissent être identifiées et cartographiées.

La présente étude qui se veut quantitative s'inscrit dans cette optique. Elle est basée sur une série d'images Landsat TM et ETM+ couvrant la zone d'étude. Afin de mettre en évidence les changements d'occupation de sol au cours du temps, trois types d'années ont été déterminés sur la base du pourcentage de normalité, comme étant le rapport entre la pluviométrie annuelle et la moyenne des pluviométries annuelles totales : Année humide, normale et sèche. Six scènes Landsat ont été prises, en raison de deux scènes par type d'année, pour permettre une étude comparative.

La méthode de la classification non supervisée a été adoptée et l'algorithme ISOCLUST a fourni après évaluation et reconnaissance de terrain, cinq classes d'occupation de sol et d'utilisation des terres. Cette étude a permis non seulement la réalisation de six cartes d'occupation et d'utilisation des terres mais aussi de détecter les changements qui en sont intervenus en fonction des types d'années.

Mots-clés : Occupation de sol ; Détection de changement ; Classification ISOCLUST ; Landsat ; Sud Tunisien.

Abstract

Located in the south-eastern Tunisia (Medenine), the watershed of Oum Zessar, large 36 000 ha, is characterized by an arid Mediterranean climate and an average annual rainfall of 160 -

to 220mm. Vulnerable to siltation and climate change, this website is limited by its mission to provide the local population the necessary means of subsistence. However, although this area is fairly well documented, research on the dynamics of occupation of land is required, so that the areas for which the spatial distribution of resource benefits can be identified and mapped.

In The present quantitative study, we used a series of Landsat TM and ETM+ images covering the study area. To highlight the changes made in land cover, three years have been determined based on the percentage of normality: wet year, normal and dry

Six Landsat scenes were taken, two scenes each year by type, to allow a comparative study. The unsupervised classification method was adopted based on the ISOCLUST algorithm which provided, after ground truth evaluation, five land cover and land use classes. This study allowed not only the completion of six land use map but also to detect changes that were made based on types of years.

Keywords: Land cover; change detection; ISOCLUST classification; Landsat, Southern Tunisia.

1. Introduction

Située entre le désert du Sahara et la Méditerranée, la Tunisie n'est pas épargnée par les processus de désertification (Hauser, 2011(2)). Ceci concerne les 75% de son territoire (MEAT, 1998) représentant sa partie sud notamment.

Le bassin versant d'oued Oum Zessar est situé au Nord-Est de la ville de Médenine (Figure1) qui fait partie de la région sud Est de la Tunisie. Ce bassin dont la superficie est de 350 km² (Ben Zaied, 2009 (44)) présente en amont la chaîne montagneuse de Béni-Khédache, au piedmont la plaine de la délégation de Médenine Nord et en aval la délégation de Sidi Makhlouf.



Figure 1 : Localisation de la zone d'étude dans le bassin versant de Oum Zessar, Médenine, Tunisie (adaptée de Fetoui (2012))

Cette zone souffre cependant d'un phénomène de désertification assez préoccupant du fait surtout de la pression anthropique qui pèse sur ses ressources. Ceci entraîne depuis des décennies des modifications profondes des modes de gestion et d'utilisation des ressources naturelles et de l'espace rural (Floret et *al.*, 1981 in Ch. Floret et *al.*, 1989 (54)) rendant ainsi le bassin versant vulnérable à l'ensablement et aux changements climatiques.

La présente étude est axée sur une détection de changement basée sur les statistiques de superficies en fonction des types d'années en vue de contribuer à une surveillance spatio-temporelle du bassin versant.

2. Matériels et Méthodes

2.1 Matériels

Les données utilisées dans cette étude sont des données satellitaires de moyenne résolution¹. Les images obtenues sont acquises à partir du portail de l'US *Geological Survey* (USGS) *Global Visualisation*. Il s'agit des capteurs TM (*Thematic Mapper*) et ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*) des satellites Landsat 5 et 7, respectivement.

¹ 30 m x 30 m.

Une mission de terrain sur le site d'étude a permis de valider et d'interpréter les résultats. L'étude s'est aussi basée sur *Google Earth* pour vérifier certains points du bassin versant. Les logiciels *IDRISI Taïga* et *Excel* ont été utilisés pour le traitement d'images et des données pluviométriques, respectivement.

2.2 Méthodes

2.2.1 Typologie des années hydrologiques de 1969 à 2012

Il s'agit tout d'abord du traitement des données pluviométriques (1969 à 2012) issues de la base de données de l'IRA et des données satellitaires. Le calcul du pourcentage de normalité :

$$PN (mm) = (Pi/Pm)*100$$

Avec P_i (mm) : pluviométrie annuelle et P_m (mm) : pluviométrie moyenne des années considérées (1969 à 2012)) a permis la classification des années en : année humide, $PN [110 ; +\infty [$; Normale, $PN [80 ; 110[$; Modérément sèche, $PN [55 ; 80[$; très sèche $PN [0 ; 55[$.

Au terme de cette typologie, quinze années se sont révélées humides ; onze années normales ; neuf années modérément sèches et huit années très sèches (Tableau 1).

Tableau 1 : Typologie des années hydrologiques de 1969 à 2012 (Station de Béni-Khédache), Medenine

| Types d'années | Humide | Normale | Modérément sèche | Très sèche |
|----------------|--------|---------|------------------|------------|
| | 69/70 | 74/75 | 72/73 | 72/73 |
| | 71/72 | 77/78 | 81/82 | 81/82 |
| | 73/74 | 79/80 | 84/85 | 84/85 |
| | 75/76 | 80/81 | 85/86 | 85/86 |
| | 78/79 | 83/84 | 87/88 | 87/88 |
| | 82/83 | 88/89 | 92/93 | 92/93 |
| | 86/87 | 90/91 | 96/97 | 96/97 |
| | 89/90 | 97/98 | 99/00 | 99/00 |
| | 91/92 | 04/05 | 06/07 | 06/07 |
| | 93/94 | 07/08 | | |
| | 94/95 | 10/11 | | |
| | 95/96 | | | |
| | 98/99 | | | |
| | 02/03 | | | |
| | 03/04 | | | |
| | 05/06 | | | |

2.2.2 Choix des classes d'années

Afin de mettre en évidence les changements d'occupation de sol opérés dans le temps, trois classes d'années à savoir ont été considérées tout d'abord. Ensuite un minimum de huit ans d'intervalle entre deux années de chaque classe est pris en compte. Ainsi les années humides ;

normales et très sèches sont respectivement représentées par l'année 1987 et 1999 ; 1984 et 2011 ; 2001 et 2009. Les images Landsat correspondant aux printemps des années de chaque classe ont été ensuite choisies pour mieux apprécier l'occupation et l'utilisation des sols.

