D épartement
E N vironnement
T echnologies
E t
S ociété

Étude et caractérisation de la dynamique paysagère appliquées aux zones humides: Les Marais des Baux et les Salins de Giraud, territoires en mutation




Michel Gauthier-Clerc TDV

Rapport de Stage de master professionnel

Morgane CHENEVAZ
Sciences de l'Environnement Terrestre
Spécialité GEMA, 2011
Tuteur enseignant: Alain SANDOZ

Remerciements

Je remercie sincèrement Alain Sandoz, mon maître de stage, pour la confiance qu'il m'a accordée et ses précieux conseils.

Je remercie également toute l'équipe de la Tour du Valat pour son accueil chaleureux et son aide tout au long de mon stage.

Enfin, je tiens à remercier tous les autres stagiaires pour l'ambiance agréable de travail et le partage de moments qui resteront gravés dans ma mémoire.

Résumé

Les zones humides constituent un patrimoine naturel assurant d'innombrables fonctions, à la biodiversité exceptionnelle. Menacées par les activités humaines et les changements globaux, elles sont au cœur d'enjeux environnementaux, économiques et sociaux importants.
Cette étude concerne la dynamique des paysages de deux zones humides, les Marais des Baux et les Salins de Giraud, deux sites en mutation suite au déclin des activités économiques et agricoles s'y déroulant.
Le but de cette étude est de quantifier l'évolution paysagère des deux zones humides étudiées et de déterminer la part des impacts liée à l'anthropisation et celle liée à des phénomènes naturels.
Cette étude s'inscrit pour partie intégrante dans le projet interdisciplinaire « Eaux et Territoires », visant à améliorer les connaissances sur le fonctionnement des zones humides et à produire des modèles prédictifs pour aider les gestionnaires des sites étudiés. Elle s'est déroulée à la Tour du Valat, centre de recherche pour la conservation des zones humides méditerranéennes du 17 janvier 2011 au 31 août 2011.
Pour procéder à cette étude des photographies aériennes de 1944 et 2003 ont été utilisées.
L'évolution du paysage a été déterminée en quantifiant le recouvrement et la dynamique des habitats pour les deux années. La dynamique des paysages a été caractérisée à partir d'indicateurs de morphologie paysagère grâce à l'outil Patch Analyst dans ArcGis.

Abstract

Wetlands constitute a natural heritage providing many functions. They have an extraordinary biodiversity.
Threatened by human activities and global change, wetlands are affected by environmental, economic and social issues.
This study is about landscape dynamics in two wetlands on mutation: Marais des Baux and Salins de Giraud. This sites are changing because of the economic and agricultural decline.
The aim of this study is to quantify landscape evolution of the two studied wetlands and determine part of anthropogenic impacts and natural impacts.
This study is a part of an interdisciplinary project called « Eaux et Territoires» (« Waters and Territories»). This project look at improve knowledge about functioning of wetlands and it aim to produce predictive models to assist managers of the two study sites.
This research took place in the Tour du Valat, research centre for the conservation of Mediterranean wetlands, January 17 to August 31, 2011.
Aerial photographies from 1944 and 2003 were used to conduct this study.
The evolution of the landscape was determined by quantifying the recovery and dynamics of habitats for 1944 and 2003. In addition, landscape dynamics was characterized using indicators of landscape morphology using a tool called Patch Analyst in ArcGis.

Sommaire

Introduction 5

I. Présentation de la structure d'accueil 6

II. Contexte de l'étude 8
- a. Contexte législatif 8
- b. Objectif du projet 8
- c. Axes et volets du projet 8
- d. Sites d'étude …..... 8
  - i. Salins …..... 9
  - ii. Marais des Baux 10
- e. Équipe et structures du projet 11

III. Problématique de l'étude 12

IV. Mise en œuvre 12
- a. Données initiales 12
- b. Numérisation de l'occupation du sol 12
- c. Vérifications de terrain 14
- d. Calcul d'indices de morphologie paysagère 14

V. Réponses et hypothèses …..... 16
- a. Salins de Giraud 16
  - i. Analyse par paysage 19
  - ii. Analyse par classe 20
  - iii. Analyse par entité 35
- b. Marais des Baux 37
  - i. Analyse par paysage 37
  - ii. Analyse par classe 39
  - iii. Analyse par entité 56

VI. Discussion …..... 57
- a. Lien avec le volet hydrosystème …..... 57
- b. Lien avec le volet phytoécologie 58
- c. Comparaison des mutations paysagères des Salins de Giraud et des Marais des Baux 59

VII. Conclusion 62
- a. Limites 63
- b. Perspectives 64

Bibliographie thématique 65
Annexe 69
Liste des cartes 77
Liste des tableaux et graphiques 79

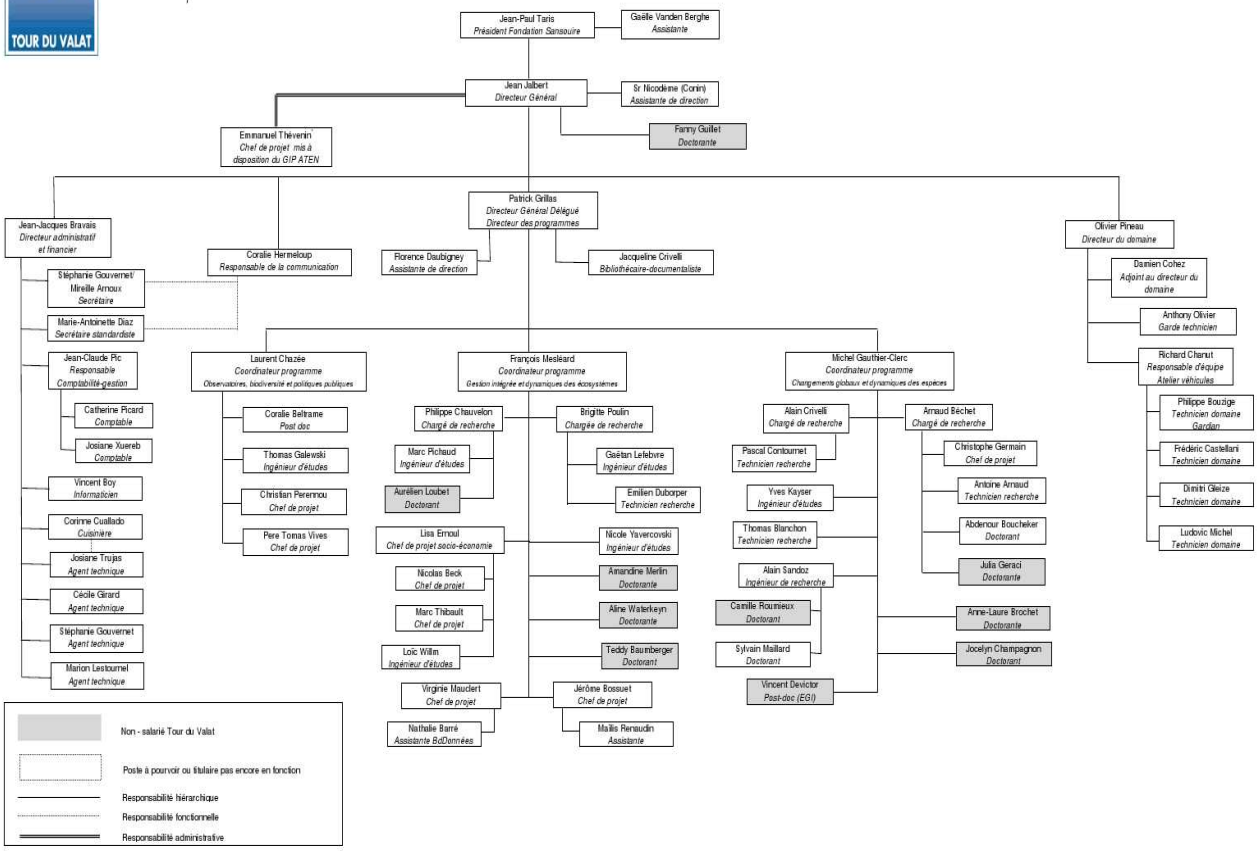
Introduction

A l'échelle de la région PACA, les paysages subissent des bouleversements sous l'influence des profondes mutations économiques depuis de nombreuses années. Il est nécessaire de prendre conscience de ces mutations et bouleversements, de construire une vision prospective afin de lier histoire et progrès futurs (Barruol and Dautier, 2009).
Cette étude présente la dynamique paysagère de deux zones humides en mutation, les Marais des Baux et les Salins de Giraud.
Dans les Marais des Baux, le coût important des systèmes de pompage pour assainir les terres est en partie responsable du phénomène de déprise agricole et a amorcé la volonté de remise en eau du marais.
Dans les Salins de Giraud, le déclin de l'activité salinière a engendré la vente au Conservatoire du Littoral de 6000 hectares d'étangs lagunaires.
D'après la convention internationale de Ramsar de 1971, les zones humides sont des étendues de marais, de fagnes, de tourbières ou d'eaux naturelles ou artificielles, permanentes ou temporaires, où l'eau est stagnante ou courante, douce, saumâtre ou salée, y compris des étendues d'eau marine dont la profondeur à marée basse n'excède pas six mètres.
Les zones humides possèdent de nombreuses valeurs, économiques, biologiques, esthétiques, culturelles. Elles assurent aussi de multiples fonctions mais elles ont fortement régressé au cours du temps et elles sont fortement menacées par les activités humaines. Il apparaît alors primordial de les protéger et de les accompagner dans leurs mutations.
Cette étude s'inscrit dans le projet Eaux et Territoires dont le but est de discuter des rapports structurant et régulant le système eaux et territoires d'un point de vue physique mais également sociétal. Ce projet est interdisciplinaire et vise l'élaboration d'outils d'aide à la réflexion et à la décision.
Les paysages actuels sont les reflets de l'histoire économique et sociale de chaque région.
Ainsi il apparaît nécessaire dans un premier temps de comprendre leur fonctionnement et donc d'étudier leur évolution grâce à l'écologie du paysage, dans une optique de gestion des zones humides et des paysages qui leur sont associés. (Larcena and Puech, 1998).
Cette discipline récente permet d'évaluer les impacts des aménagements du territoire sur le fonctionnement des écosystèmes. L'étude du paysage physionomique permet de rendre compte de l'évolution du paysage, révélatrice des mutations de la société en relation avec l'espace (Larcena and Puech, 1998).
Dans un premier temps, une présentation du contexte et de la problématique de l'étude seront faites.
Dans un deuxième temps, les méthodologies utilisées pour l'analyse de l'occupation du sol et le calcul d'indices de morphologie paysagère seront explicités.
Enfin, les résultats de l'occupation du sol des Marais des Baux et des Salins de Giraud seront analysés et interprétés.

I. Présentation de la structure d'accueil

Ce stage de Master 2 Gestion des Eaux et des Milieux Aquatiques, spécialité zones humides méditerranéennes, s'est déroulé au centre de recherche pour la conservation des zones humides méditerranéennes, la Tour du Valat. Cet organisme privé est une fondation à but non lucratif reconnue d'utilité publique depuis 1978, créé par Luc Hoffmann en 1954.
Luc Hoffmann, docteur en biologie et passionné d'ornithologie a contribué à la création du WWF international dont il a été le vice-président et a occupé le poste de directeur de Wetlands International ainsi que celui de vice-président de l'UICN. Au départ les activités de la Tour du Valat étaient centrées sur le baguage, dans un but d'étude des migrations. A partir des années 1970, la station biologique s'est dotée d'un programme de recherche sur l'écologie des zones humides, centré sur la gestion des marais d'eau douce de Camargue.
La Tour du Valat est située à 25 kilomètres d'Arles, en plein cœur de la Camargue. Ce centre s'étend sur un domaine de 2 600 hectares dont une partie était classée en Réserve Naturelle Volontaire jusqu'en 2008 et dont 1844 hectares sont classés aujourd'hui en Réserve Naturelle Régionale.
De nombreux habitats caractéristiques de Camargue y sont présents avec notamment des milieux rares et menacés comme des mares temporaires, des montilles et des sansouires. La présence de 460 espèces de plantes et 300 espèces d'oiseaux permet la réalisation de nombreuses expérimentations sur le domaine.
Des programmes de recherches et de gestion intégrée y sont développés, articulés autour de trois grands axes qui sont « comprendre pour mieux gérer », « conjuguer activités humaines et patrimoine naturel » et « éclairer les décisions publiques ». La Tour du Valat possède un centre de ressources documentaires très riche et consulté. Le budget moyen de la Tour du Valat s'élève à environ 4.2 millions d'euros par an.
La Tour du Valat a développé un réseau avec des partenaires nationaux et internationaux dont certains sont basés sur le domaine comme le TAKH, la FIBA et l'Office Nationale de la Chasse et de la Faune Sauvage. Ainsi des projets ont lieu dans des zones humides méditerranéennes du monde entier comme autour des lacs Prespa et Kerkini en Grèce et le delta de Goksu en Turquie. Ces partenariats et transferts font partie de la mission de la Tour du Valat afin d'élargir l'impact de ses activités.
Une soixantaine de personnes sont employées à la Tour du Valat, spécialisées en écologie végétale, ornithologie, macrofaune aquatique, hydrologie, géomatique, socio-économie, géographie et gestion intégrée. Ces salariés sont répartis dans 3 départements : « Suivi-évolution et politiques des zones humides », « Modélisation, restauration et gestion des écosystèmes » et « Conservation des espèces et de leurs populations dans le contexte des changements globaux » développant ainsi des programmes de recherche sur le fonctionnement des zones humides méditerranéennes et leur mode de gestion.

Tour du Valat - ORGANIGRAMME



5 mai 2009

II. Contexte de l'étude

a. Contexte législatif

Les zones humides sont des milieux riches et vulnérables au cœur des problématiques actuelles dont la protection a commencé depuis Ramsar et s'est renforcée avec la loi sur l'eau du 3 janvier 1992 et avec la circulaire du 24 décembre 2009.
Le travail que j'ai effectué, s'insère au sein du projet Eaux et Territoires mis en place suite à l'arrêté du 1 octobre 2009 modifiant l'arrêté du 24 juin 2008 précisant les critères de délimitation des zones humides.

b. Objectif du projet

Le projet vise à enrichir les connaissances sur le fonctionnement des zones humides et à alimenter la réflexion pour fournir des outils aux acteurs et gestionnaires des sites d'études et donc établir une meilleure gouvernance des territoires pour préserver les zones humides.
Avant la mise en place de la gouvernance de l'eau, il s'agit de caractériser le milieu ainsi que les contraintes de fonctionnement de ces écosystèmes et d'établir les bases d'une discussion préalable à la mise en place d'une GIRE (Gestion Intégrée des Ressources en Eau) et ainsi de déterminer l'impact de l'homme sur le paysage.
Ensuite des modèles prédictifs seront construits à partir des scénarii d'évolution basés sur les demandes sociétales.

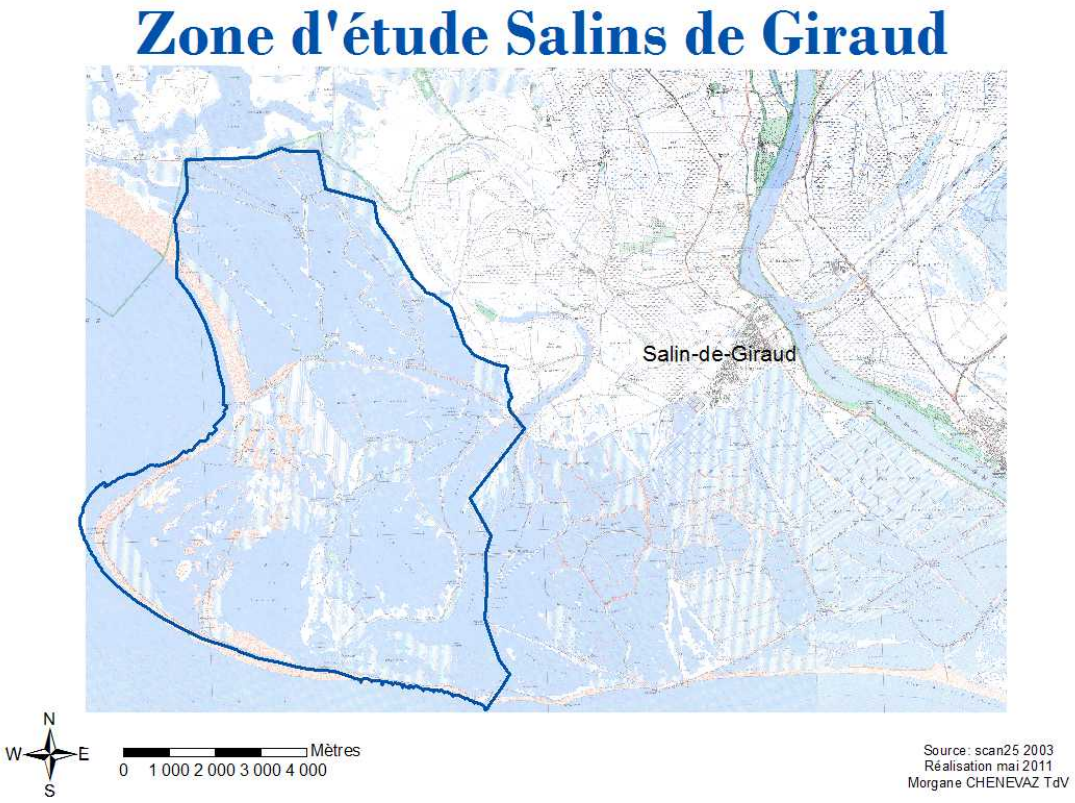
c. Axes et volets du projet

Le projet « Eaux et Territoires » a une approche interdisciplinaire visant à comprendre les interactions entre la nature et la société afin de mettre en évidence les régulations sociales du système eau-territoire. Ainsi il est composé de deux axes. Un des axes, basé sur les sciences sociales et humaines a pour objectif de déterminer comment la société utilise les zones humides grâce à des enquêtes.
Le deuxième axe a pour but d'améliorer la compréhension des écosystèmes étudiés et notamment la compréhension de l'hydrologie et de la qualité des eaux, de mesurer la part naturelle et anthropique dans la dynamique des paysages et enfin de montrer la possibilité d'utiliser les cortèges d'orchidées comme marqueurs de naturalité.
Cet axe se divise ainsi en quatre volets, le volet « hydrosystème » où prend place le travail d'Anthony CHEVAL, le volet « caractéristiques physico-chimiques de l'eau », le volet « flore et macro-invertébrés » traité par Nathalie PATRY et le volet « dynamique des paysages ». Le volet « dynamique des paysages et des habitats associés », alimenté par mon travail, est basé sur des techniques d'écologie du paysage et des techniques issues de la géomatique tels que les Systèmes d'Information Géographique afin de rendre compte de l'impact de l'homme au niveau des paysages entre 1944 et 2003.

d. Sites d'étude

Deux sites d'étude ont été retenus. Ces sites sont deux zones humides situées dans des parcs naturels régionaux, celui des Alpilles pour le site des Marais des Baux et celui de Camargue pour les Salins de Giraud. Les deux sites d'étude sont des zones humides en mutation suite au déclin des activités économiques en place, cependant ils possèdent des caractéristiques très différentes.

i. Salins de Giraud

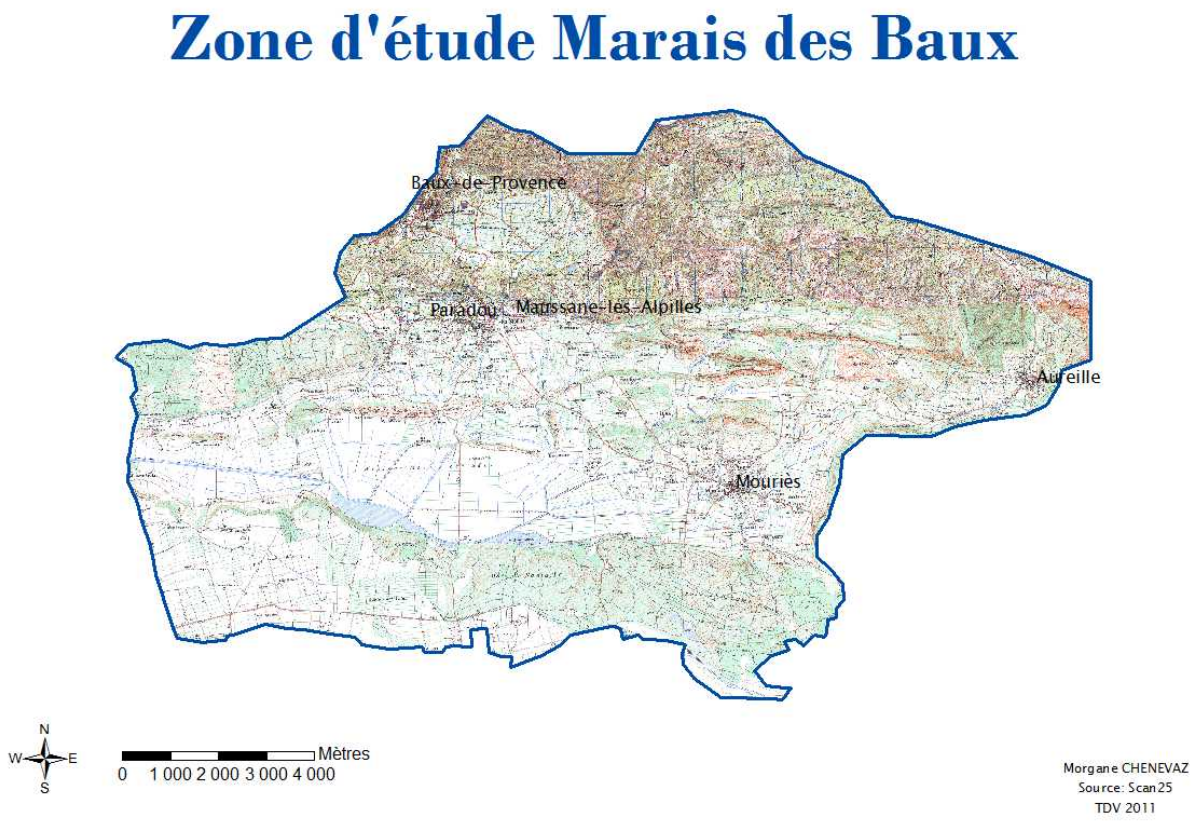


Carte n°1

Les Salins de Giraud se situent à l'extrême Sud de la Camargue, sur la partie la plus récente du delta du Rhône.
L'implantation des salins s'est établie sur ce secteur grâce à la présence d'étangs et de marais ainsi qu'une balance hydrique déficitaire l'été. Les salins durant leur période d'activité étaient alimentés en eau de mer d'avril à septembre avec un principe de concentration du sel par évaporation de l'eau. De plus, les peuplements animaux et végétaux s'organisaient en fonction de confinement de l'eau. Les salins méditerranéens sont des zones humides fondamentales pour la conservation des oiseaux d'eau. L'exploitation du sel était faite à la base au Sud de la ville de Salin-de-Giraud puis s'est étendue à l'Est avec l'installation des tables salantes puis à l'Ouest avec l'intégration des étangs de Beauduc, du Fangassier, du Galabert, du Rascaillon, du Vaisseau et de la Galère. Un million de tonnes de sel était produit chaque année, destiné à l'industrie chimique (Perthuisot, 1982).
Depuis un certain nombre d'années, l'activité salinière est en déclin aux Salins de Giraud, d'où la nécessité de trouver des solutions afin d'assurer la survie économique du site.
Cet espace est en total mutation économique, phénomène souligné par la vente au Conservatoire du Littoral de 6000 hectares amenant une restauration du site. Le projet vise ainsi à proposer des scenarii d'évolution pour la gouvernance et la protection de la zone humide incluant les enjeux économiques et humains.
De nombreuses questions sont soulevées avec notamment les conséquences sur la biodiversité actuellement en place, du retour à un système de fonctionnement plus naturel avec des variabilités des niveaux d'eau. Un effort plus particulier est porté sur l'unique îlot de reproduction des flamants roses en France, au niveau de l'étang du Fangassier. Le paysage des

Salins de Giraud s'est peu à peu inscrit dans le paysage littoral jusqu'à devenir partie intégrante du patrimoine naturel.
De plus, la perception sociale de ces changements par les habitants de Salin-de-Giraud peut poser problème. Les nombreux acteurs et contraintes sur ce site sont d'ordre politique, social et environnemental. Le résultat souhaité étant un développement raisonné où la nature et les acteurs seraient gagnants.

ii. Marais des Baux



Carte n°2

Le deuxième site est la vallée des Marais des Baux. Les Marais des Baux représentent un paysage identitaire majeur des Alpilles.
La vallée des Baux est située à l'interface entre la chaîne des Alpilles, la plaine de la Crau et le delta de Camargue. Les Marais des Baux sont séparés de la Crau par une ligne de reliefs peu élevée, appelée la Costière de la Crau.
Les falaises calcaires, les garrigues à chênes kermès et romarins et pinèdes à pins d'Alep, les oliviers et vignes, les prés et maraîchages sont des éléments caractéristiques du paysage des Alpilles et de ses piémonts. Les forêts de chênes verts sont relictuelles et il ne reste de la chênaie blanche qu'à Aureille et au-dessus de Maussane-les-Alpilles.
Depuis l'époque romaine, les hommes tentent d'assécher ce milieu marécageux dans un but de salubrité et de lutte contre les moustiques mais ce n'est que dans les années 1960 que l'assèchement prendra fin avec l'arrivée des motopompes et la poldérisation du marais. Cet

assèchement a pour résultante des marais relictuels. Les marais ont été asséchés dans un but agricole pour la mise en place de grandes cultures et de l'élevage.
En 2003, les inondations ont marqué les esprits et les habitants ont pu se rendre compte de l'étendue de la zone d'expansion des crues et ont pris conscience de l'importance du maintien des zones humides. De plus, l'impact des activités agricoles sur la qualité des milieux aquatiques par la libération d'intrants et l'aménagement des canaux affectant la structure des espaces boisés ont amplifié la volonté de réhabilitation de la zone humide pour diminuer la vulnérabilité aux inondations et pouvoir procéder à une utilisation durable des ressources. L'agriculture actuellement en place a un coût important de part l'entretien des digues et des systèmes de pompage. Ce coût est un argument supplémentaire pour la remise en eau du marais.
La poldérisation des années 1960, vécue comme un véritable progrès avec une meilleure qualité des terres pour les prairies, laisse pourtant un sentiment de culpabilité associé à la perte de ces marais. La remise en eau du marais demeure conflictuelle entre les différents acteurs du site.
En fin de compte, une volonté de remise en eau partielle couplée avec des usages agricoles adaptés se démarque de ces conflits.
La prise en compte de l'ensemble du bassin versant des Marais des Baux est essentielle pour comprendre les processus de dynamique du paysage. En effet, le bassin versant est une unité de paysage structurelle et fonctionnelle correspondant à un environnement varié et possédant une certaine biodiversité.
De nombreuses zones du Marais des Baux sont protégées en Zones Naturelles d'Intérêt Faunistique et Floristique (ZNIEFF type I et type II), en Zones Importantes pour les Oiseaux (ZICO), en Réseau Natura 2000, en Zones de Protection Spéciale (ZPS) et en Zones Spéciales de Conservation (ZSC). La chaîne des Alpilles est une ZNIEFF de type II et une ZICO. Les Alpilles sont aussi ZSC et ZPS. Les Marais des Baux en eux mêmes sont en ZNIEFF de type II et ZSC.
Les Marais des Baux font partie du parc naturel régional des Alpilles depuis 2007. La directive paysage Alpilles y est appliquée. Cette directive est un outil de protection et de gestion du paysage. Trois objectifs majeurs en découlent : maintenir des éléments linéaires marqueurs du paysage sur tout le pourtour du massif, protéger l'aspect naturel du massif et les espaces ouverts emblématiques des Piémonts, et préserver la qualité des espaces bâtis.

e. Équipe et structures du projet

L'équipe du projet est composée d'Alain Sandoz géographe, Philippe Chauvelon et Olivier Boutron hydrologues, François Mesleard écologue, Lisa Ernoul socio-économiste, Marc Thibault ingénieur en plan de gestion, Laurence Nicolas anthropologue et Aurélien Allouche sociologue, Alain Dervieux écologue, Cécile Miramont géomorphologue, Jean-Luc Boudenne chimiste spécialisé dans l'eau et Alain Friedlender phytoécologue.
Les organismes porteurs sont la Fondation Tour du Valat, le DESMID (Dynamique Écologique et Sociale en Milieu Deltaïque) laboratoire du CNRS, la RESSOURCE, bureau d'étude en ingénierie sociale, et l'Université de Provence et ses laboratoires associés (DENTES, IMEP, LCEC).
Des structures sont également associées comme le Parc Naturel Régional de Camargue, le Parc Naturel Régional des Alpilles, la DDTM (Direction départementale des Territoires et de la Mer) et l'Agence de l'Eau.

