

Écologie / Ecology

Contribution à l'étude de la dynamique de l'occupation des sols de la plaine de la Macta (Algérie) à l'aide de la télédétection et des systèmes d'information géographique

Tayeb Sitayeb*, Khéloufi Benabdeli

Laboratoire de recherche sur les systèmes biologiques et la géomatique, centre universitaire de Mascara, BP 763, Mascara 29000, Algérie

Reçu le 17 novembre 2007 ; accepté après révision le 31 mars 2008

Disponible sur Internet le 28 avril 2008

Présenté par Philippe Morat

Résumé

La plaine de la Macta, dans laquelle se situent les marais de la Macta, constitue une zone humide avec des caractéristiques écologiques particulières au Maghreb, et une dynamique importante de l'occupation des espaces. Les formations végétales sont soumises à des multiples formes de dégradation, dues essentiellement à l'action du climat (période de sécheresse) et à l'action anthropozoogène croissante sur ce milieu. Les nouveaux modes d'élevage et de culture contribuent à l'accroissement de la dégradation de cet écosystème naturel avec une altération des potentialités biologiques de la zone humide. Dans un but de préservation des marais de la Macta, une meilleure connaissance de la répartition et de la dynamique de la végétation de cette zone permet, grâce à l'interprétation des données de la télédétection et l'utilisation des SIG, d'envisager des programmes de restauration et de gestion durable du milieu naturel. L'analyse de la dynamique de l'occupation des sols se traduit par une régression de l'espace agricole de 33 000 ha en 1958 à 21 000 ha en 2005. La végétation halophyte occupe actuellement 47 000 ha, alors qu'en 1958 elle s'étendait sur seulement 27 000 ha. Les genres *Tamarix*, *Inula*, *Joncus* et *Scirpus* connaissent une diminution, alors que *Salicornia*, *Suaeda* et *Atriplex* étendent leur aire. **Pour citer cet article :** T. Sitayeb, K. Benabdeli, C. R. Biologies 331 (2008).

© 2008 Académie des sciences. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Abstract

Contribution to the study of land-use dynamics in the plains of Macta (Algeria) with the aid of remote sensing and GIS. The plains of Macta, where the Macta marshes are located, form a wetland with particular ecological characteristics in the Maghreb and are subject to distinct land use dynamics. The plant formations are exposed to multiple forms of degradation, primarily due to climate (period of dryness) and to increasing anthropogenic activities in the area. The new methods of breeding and cultivation contribute to ongoing degradation in this natural ecosystem, with a deterioration of the wetland's biological potentialities. With the aim of safeguarding Macta's marshes, a better knowledge of vegetation distribution patterns and dynamics, together with the interpretation of the remote sensing data and GIS, makes it possible to consider programmes of natural environment restoration and sustainable management. The results of land-use dynamics analysis show a decline in agricultural land use from 33,000 ha in 1958 to 21,000 ha in 2005. Halophytic vegetation currently occupies 47,000 ha, while in 1958 it occupied only 27,000 ha. *Tamarix*, *Inula*, *Joncus* and *Scirpus* species are experiencing a decrease in surface cover, while *Salicornia*, *Suaeda*, and *Atriplex* are extending their area. **To cite this article:** T. Sitayeb, K. Benabdeli, C. R. Biologies 331 (2008).

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : sitayebt@yahoo.fr (T. Sitayeb).

© 2008 Académie des sciences. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Mots-clés : Occupation des sols ; Dynamique de végétation ; Télédétection ; SIG ; Gestion durable ; Paline Macta ; Algérie

Keywords : Soil occupation ; Vegetation dynamics ; Sustainable management ; Remote sensing ; GIS ; Flood plain ; Macta ; Algeria

Abridged English version

The plains of Macta represent a rare type of zone in North Africa, due to their diversity. This area is used by local residents and nomads for grazing purposes, especially in times of drought. The perennial halophytic vegetation is in high demand by farmers during dry spells. This pastoral activity should be regulated, even prohibited, in the areas of high biological interest. We are witnessing a rapid degradation of natural ecosystems under the action of various factors. Human activity is one of the greatest threats to the maintenance of biological diversity through an irrational exploitation of natural resources (overexploitation, overgrazing, and conversion of natural ecosystems to agricultural land ...). Climatic factors have resulted in increasingly harsh and dry conditions. In addition to the phenomenon of salinization, erosion is an additional problem causing land degradation. It is also necessary to study the distribution of plant formations that constitute the ecosystem typical of the Macta plains and their dynamics in time and space, as well as to develop a method to monitor the degradation process and a system capable of effectively protecting areas classified for their plant and animal species. To this end, it is necessary to make an assessment of the state of the land in general, and of plant cover in particular, which should be carried out as soon as possible. As part of this work, we have studied the halophytic vegetation dynamics of the Macta plain by contrasting the present situation with that prevailing 47 years ago (1958 and 2005).