2.2.3. Acquisition des Images Landsat 5 et 7

Après recherche sur *USGS Global Visualisation*, des images Landsat, six scènes se sont révélées disponibles, pour les trois types d'années (Tableau 2).

Tableau 2 : Inventaire des images Landsat acquises

| DATE | ID | COUVERTURE NUAGEUSE | CAPTEUR |
|------------|-----------------------|---------------------|---------|
| 18/06/1984 | LT51900371984170XXX05 | 0 | TM |
| 10/05/1987 | LT51900371987130XXX02 | 0 | TM |
| 07/08/1999 | LE71900371999219AGS00 | 4 | ETM+ |
| 22/04/2001 | LE71900372001112EDC00 | 1 | ETM+ |
| 23/06/2009 | LT51900372009158MPS00 | 0 | TM |
| 12/05/2011 | LT51900372011132MPS00 | 0 | TM |

Ainsi, ont été choisies pour le type d'année : Humide, les scènes du 10 Mai 1987 et 07 Aout 1999 ; Normale, les scènes du 18 Juin 1984 et 12 Mai 2011 et Très Sèche, les scènes du 22 Avril 2001 et 23 Juin 2009.

Les Prétraitements et traitements des données s'est réalisés sous environnement d'IDRISI Taïga (2009). Les images satellitaires acquises sont déjà géoreférencées. A l'issue de cette étape, les six bandes de l'image Landsat sont transformées en fichier de type *Idrisi Raster*. L'extraction de la zone d'étude (Oum Zessar) a été effectuée grâce au fichier *shapefile (*.shp)* de la zone d'étude importé dans IDRISI. Le module *Radiance* dans le sous menu *Restoration* du menu *Image Processing* a permis de convertir les valeurs *Digital Numbers (DN)* des lignes en radiances calibrées des images acquises.

2.2.4. Classification

Compte tenu de la documentation disponible et des connaissances du terrain, nous avons opté pour la classification non supervisée. Des résultats probants ont été obtenus grâce à cette technique, les travaux de Steven et *al* (1995); Latifovic et *al* (2003) ; Sarr (2009) pour ne citer que ceux-là peuvent en témoigner.

L'algorithme ISOCLUST a été utilisé pour la classification. C'est un processus itératif d'auto-organisation, classificateur non supervisé basé sur un concept similaire à la routine bien

connue ISODATA de Ball et Hall (1965) et les routines de grappes technologiques comme les procédures *H-means* et *K-means*.

Sur la base de la carte d'occupation de sol (UTD/IRA, 2004) et de la visualisation du bassin versant à partir de *Google Earth*, le nombre de classe d'occupation de sol pour chaque image a été fixé à quatre.

3. Résultats et discussion

3.1. Résultats

3.1.1 Années humides (1987-1999)

Ce type d'année est caractérisé particulièrement par l'association de la céréaliculture à l'arboriculture.

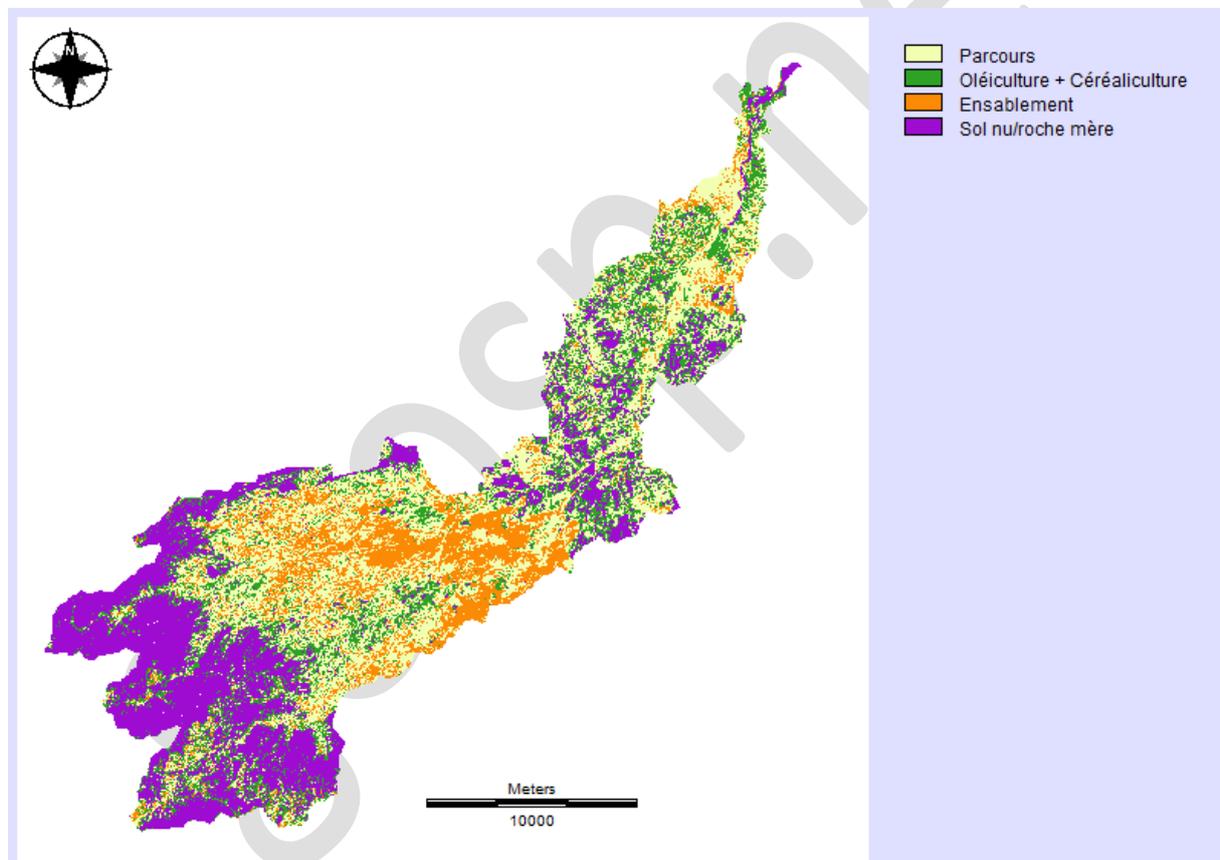


Figure 4 : Carte d'occupation de sol du bassin versant d'Oum Zessar, 1987

L'analyse de cette carte de 1987 (Figure 4) montre que l'ensablement domine au niveau des plaines, à cela s'ajoute une prédominance de sol nu en amont et aval du bassin versant.