III. Problématique de l'étude

Le paysage est de plus en plus considéré comme un objet de gestion. Ainsi connaître les caractéristiques et les évolutions du paysage devient primordial (Larcena and Puech, 1998).
Les objectifs principaux de cette étude étaient d'une part de quantifier le recouvrement et la dynamique des habitats au niveau des deux sites d'étude, de faire un état des lieux des principaux habitats écologiques en caractérisant le milieu et ses contraintes de fonctionnement dans le but de la mise en place d'une gouvernance de l'eau, de déterminer l'impact de l'homme sur le paysage actuel et enfin de définir la part liée à l'anthropisation et celle liée aux phénomènes naturels.
L'étude de l'évolution des paysages permet de rendre compte de l'action de l'homme. En effet le paysage actuel résulte d'une équation environnementale complexe comportant un certain nombre de variables liées à l'histoire et au présent où se mêlent action de la nature et action de l'homme (Sandoz, 2009). Durant le déroulement de cette étude, deux questions sont restées omniprésentes: « comment la gestion des milieux aquatiques par l'homme et les actions qu'il entreprend, se répercutent sur l'évolution du paysage? » et « quelle est l'importance de l'anthropisation par rapport aux phénomènes naturels déterminant la dynamique des paysages? ».

IV. Mise en œuvre

a. Données initiales

Dans une première phase, il a fallu acquérir les photographies aériennes. Les années choisies sont 1944, photographies prises lors des missions de la seconde guerre mondiale réalisées par les alliés et 2003, photographies de l'IGN les plus récentes disponibles actuellement celles de la BD Ortho 2003. La BD Ortho est la base photographique aérienne couleur orthorectifiée du Référentiel à Grande Échelle (RGE). Sa fréquence de mise à jour est normalement de 5 ans. Un certain nombre de clichés étaient déjà disponibles à la Tour du Valat. Le reste des photographies a pu être récupéré au centre Camille Jullian à la Maison Méditerranéenne des Sciences de l'Homme à Aix-en-Provence. Avec l'aide de Florence Mocci, responsable de l'aérophothèque, les photographies manquantes ont pu être identifiées et directement numérisées. Après réception des photographies, il a fallu les recadrer grâce au logiciel Gimp 2.6 et les géoréférencer sous Arc Map.
Le choix a été porté sur les photographies aériennes plutôt que les images satellites étant donné que les premières images satellites datent de 1975.

b. Numérisation de l'occupation du sol

Les changements d'occupation du sol résultent de l'abondance et de la structure spatiale des habitats (Bissonette, 1997).
La numérisation de l'occupation du sol des photographies aériennes a été réalisée sous ArcMap version 9.3. Ce sont les principaux « habitats naturels » qui ont été numérisés, c'est-à-dire des « zones terrestres ou aquatiques se distinguant par leur caractéristiques géographiques abiotiques et biotiques quelles soient entièrement ou semi-naturelles » d'après la directive habitat faune-flore. Toutefois il faut garder à l'esprit que les limites entre les différents habitats ne sont pas toujours facilement identifiables.

La projection utilisée est du Lambert 2 étendu pour les photographies de 2003 et Lambert 93 pour celles de 1944.
Pour parler d'évolution, il faut toujours faire référence à une durée et un espace. Il est important de définir et garder une échelle constante quand on mesure et on compare des paysages. Les échelles utilisées sont le 1/24000 pour les Marais des Baux et 1/5000 pour les Salins de Giraud. Le choix des échelles spatiales et temporelles en écologie du paysage sont d'une extrême importance étant donné leur influence sur les résultats. Il s'agit de faire un compromis entre le temps mis par la numérisation et la qualité de l'information souhaitée.
La légende choisie pour la vallée des Marais des Baux est basée sur celle de Corine Land Cover, niveau 3, le plus précis. La base de données CORINE Land Cover est produite dans le cadre du programme européen CORINE, c'est un inventaire de l'occupation des terres ayant pour but de fournir une information géographique de référence pour 29 États européens. Cet inventaire est basé sur des images satellites de 2000 et produit à une échelle de 1/100 000.
Pour les Salins-de Giraud, le même choix n'a pas été possible de part la particularité des habitats composant le paysage (Annexe 1).
La numérisation a été faite par photo-interprétation, il s'agit de délimiter et d'identifier des systèmes écologiques en vue de la quantification en portion élémentaire du paysage (Burel, Baudry, 2000). L'utilisation de photographies aériennes reste délicate de part leur grande hétérogénéité.
Cette technique requiert un examen qualitatif de la photographie qui est subjectif. L'avantage principal de la photo-interprétation est de donner une vue d'ensemble où les éléments du paysage sont fixés dans le temps et dans l'espace (Rey, 1969). Certains objets n'ont pas de contours nets, l'appréciation dépend alors du lecteur.
Il existe un problème d'identification lié à la différence entre les photographies couleur et noir et blanc. Les informations sont différentes en fonction de la signature spectrale de chaque élément que ce soit le sol, l'eau ou la végétation. Ainsi des confusions entre les classes prairies et pelouses sont possibles.
Pour les reliefs importants, les forêts naturelles ont des limites irrégulières et sont de structure homogène pour les feuillus et de structure granuleuse pour les résineux. Les forêts aménagées ont des limites régulières.
Pour les reliefs moyens, les garrigues ont des limites irrégulières et ont une structure homogène quand elles sont de formation compacte fermée et une structure hétérogène quand se sont des formations ouvertes.
Pour des reliefs nuls, les pelouses et prairies ont des limites irrégulières et des structures homogènes et les cultures ont des limites régulières (Rey, 1969).
Afin d'aider la photo-interprétation, l'utilisation de cartes et d'autres documents existants est nécessaire. En effet certains documents historiques comme *Les étangs saumâtres du midi de la France et leurs pêcheries* par Paul Gourret 1897 et des cartes historiques, peuvent être utiles pour l'aide à la photo-interprétation afin d'ôter des doutes sur l'occupation du sol. Pour le site des Marais des Baux, la carte phytoécologique de la Crau de 1983 de L. Borel , Devaux et sa notice dans Biologie méditerranéenne, la carte phytosociologique au 1/50 000 Loïc Willm réalisée en 2002, et la carte de l'occupation du sol en 2006 sur le bassin versant Sud des Alpilles réalisée par BRL ingénierie, ont été utilisées.
Pour les Salins de Giraud, la carte phytosociologique de la Camargue au 1/50 000, levées de 1958 à 1966 par René Molinier et sa notice dans biologie et écologie méditerranéenne et la cartographie de l'occupation du sol 2001 sur le territoire du parc régional de Camargue réalisée par la SNPN, Réserve de Camargue ont été utilisées.

Il faut rester vigilant face aux informations données par certaines cartes qui ont été construites par les observations de plusieurs personnes et établies sur une période de temps variable comme la carte phytosociologique de Camargue de Molinier.

c. Vérifications de terrain

Pour valider la photo-interprétation et la numérisation de l'occupation du sol qui en découle, il a fallu procéder à des vérifications de terrains sur les zones de doutes, ainsi que pour chaque habitat retenu. Ce travail est bien sûr réalisable pour 2003 mais pas pour 1944. La photo-interprétation et les relevés de terrains restent des critères qualitatifs (Germaine and Puissant, 2008).

d. Calcul d'indices de morphologie paysagère

L'exploitation des informations d'une photographie aérienne peut se faire de deux manières, visuellement par la photo-interprétation mais aussi numériquement par le calcul d'indices.
Le calcul unique des surfaces et périmètres ne sont pas suffisants, il faut également tenir compte de l'agencement spatial (Germaine and Puissant, 2008), d'où l'intérêt des indices de morphologie paysagère. Les indices de morphologie du paysage permettent de décrire la composition, l'organisation et la structure du paysage afin de comprendre la dynamique paysagère par étude diachronique. L'utilisation d'indicateurs chiffrés est une aide à la gestion des paysages (Larcena and Puech, 1998).
Le calcul de ces indices permettant de caractériser la morphologie paysagère s'est fait grâce à l'outil Patch Analyst, implémenté dans Arc Gis. Cet outil est basé sur le logiciel Fragstat, première référence en matière d'analyse paysagère. Patch Analyst est un programme destiné à analyser numériquement la structure spatiale à l'échelle de la tache, d'une classe ou du paysage dans son ensemble. Le but de cet outil est de fournir des jeux de données quantitatives pour être plus objectif dans la comparaison de paysages (Lee et al., 2009).
De nombreuses mesures spatiales sont disponibles, il a fallu déterminer les indices les plus adaptés et pertinents par rapport à notre étude. Ainsi ont été retenus NumP, CA, MPS, SDI, MSI.

« **NumP** », number of patches, est le nombre total de taches dans l'ensemble du paysage si l'analyse est faite par paysage ou correspond au nombre de taches pour chaque classe individuelle, si l'option « analysé par classe » est sélectionnée.
Cet indice permet de renseigner sur la fragmentation entre 1944 et 2003. Le fait que le nombre de taches augmente peut témoigner selon les cas d'une fragmentation du paysage.
(Davidson, 1998)

« **CA** », Class Area, est la somme des aires de toutes les taches appartenant à une classe. L'aire est calculée à partir des unités de la carte, ici en mètres carrés.

« **MPS** », Mean Patch Size, correspond à l'aire moyenne des taches pour une classe, calculé dans les unités de la carte.
La réduction progressive de la taille moyenne des taches peut être indicative d'une fragmentation potentielle de l'habitat. Un paysage composé de taches de taille plus importante est supposé moins fragmenté et surtout plus profitable pour de nombreuses espèces faunistiques.

« **SDI** », Shannon's Diversity Index, est la mesure de la diversité relative des taches. Cet indice basé sur la théorie de Shannon et Weaver de 1949, est calculé uniquement à l'échelle du paysage. Il prend en compte le nombre d'éléments du paysage et leur abondance relative.
La valeur du SDI dépend du nombre de taches et de leurs proportions relatives. Lorsque la classe est composée d'une seule tache, la valeur du SDI est 0. Le SDI augmente avec la richesse en taches ou quand la distribution des aires des taches devient plus équitable ou avec les deux. Cet indice est utilisé pour comparer différents paysages ou le même paysage à des temps différents comme c'est le cas dans cette étude (McGarigal et Marks, 1995). Une diversité faible résulte d'un voisinage dominé par une classe et une diversité forte résulte d'un voisinage composé de nombreuses classes en proportions équivalentes.

« **MSI** », Mean Shape Index, est le rapport du périmètre sur l'aire. Le MSI vaut 1 quand la tache est circulaire et augmente en fonction de l'allongement et de l'irrégularité de la tache. La forme des taches est un élément difficile à quantifier et interpréter. Les habitats artificiels tels que les terrains agricoles ont des formes très polygonales et les habitats naturels tels que les forêts ont des formes plus complexes.
(Ducrot 2005)

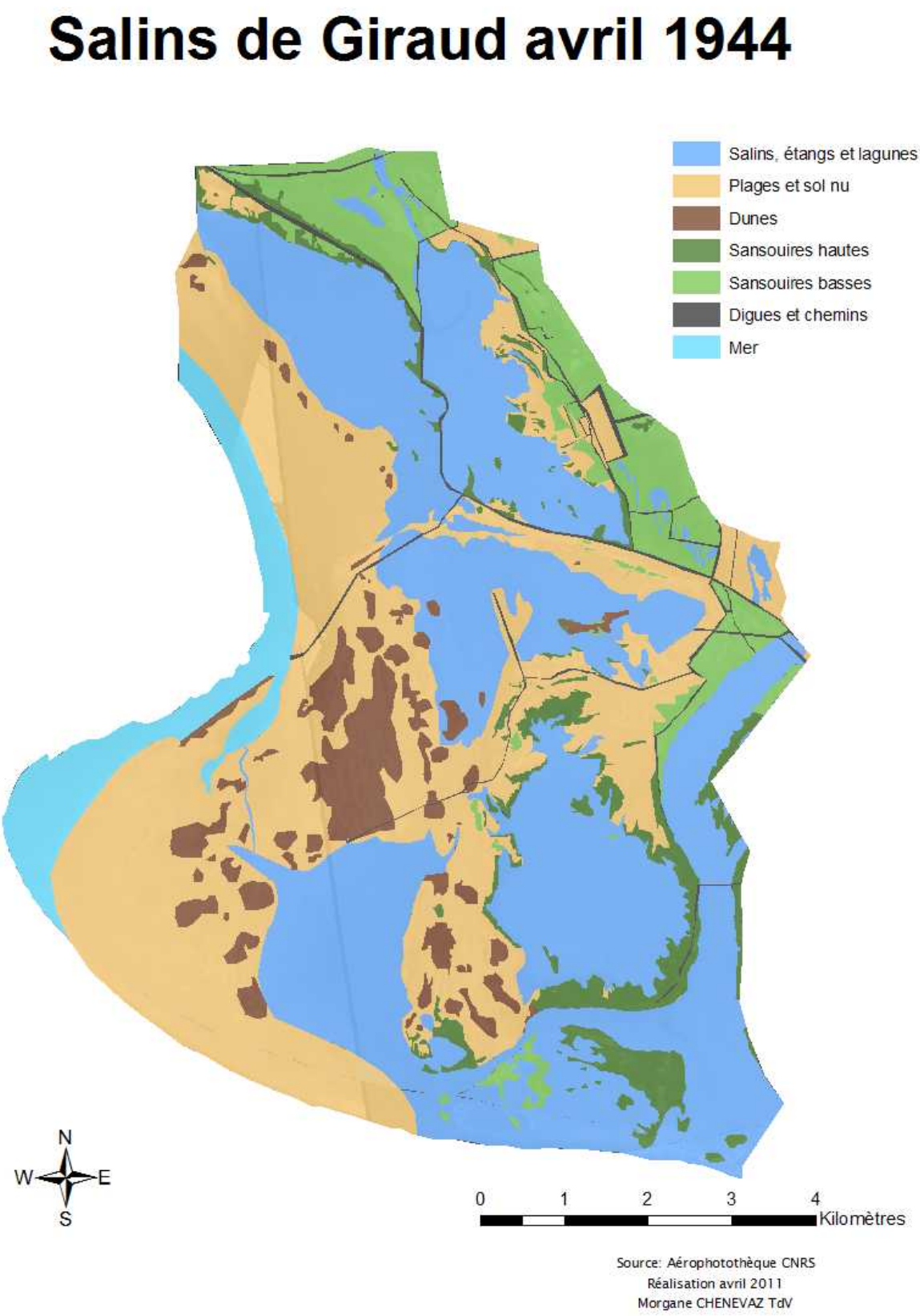
Les indices SDI et MSI rendent comptent de l'hétérogénéité du paysage c'est-à-dire de la diversité et de la complexité de l'arrangement spatial.
La fragmentation résulte d'une réduction de l'aire totale d'un habitat et de la division de cet habitat en plusieurs plus petites entités.
La fragmentation des habitats est une des principales causes de l'érosion de la biodiversité (Dobson, 1996).
La fragmentation a pour conséquence un isolement des entités paysagères. Ce processus peut être d'origine naturelle ou anthropique, cependant la fragmentation d'origine naturelle fait appel à des processus longs tels que la mise en place de chaînes de montagnes ou de réseaux hydrographiques. La fragmentation d'origine anthropique résulte de processus à pas de temps beaucoup plus courts correspondants aux activités humaines. Cette fragmentation a pour conséquence une modification brutale des écosystèmes et une atteinte à la capacité de survie de certaines espèces. La fragmentation récente des paysages conduit à l'isolement des populations d'espèces.
Dans les zones sujettes à une augmentation de la pression des activités anthropiques, la fragmentation est de plus en plus importante et reconnue comme un risque écologique majeur (Wilcox and Murphy, 1985).
L'intérêt des indices de morphologie paysagère est de permettre de quantifier la description des paysages contrairement à la caractérisation verbale des paysages basée sur une approche qualitative et subjective (Germaine and Puissant, 2008).
Afin d'utiliser l'outil Patch Analyst, les polygones de numérisation d'occupation du sol ne doivent pas se superposer les uns les autres et doivent être jointifs pour ne pas fausser les résultats obtenus.

V. Réponses et hypothèses

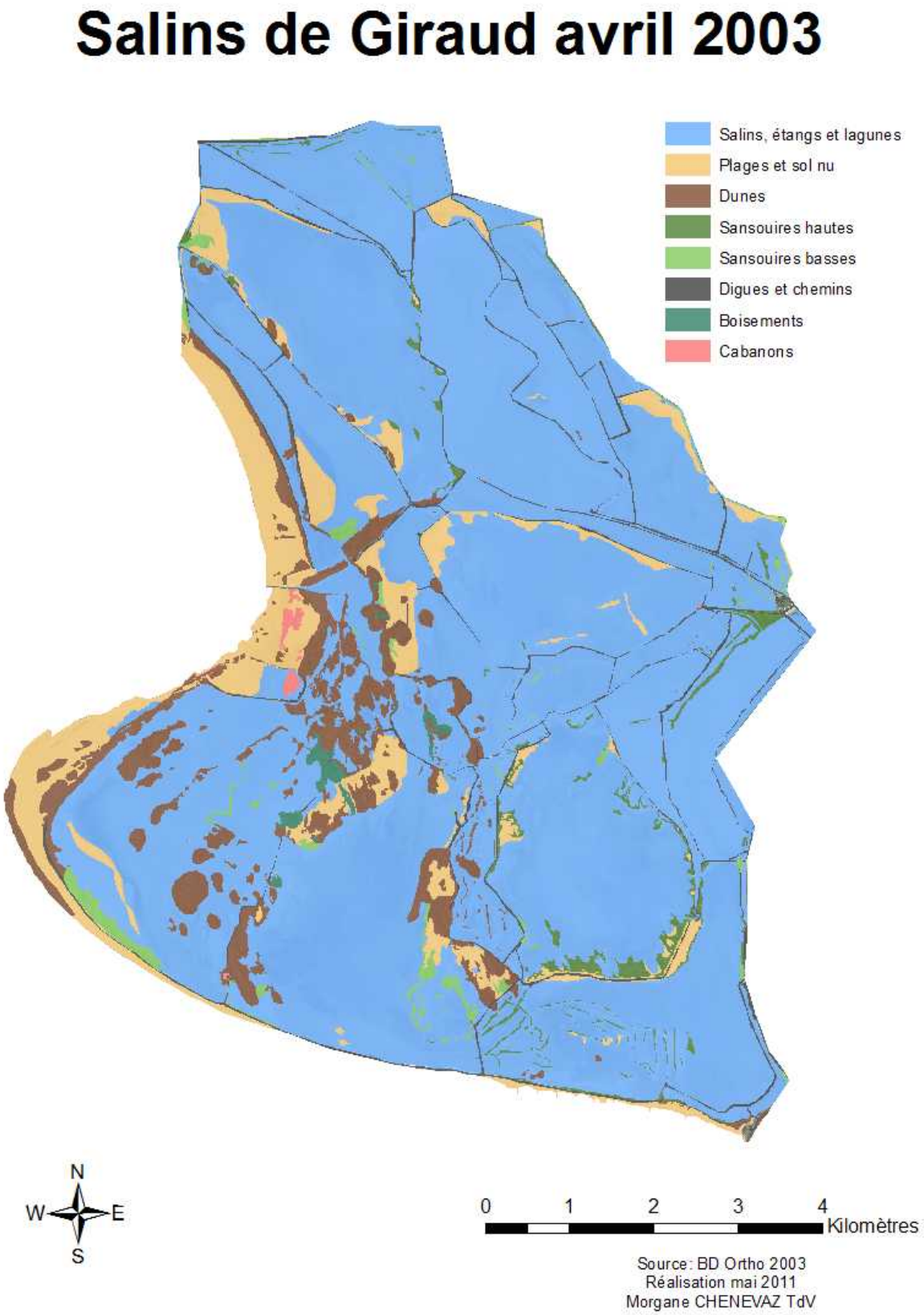
L'analyse du paysage peut se faire à trois niveaux: celui de la tache, celui de la classe et celui du paysage.
Le niveau tache est le plus fin. Une tache est une aire à la surface de la terre qui a une frontière bien définie et qui contraste avec les aires adjacentes (Bissonette, 1997).
Leur forme, leur surface et leur complexité sont étudiées dans le but de mettre en évidence leur organisation, leur agencement les unes par rapport aux autres afin de les relier à des processus écologiques.
Le niveau classe représente l'ensemble des types d'habitats composant le paysage. L'analyse de la répartition des habitats dans l'espace est déterminante pour la compréhension des impacts de divers processus écologiques et événements sur le paysage.
Enfin, le niveau paysage donne un aperçu général de la structure du paysage.

a. Salins de Giraud

La situation géographique des Salins de Giraud, offrant une forte insolation et des vents forts conjugués à peu de précipitations, est un lieu idéal pour la saliculture.
Les salins ou bassins de pré-concentration sont d'anciennes lagunes. Ce sont des étangs de très faible profondeur de 30 à 50 centimètres dont les rives ont été rectifiées et endiguées. Ces étangs sont alimentés en eau par pompage à la mer et asséchés d'automne au printemps, c'est-à-dire de manière inverse au fonctionnement des lagunes sous climat méditerranéen. Les graus interrompant les digues permettent la communication entre les bassins. Lors de la phase active d'évaporation, d'avril à septembre, l'eau de mer est pompée à Beauduc. D'octobre à mars suit alors la phase de repos. Ces marais salants sont totalement contrôlés par l'homme pour la production du sel. Ce contrôle s'effectue sur les entrées d'eau de mer, les trajets et la vitesse des mouvements d'eau (Perthuisot, 1982).
L'eau accomplit son cycle complet de la mer aux tables saunantes en deux ans.
Il y a un gradient croissant de concentration du sel des étangs de pré-concentration à l'Ouest jusqu'aux tables saunantes à l'Est. De même, un gradient d'artificialisation existe, des lagunes des Sablons, Beauduc, et du Galabert plus naturelles d'un point de vue paysager vers les bassins de plus petites superficies et de forme plus géométriques.
Les milieux saliniers sont des milieux d'intérêts de part leur forte productivité et de leur diversité biologique élevée liées aux variabilités du milieu, niveau de salinité et d'inondation.
La mise en activité des salins a engendré de profondes modifications du paysage. Ces salins à vocation industrielle, assuraient de multiples rôles: un rôle écologique avec l'accueil avifaunistique, un rôle paysager, social, culturel et économique.



Carte n°3 : Occupation du sol des Salins de Giraud en 1944



Carte n°4 : Occupation du sol des Salins de Giraud en 2003

i. Analyse par paysage

D'après les cartes de l'occupation du sol en 1944 et 2003, il est notable que le trait de côte au Sud de la zone a reculé alors qu'à l'Ouest de la zone d'étude le trait de côte a progressé sur la mer. Le niveau marin augmente d'environ deux millimètres par an en Camargue depuis un siècle. Les deux principales causes de cette augmentation sont les changements climatiques et le phénomène de subsidence du delta de la Camargue. Les côtes sableuses de la Camargue sont très mobiles et évoluent en fonction de l'apport de sédiment et en fonction de l'érosion de la mer et du vent. Par conséquent certains secteurs sont en progression sur la mer et d'autres en régression (Aufray and Perennou, 2007). La fin des travaux d'aménagement des salins en 1973 avec le renforcement du cordon dunaire de la Baisse de Quenin jusqu'aux pompes de Beauduc peut aussi être un élément d'explication (Sadoul 1996).
Sur la photographie aérienne de 1944, la surface occupée par les lagunes est relativement faible par rapport à la surface occupée en 2003, cependant en 1944 les lagunes de fonctionnement naturel étaient soumises à d'importantes fluctuations de niveaux d'eau tout au long de l'année. En effet en hiver les pluies étaient abondantes et en été la balance hydrique était déficitaire (Perthuisot 1982). Ainsi le niveau d'eau des lagunes sur la carte d'occupation des sols ne correspond qu'à celui du moment de la prise de la photographie en avril 1944, année où le niveau d'eau des étangs est particulièrement faible. D'après les actes de la Réserve, la pluviosité de 1944 était de 386 millilitres. De plus, l'apport d'eau par les canaux ne compense que très peu l'évaporation cette année là.
Par conséquent, une augmentation des surfaces en eaux parallèlement à une diminution des surfaces de sol nu est visible.

	1944	2003
NumP: nombre de taches	258,00	669,00
TLA: somme des aires de toutes les taches du paysage(m²)	70 649 948.38	70 651 879.68
MPS: taille moyenne des taches(m²)	273 798.25	105 611.18
MSI: indice de complexité de la forme	2,03	2,20
TE: somme des périmètres de toutes les taches (m)	770 392,00	1 177 724,85
SDI: indice de diversité de Shannon	2,95	3,51

Tableau n°1: Indices de morphologie paysagère des Salins de Giraud à l'échelle du paysage

Le nombre total de taches (NumP) passe de 258 en 1944 à 669 en 2003, cette augmentation suppose une complexification du paysage qu'il faut néanmoins nuancer avec les progrès en matière de qualité et de précision des photographies aériennes depuis 1944. Ainsi des tâches visibles en 2003 ne le sont pas forcément en 1944.

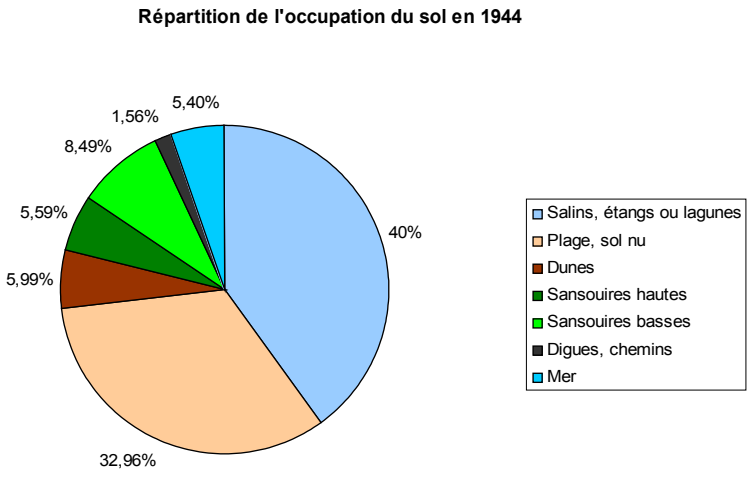
A l'échelle du paysage, l'indice de complexité de la forme (MSI) de 1944 est plus faible que celui de 2003, les taches ont donc une forme plus irrégulière et complexe en 2003. Cette évolution du MSI couplée à l'augmentation du nombre de taches met en relief un morcellement global du paysage.
Le périmètre de l'ensemble des taches (TE) est plus élevé en 2003 avec 1 177 725 mètres contre 770 392 mètres en 1944. Les zones d'interface entre les habitats sont donc plus importantes en 2003.
La taille moyenne des taches (MPS) qui diminue entre 1944 et 2003 vient de plus souligner la fragmentation du paysage. De plus, la taille des taches peut influencer la composition de la flore et de la faune (Turner and Garner, 1991). Un paysage avec une variété de tailles de taches est considéré moins fragmenté et surtout plus bénéfique pour un grand nombre d'espèces animales.
La somme des aires des taches en 1944 est quasiment la même qu'en 2003, ce résultat est normal étant donné que la limite de la zone d'étude est la même pour les deux dates.
Le SDI, indice de diversité de Shannon permet de mesurer la diversité des taches. La probabilité d'occurrence annuelle de diverses espèces est plus forte dans les paysages diversifiés. En 1944 le SDI est de 2.95 alors qu'en 2003 il augmente jusqu'à 3.51. Le nombre de types de taches est plus important et leur distribution est plus proportionnelle en 2003 qu'en 1944.