Using remote sensing, this study identified and discriminated plant groups in the plains of Macta. With the analysis of remotely sensed data (ASTER), digital processing and field observations (field work from the 27 to 29 May 2006), the study aimed to establish vegetation types, in terms of sensor satellite perception. The ASTER satellite images were used to map the vegetation of the study area at a scale of 1:250,000, covering an area of about 80,000 ha. A comparison was then made between the map obtained from satellite images (ASTER) in 2005 and the vegetation map prepared by Santa in 1958.

The results show the following main trends in the distribution patterns of plant species in the Macta plains in 1958 and in 2005:

- a strong increase in the extent of land occupied by natural halophytic vegetation. In 2005 the area was about 47,000 ha, in contrast to the 27,000 ha recorded in 1958. This condition is marked by the invasion of the majority of land by three major taxa (*Salicornia fruticosa*, *Suaeda fruticosa*, *Atriplex halimus*). Other taxa such as *Juncus*, *Scirpus* and *Festuca arundinacea* and woody species such as *Tamarix africana* and *Juniperus phoenicea* are characterized by a large regression;
- a reduction of the areas occupied by agricultural crops (especially grain), from 33,000 ha in 1958 to 21,000 ha in 2005. Also, trees (olive, citrus) and vineyards are characterized by a large regression. However, the lands occupied by vegetable crops are growing in a very important way.

1. Introduction

La pression induite par les activités humaines sur les différents espaces contribue à modifier, dans un premier temps, l'occupation du sol. L'intensité de ces modifications diffère en fonction du climat, des systèmes de production appliqués, de l'efficacité des politiques de conservation et de gestion des écosystèmes et de l'application de la réglementation. Ces changements peuvent être détectés tant à l'échelle régionale que locale. Ils se traduisent par une perturbation des paysages naturels et agissent sur la dynamique de la végétation. Ils ont également des conséquences directes sur la configuration de l'occupation des sols et sur la biodiversité.

La plaine de la Macta représente un espace intéressant en raison de la diversité physique et biologique de son milieu [1]. Les marais de la Macta, qui constituent un biotope particulier (flore et faune spécifiques), ont été classés zone humide en 1996 et continuent à subir des pressions quasi permanentes, surtout de la part d'éleveurs attirés par la présence d'une végétation halophile vivace, très recherchée par les troupeaux d'ovins [2].

2. Caractérisation de la zone d'étude

La plaine de la Macta est située à une cinquantaine de kilomètres à l'est d'Oran (Fig. 1), la zone d'étude est une dépression, entourée de montagnes et séparée de la mer par des dunes littorale. Elle couvre une superficie

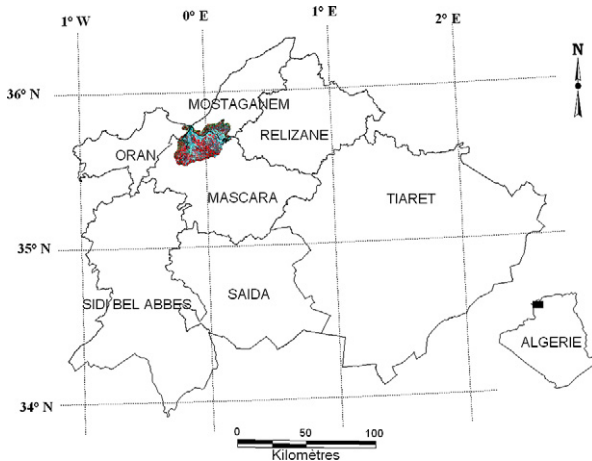


Fig. 1. Carte de localisation de la zone d'étude.

de 820 km², regroupant trois régions : la plaine de Sig, la plaine de l'Habra et la zone humide [3]. En matière de climat, la plaine appartient à l'étage bioclimatique semi-aride avec des précipitations moyennes annuelles fluctuant entre 250 et 300 mm avec une forte variabilité spatiotemporelle et un régime thermique moyen annuel compris entre 17 et 19 °C. Le climat à travers la tranche pluviométrique annuelle connaît une régression importante de l'ordre de 30% en comparant entre les périodes 1930–1970 et 1980–2000. Ce déficit agit sans aucun doute sur l'occupation des espaces et la végétation [2]. Les données météorologiques des stations d'Arzew et de Mostaganem confirment cette tendance, avec toutes ses conséquences sur la végétation.