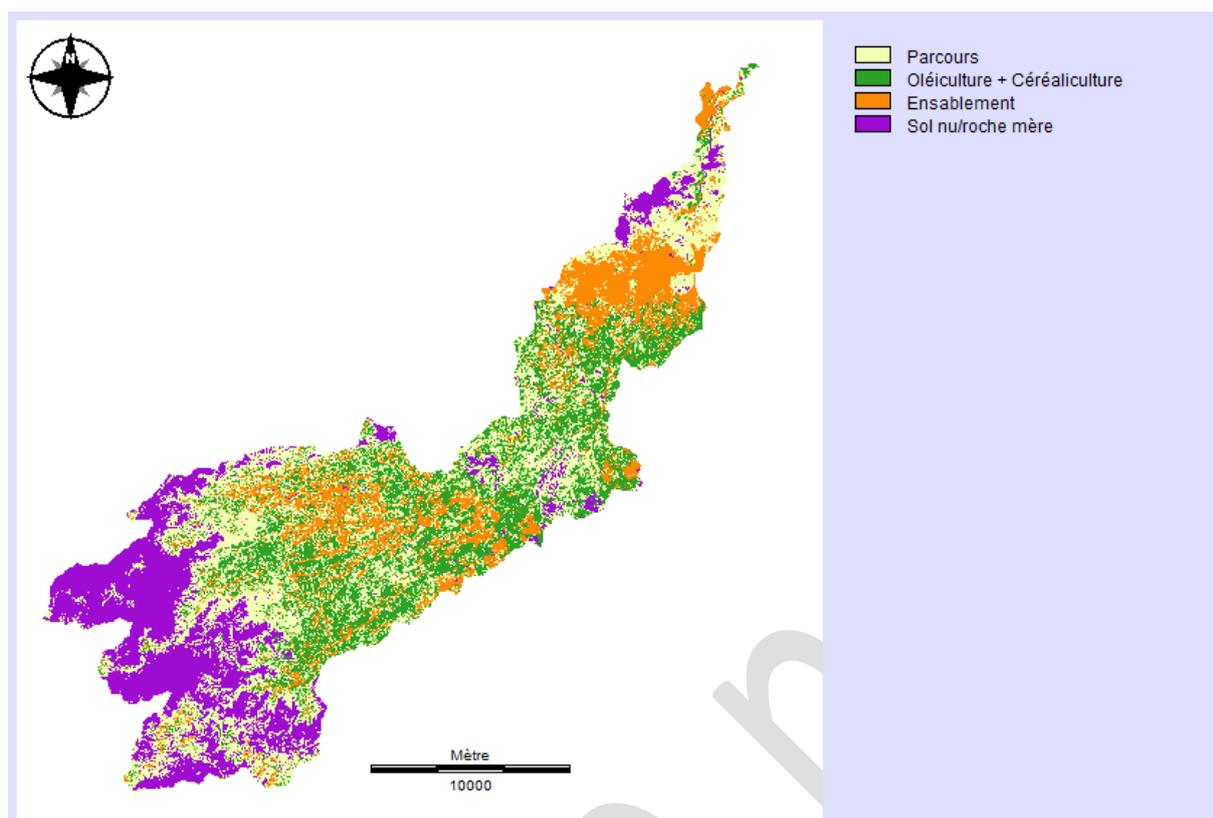


Figure 5 : Carte d'occupation de sol du bassin versant d'Oum Zessar, 1999

Pour ce qui est de l'année 1999, le constat est le suivant : Diminution importante de l'ensablement au niveau des plaines au profit de l'association, oléiculture plus céréaliculture et des parcours. Toutefois, la carte (1999) rend évident l'accumulation de l'ensablement vers l'aval du bassin versant. Les statistiques d'occupation de sol pour les années humides (1987-1999) se présentent comme suit (Tableau 3) :

Tableau 3 : Statistiques de l'occupation de sol en termes de superficie du bassin versant d'Oum Zessar (1987-1999)

| Occupation de Sol | Superficie (ha) 1987 | % | Superficie (ha) 1999 | % |
|------------------------------|----------------------|-----|----------------------|-----|
| Parcours | 12182 | 35 | 12481 | 36 |
| Oléiculture + Céréaliculture | 7158 | 20 | 8402 | 24 |
| Ensablement | 5503 | 16 | 6118 | 17 |
| Sol nu/roche mère | 10122 | 29 | 7969 | 23 |
| Total | 34965 | 100 | 34969 | 100 |

Il ressort de ce qui suit que les parcours occupent la majeure partie du bassin pour les deux années, 1987 et 1999 (avec 35 et 36% respectivement). L'oléiculture et la céréaliculture

représentent 20% en 1987 tandis qu'elles atteignent 24% en 1999. Pour ce qui est de l'ensablement, bien qu'il ait connu un déplacement, sa proportion est plus ou moins stable (16% en 1987 et 17% en 1999). Pour ce qui est l'occupation de sol, sol nu/roche mère elle est de 29% en 1987 contre 23% en 1999.