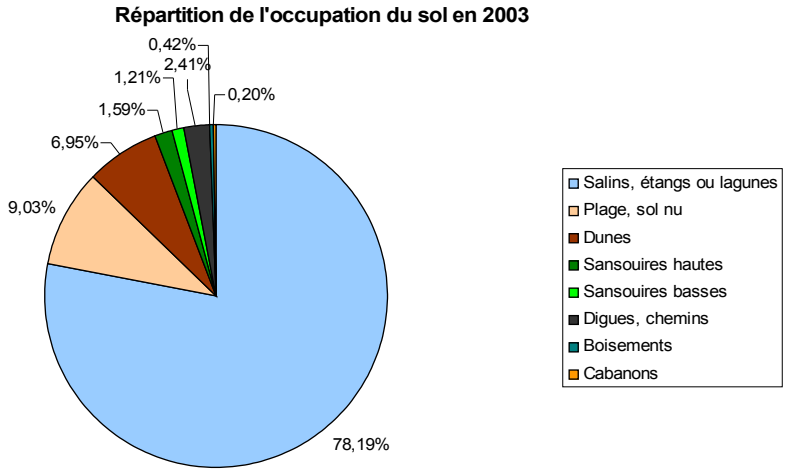
ii. Analyse par classe

Le tableau présente les différents indices calculés par Patch Analyst pour chacune des classes en 1944 et 2003.
Au niveau du paysage global, il y a un phénomène de fragmentation mais selon les classes le morcellement est plus ou moins important. Cette tendance à la fragmentation est reflétée par un nombre de taches plus important en 2003 et une diminution des aires moyennes (MPS).

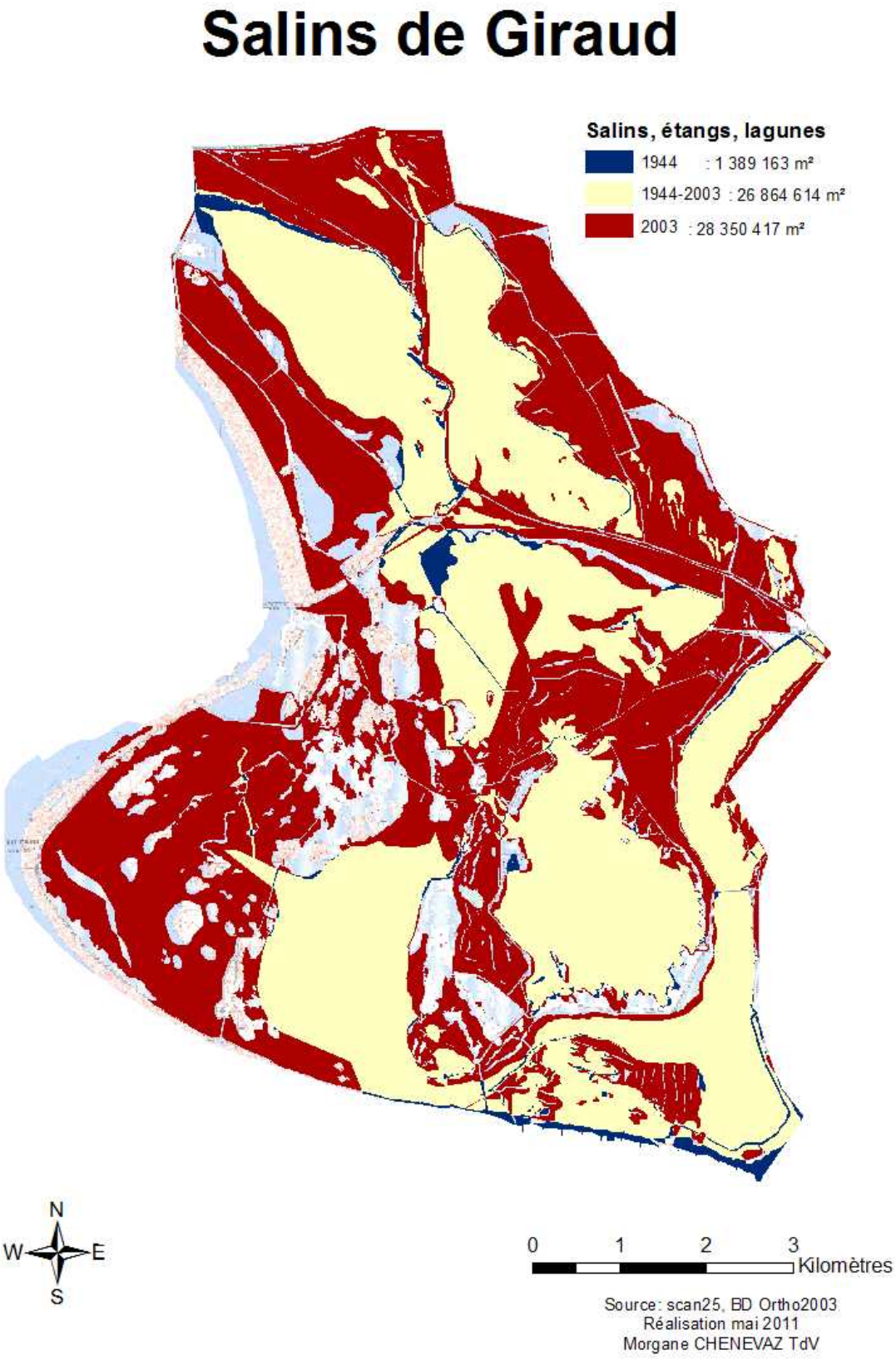
	NumP		CA (m²)		MPS (m²)		MSI	
	1944	2003	1944	2003	1944	2003	1944	2003
Salins, étangs ou lagunes	25,00	62,00	28 252 664,23	55 215 031,39	1 130 106,57	890 565,02	2,17	2,93
Plage, sol nu	23,00	71,00	23 284 702,91	6 373 562,37	1 012 378,39	89 768,48	2,97	2,29
Dunes	65,00	199,00	4 234 413,02	4 906 450,65	65 144,82	24 655,53	1,45	1,81
Sansouires hautes	100,00	207,00	3 949 790,87	1 121 338,15	39 497,91	5 417,09	1,93	2,13
Sansouires basses	41,00	79,00	5 998 099,54	857 159,43	146 295,11	10 850,12	1,87	2,27
Digues, chemins	3,00	12,00	1 105 337,82	1 704 111,83	368 445,94	142 009,32	11,65	7,46
Boisements		11,00		299 554,62		27 232,24		1,67
Cabanons		27,00		140 935,87		5 219,85		1,45
Mer	1,00		3 814 939,99		3 814 939,99		3,23	

Tableau n°2: Indices de morphologie paysagère des Salins de Giraud au niveau classe





Graphique n°1 :Répartition de l'occupation des sols des Salins de Giraud en 1944 et en 2003

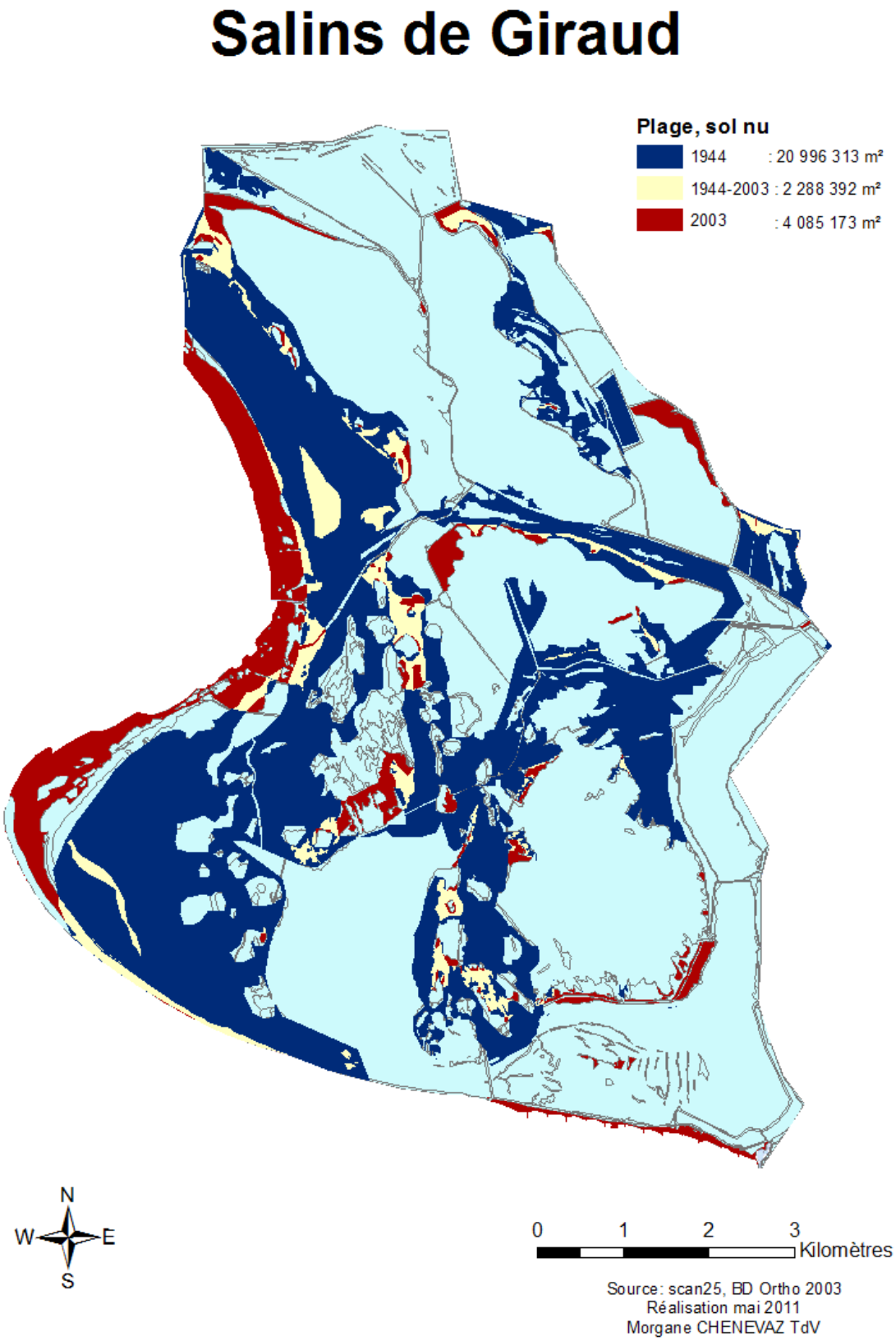


Carte n°5 Évolution des surfaces occupées par les salins et les lagunes entre 1944 et 2003

Salins, étangs et lagunes

	NumP		CA (m²)		MPS (m²)		MSI	
	1944	2003	1944	2003	1944	2003	1944	2003
Salins, étangs ou lagunes	25,00	62,00	28 252 664,23	55 215 031,39	1 130 106,57	890 565,02	2,17	2,93

Les capacités de production des salins se sont énormément accrues à partir de 1954. De 1944 à 1953, seule la zone au Sud-Est de la digue à la mer était aménagée. L'eau était prélevée par un barrage au Grau de la Dent (Sadoul, 1996).
L'augmentation du nombre de taches (NumP) est la plus forte pour la classe « salins » qui passe de 25 taches an 1944 à 62 taches en 2003.
Entre 1944 et 2003, il y a une nette régression de la plage au profit des salins dont la surface en eau a quasiment doublée suite à la relance de l'activité salinière après la seconde guerre mondiale. Les aménagements des salins en étangs de pré-concentration sur ce secteur, ont eu lieu à partir de 1965 alors que de 1944 à 1953, les étangs étaient temporaires, en eau à l'automne et au printemps (Sadoul, 1996). Le Galabert, le Rascaillon et le Vaisseau, étangs plus profonds, restaient en eau. L'étang du Fangassier était encore en communication avec les étangs inférieurs du Vaccarès (Sadoul, 1996). Ces aménagements consistaient à l'endiguement des lagunes et au renforcement du cordon dunaire. L'eau prélevée directement à la mer, pénétrait ensuite dans les salins sur les surfaces préparatoires.
En effet, à cette période, seule la zone des salins au Sud-Est de la digue à la mer étaient aménagée, ainsi au niveau de notre zone d'étude les milieux étaient encore naturels. De 1953 à 1973, la totalité de la surface des salins a été multipliée par quatre en passant de 2 800 hectares à 11 700 hectares.
Les salins, lagunes naturelles en 1944 passent donc à l'état d'étangs de pré-concentration, artificiels, endigués et nivelés en 2003. La gestion de la mise en eau des étangs est inverse au cycle naturel de ces derniers. Le fonctionnement des salins est prévisible et stable.
L'indice de complexité de la forme (MSI) varie de 2.17 en 1944 à 2.93 en 2003. Cette complexification peut s'expliquer notamment par une communication entre les lagunes rompue par les digues et un fractionnement des espaces et par la forme plus irrégulière des nouveaux étangs créés.
De 1973 à 2003, les aménagements ont peu évolué. Les milieux saliniers se sont stabilisés, les salins occupant l'essentiel des surfaces exploitables.

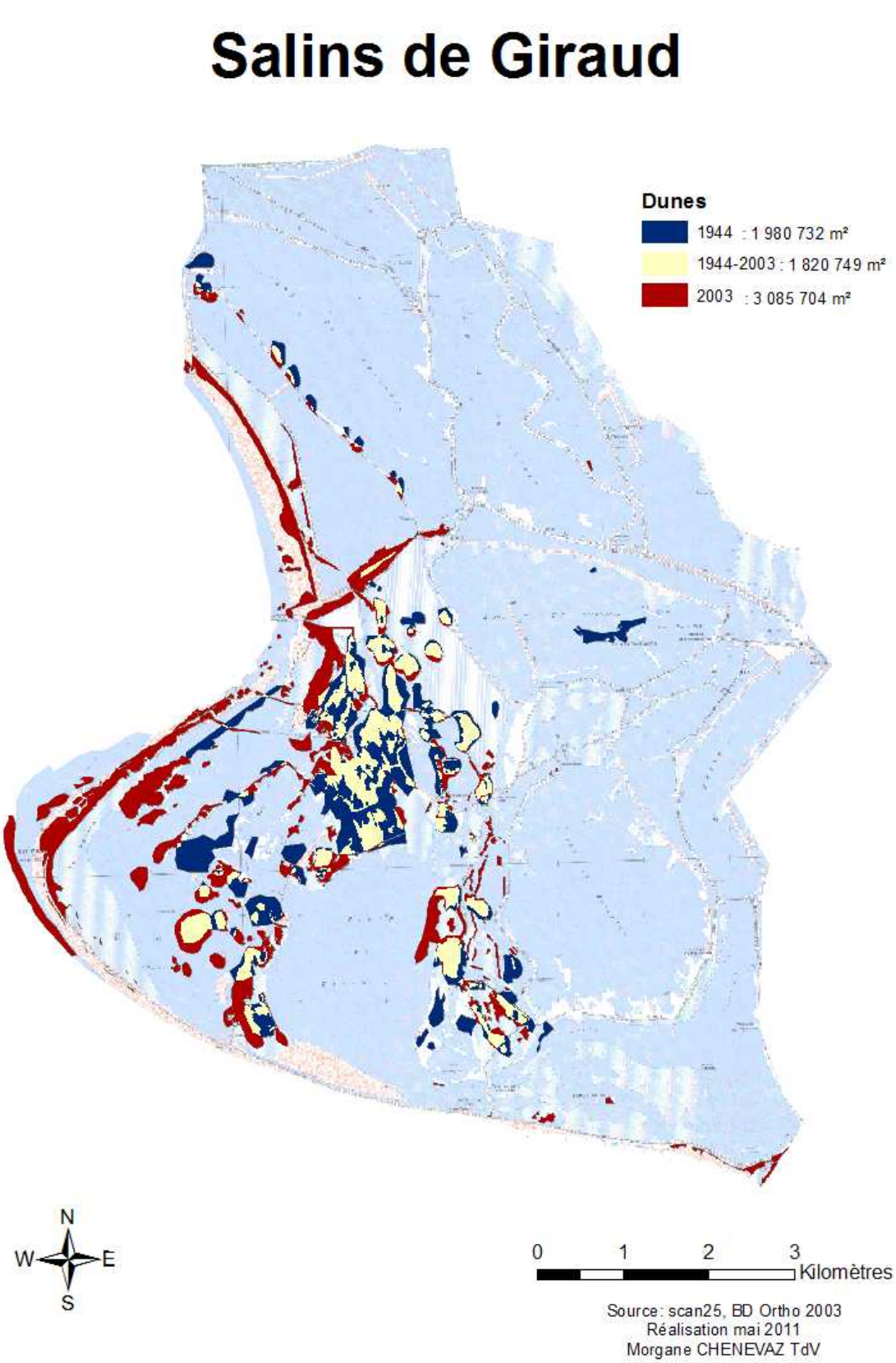


Carte n°6 Évolution des surfaces occupées par la plage et le sol nu entre 1944 et 2003

Plages et sol nu

	NumP		CA (m²)		MPS (m²)		MSI	
	1944	2003	1944	2003	1944	2003	1944	2003
Plage, sol nu	23,00	71,00	23 284 702,91	6 373 562,37	1 012 378,39	89 768,48	2,97	2,29

Pour la classe « plage et sol nu », le nombre de taches (NumP) a plus que doublé entre 1944 et 2003 en passant de 23 à 71.
L'aire moyenne des taches (MPS) de cette classe a été divisée par plus de 10 en passant de 1 012 378 m² à 89 768 m².
La somme des aires (CA) a régressé de 23 284 702,91 m² à 6 373 562,37 m² en parallèle à l'augmentation des surfaces préparatoires dont la somme des aires est passée de 28 252 664,23 m² à 55 215 031,39 m².
La plage, milieu naturel a un indice de complexité de la forme (MSI) qui diminue de 2.97 à 2.29 en 2003. Il y a donc homogénéisation.
Cette homogénéisation peut être due à la construction des digues induisant une stabilité des niveaux d'eau et au nivellement du fond des étangs. La plage se retrouve ainsi principalement limitée sur le bord Ouest de la zone d'étude en 2003.

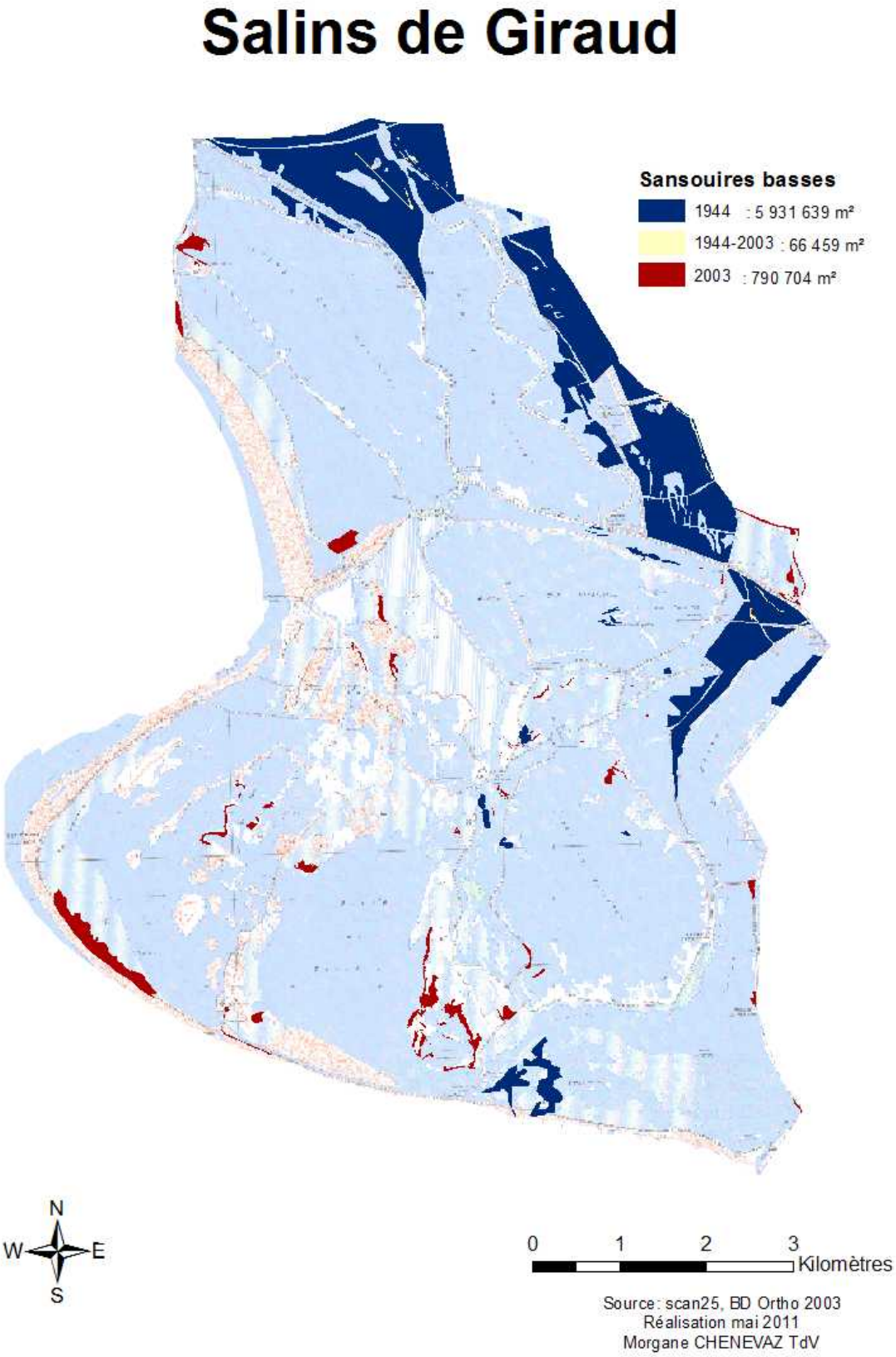


Carte n°7 Évolution des surfaces occupées par les dunes entre 1944 et 2003

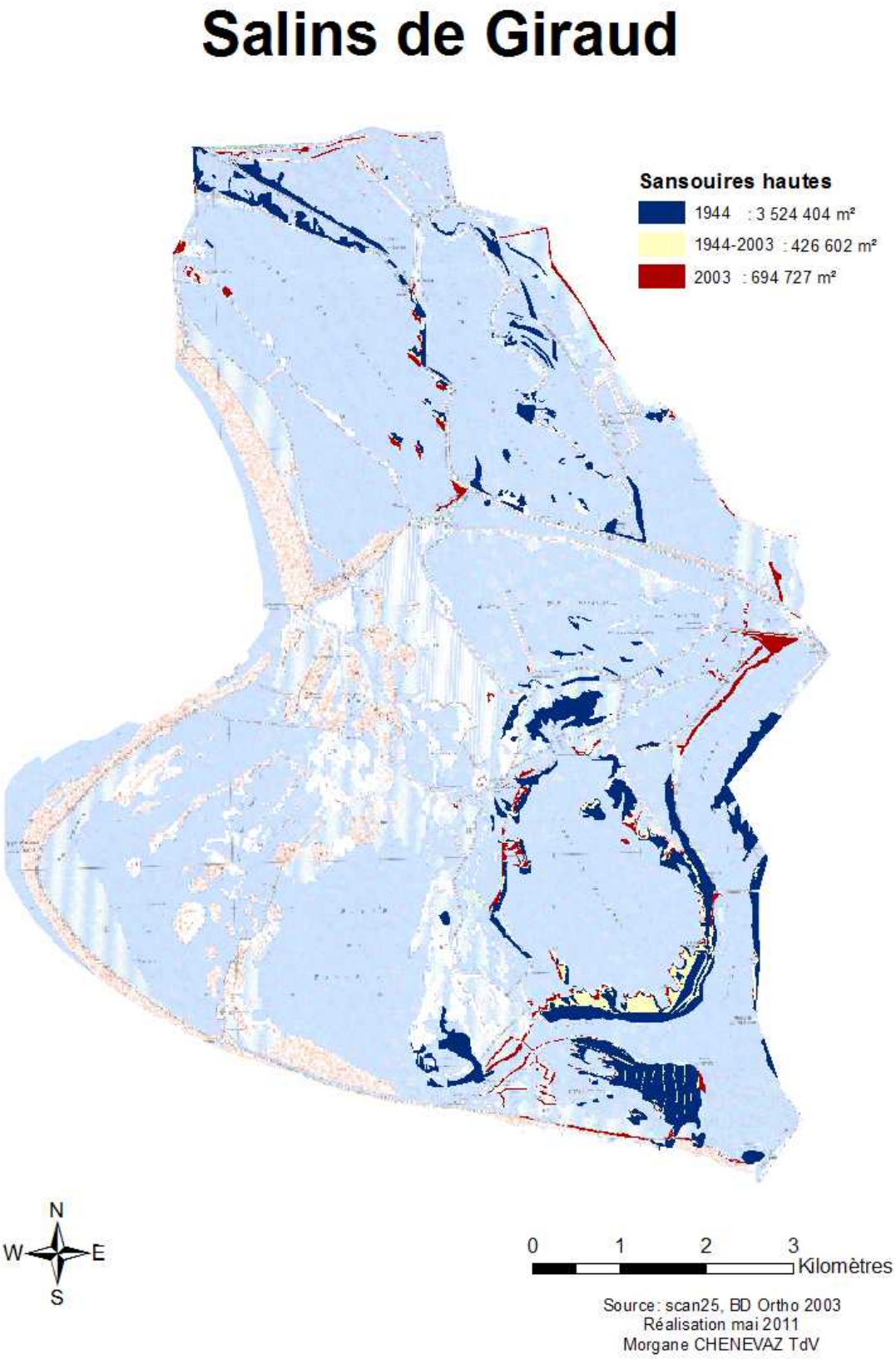
Dunes

	NumP		CA (m²)		MPS (m²)		MSI	
	1944	2003	1944	2003	1944	2003	1944	2003
Dunes	65,00	199,00	4 234 413,02	4 906 450,65	65 144,82	24 655,53	1,45	1,81

Pour la classe «dunes», le nombre de taches (NumP) a été multiplié par près de trois avec 65 taches en 1944 et 199 en 2003.
La réorganisation de l'espace issue du changement de l'occupation du sol peut induire la disparition de certains habitats d'espèces et d'unités paysagères comme les dunes ou encore les corridors biologiques facilitant le mouvement des espèces (rapport BIOTOPE). C'est le cas ici avec la construction des digues qui s'est faite « grâce » à l'utilisation des montilles comme points hauts.
L'augmentation de la somme des aires (CA) des dunes de 4 234 413,02 m² à 4 906 450,65 m² est légère. De nombreuses dunes présentes en 1944 ont régressé ou ont carrément disparu. De plus la différence de visibilité entres les photographies aériennes de 1944 et 2003 peut être responsable d'une omission de certaines dunes de 1944. L'aire moyenne des taches (MPS) est de 65 144,82 m² en 1944 et est divisée par plus de deux en 2003 avec 24 655,53 m². Cette diminution met en relief l'érosion des principales dunes de 1944.
L'indice de complexité de la forme (MSI) des dunes lui passe de 1.45 en 1944 à 1.81 en 2003. Ces résultats traduisent un fractionnement des dunes. D'après N. Sadoul 1996, des îlots naturels ont été détruits lors de l'expansion des salins afin d'augmenter les surfaces préparatoires. Le fond des dépressions était nivelé pour garantir un niveau d'eau constant.
Les salins étaient des lagunes et sansouires naturelles dont le niveau variait en fonction des pluies et des entrées d'eau de mer avant le début des aménagements des salins en 1953. Hors digue à la mer, avant 1953, de nombreuses montilles, des dunes à *Suaeda maritima*, *Anthrocnemum glaucum* et *Agropyrum mediterraneum* et des dunes boisées étaient présentes (Sadoul, 1996).
Ainsi des phases de sédimentation et de régression alternaient, modifiant le paysage de manière imprévisible par la création et l'érosion d'îlots naturels.
En plus de la destruction de certaines dunes, s'ajoute une stabilité des niveaux d'eau et des niveaux de salinité rendant impossible la formation spontanée de nouveaux îlots et entraînant l'érosion des dunes en place.