Sur le plan pédologique, d'après [4] on distingue :

- des sols sableux humifères au niveau de la zone du-naire littorale et sublittorale,
- des sols alluviaux où domine la texture argileuse au niveau des plaines,
- des solontchaks et des solonetz au niveau de la zone humide.

La végétation est représentée surtout par les cultures agricoles où sont présentes, selon l'importance de la superficie la céréaliculture, l'arboriculture, la jachère et le maraîchage. Sur la zone humide qui occupe plus de 40 000 ha, ce sont les associations végétales hydrophiles qui dominent [2,5] :

- *Suaeda*, *Juncus maritimus*, *Ranunculus aquatilis* et *Rumex crispus*,
- *Salicornia fruticosa*, *Arthrocnemum macrostachyum*, *Inula crithmoides* et *Suaeda fruticosa*,
- *Tamarix africana* et *Salsola oppositifolia*,
- *Potamogeton pectinatus* et *Zanichellia palustris*.

3. Approche méthodologique

L'interprétation des images satellitaires s'appuie sur un nombre limité de relevés de terrain judicieusement choisis ; elle permet d'avoir une vue d'ensemble exhaustive du terrain à étudier et restitue fidèlement les caractéristiques du tapis végétal. L'imagerie satellitaire donne en effet la possibilité :

- d'observer simultanément de vastes surfaces correspondant à la totalité d'une aire protégée,
- de réaliser des traitements automatisés (redressement géométrique, classifications numériques),
- de répéter les observations pour suivre les changements inter- et intra-annuel de l'occupation du sol [6].

3.1. Cartographie des formations végétales

L'approche retenue pour comprendre la dynamique de l'occupation des sols et son impact sur les espaces repose sur la démarche suivante [7] :

- dans une première étape, les images ASTER sont traitées pour la cartographie des unités de végétation ;
- les trois images ASTER sélectionnées couvrent l'ensemble de la zone d'étude. Elles sont acquises la même année et à la même saison, en mai de manière à faciliter l'identification des unités de végétation. La faible nébulosité de toutes les images garantit leur qualité radiométrique.

3.1.1. La classification

Une classification spectrale est intéressante lorsque la seule utilisation des signatures spectrales, due à une bonne qualité de l'image et à une structure paysagère adéquate, suffit à classer l'image [8].

Des deux méthodes de classification, celle non supervisée a été mise en œuvre, dans un premier temps, afin d'obtenir une première représentation des types des formations végétales. L'intérêt de cette classification non supervisée permet de préciser la diversité du terrain.

Il est nécessaire ensuite de passer par une analyse plus fine de détection basée sur une classification supervisée, découlant de la définition de sites d'entraînement correspondant à des régions homogènes et dont on connaît le type du groupement végétal. La classification supervisée repose sur l'algorithme du maximum de vraisemblance.

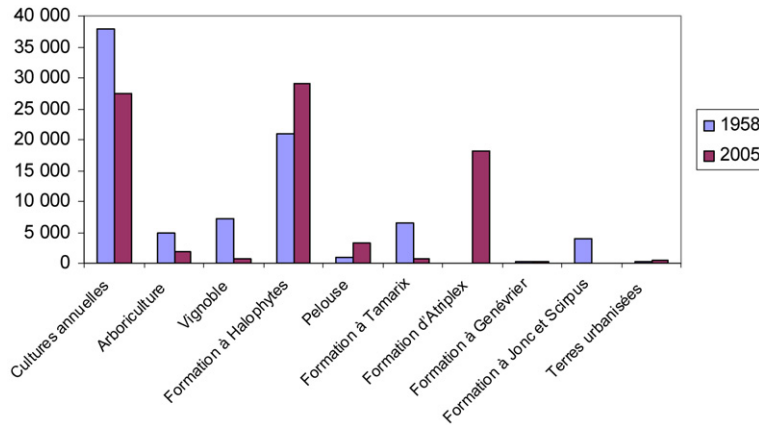


Fig. 2. Répartition des classes d'occupation des sols entre 1958 et 2005.

3.1.2. Les observations de terrain

La validation sur le terrain permet une évaluation de la qualité des résultats obtenus suivie de relevés de végétation sur l'ensemble de la zone étudiée. Cette mission s'est déroulée au courant du mois de mai 2006, bien après la date d'acquisition de l'image, mais à la même saison. Plusieurs stations ont été présélectionnées, selon leur homogénéité et leur représentativité (utilisation de la composition colorée et de la classification non supervisée). Pour chaque relevé de végétation, les coordonnées sont notées à l'aide de la carte topographique à 1/50 000 et une fiche de relevé de végétation établie.