La détection de changement de l'occupation et de l'utilisation de sol est la suivante :

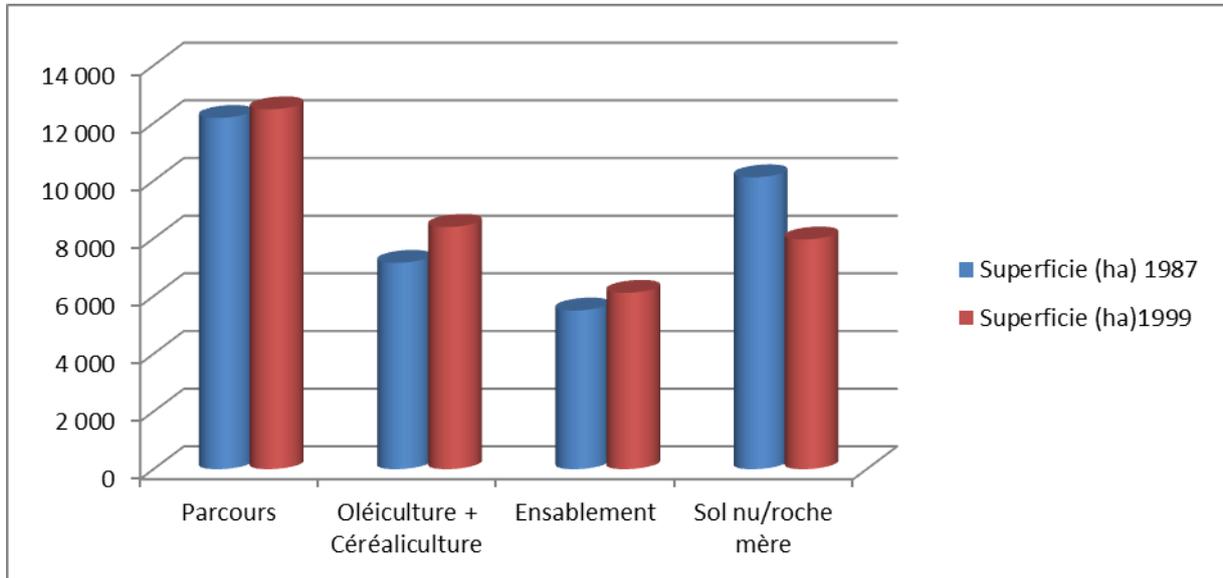


Figure 6 : Détection de changement de l'occupation et de l'utilisation de sol (1987-1999)

La détection de changement des occupations de sol en années humides se présente comme suis : Une légère augmentation des parcours (299 ha soit 1%) et de l'ensablement (615 ha soit 1%) en 1999 ; les cultures (oléiculture + céréaliculture) ont connus une augmentation significative de 1244 ha (4%) en cette même année; Cependant une diminution de 2153 ha (6%) de sol nu s'observe en 1999.

3.2. Années Normales (1984-2011)

A l'instar des années humides, les années normales sont aussi caractérisées par l'association de l'arboriculture et de la céréaliculture.

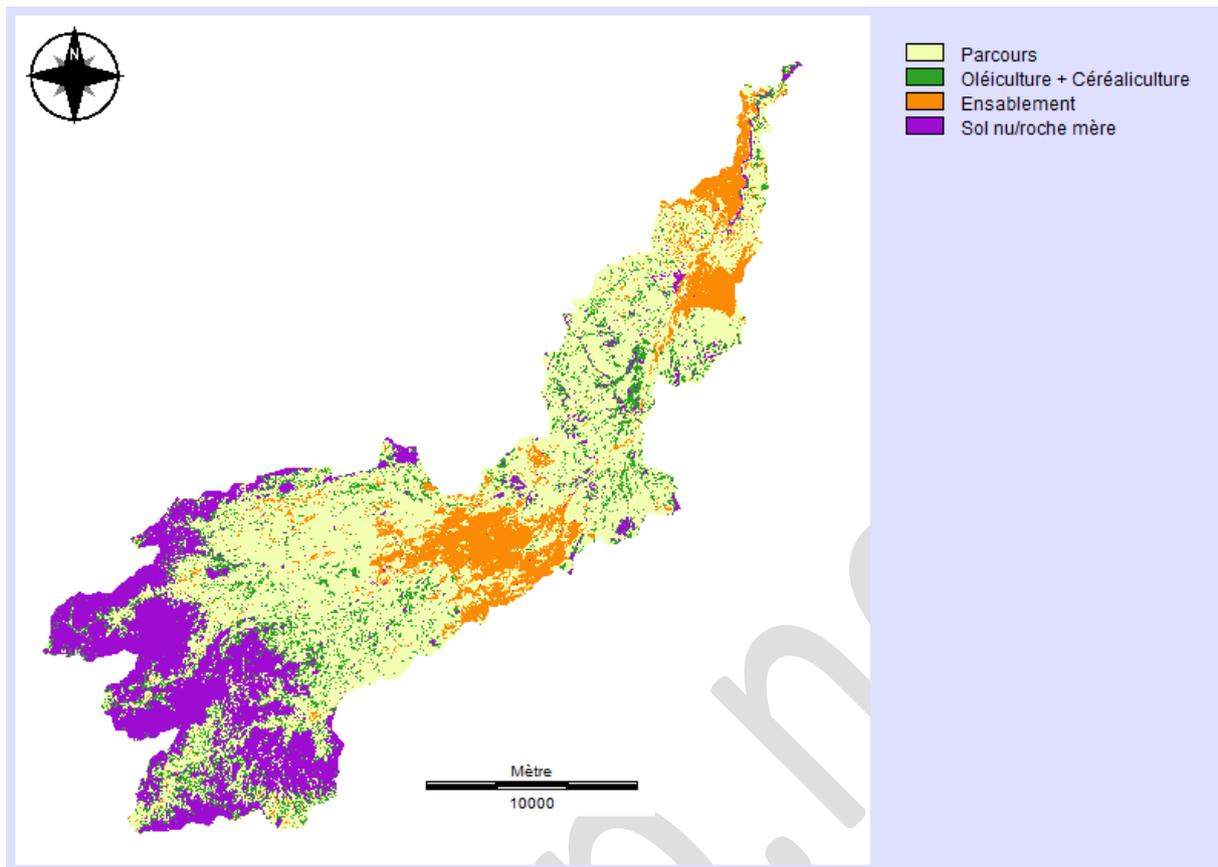


Figure 7 : Carte d'occupation de sol du bassin versant d'Oum Zessar, 1984

Au niveau de l'amont de cette carte (Figure 7) on remarque une domination des sols nus/roche mère, les parcours et les cultures (Oléiculture + céréaliculture) au niveau du piedmont et de l'aval. Toutefois il est important de souligner qu'une accumulation de l'ensablement se remarque au niveau de piedmont et de l'aval du bassin versant.