Carte n°8 Évolution des surfaces occupées par les sansouires basses entre 1944 et 2003

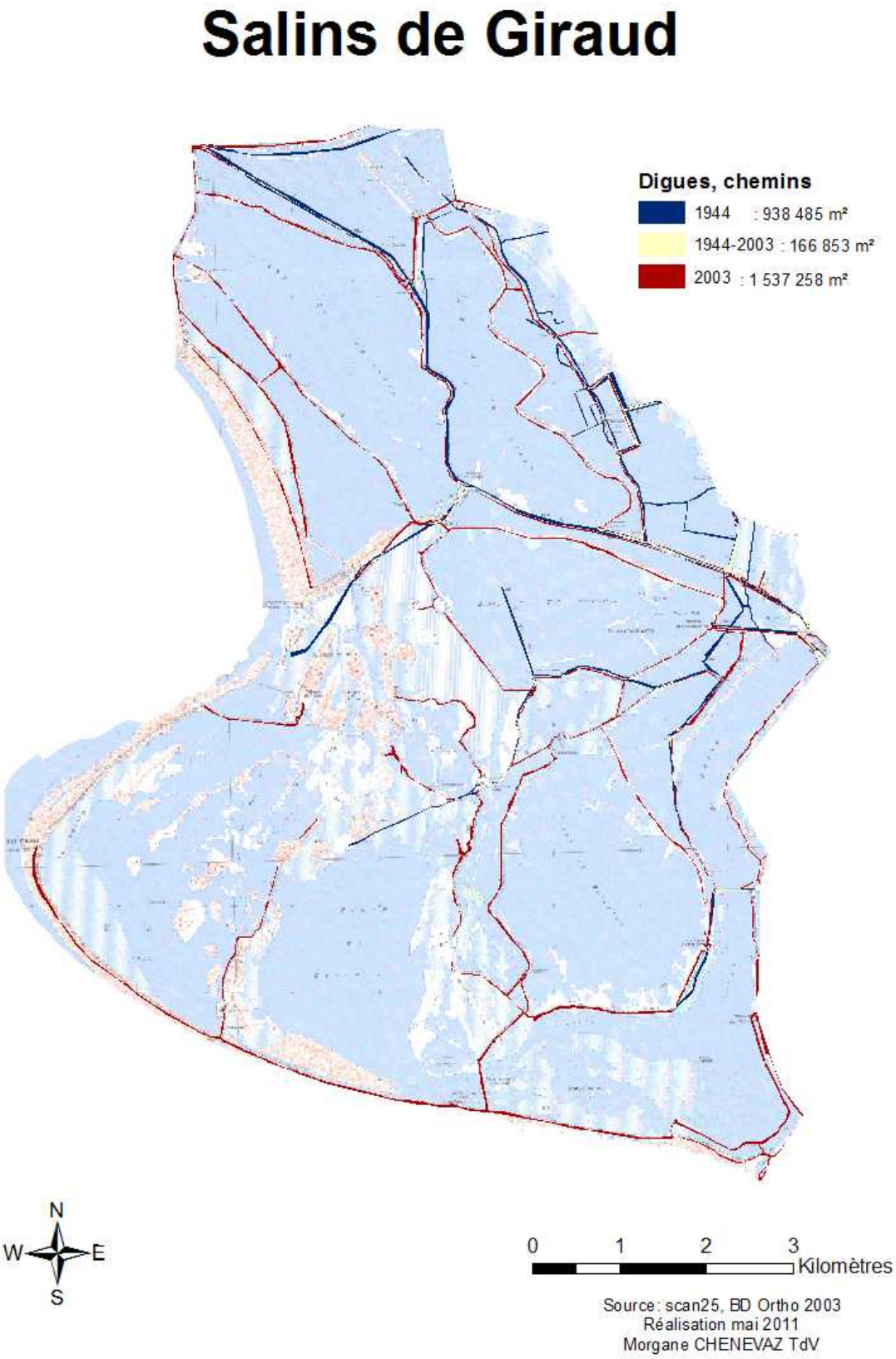


Carte n°9 Évolution des surfaces occupées par les sansouires hautes entre 1944 et 2003

Sansouires hautes et basses

	NumP		CA (m²)		MPS (m²)		MSI	
	1944	2003	1944	2003	1944	2003	1944	2003
Sansouires hautes	100,00	207,00	3 949 790,87	1 121 338,15	39 497,91	5 417,09	1,93	2,13
Sansouires basses	41,00	79,00	5 998 099,54	857 159,43	146 295,11	10 850,12	1,87	2,27

La classe « sansouires hautes » voit son nombre de taches (NumP) doubler avec 100 taches en 1944 et 207 en 2003. Le nombre de taches de la classe « sansouires basses » passe de 41 à 79. De plus, la régression des sansouires hautes mais aussi basses est à noter. La somme des aires (CA) est passée de 3 949 790,87 m² à 1 121 338,15 m² pour les sansouires hautes et de 5 998 099,54 m² à 857 159,43 m² pour les sansouires basses. La régression des sansouires semble liée à la stabilité du système à la fin des aménagements des salins en 1973 et donc à des paramètres environnementaux différents, avec une hauteur d'eau et une salinité régulée et stable. En effet les sansouires ont besoin d'être périodiquement submergées pour se développer. En milieu naturel, elles sont recouvertes d'eau l'hiver et asséchées en été. Le fonctionnement des salins engendre la mise en eau dès les mois d'été et interrompt donc la phase d'assèchement naturelle. Progressivement les salicornes ont été remplacées par des plantes palustres non halophiles entraînant une banalisation du milieu.
L'aire moyenne (MPS) a le plus brutalement chuté pour les classes sansouires hautes et basses avec 39 497,91 m² en 1944 et 5 417,09 m² en 2003 pour les sansouires hautes et avec 146 295,11 m² pour les sansouires basses en 1944 et 10 850,12 m² en 2003.



Carte n°10 Évolution des surfaces occupées par les digues et les chemins entre 1944 et 2003

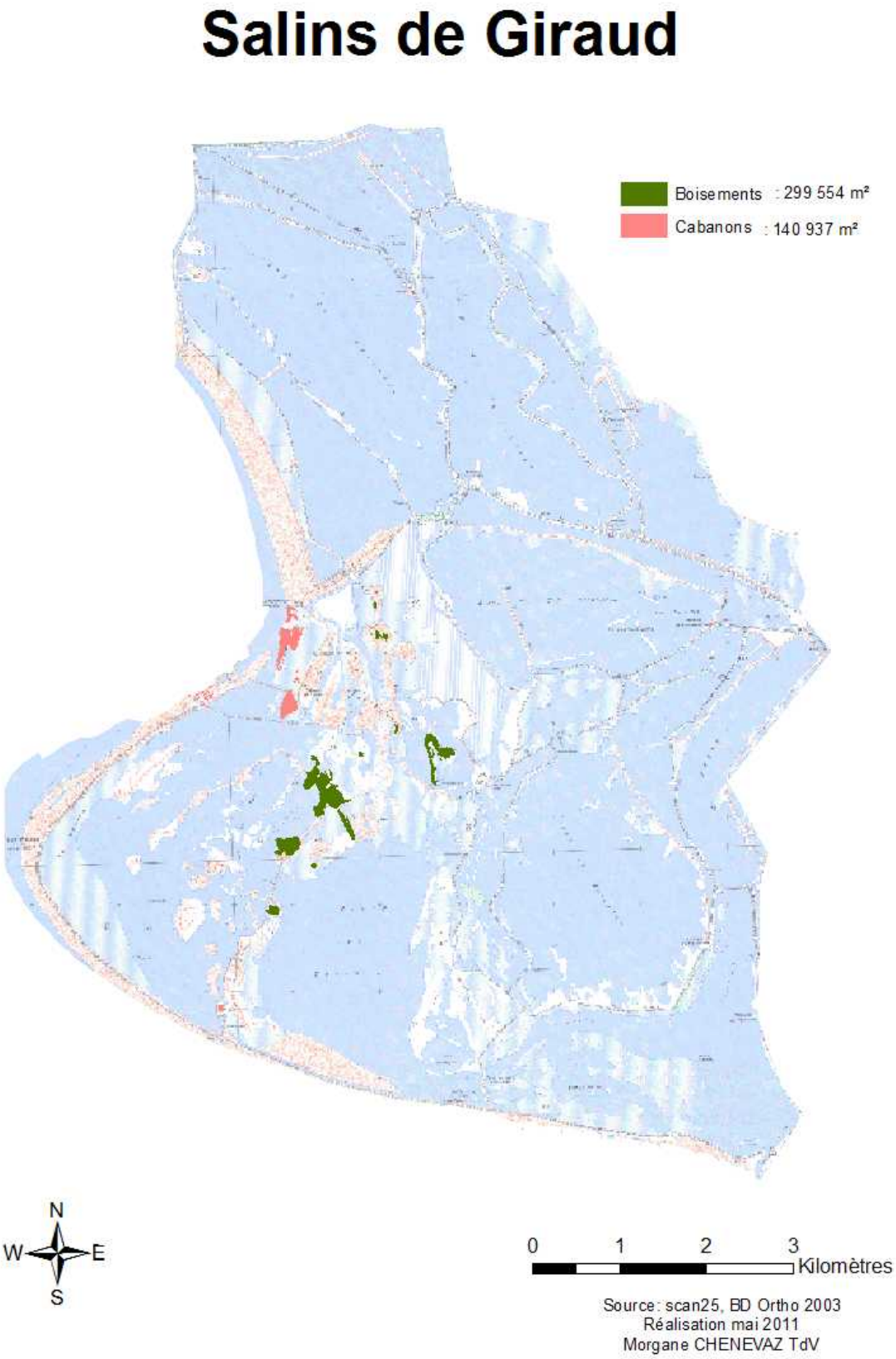
Digues et chemins

	NumP		CA (m²)		MPS (m²)		MSI	
	1944	2003	1944	2003	1944	2003	1944	2003
Digues, chemins	3,00	12,00	1 105 337,82	1 704 111,83	368 445,94	142 009,32	11,65	7,46

Les grands travaux d'aménagement des salins d'après guerre ont débuté à partir de 1953.
Pour la classe « digues » le nombre de taches (NumP) a augmenté de 3 taches en 1944 à 12 en 2003. En effet de nombreuses digues ont été renforcées et de nouvelles ont été construites parallèles aux anciennes à partir de 1965 (Sadoul, 1996). La somme des aires (CA) des digues a augmenté de 1944 à 2003, ceci étant dû au développement du réseau de digues lors de l'aménagement des étangs de pré-concentration du salin.
L'aire moyenne des taches (MPS) de cette classe diminue de plus de la moitié. La densification des réseaux de digues a conduit à l'accroissement progressif de l'isolation des habitats naturels de sansouires.
Pour les digues, le MSI a diminué de 1944 à 2003 en passant de 11.65 à 7.46, ce qui traduit une homogénéisation pour cette classe. Cette homogénéisation du réseau de digues correspond à la construction de nouvelles digues durant la période d'expansion des Salins de 1953 à 1973 où le but était d'établir des communications entre le zone de pompage de Beauduc et le reste du salin (Sadoul, 1996). De nombreuses digues ont été ainsi bâties autour des étangs préexistants.
Parallèlement à l'homogénéisation de ces structures artificielles, il y a eu semble t-il une fragmentation des milieux naturels et notamment des sansouires dont le MSI passe de 1.93 à 2.13 pour les hautes et de 1.87 à 2.27 pour les basses. La construction de nouvelles digues a donc pu entraîner le fractionnement des sansouires.



http://www.beauduc-laurence-nicolas.com/beauduc_galerie/galerie_photo_beauduc.html



Carte n°11 Surfaces occupées par les boisements et les cabanons en 2003

Boisements et cabanons

	NumP		CA (m²)		MPS (m²)		MSI	
	1944	2003	1944	2003	1944	2003	1944	2003
Boisements		11,00		299 554,62		27 232,24		1,67
Cabanons		27,00		140 935,87		5 219,85		1,45

La classe « boisements » n'est visible qu'en 2003. En effet en 1944 il y avait très peu de boisements sur le secteur des Salin-de-Giraud. Ces bois témoignent d'une fermeture du milieu entre 1944 et 2003. Or la fermeture du milieu est considérée comme une menace importante vis-à-vis des zones humides avec pour conséquences une perte de biodiversité et une banalisation de la végétation. La situation de 1944 en ce qui concerne les boisements est supposée plus favorable pour la zone humide.

La classe « cabanons », éléments artificiels du paysage construits par l'homme, a un nombre de taches nul en 1944. D'après Laurence Nicolas, anthropologue, l'installation des cabanons autour de Beauduc a réellement commencé à partir des années 1950 avec l'attrait pour la pêche des habitants de Salins-de-Giraud jusque dans les années 1980 et ensuite l'arrivée de personnes venant d'autres régions. Dans son ouvrage Beauduc, l'utopie des gratte-plage, elle définit Beauduc comme ceci: « Beauduc, plage de Camargue, est un territoire atypique constellé de cabanes et peuplé d'habitants permanents ou occasionnels qui s'y réinventent une société. Mais cet espace de vie et de vacances est depuis plusieurs décennies le théâtre de conflits d'appropriation entre campeurs, cabaniers, pouvoirs publics et institutions de protection de la nature. »
La question de l'ampleur des impacts environnementaux de l'installation de ces cabanons sur la zone humide est au cœur des conflits depuis de nombreuses années.



http://www.beauduc-laurence-nicolas.com/beauduc_galerie/galerie_photo_beauduc.html

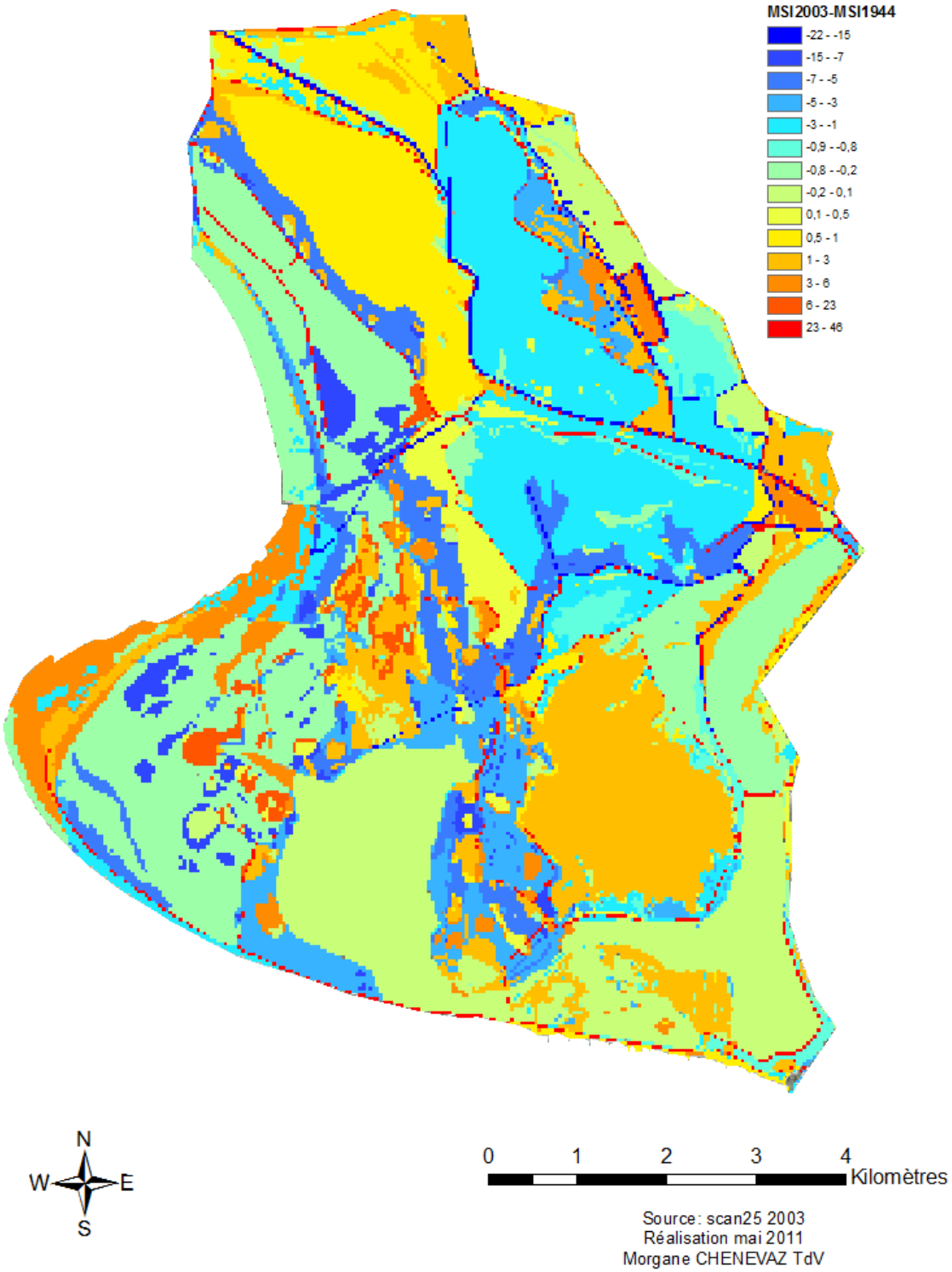
iii. Analyse par entité

La carte de l'évolution de la complexification du paysage des Salins de Giraud représente pour chaque tache le résultat de la soustraction de l'indice de complexité de la forme (MSI) de 2003 avec celui de 1944. L'année 2003 est donc prise comme référence pour visualiser l'évolution. Pour obtenir cette carte, il s'agit de convertir respectivement les couches représentant les MSI de 1944 et 2003 en raster puis d'utiliser la calculatrice RASTER de la barre d'outils Spatial Analyst pour les soustraire.
Les valeurs positives représentées par les couleurs chaudes tirant vers l'oranger et le rouge, signifie que le MSI de 2003 est plus élevé que celui de 1944 et que donc le MSI a augmenté au cours du temps et qu'il y a eu fractionnement du milieu. Inversement les valeurs négatives correspondent à une diminution du MSI de 1944 à 2003 et que donc le paysage s'est homogénéisé.
Une majorité de la zone d'étude est représentée dans des teintes chaudes indiquant une fragmentation du milieu. Cependant certaines zones se sont homogénéisées comme l'étang du Fangassier et l'étang du Grand Rascaillon ainsi que certaines zones de plage et de dunes.



http://www.beauduc-laurence-nicolas.com/beauduc_galerie/galerie_photo_beauduc.html

Evolution de la complexification du paysage entre 1944 et 2003



Carte n°12

b. Marais des Baux

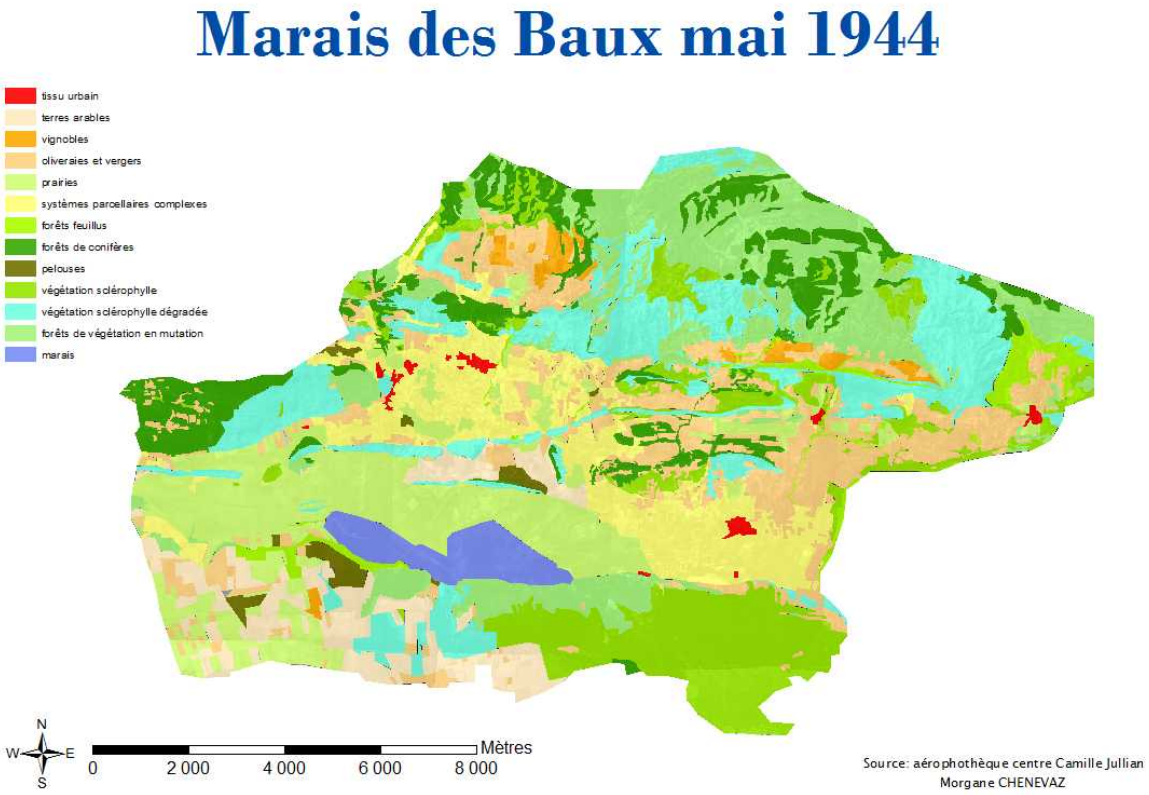
Situés au Sud des Alpilles et au Nord de la plaine de la Crau, les Marais des Baux sont caractérisés par des milieux exceptionnels tels que les pinèdes, les garrigues, les oliviers et les vignes, les haies de cyprès, et les sols squelettiques. Ces milieux sont sensibles à la surfréquentation et au risque élevé d'incendie et d'érosion du sol.
Les nombreuses inondations touchant la vallée des Baux témoignent de la nature humide de ce secteur. Les assèchements de ces terres ne peuvent être une solution durable d'où la nécessité de revaloriser cette zone humide.
L'assainissement de ces terres s'est fait d'abord par drainage puis par poldérisation.
Dans les Marais des Baux la biodiversité est remarquable : 208 espèces d'oiseaux sont recensées dont l'aigle de Bonelli, le Rollier le vautour percnoptère et le héron pourpré, 46 espèces de libellules et 9 espèces d'amphibiens. Cette zone est reconnue Natura 2000.
Les Marais des Baux ont une valeur esthétique indéniable. De nombreux artistes, peintres, écrivains, poètes, s'en sont inspirés pour exprimer leur art.
Les paysages de la vallée des Baux sont aussi marqués par la présence de nombreux sites historiques et archéologiques.

i. Analyse par paysage

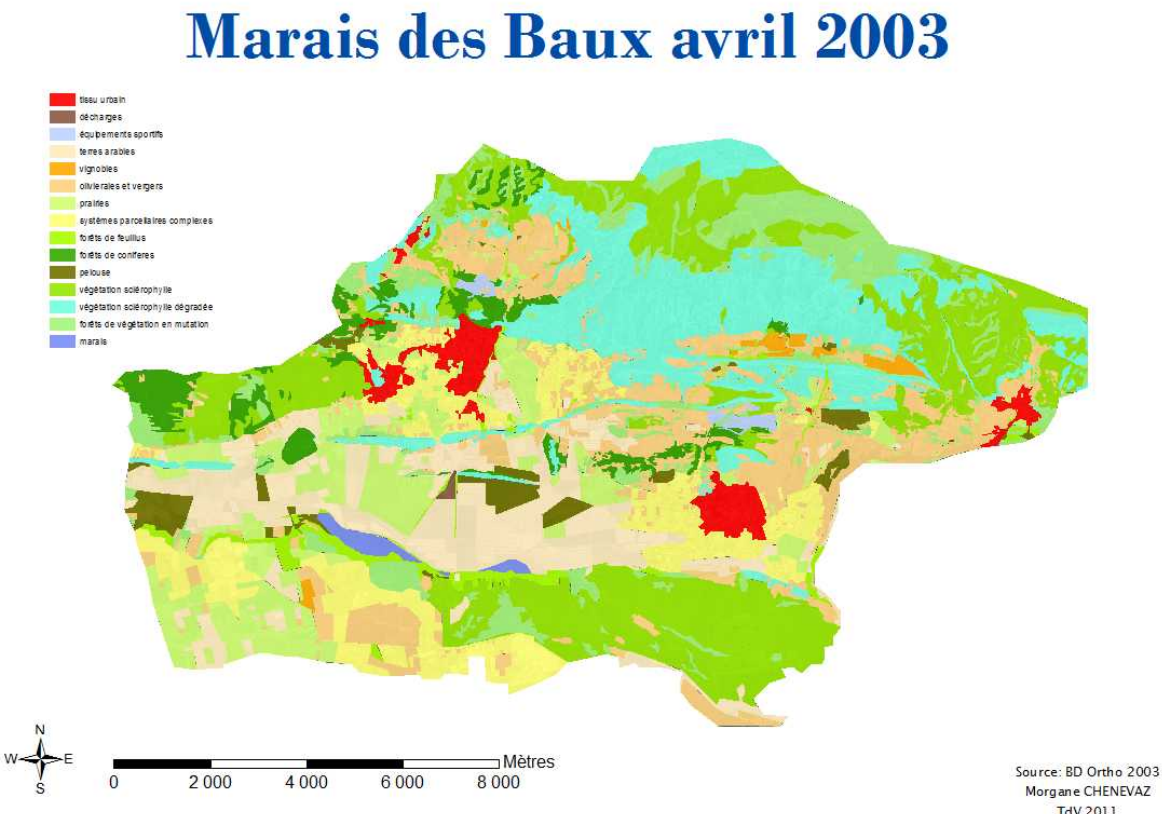
Entre 1944 et 2003, le nombre de taches du paysage global a augmenté de 758 à 943.
L'aire moyenne des taches passe de 203 717.12 m² à 163 403.59 m². Il y a donc un fractionnement du paysage. La réduction progressive de l'aire moyenne des taches (MPS) reflète une fragmentation potentielle des habitats à l'échelle du paysage.
La somme de toutes les surfaces des taches est presque la même, 154 217 576.00 m² et 154 189 584.28 m².
La somme des périmètres de toutes les taches passe de 1 759 331 m à 2 008 438 m. Les zones d'interfaces sont plus nombreuses en 2003.
Mais l'indice de complexité de la forme diminue en passant de 2,34 à 1,95. Le paysage est globalement plus homogène en 2003 qu'en 1944.
L'indice de diversité augmente de 4,46 à 4,55.