3.2. Comparaison entre deux cartes de végétation

Une comparaison a été faite entre la carte de végétation Bosquet Mostaganem au 1/200 000 réalisée par Santa en 1958 [9] et celle réalisée selon la méthode décrite précédemment à partir des images satellitaire ASTER de l'année (2005). Cette comparaison, permettant d'apprécier la dynamique de l'occupation des sols et de la végétation, découle de la digitalisation de la carte de végétation Bosquet sous Mapinfo (transformation des formes graphiques des thèmes identifiés auparavant en format vectoriel sous fichier numérique) et le croisement entre les deux cartes.

4. Résultats obtenus

Deux cartes de périodes différentes, l'une de 1958 et l'autre de 2005, permettent d'appréhender la notion de dynamique de l'occupation des sols et, par conséquent, des groupements végétaux.

La classification des images ASTER de 2005 permet d'aboutir, 47 ans plus tard, à la carte de végétation de la même zone (Fig. 3).

4.1. L'évolution de la végétation entre 1958 et 2005

La comparaison entre deux périodes de répartition de la végétation ne permet pas de dégager un scénario d'évolution simple des formations végétales, mais traduit la variété écologique des situations et la diversité d'occupation des terres [10].

Les traits marquants de l'évolution de l'état de répartition du paysage végétal de la plaine de la Macta entre 1958 et 2005 se résument comme suit (Tableaux 1 et 2) :

- une forte progression des surfaces occupées par la végétation naturelle halophile ; en 2005, la superficie était de l'ordre de 47 000 ha contre 27 000 ha en 1958. Les formations végétales arborescentes de *Tamarix africana* et *Juniperus phoenicea* connaissent une forte régression ;
- une diminution des surfaces occupées par l'agriculture (céréales en particulier), de 33 000 ha en 1958 à 21 000 ha en 2005. L'arboriculture (olivier et agrumes) et le vignoble sont les spéculations qui connaissent une régression importante en surface.

Pour l'occupation du sol en 2005, les mêmes dénominations des formations que celles utilisées par Simoneau [9] ont été retenues afin de permettre une comparaison effective.

Les différences observées entre le Tableau 1 (occupation du sol selon Simoneau [9]) et le Tableau 2 en utilisant une image satellitaire (ASTER) de 2005 basée sur l'interprétation et l'analyse numérique viennent du fait que les travaux de Simoneau reposaient sur des techniques de photo-interprétation. La méthode lui a donc permis d'identifier des groupements végétaux en prenant en considération uniquement les aspects physiologiques et des considérations d'espèces végétales