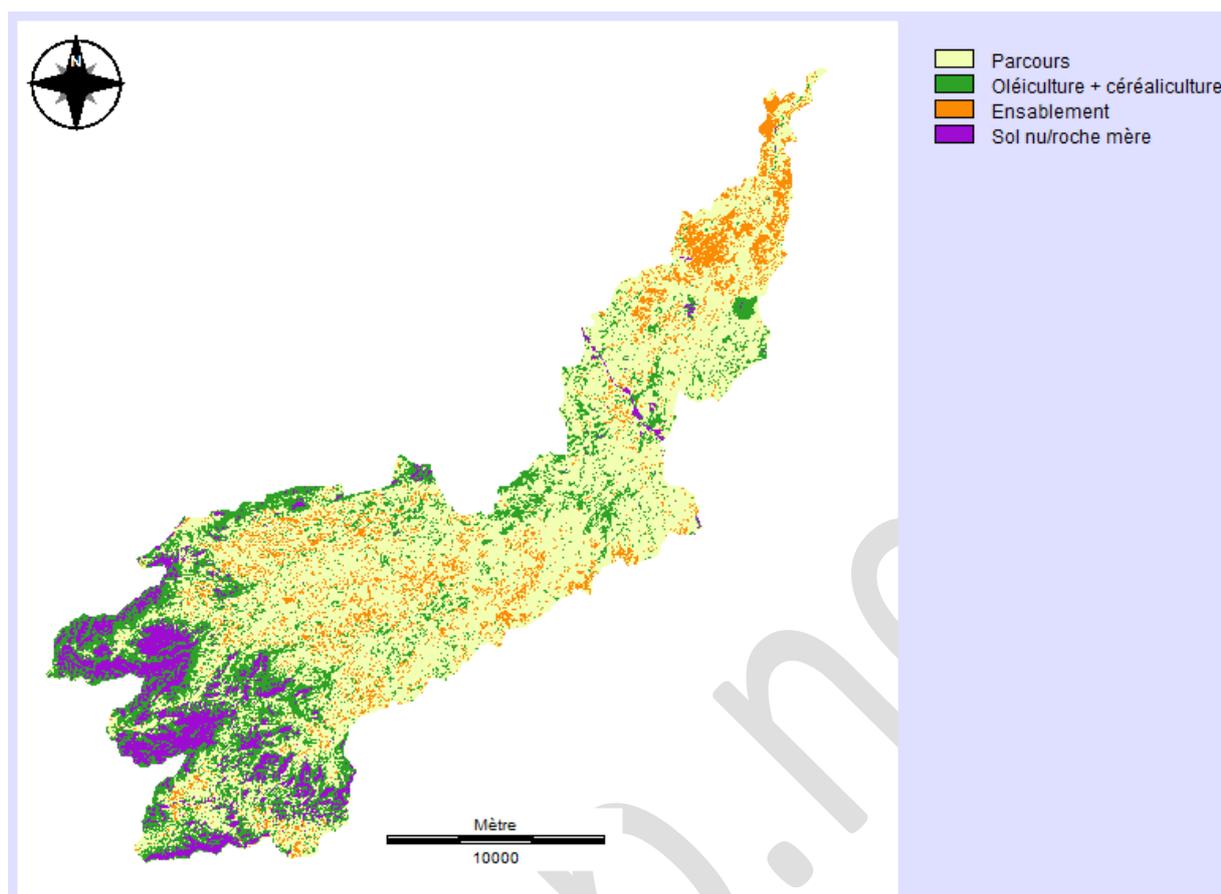


Figure 8 : Carte d'occupation de sol du bassin versant d'Oum Zessar, 2011

En 2011, les cultures font leur apparition au niveau de l'amont malgré l'existence de la roche mère. Le piedmont est occupé par les parcours et un ensablement éparpillé. Ces derniers sont cependant plus concentrés au niveau de l'aval où les parcours et cultures sont aussi présents.

Le tableau 4 donne les statistiques d'occupation de sol des années 1984 et 2011.

Tableau 4 : Statistiques de l'occupation de sol en termes de superficie du bassin versant d'Oum Zessar 1984-2011

| Occupation de Sol | Superficie (ha) 1984 | % | Superficie (ha) 2011 | % |
|------------------------------|----------------------|-----|----------------------|-----|
| Parcours | 18982 | 54 | 20864 | 60 |
| Oléiculture + Céréaliculture | 3909 | 11 | 7473 | 21 |
| Ensablement | 4329 | 12 | 3544 | 10 |
| Sol nu/roche mère | 7749 | 22 | 3088 | 9 |
| Total | 34969 | 100 | 34969 | 100 |

A ce niveau le constat est le suivant : les parcours occupent plus de la moitié du bassin pour les deux années, 1984 et 2011(avec 54 et 60% respectivement). Les cultures (oléiculture et la céréaliculture) représentent 11% en 1984 et environ le double (21%) en 2011. Pour ce qui est de l'ensablement et du sol nu/roche mère, leurs proportions sont respectivement de 12 et 22%

en 1984 puis 10 et 9% en 2011. La détection de changement de l'occupation et de l'utilisation de sol en année normale est la suivante :

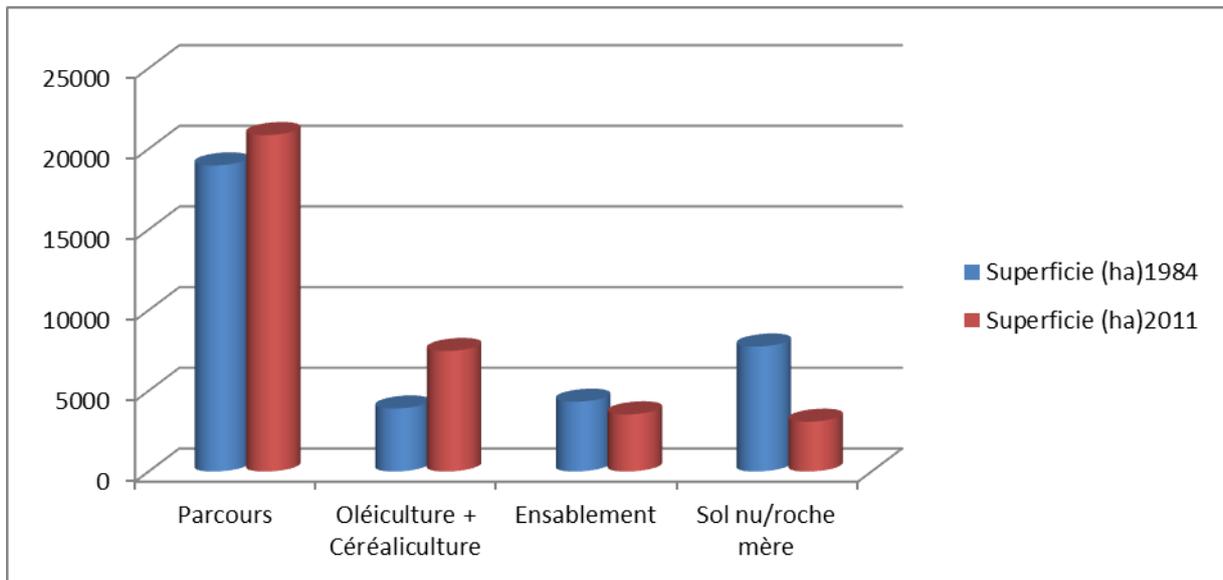


Figure 9 : Détection de changement de l'occupation et de l'utilisation de sol (1984-2011)