	1944	2003
NumP: nombre de taches	758,00	943,00
TLA: somme des aires de toutes les taches du paysage(m²)	154 217 576.00	154 189 584.28
MPS: taille moyenne des taches(m²)	203 717.12	163 403.59
MSI: indice de complexité de la forme	2,34	1,95
TE: somme des périmètres de toutes les taches (m)	1 759 331,00	2 008 438,04
SDI: indice de diversité de Shannon	4,46	4,55

Tableau n°3 : Indices de morphologie paysagère des Marais des Baux à l'échelle du paysage

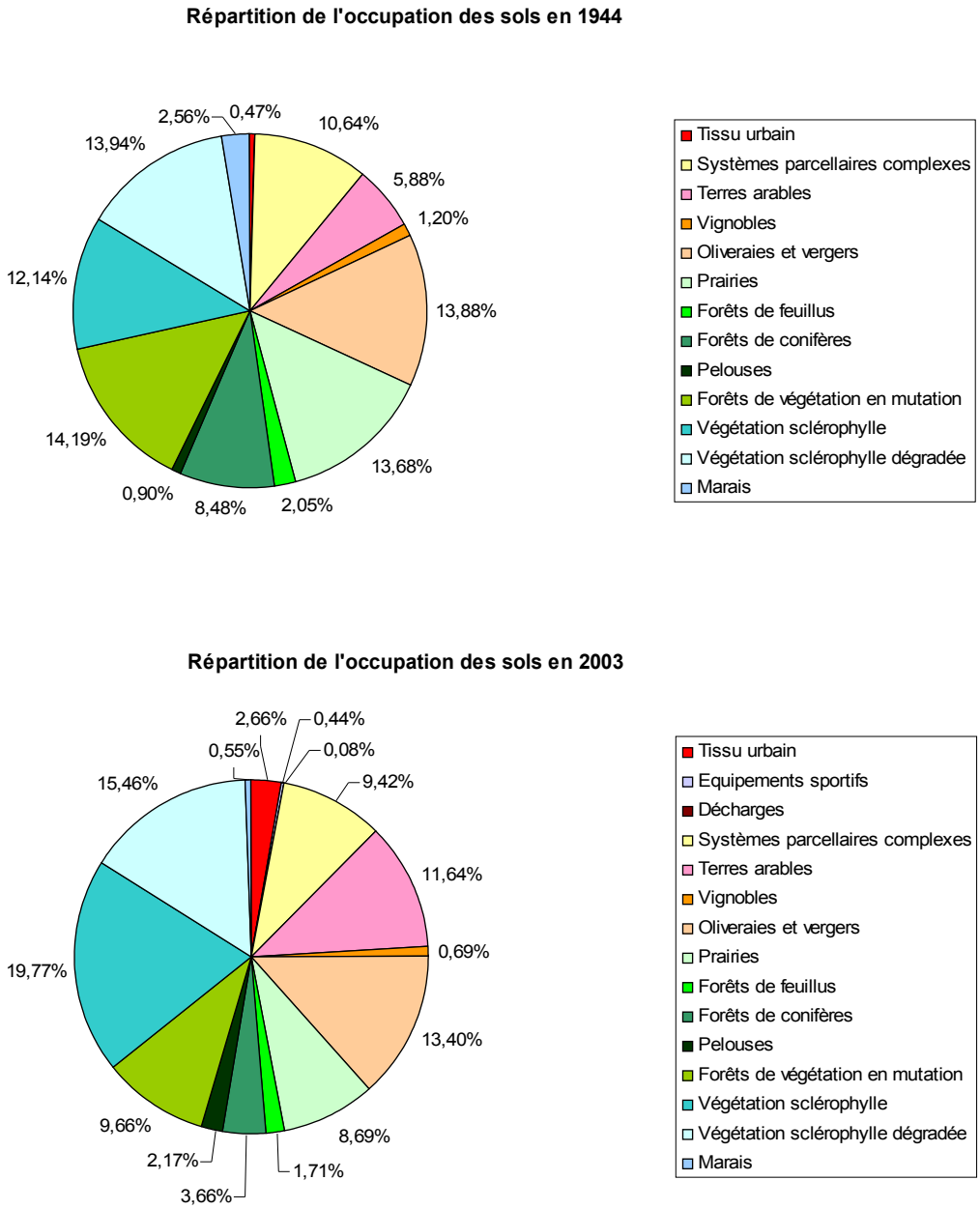


Carte n°13 Occupation du sol des Marais des Baux en 1944



Carte n°14 Occupation du sol des Marais des Baux en 2003

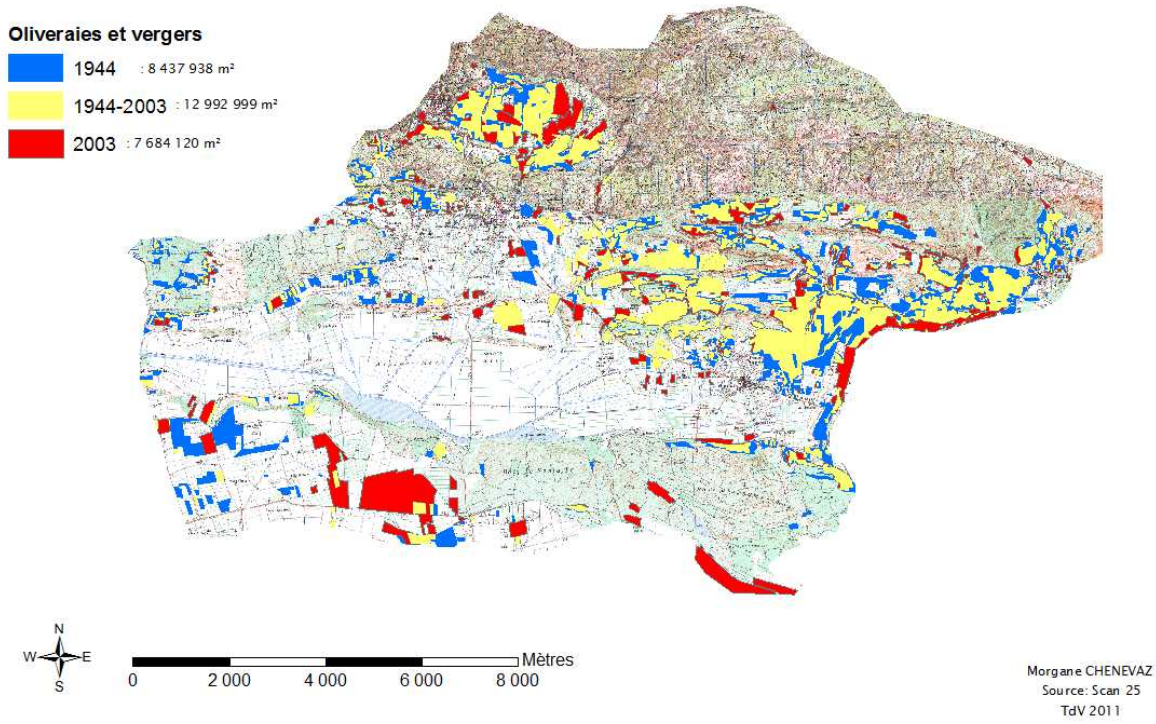
ii. Analyse par classe



Graphique n°2 :Répartition de l'occupation des sols des Marais des Baux en 1944 et en 2003

Carte n°15 : Évolution des surfaces occupées par les oliveraies et les vergers entre 1944 et 2003

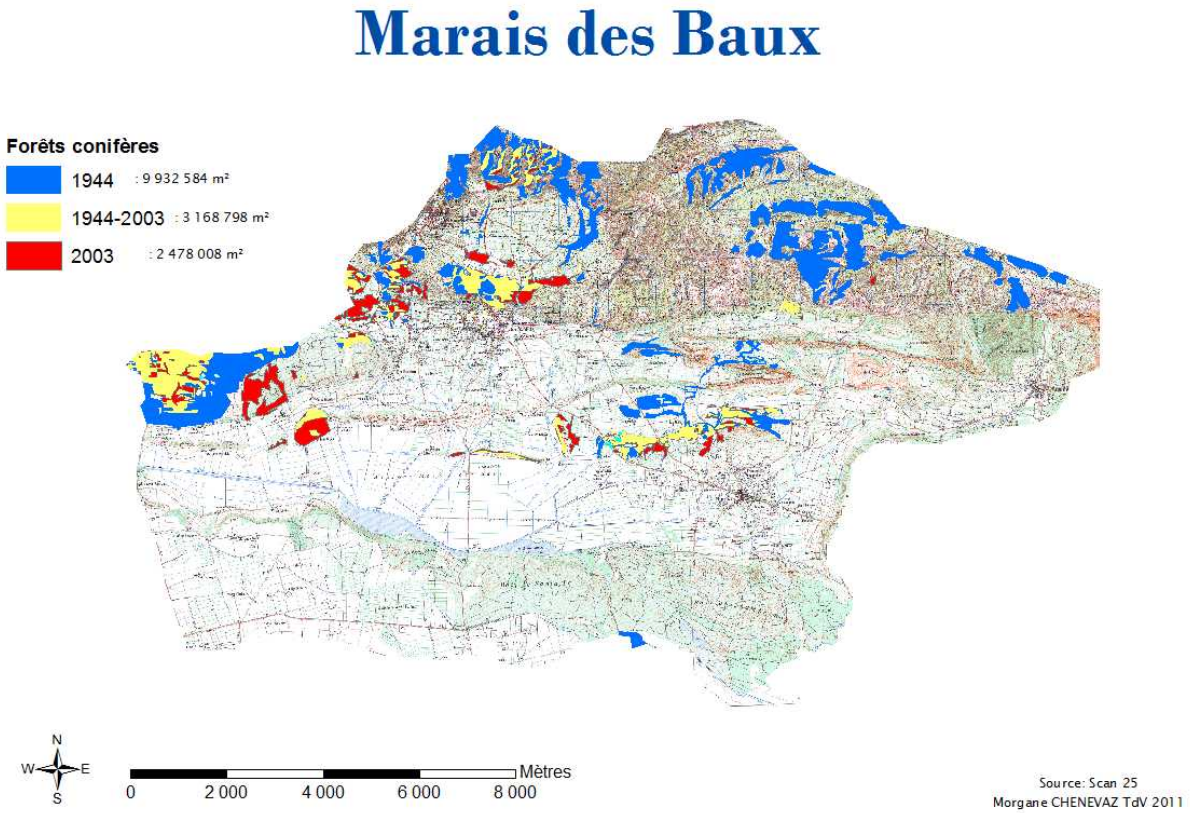
Marais des Baux



Oliveraies et vergers

	NumP		CA (m²)		MPS (m²)		MSI	
	1944	2003	1944	2003	1944	2003	1944	2003
Oliveraies et vergers	285,00	391,00	21 426 116,07	20 648 504,48	75 179,35	52 809,47	1,65	1,61

Entre 1944 et 2003, la montée de l'économie de l'agriculture spécialisée dans la viticulture et l'oléiculture a eu lieu (Barruol and Dautier, 2009).
Les oliviers font partie des composantes identitaires du paysage de la vallée des Baux, tout comme les haies de cyprès et les canaux d'irrigation.
Le nombre de taches augmente passant de 285 à 391 taches mais la somme des aires des taches d'oliveraies et de vergers diminue de 777 611.59 m². Le gel de 1956 a causé la perte de nombreux oliviers. Depuis une dizaine d'années, il y a une légère reprise des superficies (Barruol and Dautier, 2009). La taille moyenne diminue de 22 368.88m². Depuis 1979, les vergers tendent à se contracter (Barruol and Dautier, 2009). L'indice de complexité de la forme reste autour du même ordre de grandeur. Les cultures de vignes et d'oliviers s'uniformisent et se maintiennent dans les Alpilles et leurs alentours (Barruol and Dautier, 2009). Ainsi de nombreuses parcelles n'ont pas bougé entre 1944 et 2003. Certaines parcelles d'oliveraies et de vergers ont été remplacées par des systèmes parcellaires complexes et d'autre parcelles d'oliveraies et de vergers se sont créées.



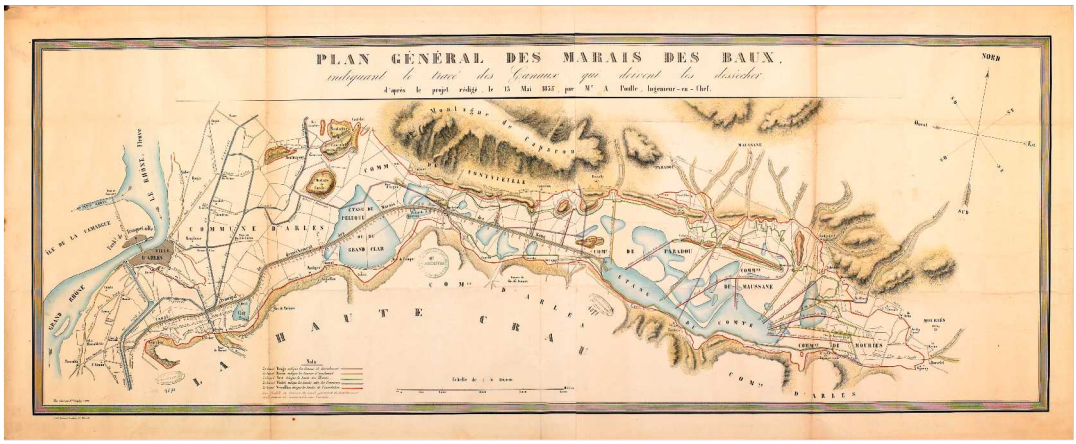
Carte n°16 : Évolution des surfaces occupées par les forêts de conifères entre 1944 et 2003

Forêts de conifères

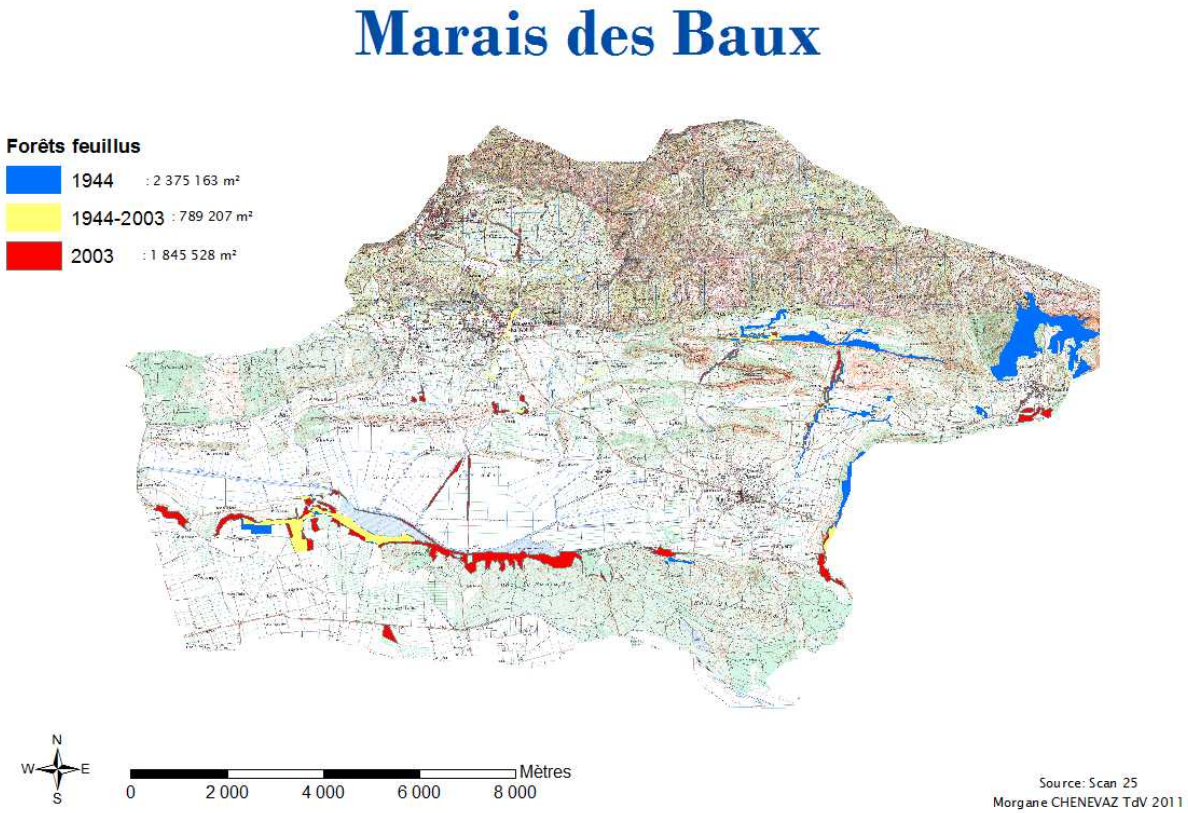
	NumP		CA (m²)		MPS (m²)		MSI	
	1944	2003	1944	2003	1944	2003	1944	2003
Forêts de conifères	83,00	46,00	13 101 376,12	5 646 483,89	157 847,91	122 749,65	2,22	2,22

Dans les Alpilles, les forêts ont connu des bouleversements en lien avec la chute de l'exploitation du bois après la seconde guerre mondiale, avec les reboisements massifs entre 1950 et 1970 et les grands incendies des trente dernières années (Barruol and Dautier, 2009).
Le nombre de taches diminue de près de moitié avec 83 taches en 1944 et 46 seulement en 2003.
La somme des aires des taches diminue aussi avec la perte de 7 454 892.23 m². La perte de surface des forêts de conifères essentiellement sur la partie Nord du site d'étude peut être reliée aux incendies qui ont eu lieu durant la période de 1944 à 2003. Un incendie important a eu lieu sur le massif des Alpilles le jeudi 26 juillet 1999. Il dévasta une superficie de 2 238 hectares en trois jours dans le secteur des Baux de Provence, Maussane, le Nord de Mouriès. Deux autres incendies ont eu lieu antérieurement à celui-ci: en 1982, 770 hectares furent brûlés, en 1989,1400 hectares. La fréquence et l'intensité des incendies influence la biodiversité au niveau du paysage (Burel and Baudry, 2000).

Les surfaces perdues ont été remplacées par des forêts de végétation en mutation, de la végétation sclérophylle et de la végétation sclérophylle dégradée, argument qui vient confirmer la perte par incendie et la recolonisation de la végétation sur les terrains incendiés. L'aire moyenne des taches diminue légèrement et l'indice de complexité de la forme reste exactement le même. La forme des taches composant les forêts de conifères n'a donc pas changé entre 1944 et 2003. Les incendies d'origine naturelle augmentent la diversité floristique mais peu à peu il y a un retour vers un cortège identique au cortège pré-incendie.
Les impacts causés par les incendies dépendent de leur fréquence et de leur violence.
Les incendies assurent le maintien d'espèces de milieux ouverts et secs mais interdisent le vieillissement des peuplements.
Les interfaces entre la forêt et les habitations sont source potentielles de départ de feu.
La gestion des massifs forestiers fait partie des orientations principales pour la préservation de l'identité paysagère des Alpilles. Le paysage et les surfaces boisées ont été modifiées mais pas la nature des forêts (Barruol and Dautier, 2009).



Carte historique des Marais des Baux réalisée par M. Poulle en 1841

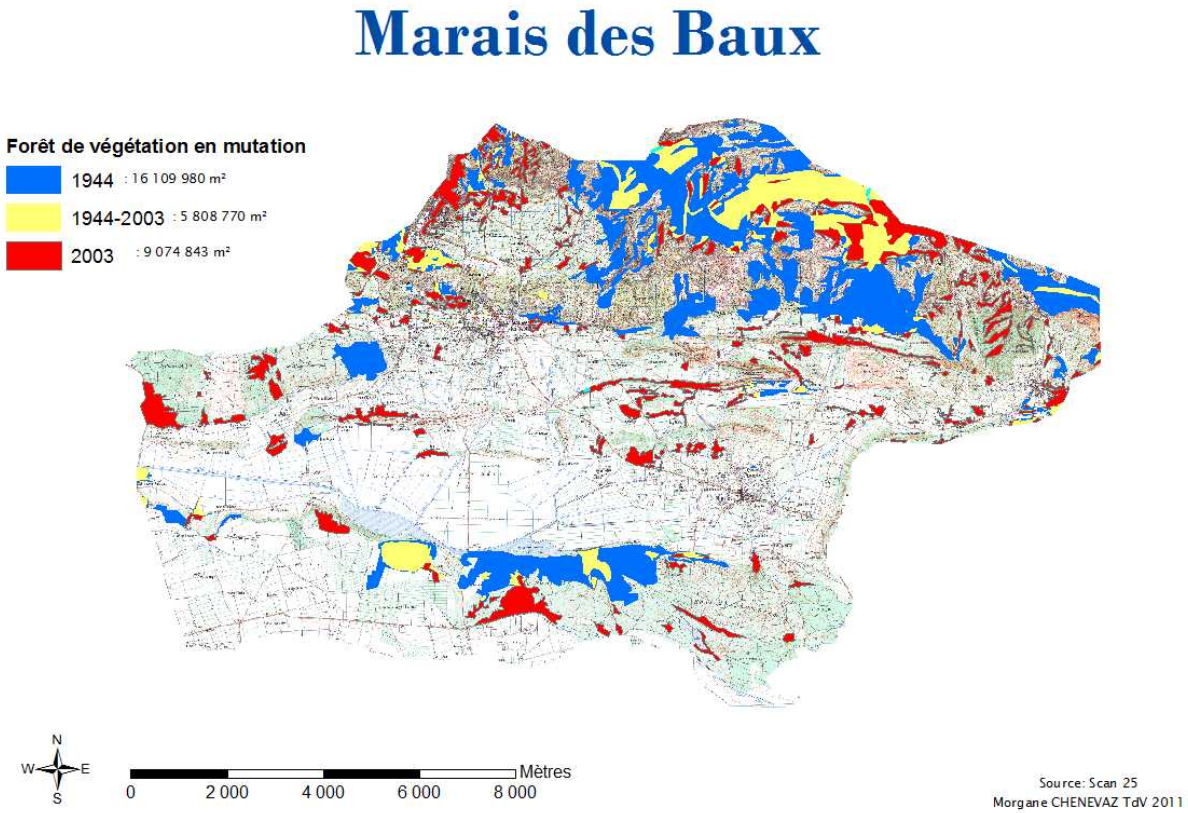


Carte n°17 : Évolution des surfaces occupées par les forêts de feuillus entre 1944 et 2003

Forêts de feuillus

	NumP		CA (m²)		MPS (m²)		MSI	
	1944	2003	1944	2003	1944	2003	1944	2003
Forêts de feuillus	23,00	31,00	3 164 369,03	2 634 734,96	137 581,26	84 991,45	2,89	2,92

Les feuillus caducs sont installés dans les vallons riches et frais (Barruol and Dautier, 2009).
Le nombre de taches de forêts de feuillus a augmenté de 8 taches. La somme des aires des taches a régressé de 529 634.07 m² et leur taille moyenne de 52 589.81 m². Ces résultats supposent un fractionnement de la forêt. Au Nord d'Aureille, la perte de la surface de forêt de feuillus semble être due aux importants incendies de 1999, impliquant des reboisements par des feuillus. Autour du marais de nouvelles zones de forêts sont visibles. En 1944 cette zone était occupée par de la forêt de végétation en mutation qui s'est sans doute développée et densifiée en forêt de feuillus jusqu'en 2003. Une partie de la perte des forêts galeries s'est réalisée au profit des grandes cultures.
L'indice de complexité de la forme des taches a légèrement augmenté en passant de 2.89 en 1944 à 2.92 en 2003. La forme des forêts de feuillus en 2003 est donc légèrement plus irrégulière et complexe qu'en 1944. Les incendies restent la perturbation majeure des forêts. Par fort mistral, ils dévastent d'importantes surfaces (Barruol and Dautier, 2009).

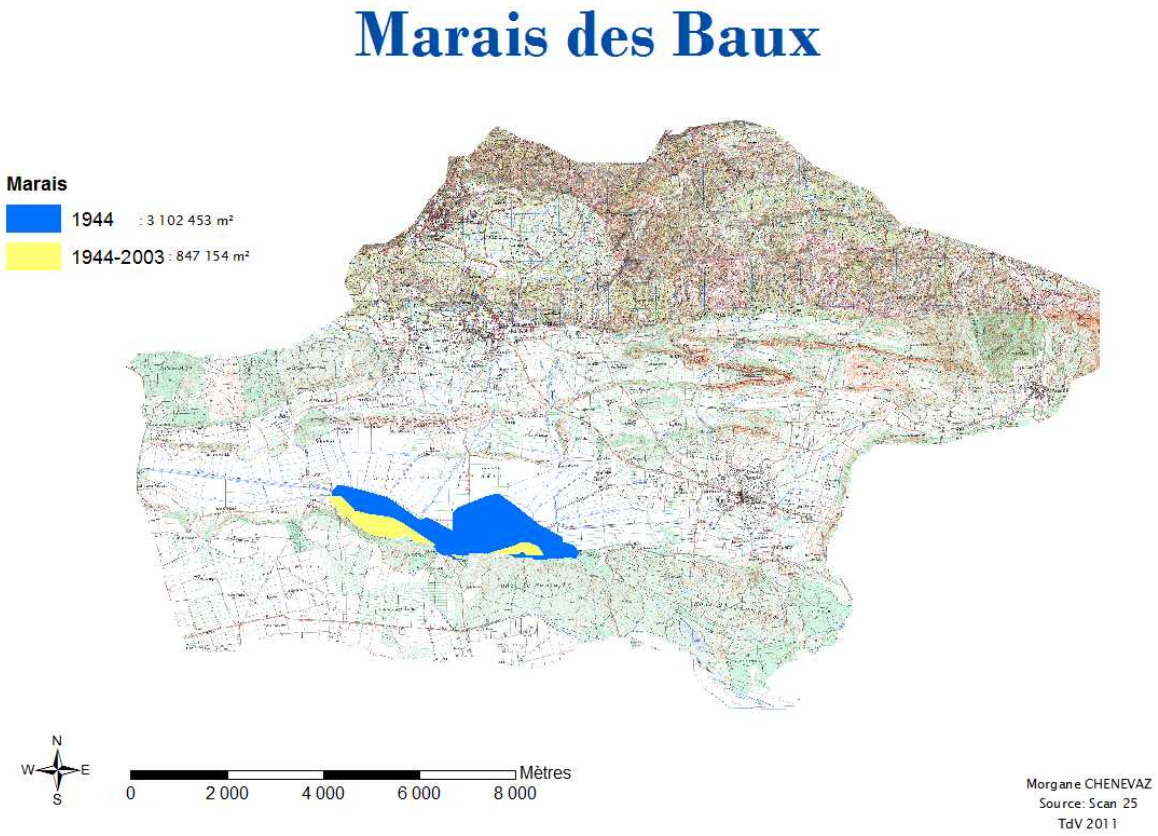


Carte n°18 : Évolution des surfaces occupées par les forêts de végétation en mutation entre 1944 et 2003

Forêts de végétation en mutation

	NumP		CA (m²)		MPS (m²)		MSI	
	1944	2003	1944	2003	1944	2003	1944	2003
Forêts de végétation en mutation	64,00	196,00	21 918 340,49	14 883 132,24	342 474,07	75 934,35	2,35	2,17

Dans les paysages agricoles, les forêts constituent des éléments clefs pour un grand nombre d'espèces. Leur taille, leur forme, leur nature et leur arrangement spatial influencent la biodiversité au niveau du paysage (Burel and Baudry, 2000).
Le nombre de taches a triplé en passant de 64 à 96 entre 1944 et 2003. En effet des zones où les forêts de conifères dominaient en 1944 se retrouvent occupées par de la forêt de végétation en mutation en 2003. Ces zones sont principalement celles qui ont été touchées par les incendies. La somme des aires a diminué de 7 035 208.25 m² et la taille moyenne des taches de 266 539.72 m². Les surfaces perdues sont occupées par de la végétation sclérophylle ou de la végétation sclérophylle dégradée. Il s'agit encore du résultat des incendies qui ont sévi au Nord de la zone d'étude. L'indice de complexité de la forme des taches a baissé de 2.35 à 2.17. Les taches de forêts de végétation en mutation ont donc des formes plus simples en 2003.