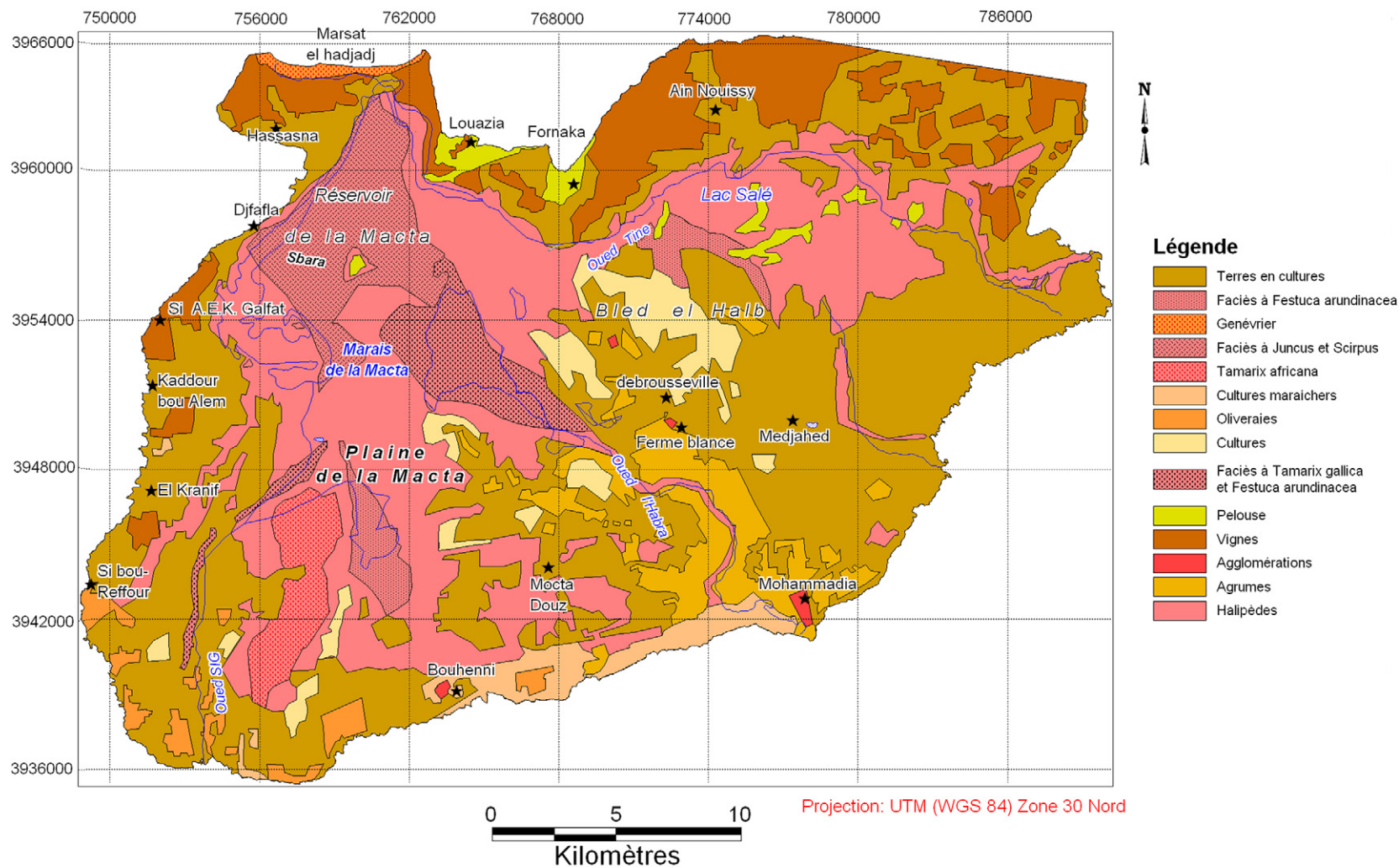


Fig. 3. Carte des groupements végétaux de la plaine de la Macta en 1958 [9].

Tableau 1
Superficiés et pourcentages des unités d'occupation du sol en 1958

Classe	Superficie (ha)	(%)
Vignes	7256	8,9
Agglomérations	130	0,2
Agrumes	3780	4,6
Halipèdes	20970	25,6
Terres occupé par l'agriculture	33310	40,7
Garrigue arborée	258	0,3
Facies à <i>Juncus</i> et <i>Scirpus</i>	3857	4,7
<i>Tamarix africana</i>	1604	2
Cultures maraichères	1722	2,1
Oliviers	1121	1,4
Terres nouvellement mises en culture	2820	3,4
Facies à <i>Tamarix gallica</i> et <i>Festuca arundinacea</i>	2515	3,1
Pelouse	1014	1,2
Facies à <i>Festuca arundinacea</i>	1444	1,8

Tableau 2
Superficiés et pourcentages des unités d'occupation du sol en 2005

Classe	Superficie (ha)	(%)
Sol nu	427,7	0,5
Vergers d'agrumes et cultures	1201,0	1,5
Vignobles	618,3	0,8
Agricultures	21510,0	26,3
Groupe à <i>Suaeda fruticosa</i>	16760,0	20,5
Groupe à <i>Atriplex halimus</i>	18120,0	22,1
Groupe à <i>Tamarix africana</i>	599,7	0,7
Pelouses annuelles	3306,0	4
Cultures maraichères	5996,0	7,3
Oliveraies	760,7	0,9
Groupe à <i>Salicornia fruticosa</i>	12380,0	15,1
Groupe à <i>Juniperus</i> et <i>Retama</i>	193,6	0,2

dominantes. Il est possible de faire un rapprochement entre les groupements végétaux identifiés et évalués par Simoneau [9] et les formations végétales issues des traitements de l'image satellite ASTER de 2005, avec des validations sur terrain à travers des relevés phytoécologiques.

Les actions anthropiques (parcours, coupe de bois et défrichage au profit de l'agriculture) sont également à l'origine de la perturbation des groupements végétaux identifiés par Simoneau en 1958 et de la présence de nouveaux groupements végétaux, comme le montre le Tableau 3.