La détection de changement des occupations de sol en années normales se présente comme suit : Une augmentation de 1882 ha (6%) des parcours et de 3564 ha (10%) des cultures en 2011 ; l'ensablement et le sol nu/roche mère ont connus respectivement une baisse des 785 ha (2%) et 4661 (13%) en 2011.

3.3. Années très sèches (2001-2009)

Elle est caractérisée par l'absence de la céréaliculture.

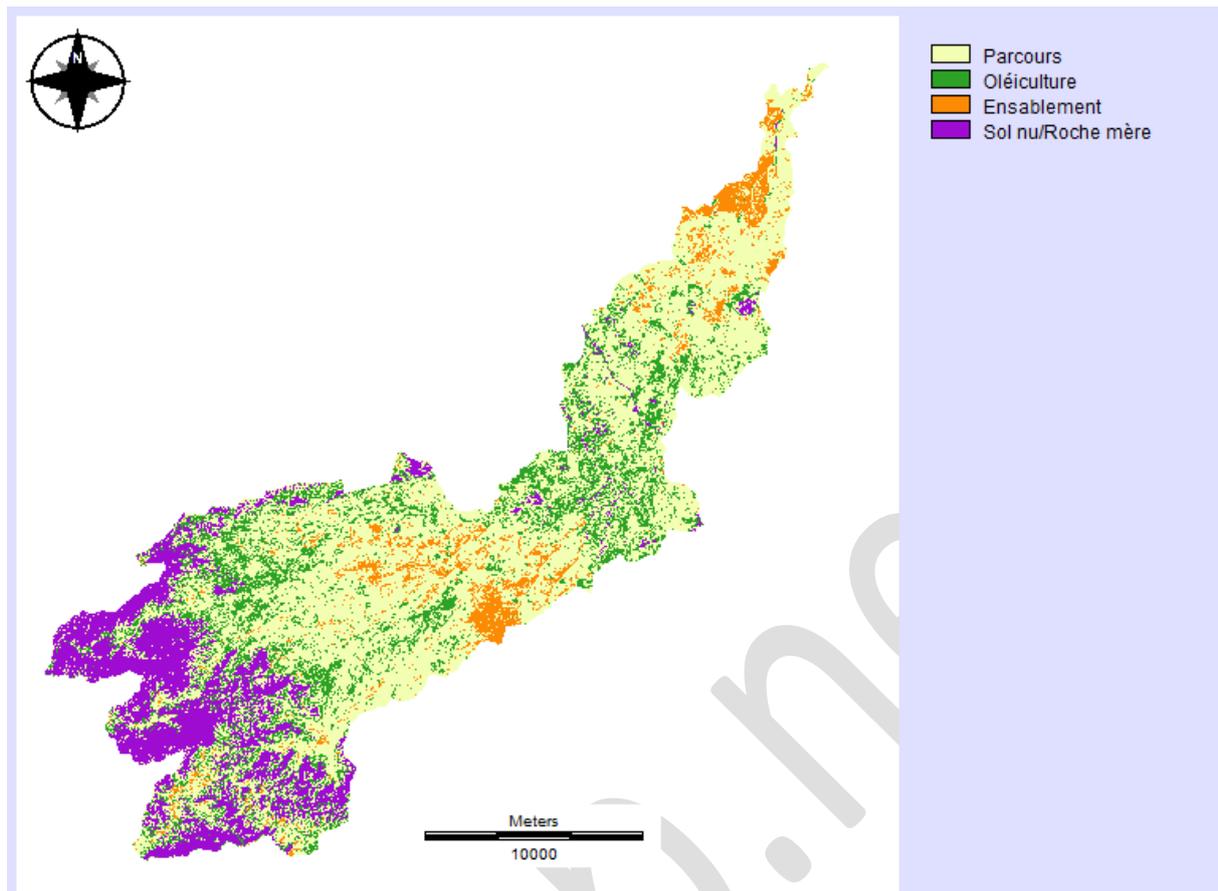


Figure 10 : Carte d'occupation de sol du bassin versant d'Oum Zessar, 2001

L'analyse de la carte d'occupation de sol 2001 montre une domination du sol nu/roche mère en amont du bassin versant. Le piedmont et l'aval abritent essentiellement les parcours et l'oléiculture. Par ailleurs l'ensablement est visible au niveau du piedmont et de l'aval.