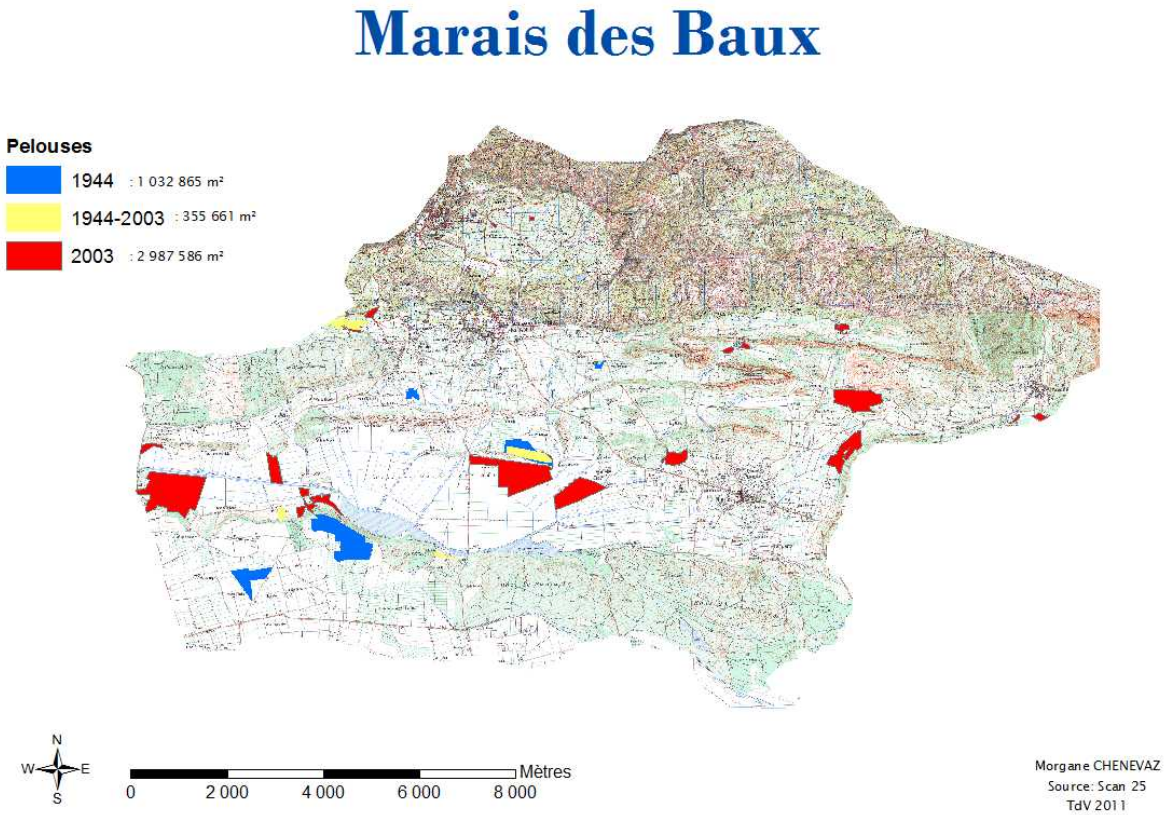


Carte n°19 : Évolution des surfaces occupées par les marais entre 1944 et 2003

Marais

	NumP		CA (m²)		MPS (m²)		MSI	
	1944	2003	1944	2003	1944	2003	1944	2003
Marais	1,00	3,00	3 949 607,06	847 154,45	3 949 607,06	282 384,82	1,81	1,66

Le nombre de taches a augmenté parallèlement à une forte diminution de la somme des aires des taches. Les marais perdent 3 102 452.61 m² de 1944 à 2003 et leur taille moyenne passe de 3 949 607.06 m² à 282 384.82 m². L'indice de complexité de la forme diminue de 1.81 à 1.66. La forme du marais en 1944 passe d'une seule grosse tache à trois taches de marais plus allongées. Ces différentes évolutions témoignent d'une fragmentation du marais liée à la fin des assèchements. Les grands travaux de poldérisation font suite à la recherche de l'autonomie alimentaire après la seconde guerre mondiale.
Ces derniers se terminent dans les années 1960 avec la consolidation d'une dizaine de kilomètres de digues, le creusement de fossés drainants et la mise en place d'une vingtaine de pompes électriques. Les surfaces occupées par le marais en 1944 ont été peu à peu remplacées par des terres arables pour les cultures céréalières. Les assèchements des années 1960 ont épargnés les marais de Santa Fe et l'Ilon attirant une biodiversité importante. Ils sont d'ailleurs intégrés au réseau Natura 2000 au titre de la Directive Habitat Faune Flore. Les milieux naturels remarquables autour de ces marais comprennent les laurons, les forêts galeries à peuplier blanc, les marais à marisques et les prairies humides méditerranéennes.

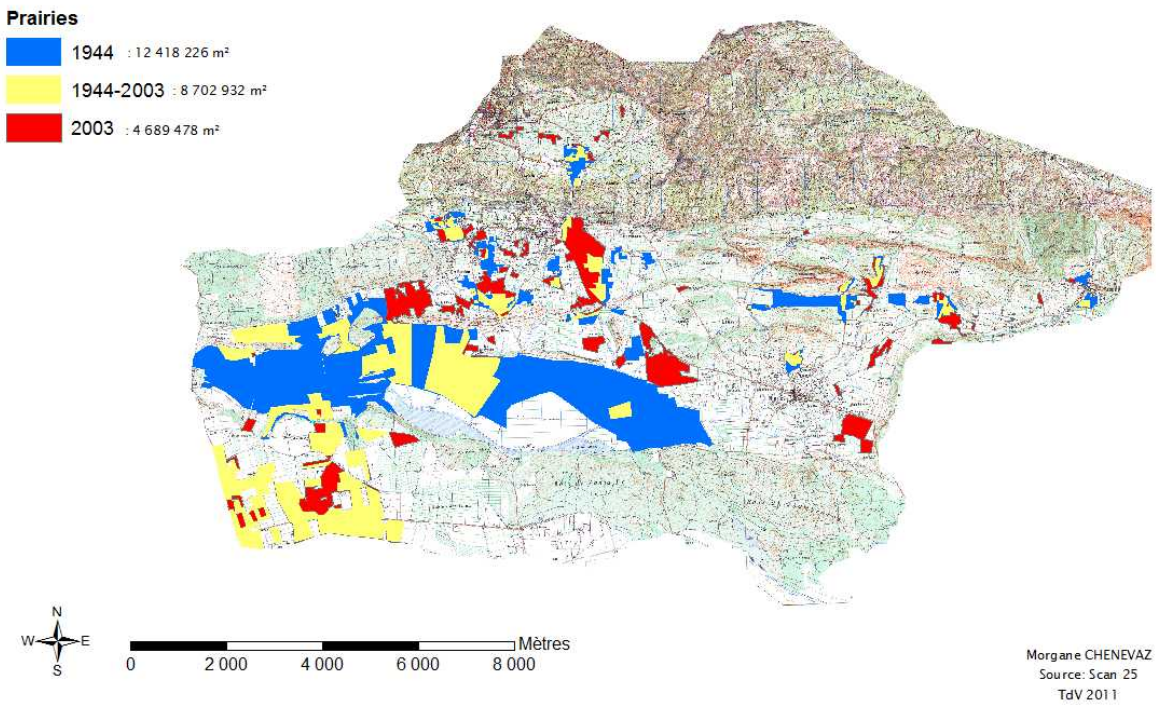


Carte n°20 : Évolution des surfaces occupées par les pelouse entre 1944 et 2003

Pelouses

	NumP		CA (m²)		MPS (m²)		MSI	
	1944	2003	1944	2003	1944	2003	1944	2003
Pelouses	10,00	25,00	1 388 527,09	3 343 249,52	138 852,71	133 729,98	1,53	1,55

Le nombre de taches de pelouses augmente de 15 taches entre 1944 et 2003. L'augmentation de la somme des aires des taches est de 1 954 722 m². L'aire moyenne des taches et l'indice de complexité de la forme ne varient pas beaucoup durant cette période. La forme et la taille des taches restent donc à peu près identiques. Les nouvelles pelouses identifiées en 2003 se situent sur d'anciennes prairies ou surfaces d'oliveraies ou vergers. L'abandon de ces surfaces agricoles pourrait être une explication de la présence de ces pelouses.

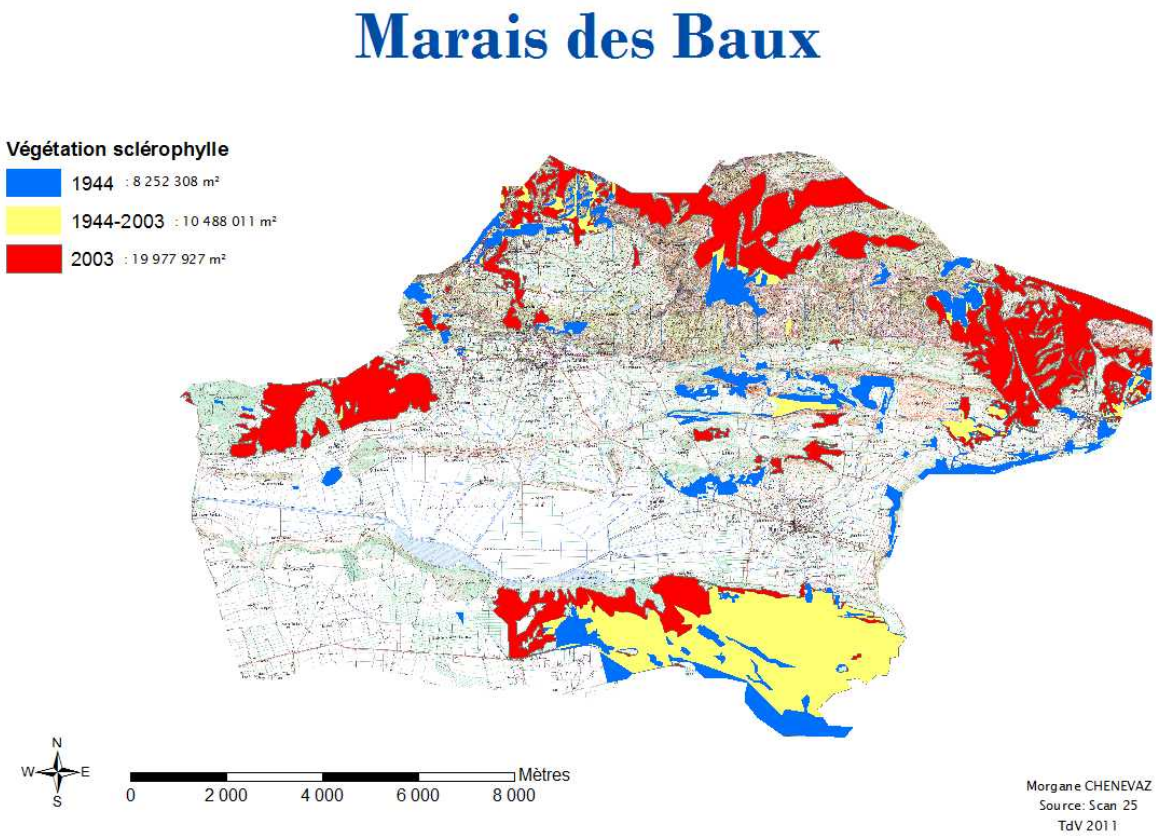


Carte n°21 : Évolution des surfaces occupées par les prairies entre 1944 et 2003

Prairies

	NumP		CA (m²)		MPS (m²)		MSI	
	1944	2003	1944	2003	1944	2003	1944	2003
Prairies	43,00	65,00	21 121 159,83	13 392 408,87	491 189,76	206 037,06	2,00	1,67

Le nombre de taches de prairies augmente de 22 taches. La somme des aires des taches de prairies diminue fortement avec la perte de 7 728 750.96 m². La taille moyenne régresse de plus de la moitié en passant de 491 189.76 m² à 206 037.06 m². L'importante perte de surface de prairies est en lien avec l'assèchement du marais. En effet, les prairies humides autour du marais une fois asséchées ont été occupées par des terres arables. Le développement de l'agriculture intensive a donc pour conséquence la perte d'importantes surfaces de ces prairies humides au profit de grandes cultures de maïs, de tournesol et de blé.
De plus, ce type d'agriculture a causé une importante pollution des eaux de surface et de la nappe et une perte importante de biodiversité.
L'indice de complexité de la forme diminue de 2 à 1.67, ceci étant dû en partie à la réduction de la grande tache de prairie autour du marais en plusieurs petites taches de forme plus circulaire.

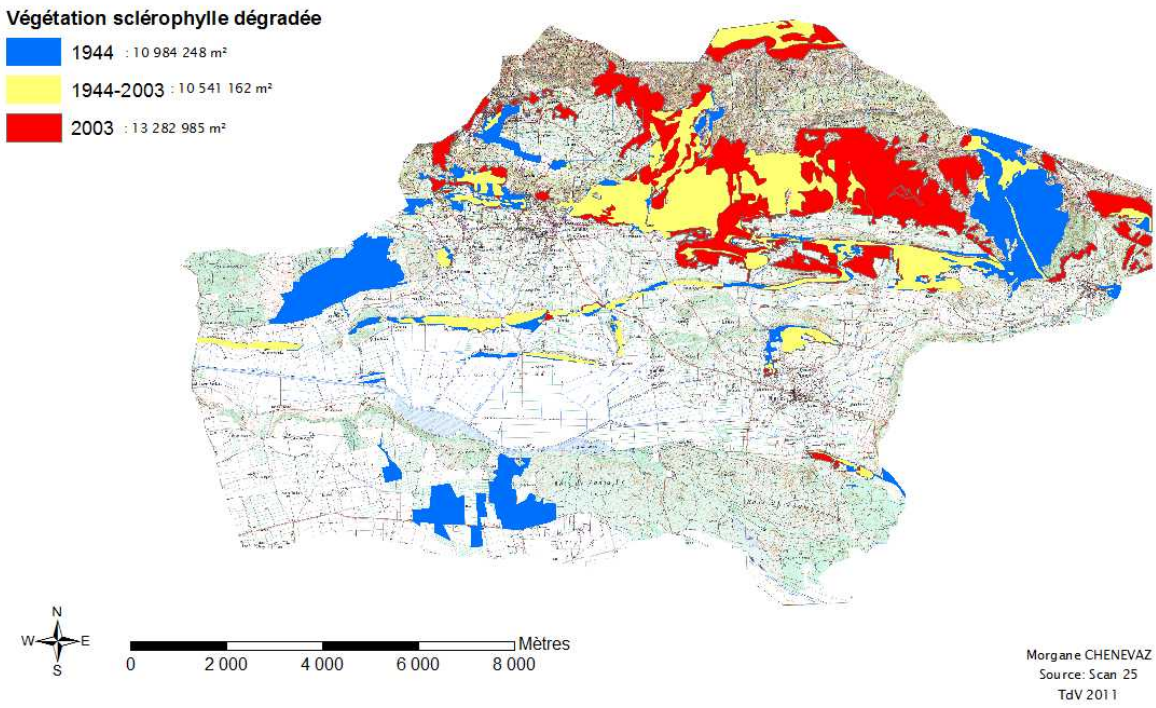


Carte n°22 : Évolution des surfaces occupées par la végétation sclérophylle entre 1944 et 2003

Végétation sclérophylle

	NumP		CA (m²)		MPS (m²)		MSI	
	1944	2003	1944	2003	1944	2003	1944	2003
Végétation sclérophylle	77,00	41,00	18 740 322,84	30 465 940,96	243 380,82	743 071,73	2,33	3,12

Les garrigues et les pelouses sèches sont localisées sur les sols squelettiques (Barruol and Dautier, 2009).
Le nombre de taches de végétation sclérophylle diminue fortement avec 77 taches en 1944 contre 41 en 2003. La somme des aires des taches augmente de 11 725 618.12 m² et leur taille moyenne de 499 690.91 m². L'indice de complexité de la forme des taches augmente de 2.33 à 3.12. Les importantes surfaces de végétation sclérophylle gagnées en 2003 étaient en 1944 des forêts de végétation en mutation, des forêts de conifères et de la végétation sclérophylle dégradée. Pour les zones qui étaient en végétation sclérophylle dégradée, il y a eu densification et développement de la végétation.
Pour les zones qui étaient en forêts en mutation ou forêts de conifères, une régression de la végétation a eu lieu. Ceci peut être dû aux incendies qui ont fait suite à un débroussaillage par des animaux de pâturage afin d'éviter le départ de nouveaux incendies ou bien à la recolonisation naturelle de la végétation suite aux incendies.

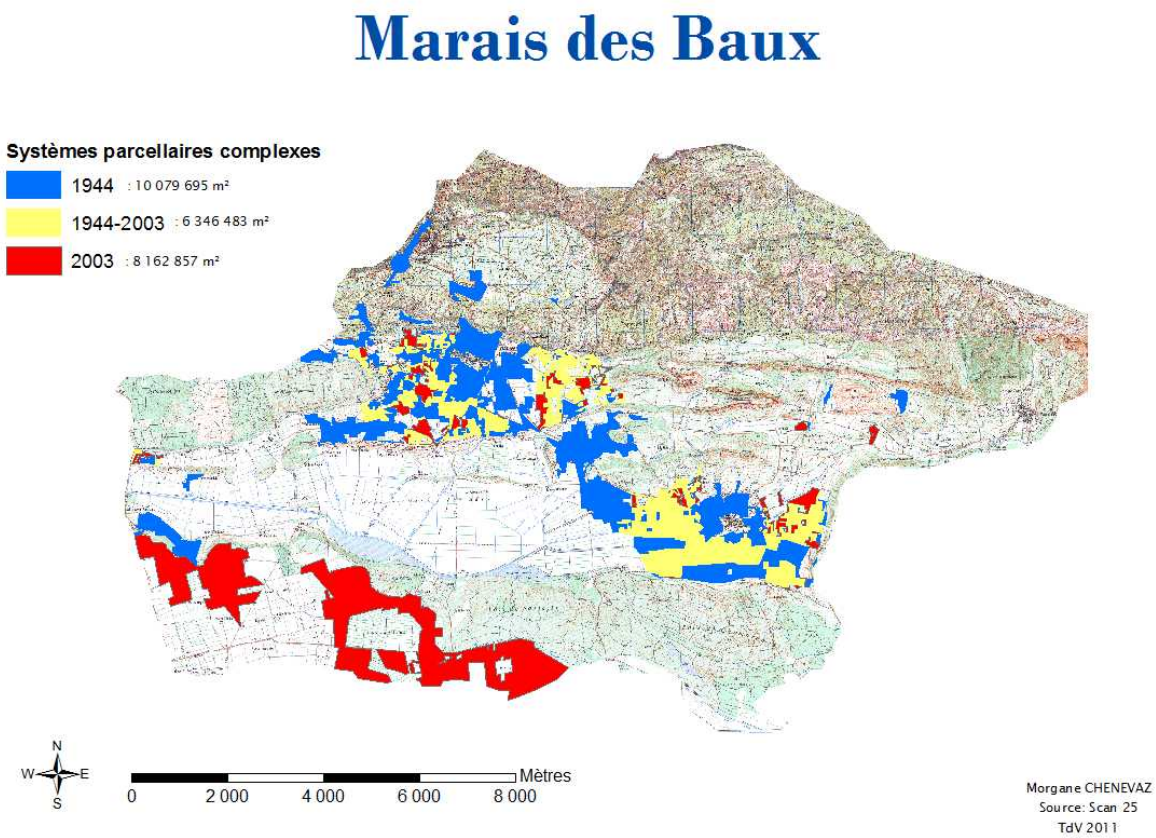


Carte n°23 : Évolution des surfaces occupées par la végétation sclérophylle dégradée entre 1944 et 2003

Végétation sclérophylle dégradée

	NumP		CA (m²)		MPS (m²)		MSI	
	1944	2003	1944	2003	1944	2003	1944	2003
Végétation sclérophylle dégradée	112,00	45,00	21 525 415,70	23 824 117,49	192 191,21	529 424,83	4,48	2,25

Le nombre de taches a été divisé par deux en passant de 112 à 45. La somme des aires des taches a augmenté de 2 298 701.79 m² et leur taille moyenne de 337 233.62 m². L'indice de complexité de la forme a diminué de moitié avec 4.48 en 1944 et 2.25 en 2003. La forme des taches de cette classe en 2003 est beaucoup plus dentelée et complexe. Des taches de forêts de conifères, de forêts de végétation en mutation, et de végétation sclérophylle présentes en 1944, ont évolué en végétation sclérophylle dégradée jusqu'en 2003. Cette réduction de la végétation peut être liée à des incendies entre autres. Les garrigues, pionnières, envahissent en premier les terrains abandonnés (Barruol and Dautier, 2009). Certaines taches de végétation sclérophylle dégradée ont évolué en végétation sclérophylle ou en oliveraies et vergers de 1944 à 2003. Pour la végétation sclérophylle, il s'agit d'une densification naturelle de la végétation et pour les oliveraies, il s'agit de l'intervention humaine.



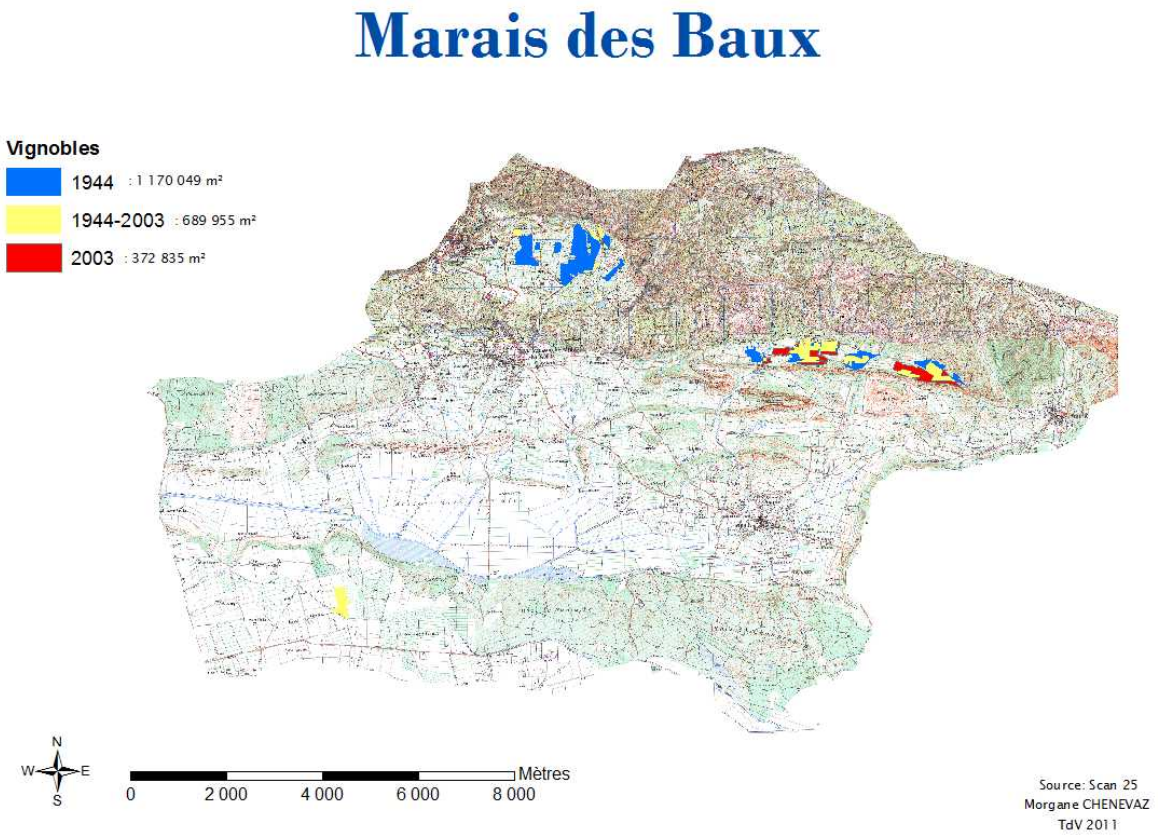
Carte n°24 : Évolution des surfaces occupées par les systèmes parcellaires complexes entre 1944 et 2003

Systèmes parcellaires complexes

	NumP		CA (m²)		MPS (m²)		MSI	
	1944	2003	1944	2003	1944	2003	1944	2003
Systèmes parcellaires complexes	**18,00**	**16,00**	**16 426 180,13**	**14 509 339,89**	**912 565,56**	**906 833,74**	**2,38**	**2,80**

Les paysages ruraux représentent l'identité territoriale. Ils ont une forte valeur culturelle d'où la nécessité d'assurer la pérennité de ce patrimoine (Larcena and Puech, 1998). Dans les zones fortement boisées, les parcelles agricoles constituent des zones tampon entre les habitations et les forêts, arrêtant la propagation des incendies (Burel and Baudry, 2000).
Le nombre de taches diminue légèrement de 18 à 16 taches tout comme la somme des aires des taches diminuant de 16 426 180.13 m² à 14 509 339.89 m². Les surfaces de systèmes parcellaires complexes de 1944 perdues en 2003 se retrouvent occupées par du tissu urbain principalement mais aussi des golfs et des prairies. De plus, les bocages tendent à disparaître (Barruol and Dautier, 2009).
L'agriculture dans les Alpilles et les Marais des Baux est en conversion depuis un certain temps, la taille des exploitations diminue (Barruol and Dautier, 2009). En effet la taille moyenne des systèmes parcellaires complexes passe de 912 565.56 m² à 906 833.74 m².
Les nouvelles surfaces occupées par les systèmes parcellaires étaient anciennement des terres arables et plus rarement des oliveraies et des pelouses.

Une privatisation des terroirs agricoles et naturels liée à la pression foncière, morcelle, fragmente le territoire (Barruol and Dautier, 2009). L'indice de complexité de la forme augmente de manière conséquente, de 2.38 à 2.80. De plus cette privatisation ne simplifie pas la gestion du paysage, il est difficile pour les propriétaires d'accepter que quelqu'un leur dise que faire de leur propriété (Antrop, 1999).

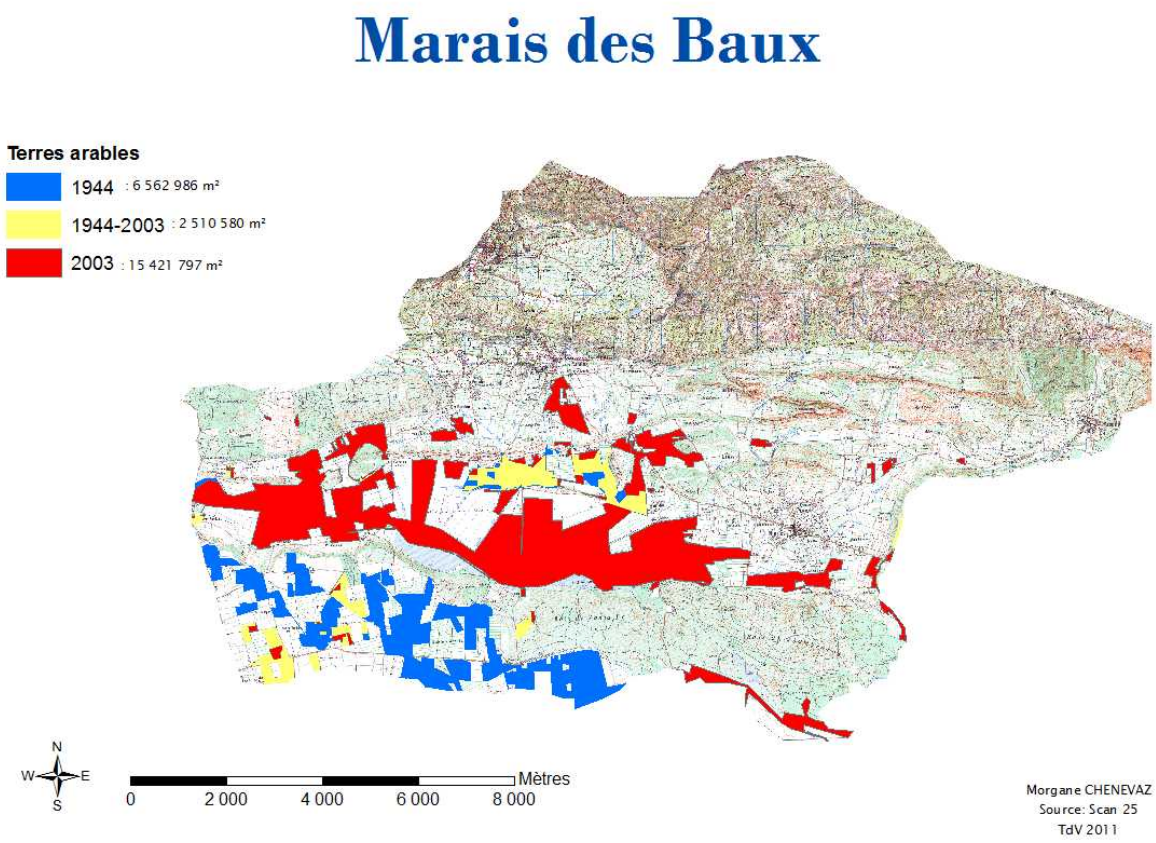


Carte n°25 : Évolution des surfaces occupées par les vignobles entre 1944 et 2003

Vignobles

	NumP		CA (m²)		MPS (m²)		MSI	
	1944	2003	1944	2003	1944	2003	1944	2003
Vignobles	12,00	14,00	1 860 003,64	1 062 790,76	155 000,30	75 913,63	1,67	1,51

Le nombre de taches de vignobles augmente de deux taches alors que la somme des aires des taches diminue de 797 212.88 m² et leur taille moyenne de 79 086.67 m². L'indice de complexité de la forme diminue en passant de 1.67 à 1.51. Les surfaces perdues ont été remplacées par des oliveraies et vergers.
Néanmoins du point de vue photo-interprétation, il faut souligner la difficulté de faire la distinction entre les vignobles et les oliveraies sur les clichés de 1944. A Mouriès, il y a une légère progression de la viticulture où elle occupe près de la moitié des terres cultivées (Barruol and Dautier, 2009).