Pour clarifier la situation, les classes d'occupation du sol peuvent être regroupées en sept catégories :

- cultures annuelles (agriculture, cultures maraichères, terres nouvellement mises en culture, terres occupées par l'agriculture) ;
- arboriculture (vergers d'agrumes, agrumes, oliviers, oliveraies) ;

Tableau 3
Comparaison des superficies des différentes catégories d'occupation du sol

Classe	1958	2005	Différences
Cultures annuelles	37852	27506	–10346
Arboriculture	4901	1961	–2940
Vignoble	7256	618	–6638
Formation à Halophytes	20970	29140	+8170
Pelouse	1014	3306	+2292
Formation à <i>Tamarix</i>	6563	599	–5964
Formation d' <i>Atriplex</i>	0	18120	+18120
Formation à Genévrier	258	193	–65
Formation à <i>Juncus</i> et <i>Scirpus</i>	3857	0	–3857
Terres urbanisées	130	427	+297

- vignoble (vignes, vignobles) ;
- formation à Halophytes (halpèdes, groupement à *Suaeda fruticosa*, groupement à *Salicornia fruticosa*) ;
- pelouse (pelouse annuelle, pelouse) ;
- formation à *Tamarix* (groupement à *Tamarix africana*, *Tamarix africana*, facies à *Tamarix gallica* et *Festuca arundinacea*, facies à *Festuca arundinacea*) ;
- formation à *Atriplex* ;
- groupement à Genévrier (garrigue arborée, groupement à Genévrier et *Retama*) ;
- groupement à *Juncus* ;
- espace urbanisé (sol nu, agglomérations).

En utilisant cette classification, il est possible d'élaborer une comparaison très pertinente mettant en relief la dynamique des différents groupements végétaux (Fig. 2).

4.2. État de la végétation en 1958

L'exploitation des travaux de Simoneau et de la carte de végétation Bosquet au 1:200 000 établie en 1958 (Fig. 3) permet de donner un aperçu sur la répartition de la végétation de la plaine de la Macta.

Les halipèdes (groupements salés) constituent le fond de la végétation colonisant les sols halophiles. Dans les parties basses sujettes à une immersion temporaire dominant les *Salicornia fruticosa*, *Inula crithmoides*, *Juncus maritimus*, *Juncus acutus*, *Juncus subulatus*, *Scirpus maritimus*.

Le facies à *Juncus* et *Scirpus* s'étend sur une grande étendue dans la région des marais de la Macta. *Scirpus maritimus*, il y occupe les cuvettes submergées toute l'année, alors que les joncs se développent sur les argiles limoneuses, surtout au nord-est, dans la région localisée dans les marais avec le facies à *Festuca arundinacea*.

Dans la partie centrale, la végétation est composée par *Suaeda fruticosa*, qui occupe des grandes surfaces localisées sur les sols argileux salés en contact avec les périmètres irrigués de Sig et Mohammadia. L'*Atriplex halimus* est très abondant dans ces régions, mais pas l'espèce dominante.

Le faciès à *Tamarix africana* occupe les zones d'épandages de oued Sig et Habra; il est accompagné par *Atriplex halimus*, *Salsola oppositifolia* et *Salsola kali*. Le faciès à *Tamarix gallica* est très répandu dans cette région, surtout dans les zones d'épandage de l'oued Habra, avec le faciès à *Festuca arundinacea*.

4.3. État actuel de la végétation

La carte de végétation (Fig. 4), réalisée à partir des images satellitaires (ASTER) de 2005, montre que le groupement à *Salicornia fruticosa* colonise la majorité des zones humides au même titre que *Juncus* et *Scirpus*, localisées entre Sbara et Port-aux-Poules. Il y a lieu de noter l'absence du groupement à *Inula crithmoides*, alors que celui de *Salicornia* s'étend sur des surfaces importantes situées au sud des buttes argileuses de Sbara et dans les zones d'épandages de l'oued Habra, de Sig et de l'oued Tinn, où le groupement à *Suaeda fruticosa* cède du terrain progressivement.

Le groupement à *Tamarix gallica* et *Festuca arundinacea* est remplacé par le *Phragmite communis* dans les lignes d'écoulement des oueds, et par le groupement à *Suaeda fruticosa* dans les zones d'épandage, avec un cortège composé essentiellement d'*Atriplex halimus*, *Salsola oppositifolia* et *Salsola kali*. Le groupement à *Tamarix africana* cède la place au groupement à *Suaeda fruticosa*, mais occupe totalement les lignes d'écoulement des oueds Sig et Habra et se distingue par une formation dense et broussailleuse.