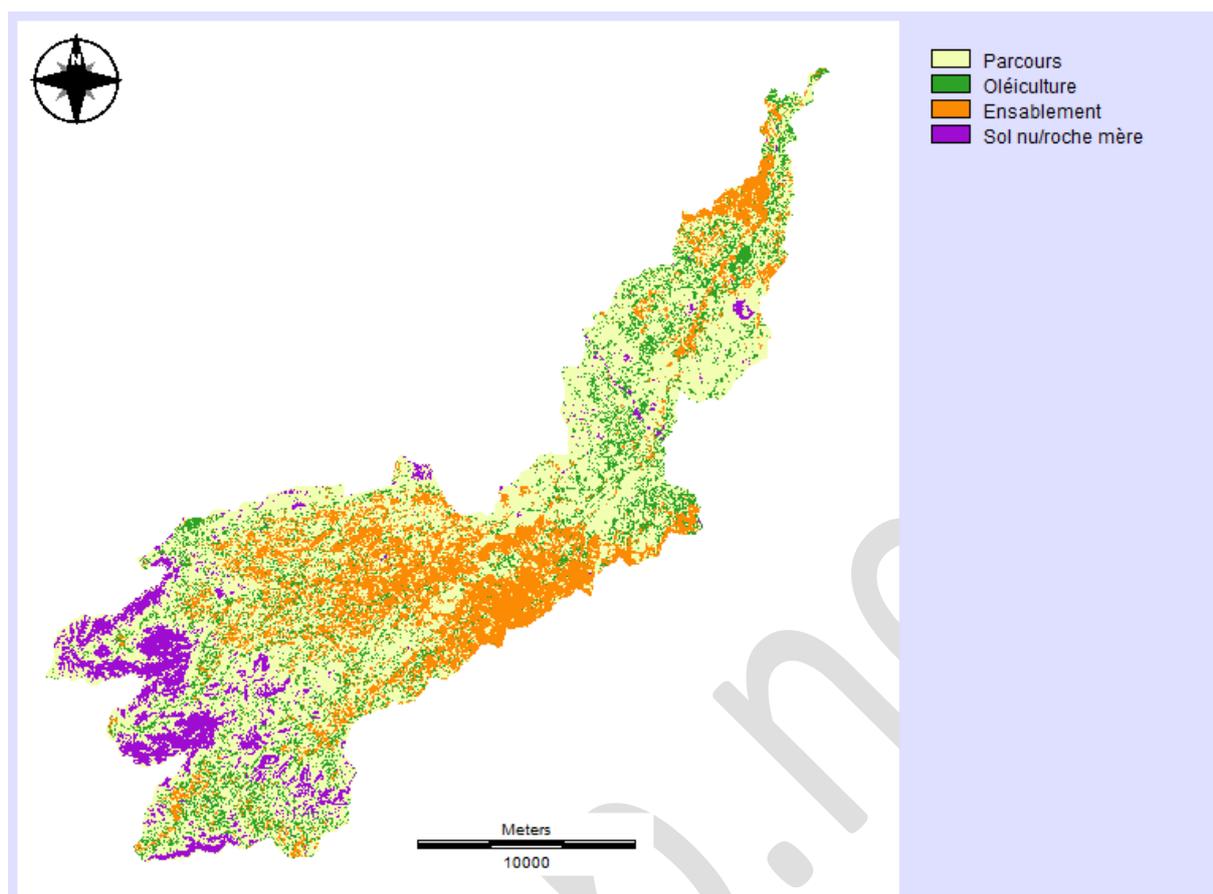


Figure 10 : Carte d'occupation de sol du bassin versant d'Oum Zessar, 2009

Une concentration nette de l'ensablement au niveau du piedmont et de l'aval caractérise la Figure 10. Les statistiques d'occupation de sol en Années humides se présentent comme suit (tableau 3) :

Tableau 5 : Statistiques de l'occupation de sol en termes de superficie du bassin versant d'Oum Zessar (2001-2009)

| Occupation de Sol (2001) | Superficie (ha) 2001 | % | Superficie (ha) 2009 | % |
|--------------------------|----------------------|-----|----------------------|-----|
| Parcours | 20486 | 59 | 19584 | 56 |
| Oléiculture | 6307 | 18 | 5070 | 15 |
| Ensablement | 2337 | 7 | 7296 | 21 |
| Sol nu/roche mère | 5839 | 17 | 3020 | 9 |
| Total | 34969 | 100 | 34969 | 100 |

Les statistiques des années très sèches se présentent comme suit : les parcours occupent plus de la moitié du bassin pour les deux années, 2001 et 2009 (avec 59 et 56% respectivement). L'oléiculture représente 18% en 2001 et un peu moins en 2009 (15%). L'ensablement est de 7% en 2001 et 21% en 2009 tandis que le sol nu/roche mère est de 17% en 2001 et 9% en 2009.

La détection de changement de l'occupation et de l'utilisation de sol en année normale est la suivante :

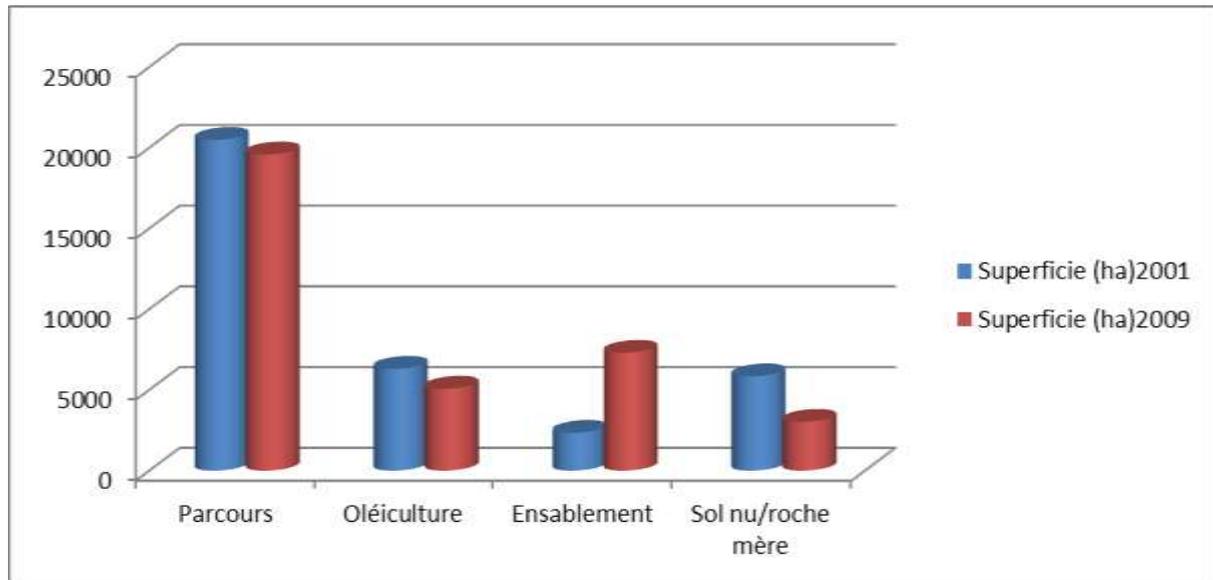


Figure 11 : Détection de changement de l'occupation et de l'utilisation de sol (2001-2009)

La détection de changement des occupations de sol en années très sèche se présente comme suit : Une diminution de 902 ha (3%), 1237 ha (3%) et 2819 ha (8%) respectivement des parcours de l'oléiculture et du sol nu/roche mère en 2009. l'ensablement a connu une hausse remarquable de 4959 ha (14%) en 2009.