Carte n°26 : Évolution des surfaces occupées par les terres arables entre 1944 et 2003

Terres arables

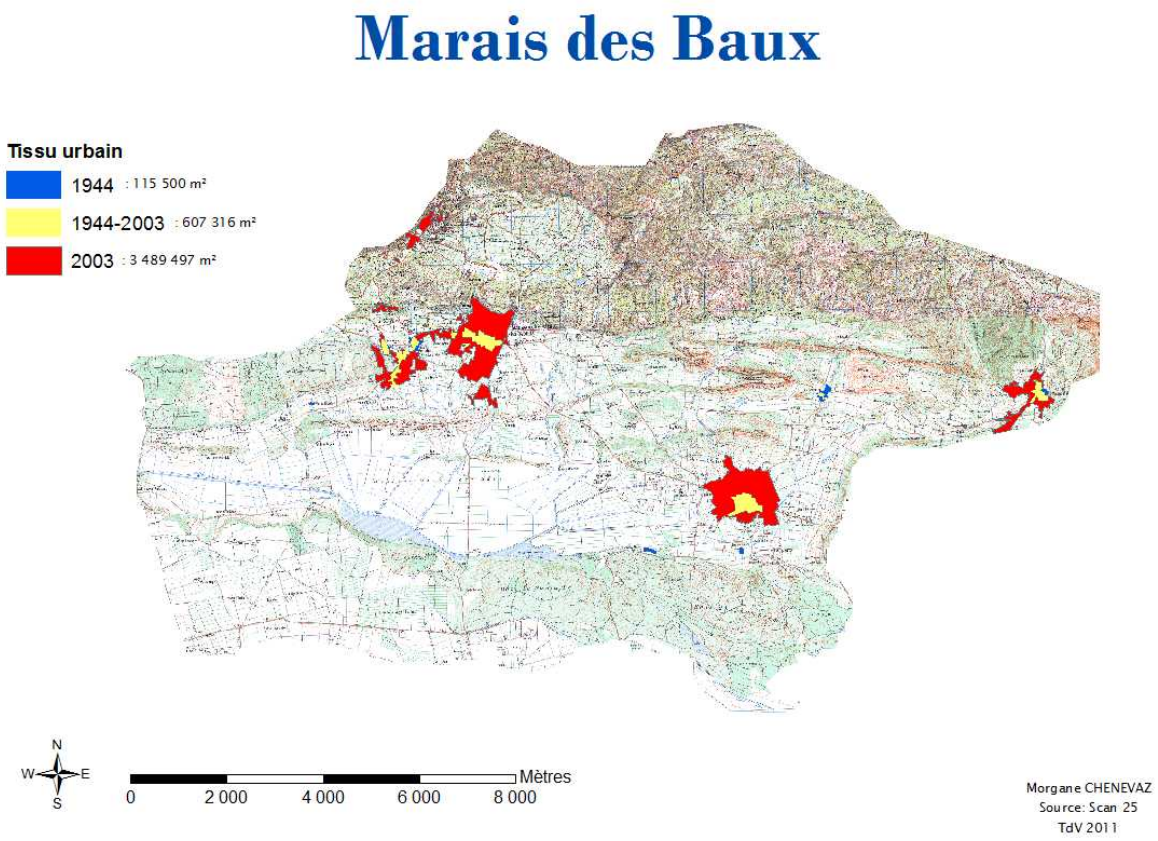
	NumP		CA (m²)		MPS (m²)		MSI	
	1944	2003	1944	2003	1944	2003	1944	2003
Terres arables	18,00	53,00	9 073 340,79	17 932 376,27	504 074,49	338 346,72	2,17	2,07

Dans la vallée des Baux l'agriculture s'est intensifiée après la seconde guerre mondiale. Aujourd'hui l'agriculture est en conversion, tendant vers une agriculture raisonnée. Les grandes cultures produisent du blé, du sorgho et du tournesol.
Le nombre de taches augmente fortement, de 18 à 53 taches. Des mutations culturales sont notables, d'où la présence accrue de constructions liées aux activités agraires.
La somme des aires des taches augmente de 8 859 035.48 m² alors que leur taille moyenne diminue de 165 727.77 m². Cette augmentation est visible sous la forme d'un développement important de serres, responsable d'un changement brutal du paysage. Ces serres contrastent avec les cultures traditionnelles telles que les vergers, vignes et oliviers et menacent l'authenticité du paysage.
Une partie des terres arables de 1944 est passée en systèmes parcellaires complexes en 2003. Une surface importante est occupée par les terres arables autour du marais en 2003. Ces espaces étaient des prairies humides et des surfaces de marais avant l'assèchement par les motopompes. La Politique Agricole Commune et les accords du GATT, accords généraux sur

les tarifs douaniers et le commerce en 1994, ont abouti à un fort développement de la céréaliculture dans les années 1980-1990. Les réformes récentes de la PAC encouragent l'agriculture extensive et la diversification des cultures.
L'assèchement a permis aux cultures de maïs de disposer de sols neufs et riches pendant une trentaine d'années. Le maïs a été introduit vers 1970 mais aujourd'hui il recule devant le blé dur, le tournesol et les prairies (Barruol and Dautier, 2009).
L'indice de complexité de la forme diminue légèrement de 2.17 en 1944 à 2.07 en 2003. Une fermeture du paysage naturel s'effectue peu à peu avec une augmentation des friches agricoles et une baisse de la diversité du terroir (Barruol and Dautier, 2009).
Depuis les inondations de 2003, certains exploitants ont abandonné leurs cultures de maïs et ont converti leur terrain en terrain pour la chasse.



Photographie des Marais des Baux (www.arocha.org)

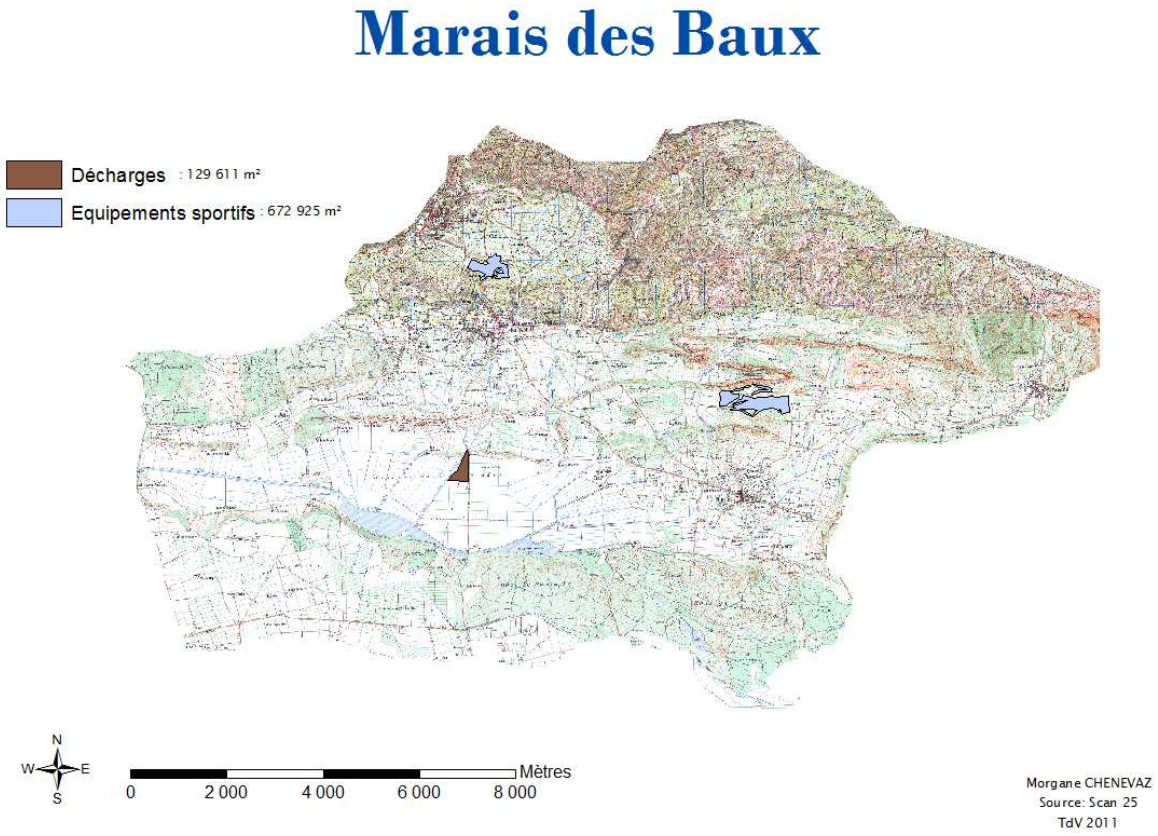


Carte n°27 : Évolution des surfaces occupées par les tissus urbains entre 1944 et 2003

Tissu urbain

	NumP		CA (m²)		MPS (m²)		MSI	
	1944	2003	1944	2003	1944	2003	1944	2003
Tissu urbain	12,00	12,00	722 817,21	4 096 814,71	60 234,77	341 401,23	1,55	2,03

Le nombre de taches reste le même (12 taches) mais la somme des aires et leur taille moyenne augmente de manière importante. La classe « tissu urbain » gagne 3 373 997.5 m² entre 1944 et 2003. Cette augmentation est le reflet de l'expansion des villages autour de leur centre. Ce phénomène est visible pour Maussane-les-Alpilles, Paradou, Mouriès, Aureille et les Baux-de-Provence. La forte demande résidentielle sur le secteur piémont et les terroirs en déprise agricole est en grande partie responsable de l'élargissement des villages. Les surfaces nouvellement occupées par les tissus urbains étaient des systèmes parcellaires complexes anciennement utilisés par les agriculteurs des villages avoisinant. L'indice de complexité de la forme augmente de 1.55 à 2.03, mettant en évidence une expansion des tissus urbains non circulaire autour des centres.
Cette expansion autour des villages atténue la limite entre parcelles agricoles et habitations et efface la lisibilité de ces villages dans le paysage (Barruol and Dautier, 2009). Néanmoins, la forte pression foncière entraîne un mitage des constructions et peu à peu la banalisation des sites.



Carte n°28 : Surfaces occupées par les décharges et les équipements sportifs en 2003

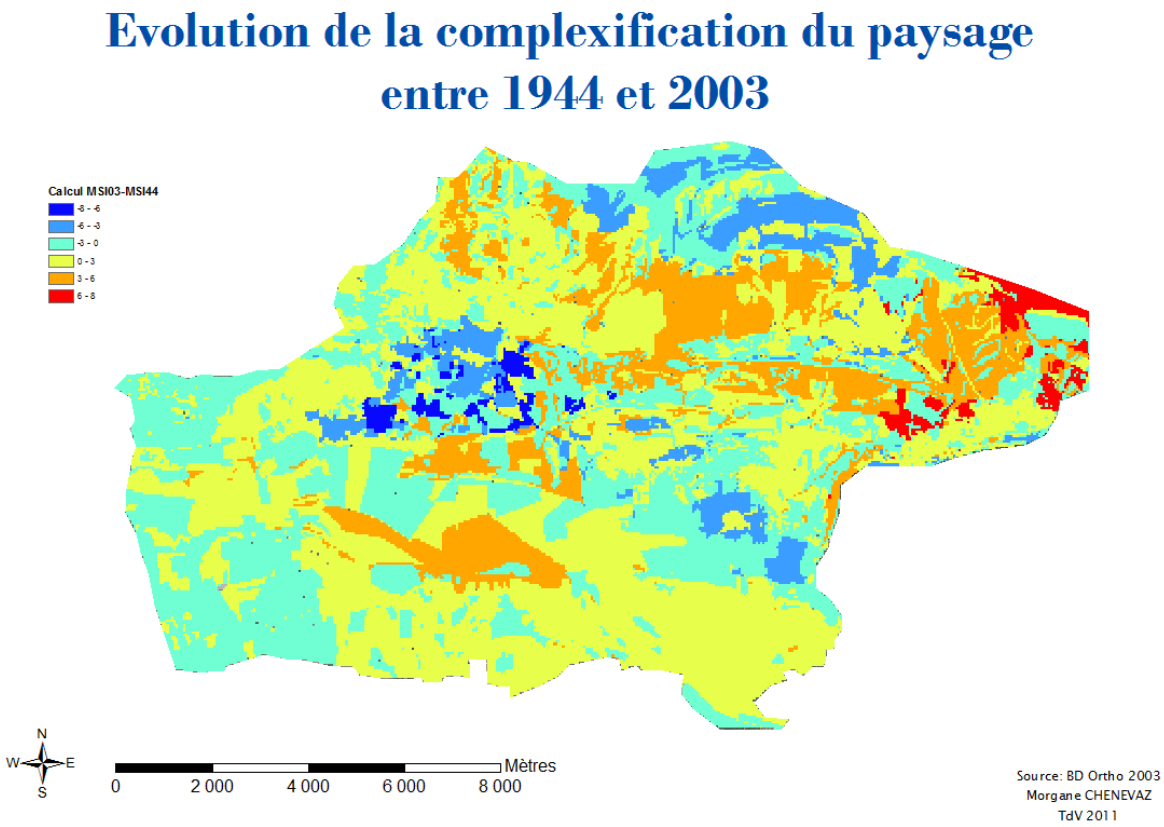
Équipements sportifs et décharges

	NumP		CA (m²)		MPS (m²)		MSI	
	1944	2003	1944	2003	1944	2003	1944	2003
Équipements sportifs		4,00		672 925,13		168 231,28		2,32
Décharges		1,00		129 610,68		129 610,68		1,47

Le tourisme a une importance qui ne cesse d'augmenter et induit donc la construction de structures d'accueil et d'espaces de récréation pouvant altérer l'authenticité du paysage. La construction de deux golfs en est l'exemple parfait. Les golfs sont à l'origine d'une consommation d'eau importante nécessitant un arrosage quasi permanent. Les golfs font donc pression sur la ressource naturelle en eau. Des engrais et des pesticides sont utilisés pour obtenir de jolis gazons. Cette pratique impact la qualité de l'eau et du sol.
La décharge a été ouverte en 1973 et réunissait les ordures ménagères d'Aureille, de Fontvieille, du Paradou, des Baux, de Maussane et de Mouriès. De nombreux dysfonctionnements de ce centre d'enfouissement comme l'envol de plastiques et l'absence de contrôle de la qualité de l'eau a entraîné sa fermeture en 2003.
Ces deux classes « équipements sportifs » et « décharges », inexistantes en 1944, totalement bâties par l'homme, illustrent l'impact que peuvent avoir les aménagements anthropiques sur

les paysages naturels. Les paysages ruraux attirent les hommes et de nouvelles entreprises, ainsi ils constituent un outil de développement économique (Larcena and Puech, 1998).
La forte attractivité touristique est aussi à l'origine de stationnements envahissants, de piétinements importants et de déchets laissés un peu partout.

iii. Analyse par entité



Carte n°29

De la même manière que pour la carte d'évolution de la complexification des salins, cette carte représente la soustraction de l'indice de complexification MSI de 2003 avec celui de 1944. Les valeurs positives sont symbolisées par les classes de couleurs chaudes et les valeurs négatives par les couleurs froides. La zone au Nord d'Aureille est celle qui s'est le plus complexifiée. La zone qui s'est le plus homogénéisée se trouve autour de Maussane et du Paradou. La zone autour des marais s'est aussi beaucoup complexifiée.



Photographie de Maussane-les-Alpilles (http://www.geneprovence.com)

VI. Discussion

a. Lien avec le volet hydrosystème

La dynamique paysagère est étroitement liée au fonctionnement de l'hydrosystème. En effet, l'homme à travers la maîtrise de la circulation des eaux commande directement l'organisation de détail du paysage (Baron-Yelles, 2000).
Cette maîtrise s'exécute à travers la construction de canaux d'irrigation et de canaux de drainage pour les Marais des Baux, à travers la gestion des entrées et des sorties d'eau de mer pour les Salins de Giraud.
Le travail d'Anthony Cheval a été d'améliorer la compréhension du fonctionnement de l'hydrosystème des Marais des Baux. Ce site a vu son paysage se transformer au cours du temps.
Dès l'époque romaine, l'homme entretenait un drainage partiel des terres grâce à un réseau de roubines. Sur la période étudiée, le paysage s'est modifié suite à la poldérisation et à l'installation des motopompes. Le développement de l'agriculture et par conséquent les importantes quantités d'eau utilisées pour l'irrigation ont aussi bouleversé ce paysage.
L'eau est un facteur essentiel de l'organisation et de l'évolution des paysages.
En retenant ou en favorisant l'évacuation des eaux, l'homme peut faire apparaître à son gré un immense lac ou une prairie (Baron-Yelles, 2000).
Ici c'est en favorisant l'évacuation des eaux que l'homme a permis à ces anciennes surfaces de marais et de prairies humides d'être cultivées.

		2003								
		Forêts	Garrigues	Systèmes parcellaires	Tissus Urbains	Oliviers vergers	Pelouses	Équipements sportifs	Total 1944	%
1944	Forêts	143,5	76,3	9,3	9,2	43,4	0,3	2,8	**284,8**	9,3
	Garrigues	114,7	236,9	20,5	3,8	72,9	15,8	0,0	**464,5**	15,2
	Systèmes parcellaires	40,9	14,4	814,4	198,8	85,0	16,4	31,1	**1201,0**	39,3
	Tissus Urbains	1,0	0,2	5,9	41,1	0,5	0,0	0,0	**48,7**	1,6
	Oliviers vergers	57,3	44,2	197,6	22,9	668,2	41,1	10,3	**1041,6**	34,1
	Pelouses	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	12,8	0,0	**13,0**	0,4
	Équipements sportifs	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**0,0**	0,0
	Total 2003	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	100
	%	11,7	12,2	34,3	9,0	28,5	2,8	1,4	100,0	

Tableau n°4 croisant les surfaces d'occupation du sol de 1944 et 2003 (Cheval, 2011, Vers la modélisation hydrologique des Marais des Baux. Préparation à l'approche pluridisciplinaire d'un territoire entre déficit et excès d'eau).

Ce tableau permet de visualiser le devenir en 2003 des espaces occupés en 1944. Par exemple, les systèmes parcellaires complexes se sont essentiellement convertis en tissus urbains. Ce changement a engendré de multiples conséquences. Lorsqu'en 1944 ces surfaces étaient occupées par des systèmes parcellaires complexes, l'eau servant à l'irrigation retournait en partie à la nappe phréatique par infiltration. L'hydrologie conditionne toutes les autres

fonctions car elle constitue une interface entre les eaux souterraines, de surface et atmosphériques (Ducrotoy, 2010).
En 2003, les 199 hectares passés en tissus urbains possèdent un sol ne permettant pas à l'eau de retourner à la nappe. Ces changements induisent de nombreuses conséquences pour les écosystèmes.
De plus, le travail d'Anthony Cheval consistait à construire un modèle permettant de prédire les états futurs du Marais des baux. Ce travail est très intéressant dans l'optique de restauration des marais. L'hydrologie est le facteur le plus important dans les projets de création et restauration de zone humide.
Dans son ouvrage sur la restauration du marais d'Orx, Baron-Yelles dit que le marais « naturel » est susceptible d'être entièrement contrôlé grâce à la gestion hydraulique comme l'espace agricole d'hier. Il pourrait en être de même pour les Marais des Baux.

b. Lien avec le volet phytoécologie

Le paysage a un rôle important dans la richesse en espèces (Ducrotoy, 2010).
La dégradation et la fragmentation des habitats sont les principales menaces à l'échelle mondiale d'extinction de la biodiversité. Elles sont susceptibles d'affecter la quasi-totalité des groupes taxonomiques : les oiseaux, les mammifères, les reptiles, les amphibiens, les invertébrés et les plantes. En Europe de l'Ouest, les paysages évoluent soit vers une intensification soit vers un abandon des terres agricoles avec respectivement une diminution et une augmentation des zones incultes. Les changements induis au niveau du paysage sont considérés comme une menace pour la biodiversité (Burel and Baudry, 2000). Quelles sont alors les conséquences de l'évolution du paysage et de la gestion de l'eau à l'échelle de l'espèce? Est-ce que les phénomènes à l'échelle de l'habitat se répercutent à l'échelle de l'espèce ?
Dans le diagramme de Noss, une hiérarchie emboîtée de la biodiversité est proposée. Ce diagramme établi selon trois critères que sont la structure, la composition et la fonction, est organisé du niveau gène jusqu'aux paysages.

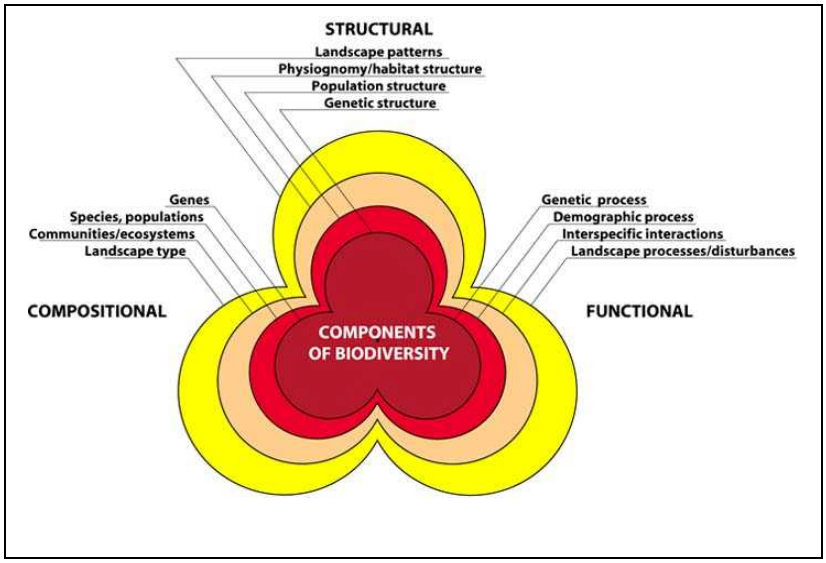


Diagramme de Noss 1990

L'appartenance à une unité paysagère donnée a un effet fortement significatif sur la composition de la flore herbacée (Burel and Baudry, 2000).
Le travail de Nathalie Patry a consisté en l'étude des orchidées comme indicateurs de pratique. Cette étude cherche à démontrer comment les changements dans les pratiques agricoles et l'occupation du sol sont enregistrés par la présence d'une espèce particulière d'orchidée. La structure spatiale est fortement organisée par le relief et l'histoire de l'agriculture. Elle joue un rôle clé dans l'évolution et la végétation (Tatoni and Roche, 1994).
La présence d'une espèce dépend de facteurs écologiques, comme l'humidité, la topographie, les caractéristiques physico-chimiques du sol et la lumière. Les relations entre espèce et espace dépendent des exigences écologiques des espèces, de leur échelle de perception et de l'échelle d'analyse des paysages (Burel and Baudry, 2000). Les facteurs anthropiques tels que les modes de gestion agricole ou la destruction d'habitat sont responsables de la non-présence d'espèces. La gestion des espaces agricoles par la pression du pâturage, la fertilisation, la fauche, le piétinement et l'écobuage, est un facteur explicatif de la diversité et de la richesse des peuplements végétaux (Burel and Baudry, 2000).
En effet les orchidées sont fortement influencées et menacées par la destruction d'habitats, le changement de pratique agricoles et la fermeture du milieu. Les orchidées ont besoin de beaucoup de lumière pour se développer. Selon les groupes considérés, il y a des gains ou des pertes de biodiversité en fonction de l'évolution de l'agriculture et des paysages (Burel and Baudry, 2000). Les potentiels de biodiversité dépendent à la fois des structures paysagères passées et présentes (Ducrotoy, 2010).
Ainsi l'intensification de l'agriculture, le vieillissement d'une forêt, la recolonisation de la végétation suite à un incendie sont autant de phénomènes visibles à l'échelle du paysage qui seront enregistrés à l'échelle de l'espèce pour les orchidées.
Cependant la dégradation des paysages est à définir précisément, certaines espèces sont affectées négativement ou positivement par les activités humaines.
De plus, les conséquences sur la flore et la faune varient en fonction de l'état initial du paysage et de sa trajectoire d'évolution (Acx and Baudry, 1993).
Pour les Salins de Giraud, les phénomènes qui ont eu lieu à l'échelle du paysage et de l'habitat semblent aussi se répercuter à l'échelle de l'espèce. Les aménagements des salins qui ont modifié le paysage, se reflètent à travers la régression des sansouires hautes et basses et ainsi à travers la diminution de l'abondance des espèces de salicornes.

c. Comparaison des mutations paysagères des Salins de Giraud et des Marais des Baux

Les Marais des Baux et les Salins de Giraud ont de nombreux points communs et aussi des différences. Ces territoires ont des fonctionnements et des enjeux différents.
Leur localisation diffère: les Salins de Giraud sont situés en zone littorale et les Marais des Baux sont situés dans une zone humide intérieure.
Les Marais des Baux appartiennent essentiellement à des propriétaires privés alors que les Salins de Giraud sont la propriété du secteur public.
Les deux sites ont pour point commun d'avoir subi des pressions anthropiques fortes durant les soixante dernières années. Les impacts issus du changement de l'occupation du sol varient d'une région à l'autre et d'un moment à l'autre (Turner and Garner, 1991). Ainsi, ces pressions de nature différente ont impacté les milieux de manière différente.