Les terrains situés dans la plaine de Sig et de Habra sont colonisés par le groupement à *Atriplex halimus* et à *Suaeda fruticosa*; ils s'étendent même sur les surfaces agricoles abandonnées limitrophes.

Le peuplement de *Typha angustifolia* évolue sur des stations humides situées dans le lit de l'oued Tinn, sur des superficies réduites. Les terrains localisés dans les bordures ouest et nord-est sont colonisés par des pelouses d'annuelles, composées essentiellement par les thérophytes et d'autres espèces, telles que *Pistacia lentiscus*, *Chamaerops humilis*, *Ampelodesma mauritanium*, *Urginea maritima* et *Asphodelus microcarpus*.

Sur les dunes littorales sableuses, le *Juniperus phoenicea* et *Juniperus oxycedrus* dominent, avec un cortège floristique composé par *Retama retam*, *Retama mono-*

sperma, *Pistacia lentiscus* et quelques espèces de thérophytes.

4.4. La dynamique de végétation et les facteurs du milieu

Dans la plaine de la Macta, la répartition et la dynamique de la végétation sont largement conditionnées par l'eau, l'alluvionnement et les submersions. Au cours des années pluvieuses, les dépressions deviennent des sites d'accumulations des alluvionnements et des sels charriés par l'eau; la végétation est alors composée par les groupements à *Scirpus maritimus*, *Juncus maritimus*, *Juncus acutus*, *Juncus subulatus*, qui dominent dans les zones humides pendant une période assez longue. Les groupements à *Salicornia fruticosa* s'installent dans les parties subissant une submersion d'eau de courte durée, l'installation de la végétation mésophiles et xérophiles restant faible. Les groupements hydrophiles à *Tamarix africana* et à *Phragmite communis* préfèrent les cours d'eau.

Au cours des années sèches, l'humidité du sol diminue, les sels se concentrent en surface dans les dépressions et dans les zones d'épandage; les formations à base de *Scirpus* et de *Juncus* cèdent le terrain au groupement à *Salicornia fruticosa*, les groupements à *Suaeda fruticosa* et *Atriplex halimus* se développant sur les terrains secs.

Le drainage a entraîné le lessivage des sols, et les terrains drainés sont envahis par une végétation dominée par les groupements à *Suaeda fruticosa*, *Atriplex halimus*, et par des pelouses de graminées temporaires.

Le surpâturage apparaît comme l'un des facteurs de régression les plus importants de la végétation, le prélèvement intense de la biomasse et le tassement du sol par le cheptel augmentant les surfaces dénudées et soumises à la stérilisation.

5. Conclusion

La combinaison des facteurs naturels et anthropiques, conjuguée aux fluctuations des précipitations, est à l'origine de l'occupation des sols par des formations naturelles où dominent des espèces adaptées aux conditions du milieu et à son mode d'exploitation.

L'étude diachronique à travers la cartographie des changements constitue une démarche efficace permettant une évaluation rapide à travers une cartographie mettant en relief la dynamique de l'occupation des sols et ses répercussions sur les groupements végétaux. Les supports (photographies aériennes, images satel-