3.2. Discussion

En ce qui concerne l'année normale, l'augmentation des superficies occupées par les cultures en 1999 par rapport à 1987 s'explique du fait des conditions pluviométriques favorables à la pratique de la céréaliculture et au développement du couvert végétal. Le Floch (1978 (24)) précise de ce fait que les emblavures, en dehors des zones les plus propices sont donc liées aux pluies d'automne qui y déterminent le caractère épisodique de la céréaliculture et de ses rendements. Selon ce même auteur les terrains de parcours occupent une place prédominante en Tunisie méridionale où la faible pluviosité et la faible épaisseur du sol ne permettent pas une extension des cultures en sec. Ce qui justifie les proportions importantes des parcours par rapport aux autres occupations de sol en années pluvieuse comme en années sèches.

Pour ce qui est des années normales, les mêmes raisons qu'au cas précédant expliquent le comportement des parcours et des cultures. En plus de cela, la nette augmentation des terres cultivées en 2011 résulte de la poussée démographique et de sa pression sur les ressources

naturelles. Ce qui est en adéquation avec les conclusions de Floret et *al.* (1982) qui stipulent que la densité est forte dans la Jeffara avec une sédentarisation des pasteurs.

Par ailleurs, en dépit des conditions pluviométriques favorables, le faible taux d'ensablement et surtout des sols nus en 2011 s'explique du fait de l'atteinte des objectifs des travaux d'aménagement effectués dans le passé dans la plaine précisément ce que soutient Ouessar et *al.* (2003 (1)) en ces termes « De gros travaux d'aménagement et de conservation des eaux et des sols (CES) ont été réalisés, dont les effets immédiats sont visibles mais dont l'efficacité sur le court et le long terme n'a pas encore été clairement évaluée ».

En années très sèches, la diminution des parcours et de l'oléiculture de 2009 par rapport à 2001 est la cause surtout de la sensibilité des sols à l'érosion éolienne. Ce que confirme les travaux de Fetoui (2011 (165)) qui précisent que : Bien qu'elles soient diversifiées, les potentialités édaphiques à Oum Zessar manifestent diverses contraintes liées à une texture sensible à l'érosion et une faiblesse de fertilité. Les horizons sont le plus souvent peu profonds, caillouteux, peu structurés et de texture sableuse à sables fins.

4. Conclusion

De ce qui précède, il ressort que les aménagements effectués sont mieux adaptés à la récupération des sols nus, avec la diminution de sa superficie au profit des cultures et des parcours (entre 1987 et 1999 puis 1984 et 2011) qu'à l'enrayement de l'ensablement.

Ce dernier, en dehors de l'aridité du climat et de la pression humaine constituée d'ailleurs la principale menace, notamment au niveau du piedmont et/ou de l'aval de ce bassin versant où il dépasse le double de sa superficie en années très sèches (2337 ha en 2001 à 7296 ha en 2009). Contrairement aux cultures, très sensibles aux fluctuations pluviométriques, les parcours s'y adaptent bien. Leur occupation de sol est non seulement nettement supérieure aux autres mais varie peu en fonction des types d'années.

Références

Ben Zaied M., 2009: Etude d'impact des aménagements CES par application des modèles hydrologiques (Cas du bassin versant d'oued Oum Zessar); Mémoire de diplôme de Mastère (Modélisation en hydraulique et environnement); Ecole Nationale d'Ingénieur de Tunis ; 122p.

Ch. FLORET, A. MTIMET, R. PONTANIER, 1989: Régime hydrique et sensibilité à l'érosion de systèmes écologiques de la zone aride (Tunisie) ; Cah. ORSTOM. Sér. Pedol., vol. XXV, no 1-2, 1989-90 : 53-69p.

Fetoui M., 2011 : Évaluer et suivre la désertification en zones arides tunisiennes pour accompagner l'aide à la décision : dynamiques interactives « Climat-Homme-Espace-Ressources naturelles » via les paysages ; Doctorat de l'université Paul Valéry - Montpellier III ; 441p.

Hauser C., 2011: Etude de la gestion d'un bassin versant comprenant des technologies de gestion durable des terres : Exemple du bassin versant de l'oued Hallouf en Tunisie ; Centre for Development and Environment (CDE) Geographisches Institut, Université de Bern, 62p ;

Latifovic R., Zhi-Liang Z., Josef Cihlar., Chandra Giri., Ian Olthof., 2004: Land cover mapping of North and Central America Global Land Cover 2000; Remote Sensing of Environment, ELSEVIER; 12p.

Le Floch et Pontanier., 1978 : Contribution à l'analyse écologique des zones arides de Tunisie avec l'aide des données de la télédétection spatiale ; Rapport final Expérience ARZOTU ; 222p.

SARR Mamadou Adama., 2009 « Cartographie des changements de l'occupation du sol entre 1990 et 2002 dans le nord du Sénégal (Ferlo) à partir des images Landsat », *Cybergeo : European Journal of Geography* [En ligne], Environnement, Nature, Paysage, article 472, mis en ligne le 07 octobre 2009, consulté le 16 janvier 2013. URL : <http://cybergeo.revues.org/22707> ; DOI : 10.4000/cybergeo.22707.

MEDD., 2011 : Présentation des principaux écosystèmes de la Tunisie. Ministère de l'Environnement et du Développement Durable (Tunisie), Centre d'Échange d'Information sur la diversité biologique [CHM Tunisie], [En ligne], www.chm-biodiv.nat.tn.

Ouessar M., 2007: Hydrological impacts of rainwater harvesting in *wadi* Oum Zessar Watershed (Southern Tunisia). Ph.D. thesis, Faculty of Bioscience Engineering, Ghent University, Gent, Belgium, 154 p.

Ouessar M., Taamallah Houcine., Labiadh M., Dhaou H., Mekrazi N., Ben Kéhia Mahdhi N., Yahyaoui H., Boufelgha M., 2003: Ressources en eau et sol et évaluation des techniques actuelles de lutttes contre la desertification ; Rapport scientifique 4, IRA/IRD, 145p .

Sghaier M., M. Ouessar, D. C. Catacutan & M. Briki: Context of Oum Zessar watershed, Tunisia; Afromaison project 61p.

Steven. A Sader., Douglas Ahl., et Wen Shu Liou., 1995: Accuracy of Landsat-TM and GIS Rule-based Methods for Forest Wetland Classification in Maine; Elsevier Science Inc; Analysis Laboratory, Departement of Forest Management, University of Maine, Orono; 12 p