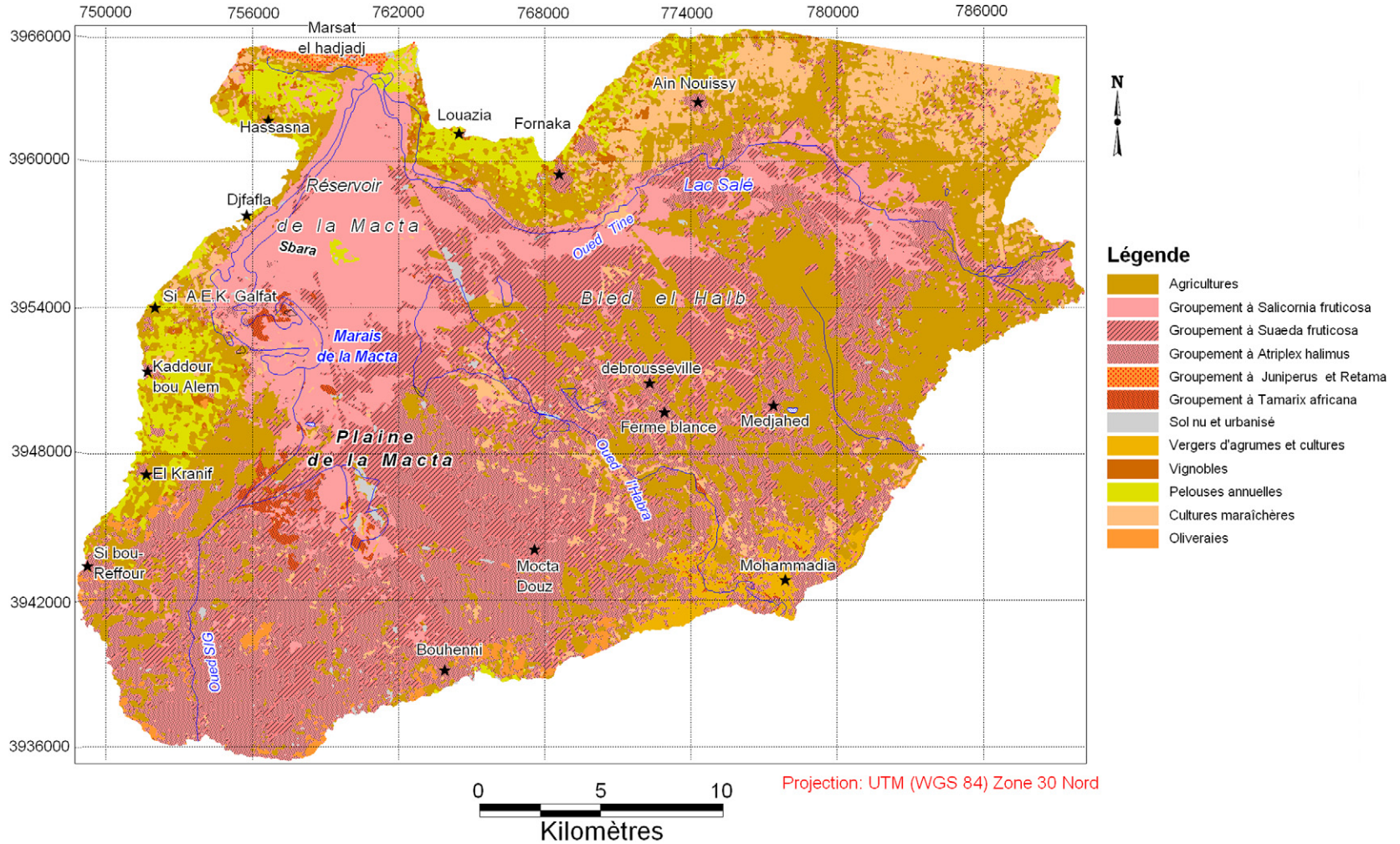


Fig. 4. Carte des groupements végétaux de la plaine de la Macta en 2005.

litaires...) anciens et récents, combinés aux outils du système d'information géographique (SIG), sont d'une grande utilité dans cette démarche.

L'évaluation correcte de ces changements est fondamentale dans l'élaboration et la mise en place de politiques de protection et de restauration de ces écosystèmes menacés par la pression anthropozoogène et les fluctuations climatiques.

Références

- [1] P. Simonneau, Note sur la mise en valeur des terrains salés de la plaine de Perrégaux, *Terres et eaux* 12 (1951).
- [2] K. Benabdeli, K. Mederbal, Contribution à l'étude phytoécologique de la zone humide de la Macta (Algérie occidentale), rapport d'expertise, 2004.
- [3] P. Simonneau, La végétation halophile de la plaine de Perrégaux, Oran, 1952.
- [4] G. Gaucher, P. Simonneau, Monographie agricole de la plaine de Saint-Denis-du-Sig, *Terres et eaux* 14–15 (1952).
- [5] B. Tafer, Étude phytoécologiques des complexes de végétation halophiles de la plaine de Mohammédia (Macta, Oranie), thèse, université de droit, d'économie et des sciences d'Aix-Marseille, 1993.
- [6] A. Palmer, A. Fortescue, Remote sensing and change detection in rangelands, ARC-Range and Forage Institute, PO Box 101, Grahamstown, South Africa, 2003, pp. 1–6.
- [7] J.R. Jensen, *Introductory Digital Image Processing a Remote Sensing perspective*, Prentice-Hall, 1996.
- [8] T. Annelise, Application de la télédétection hyperspectrale à la cartographie et l'étude des formations végétales du marais de Kaw, Centre de Guyane, IRD, 2000.
- [9] S. Santa, P. Daumas, P. Simonneau, G. Chavassut, B. Jacquard, Carte de la végétation de l'Algérie, Bosquet-Mostaganem, feuilles 11–12 (1958).
- [10] F. Gaddas, Proposition d'une méthode de cartographie des pédopaysages : application à la moyenne vallée du Rhône, thèse, INA Paris-Grignon, 2001.