Pour les Salins-de Giraud, il y a eu transformation d'un milieu plus ou moins naturel en territoire de production de sel avec les aménagements des salins concentrés sur la période 1953 -1973. La construction de nouvelles digues et le creusement des étangs ont modifié morphologiquement la zone humide.
Pour le site des Marais des Baux, les modifications des usages des sols s'est faite de manière plus progressive avec pour conséquence la perte de l'étendue de la zone humide.
Ceci dit, ces deux territoires ont été modifiés dans un but d'utilisation du sol à des fins productives: production saline pour les Salins-de-Giraud et production agricole pour les Marais des Baux.
La déprise économique, agricole pour les Marais des Baux, industrielle pour les Salins de Giraud, conduit ces deux sites aujourd'hui à des projets de restauration.
La restauration est le retour des fonctions écologiques d'un écosystème dégradé par abandon ou contrôle raisonné de l'action anthropique. La restauration écologique se traduit par une modification légère du milieu, consécutive à un état de crise passager ou temporaire (Baron-Yelles, 2000).
La connaissance de l'état initial est fondamental pour prévoir la dynamique d'un paysage. Vers quels milieux la restauration des Salins de Giraud et des Marais des Baux aboutirait-elle sachant que l'objectif de cette restauration serait d'avoir une activité plus conforme à la dynamique naturelle? Il faut noter que cette restauration se fait à partir d'un milieu historique et non d'un espace naturel.
Entre 1944 et 2003 un bouleversement paysager a eu lieu sur les deux sites suite à l'action de l'homme. Il faut se demander alors si la situation de 1944 est envisageable comme référence dans le cadre des mesures de restauration. L'état de référence est un état des lieux dressé à un temps donné du patrimoine naturel et des zones anthropisées, auxquels il serait possible de se référer pour nourrir la réflexion sur la restauration. Cette référence permet de présenter les enjeux à prendre en compte dans les nouveaux aménagements. Pour les Salins de Giraud, un des enjeux pourrait porter sur les sansouires ayant fortement régressés de 1944 à 2003.
Cet état de référence repose sur la caractérisation et la localisation des habitats naturels et anthropisés (Ducrotoy, 2010), travail déjà réalisé dans cette étude.
Si la situation de 1944 était prise comme référence pour la restauration des Salins de Giraud, il s'agirait d'un paysage moins fractionné avec plus de sansouires et une variabilité des niveaux d'eau et de la salinité. Un tel retour n'est pas évident et s'opère sur une longue période. En 1944, très peu de boisements étaient présents sur ce secteur. Dans le cadre de la restauration, serait-il intéressant de revenir à une telle situation? La présence de la forêt dans une zone humide est-elle bénéfique? Les boisements présents en 2003 témoignent d'une fermeture du milieu or la fermeture du milieu est une des principales menaces des zones humides par la perte de biodiversité et une banalisation de la végétation. Ceci est un argument supplémentaire en faveur de la situation de 1944 comme référence pour la restauration du site.
La Camargue a été édifiée grâce aux apports marins et aux dépôts alluvionnaires du Rhône, accélérés par la déforestation de la vallée du Rhône (Picon, 1996). La Camargue est donc un milieu où la biodiversité est héritée d'une activité destructrice de l'homme sur le bassin versant.
Les caractéristiques des milieux humides et saumâtres de la Réserve Nationale de Camargue, présentés comme espaces, naturels menacés, ont été produites par les actions de l'homme (Picon, 1996). Autrement dit, les caractéristiques des habitats et espèces à préserver aujourd'hui existent généralement « grâce » aux diverses utilisations historiques des terres plutôt qu'en dépit de ces utilisations.

Dans un tel contexte, l'action de l'homme de manière raisonnée semblerait plus approprié que de l'action incontrôlée de la nature. L'objectif serait de conserver pour l'homme la nature qu'il a lui-même aménagée au cours des siècles. Ceci en reconstruisant et en aménagement une nature choisie (Baron-Yelles, 2000).
Les deux sites diffèrent encore une fois par la destination de leur nouvel usage.
Les Salins-de Giraud ont été rachetés par le Conservatoire du Littoral et par conséquent ne seront plus gérés de manière productiviste. Le Conservatoire du Littoral est un établissement public créé en 1975, qui assure la protection d'espaces naturels, des paysages et des rivages maritimes et lacustres. Il acquiert ces terrains fragiles et menacés pour ensuite confier leur gestion à des organismes adéquats.
Les Marais des Baux par contre, ont pour volonté d'allier un meilleur respect de la dynamique du milieu avec la mise en place d'autres activités afin d'obtenir une meilleure rentabilité économique du site. Le marais d'Orx, domaine privé agricole, devenu un espace public ouvert accueillant de nombreux touristes visiteurs pour l'observation d'oiseaux, la contemplation de paysages est un exemple de marais restauré dans la même optique que les Marais des Baux. La chasse, la cueillette et la promenade sont également pratiqués sur ce marais.
Le passage vers un autre type d'agriculture est souhaité dans la vallée des Baux. En effet, l'agriculture intensive ne survivant plus que par subventions, une agriculture adaptative serait mise en place. Les prés grossiers et les cultures de maïs, seraient remplacés par un type de cultures plus doux. La remise en eau des Marais des Baux serait ainsi accompagnée de la recherche de nouveaux usages, d'un développement d'activités tels que l'agrotourisme, la coupe de la sagne, la chasse, la pêche, l'utilisation de la sarrette pour rempailler les chaises et le pâturage. Quelle gestion de l'eau serait alors mise en place pour combiner protection environnementale, développement touristique et satisfaction des propriétaires et exploitants? Le développement touristique soulève des conflits et des séries d'oppositions de légitimité d'usages et de représentabilité de certains groupes par rapport à d'autres (Baron-Yelles, 2000).
La démarche entreprise aujourd'hui dans une optique de restauration est inverse de celle de la dynamique de 1944-2003. L'artificialisation de ces deux zones humides a duré pendant soixante ans. Aujourd'hui le souhait est de tendre vers la situation antérieure à cette période.
Les infrastructures qui ont permis la domestication de la nature marécageuse du site permettent aujourd'hui sa recréation (Baron-Yelles, 2000). La remise en eau partielle des Marais des Baux pourrait être contrôlée à travers la gestion des niveaux d'eau par les canaux et pompes électriques en place.

VII. Conclusion

Le paysage illustre la relation qui existe entre la société et son milieu (Burel, Baudry, 2003).
Les zones humides sont des milieux exceptionnels qui concentrent sur des petites surfaces une diversité biologique unique (Baron-Yelles, 2000).
Les actions anthropiques ont bouleversé le paysage des deux zones humides étudiées, les Salins de Giraud et les Marais des Baux. Les territoires sont le produit d'une évolution relevant à la fois des dynamiques écologiques et sociales devant faire l'objet d'une démarche scientifique appropriée à ces interdépendances complexes entre nature et société (Ducrotoy, 2010).
Entre 1944 et 2003, le paysage des Salins de Giraud a été profondément modifié. D'après les indices de morphologie paysagère, une complexification au niveau du paysage global a eu lieu. Cette complexification a été accompagnée d'un morcellement et d'une fragmentation du paysage. Les surfaces en salins ont été multipliées par quatre, entraînant l'isolation d'îlots et dunes. La forme des étangs a été complexifiée et le niveau d'eau stabilisé. Cette stabilité a permis l'apparition de boisements. Les salins sont passés d'un mode de fonctionnement hydraulique imprévisible à mode de fonctionnement de type salin prévisible, stable. La nouvelle gestion des salins est inverse du cycle de présence naturelle d'eau en climat méditerranéen. La stabilité du système a pour conséquences, l'érosion des dunes conjuguée à l'impossibilité de création de nouvelles dunes. La plage et les sols nus ont fortement diminué de surfaces et se sont morcelés. Le réseau de digues a été homogénéisé et amplifié. La construction de digues et le creusement de canaux sont les deux éléments essentiels qui ont permis à l'homme de mener à bien des projets de développement agricole (Baron-Yelles, 2000). Parallèlement les sansouires hautes et basses ont largement régressé. Des cabanons ont été progressivement implantés dans la zone de Beauduc. La structure du paysage a d'importantes conséquences sur la dispersion des organismes. La fragmentation des habitats a de sérieux effets sur la structure, le taux de croissance des populations d'espèces et leur probabilité d'extinction (Bissonette, 1997). Ainsi les changements survenus dans la structure du paysage des Salins de Giraud ont entraîné d'importantes modifications en terme de biodiversité.
La modification des pratiques humaines entraîne des changements dans l'occupation du sol et augmente la fragmentation du paysage. Il en résulte une réorganisation de l'espace biologique issue de la destruction d'unités du paysage et de corridors biologiques (Turner and Garner, 1991). Depuis des millénaires, l'agriculture est le principal facteur d'aménagement des paysages.
Pour le paysage des Marais des Baux, les importants incendies de 1982, 1989 et 1999 ont fortement impactés les forêts. Les surfaces de forêts de conifères perdues ont été remplacées par de la forêt de végétation en mutation, de la végétation sclérophylle et de la végétation sclérophylle dégradée. De plus, la petite taille des taches de forêts peut contribuer à l'extinction d'espèces sensibles adaptées aux conditions intérieures (Turner and Garner, 1991).
L'assèchement des marais a engendré la perte de surfaces de marais et de prairies humides converties en terres arables. Les assèchements et l'agriculture intensive ont des conséquences préoccupantes sur la qualité de l'eau (Baron-Yelles, 2000). Les tissus urbains se sont étendus autour de leur centre entraînant la perte des systèmes parcellaires complexes entourant initialement les villages en 1944. L'augmentation des activités touristiques a entraîné l'aménagement de golfs et de structures d'accueil. L'agriculture intensive est vectrice d'un appauvrissement de la biodiversité et constitue une menace pour la conservation des

caractères naturels des écosystèmes (Ducrotoy, 2010). Une réorientation de l'usage des terres agricoles est envisagée par plusieurs propriétaires conscients du potentiel de biodiversité de ces terres et de leur caractère inondable. Les 1ers, 2 et 3 décembre 2003, des inondations importantes se sont produites sur le massif des Alpilles et la Vallée des Baux. Les digues du canal du Vigueirat et du Rhône se sont rompues inondant principalement des surfaces agricoles et des espaces naturels. Le problème du coût de l'entretien des digues avec en particulier le coût de reconstruction des digues après les inondations de 2003 au frais du contribuable est un argument de plus en faveur de la remise en eau des marais. Cependant cette remise en eau est à contre-courant avec l'histoire des Marais des Baux drainés depuis plusieurs années. La remise en eau des Marais des Baux soulève le problème du retour des moustiques. En effet les zones humides sont les habitats naturels des moustiques. Une maîtrise des niveaux d'eau et la présence des prédateurs du moustique pourraient permettre de contrôler les populations de ces derniers.
En comprenant la structure spatiale des écosystèmes paysagers, les processus écologiques s'y déroulant sont plus évidents(Fortin, 2002). L'étude de l'évolution passée des deux zones humides permet de mieux comprendre leur fonctionnement.
Les indices de morphologie paysagère confirment bien les écrits historiques. La validité de l'information qu'ils fournissent permettra d'envisager les dynamiques futures du paysage de ces zones humides suivant les scénarii de gestion choisis. L'utilisation des indices de morphologie paysagère doit permettre d'anticiper les dynamiques et conséquences futures en fonction de la gestion de l'eau et des paysages. Comprendre le passé est une aide pour gérer le présent et le futur afin de construire un modèle de référence mais cela est difficile car les systèmes sont en équilibre dynamique (Ducrotoy, 2010).
L'anthropisation est responsable des principaux bouleversements paysagers de ces deux sites. Pour les Salins de Giraud les modifications de 1944 à 2003, sont quasiment toutes issues des aménagements des salins et de la gestion de l'eau par l'homme. Pour les Marais des Baux, la majorité des changements sont d'origine anthropique par l'assèchement des marais, le pompage, l'urbanisation des villages et l'intensification de l'agriculture. Néanmoins, une partie des modifications du paysage est d'origine naturelle : la diminution de la densité de la végétation et des forêts due aux incendies, la densification naturelle de la végétation.
La volonté de ces sites est de conserver leur rôle d'espaces naturels comme support et symbole d'un investissement patrimonial (Baron-Yelles, 2000).
Reste le problème pour les sites étudiés de savoir quel organisme va se charger de la gouvernance de l'eau.

a. . Limites

Cette étude possède quelques limites. L'utilisation de photographies aériennes présente quelques inconvénients. Les photographies aériennes ne sont pas disponibles avant 1935, ainsi sur toute la période antérieure les changements ne sont pas analysables (Turner and Garner, 1991). La comparaison entre 1944 et 2003 se fait à l'aide de photographies aériennes ne présentant pas la même qualité et la même résolution. Sur les photographies de 1944, il n'est pas évident de distinguer certains habitats. Par exemple la différence entre les prairies et les pelouses est subtile. La précision des photographies aériennes a progressé en soixante ans. De plus, les photographies de 1944 sont en noir et blanc alors qu'en 2003, elles sont en couleurs.
Un retour sur la situation de 1944 est impossible ainsi que toutes vérifications terrain.
L'évaluation des changements est limitée aux dates où les photographies ont été prises, c'est-à-dire à un instant t. Des événements primordiaux ne sont pas forcément pris en compte à cet instant t (Turner and Garner, 1991).

L'analyse de photographies aériennes ne permet pas de superposer plusieurs années (Turner and Garner, 1991).

b. Perspectives

Pour contrer certaines de ces limites, il serait intéressant de poursuivre l'étude par l'analyse de photographies aériennes prises à d'autres dates. Les photographies de 1956 et 1965 permettraient de prendre en compte les années déterminantes dans le changement du paysage des Salins-de-Giraud sur la période des aménagements de 1953 à 1973.
Ensuite, la poursuite du travail pourrait se faire par l'étude de l'évolution du paysage des Salins depuis l'arrêt des pompes à ce jour grâce à l'utilisation d'images satellites en continue, disponible pour les années récentes.
La mise en lien des suivis avifaunistiques pour Salins de Giraud et les Marais des Baux avec l'analyse de l'occupation du sol entre 1944 et 2003, rendrait compte des impacts de la fragmentation et des évolutions des habitats sur les populations d'espèces. Ce travail permettrait de comprendre la manière dont les aménagements du territoire peuvent influencer la présence, le déplacement, la reproduction et la survie d'une population d'espèce dans un paysage.
Cette étude pourra être utilisée dans des travaux suivant la répartition d'espèces de faune et de flore ayant besoin de cartes d'occupation du sol.
De plus, le projet vise à aboutir à un outil méthodologique présentant des garanties d'objectivité et de fiabilité pour les décideurs et gestionnaires des zones humides pour leur faire prendre conscience des tendances à long terme des évolutions du paysage. Cet outil pourrait leur permettre de situer les répercussion de leurs actions et décisions sur les paysage.

VIII. Bibliographie thématique

Ouvrages sur l'histoire des Salins de Giraud

BOUDET G. Le sel du Midi au XIXème siècle. La renaissance des Salins du Midi de la France. Compagnie des Salins du Midi, 1995. 269 p.

CAILLOT L. Salin de Giraud. Histoire du rail et du sel. Chemins de fer régionaux et urbains, 1996, n°258, 25p.

GLEIZE L. La compagnie des Salins du Midi et des Salines de l'Est. Exploitation de Salin-de-Giraud. Courrier PNRC 13, 1978. p. 6-14.

NICOLAS L. Beauduc, l'utopie des gratte-plage. Étude ethnologique d'une communauté de cabaniers sur le littoral camarguais. Marseille: images en manœuvre, 2008.

MOLINIER R. Carte phytosociologique de la Camargue au 1/50 000, levées de 1958 à 1966. Notice dans biologie et écologie méditerranéenne tome V numéro 4 1978 197p.

PERTHUISOT J.P. Introduction générale à l'étude de marais salants de Salins-de-Giraud: le cadre géographique et le milieu. Géol Méd9, 1982. P. 309-327.

PERENNOU C., AUFRAY R. Evolution de la Camargue- Le littoral. Observatoire de Camargue, Tour du Valat, 2007, 7 p.

PICON B. De l'homme à la nature : l'exemple du delta du Rhône. Impact de l'homme sur les milieux naturels, 1996, p. 105-111.

ROCHE J, AUBRY J. Salins de Camargue. Territoires convoités. Arles: Actes Sud, 2008. 157p.

SADOUL N. Dynamique spatiale et temporelle des colonies de charadriiformes dans les Salins de Camargue. Thèse de biologie des systèmes intégrés-agronomie-environnement. Montpellier: Université Montpellier 2, 1996.

SADOUL N, WALMSLEY J, CHARPENTIER B. Les salins entre terre et mer. Arles : Tour du Valat, 1998, numéro 9, 96 p.

TAMISIER A. Camargue Milieux et Paysage. Évolution de 1942 à 1984. Arles: Association pour les Recherches en Camargue sur la Nature et l4environnement, 1990. 33 p.
Parc Naturel Régional de Camargue. Occupation du sol en 1991 et évolution depuis 1970. Arles: PNRC, 1991. 31 p.

Ouvrages sur les Marais des Baux

A ROCHA. Actes de la concertation. Envisager l'avenir des anciens marais des Baux. Parc Naturel Régional des Alpilles Saint Étienne du Grès, 2008. 41 p.

A ROCHA. Valeurs et fonctions des zones humides, quels avenirs pour les anciens marais des Baux? 2005.

BARRUOL G., DAUTIER N. Les Alpilles, encyclopédie d'une montagne provençale. Forcalquier: Les Alpes de lumière, 2009, vol n° 160-161, 347 p.

CHEVAL A. Vers la modélisation hydrologique des Marais des Baux. Préparation à l'approche pluridisciplinaire d'un territoire entre déficit et excès d'eau. Université de Provence, 2011, 50 p.

LIFRAN R., WESTERBERG V-H. Eliciting Biodiversity and Landscape Trade-off in landscape projects: Pilot study in the Ancients Marais des Baux, 33 p.

Le massif des Alpilles. Atlas des paysages des Bouches-du-Rhône, 2007, n°22.

Marais-d-Baux.fr

WESTERBERG V-H., LIFRAN R., OLSEN S-B. To restore or not? A valuation of social and ecological functions of the Marais des Baux wetland in Southern France. Ecological Economics, 2010, n°69, p. 2383-2393.

Ouvrages sur les paysages

ACX A., BAUDRY J. Écologie et friches dans les paysages agricoles. Ministère de l'environnement, 1993.

ANTROP Marc. Background concepts for integrated landscape analysis. Agriculture Ecosystems et Environment, 1999, 77, p. 17-28.

BARON-YELLES N. Recréer la nature: écologie, paysage et société au marais d'Orx. Paris: Editions rue D'Ulm, 2000. 215 p.

BARTHES A, SANDOZ A. Vie locale, ruralité, tourisme et paysages dans l'aire méditerranéo-alpine: regards croisés franco-slovènes sur la durabilité. Digne-les-Bains, 2009, 219 p.

BIOTOPE. État des lieux de la connaissance et des attentes des acteurs sur l'impact des infrastructures de transport terrestre sur les paysages et les écosystèmes, rapport final. 2007.

BISSONETTE J. A. Wildlife and Landscape Ecology. Effects of Pattern and Scale. New York: Springer-Verlad, 1997, 410 p.

BUREL F, BAUDRY J. Écologie du paysage. Concepts, méthodes et applications. Paris: Tec&Doc, 2000, 359 p.

CEMAGREF d'Aix-en-Provence. Caractérisation et cartographie des interfaces habitat-forêt, guide méthodologique. 2010.

COLSON F et al. Fragmentation in the Legal Amazon, Brazil: Can landscape metrics indicate agricultural policy differences?. Ecological Indicators, 2011, doi:10.1016/j.ecolind.2010.12.020.

Commissariat général au développement durable. CORINE Land Cover France, clés d'interprétations de la nomenclature. 2009.

COOK E. Landscape structure indices for assessing urban ecological networks. Landscape and Urban Planning, 2002, n°58 , p. 269-280.

DAVIDSON C. Issues in measuring landscape. Wildlife Soc. Bul., 1998, n°26, p. 32-37.

DERVIEUX A, VAKHNOVSKY N. Friches, garrigue ou forêt? Les changements du paysage dans la vallée de l'Hérault au cours du 20ème siècle. Publication de la photothèque n°4, 1994, 47 p.

DOBSON A. Conservation and Biodiversity. New York : Freeman, 1996, 264 p.

DUCROT D. Méthodes d'analyses et d'interprétation d'images de télédétection multisource. Extraction de caractéristiques du paysage. Mémoire de recherche. INP, Toulouse. 2005, 216 p.

DUCROTOY J-P. La restauration écologique des estuaires. Paris: Lavoisier, 2010, 229 p.

DUMAS E., GENIAUX G., NAPOLEONE C. Les indices de l'écologie du paysage à l'épreuve du marché foncier.

FORTIN M. Analyse spatiale en écologie : problèmes statistiques et de mise à l'échelle au niveau paysage. Ecoscience 9, 2002.

FROHN R. C. Remote sensing for landscape ecology. New Metric Indicators for monitoring, Modeling, and Assessment of Ecosystems. Boca Raton: Lewis Publishers, 1998, 99 p.

FUJIHARA M., KIKUCHI T. Changes in the landscape of the Nagara River Basin, central Japan. Landscape and urban planning, 2005, n°70, p. 271-281.

GERMAINE M-A, PUISSANT A. Extraction d'indices paysagers et analyse quantitative des paysages de « vallées ordinaires » à partir de données images : L'exemple de la Seulles (Calvados, France). [en ligne]. Cybergeo : European Journal of Geography, Environnement, Nature, Paysage, article 423, mis en ligne le 30 juin 2008, modifié le 03 juillet 2008. Disponible sur : http://cybergeo.revues.org/19123. (page consultée le 19 mai 2011).

GUSTAFSON E., PARKER G. Relationships between landcover proportion and indices of landscape spatial pattern. Landscape Ecology, 1992, vol. 7, n°2, p. 101-110.

ISSOUF B et al. Influence des actions anthropiques sur la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol dans la province du Bas-Congo. Sciences et Nature, 2008, vol.5, n°1, p.49-60.

LARCENA D., PUECH D. La dynamique des paysages : de l'approche spatiale par télédétection à la mise en place d'indicateurs comptables, la plaine de la Crau. REM, 1998, vol. 46, n°183, p. 301-323.

LEE S-W. et al. Relationship between landscape structure and burn severity at the landscape and class levels in Samchuck, South Korea. Forest Ecology and Management, 2009, n°258, p. 1594-1604.

MCGARIGAL, MARKS. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure. 1995, 122 p.

PERLIS A. La diversité biologique des forêts. Revue internationale des forêts et des industries forestières, 2002, vol. 53, n°209, 76 p.

REY P, IZARD M. Notions pratiques de photo-interprétation. Paris: centre national de la recherche scientifique, 1969, 62 p.

TATONI T., ROCHE P. Comparison of old-field and forest revegetation dynamics in Provence. Journal of Vegetation Science, 1994, vol.5, p. 295-302.

TURNER M. G., GARDNER R.H. Quantitative Methods in Landscape Ecology. New York: Springer-verlag, 1991, vol 82, 536 p.

WILCOX B., MURPHY D. Conservation strategy: the effects of fragmentation on extinction. American Naturalist, 1985, n° 125, p. 879-887.

http://www.conservation-nature.fr/article2.php?id=99

Annexe 1

La typologie s'articule autour de 14 classes pour les Marais des Baux et 7 classes pour les Salins de Giraud permettant de faire des comparaisons diachroniques entre 1944 et 2003 pour chaque site.

Marais des Baux

Les couleurs utilisées pour chaque classe se rapprochent au maximum de celles utilisées par le code CORINE Land Cover.

1. TERRITOIRES ARTIFICIALISÉS

1.1. Zones urbanisées

Tissu urbain (1.1.1 et 1.1.2)

Au niveau trois du code CORINE Land Cover, la distinction est faite entre le tissu urbain continu et discontinu, ici la distinction a été faite dans un premier temps mais pour pouvoir comparer l'occupation de 1944 et 2003 les deux catégories ont été fusionnées dans la classe « tissu urbain ».

Cette classe comprend des espaces structurés par des bâtiments où la végétation non linéaire et le sol nu sont rares.



1.3. Mines, décharges et chantiers

Décharges(1.3.2.)

Cette classe représente les décharges des collectivités publiques.



1.4. Espaces verts artificialisés, non agricoles

Équipements sportifs et de loisirs (1.4.2.)

Les équipements sportifs et de loisirs regroupent les infrastructures des terrains de camping, des terrains de sport, des parcs de loisirs, des golfs, des hippodromes, y compris les parcs aménagés non inclus dans le tissu urbain.
Cette classe comprend toutes les zones artificialisées caractérisées par une végétation abondante en dehors du tissu urbain. Dans cette étude ce sont des golfs.



2. TERRITOIRES AGRICOLES

2.1. Terres arables

Surfaces cultivées régulièrement labourées et généralement incluses dans un assolement.

Terres arables (2.1.1.)

Le contenu de cette classe est assez vaste : céréales, légumineuses de plein champ, cultures fourragères, plantes sarclées et jachères, y compris les cultures florales, forestières (pépinières) et légumières (maraîchage) de plein champ, sous serre et sous plastique, ainsi que les plantes médicinales, aromatiques et condimentaires. Cette classe ne comprend pas les prairies.



2.2. Cultures permanentes

Cultures hors assolement qui fournissent des récoltes régulières et qui occupent les terres pendant une longue période avant que ces dernières ne soient labourées et replantées: plantation de cultures ligneuses principalement. Sont exclus les prairies, les pâturages et les forêts.

Vignobles (2.2.1.)

Ce sont les surfaces plantées de vignes.



Oliveraies et Vergers (2.2.2 et 2.2.3)

Les vergers sont les parcelles plantées d'arbres fruitiers ou d'arbustes fruitiers : cultures pures ou mélange d'espèces fruitières, arbres fruitiers en association avec des surfaces toujours en herbe.

Les oliveraies sont les surfaces plantées d'oliviers, y compris oliviers et vignes sur la même parcelle.



2.3. Prairies

Prairies(2.3.1.)

Cette classe comprend les surfaces enherbées denses de composition floristique composées principalement de graminacées, non incluses dans un assolement. Principalement pâturées, mais dont le fourrage peut être récolté mécaniquement, y compris des zones avec haies (bocages).



2.4. Zones agricoles hétérogènes

Systèmes culturaux et parcellaires complexes (2.4.2.)

Ces systèmes sont issus de la juxtaposition de petites parcelles de cultures annuelles diversifiées, de prairies et/ou de cultures permanentes.



3. FORÊTS ET MILIEUX SEMI-NATURELS

3.1. Forêts

Forêts de feuillus (3.1.1.)

Les forêts de feuillus sont constituées de formations végétales principalement constituées par des arbres, mais aussi par des buissons et arbustes, où dominent les espèces forestières feuillues (plus de 75 % de leur superficie).



Forêts de conifères(3.1.2.)

Les forêts de conifères sont constituées de formations végétales principalement constituées par des arbres, mais aussi par des buissons et arbustes, où dominent les espèces forestières de conifères (plus de 75 % de leur superficie).



3.2. Milieux à végétation arbustive et/ou herbacée

Pelouses et pâturages naturels (3.2.1.)

Ce sont les herbages de faible productivité. Souvent situés dans des zones accidentées ils comportent souvent des surfaces rocheuses, des ronces et des broussailles.
Cette classe n'inclut pas les zones herbacées qui résultent d'activités industrielles.



Végétation sclérophylle (3.2.3.)

Le choix a été de diviser cette classe en deux avec la végétation sclérophylle et la végétation sclérophylle dégradée afin de produire une analyse plus fine de l'évolution du paysage.
Ces classes regroupent la végétation arbustive sclérophylle, le maquis et les garrigues.
Le maquis est constitué d'associations végétales denses composées de nombreux arbrisseaux qui couvrent les terrains siliceux acides en milieu méditerranéen et les garrigues sont formées d'associations buissonnantes discontinues des plateaux calcaires méditerranéens. Elles sont souvent composées de chênes-kermès, d'arbousiers, de lavande, de thym et de cistes blancs. Quelques arbres isolés peuvent être présents.



Forêts et végétation arbustive en mutation (3.2.4.)

La végétation arbustive ou herbacée avec arbres épars (hauteur supérieure à 6 m) compose cette classe. Ce sont des formations pouvant résulter de la dégradation de la forêt ou d'une recolonisation/régénération par la forêt.



4. ZONES HUMIDES

4.1. Zones humides intérieures

Zones non boisées, partiellement, temporairement ou en permanence saturées par de l'eau stagnante ou courante.

Marais intérieurs (4.1.1.)

Cette classe représente les terres basses généralement inondées en hiver et plus ou moins saturées d'eau en toutes saisons.



Source: CORINE Land Cover France, Clés d'interprétations de la nomenclature. Février 2009, Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de l'aménagement du territoire.
Photographies aériennes issues de la BD Ortho 2003.

Salins-de-Giraud

La légende pour le site des Salins de Giraud est basée sur l'identification des grands habitats présents.

Plage et sol nu

Cette classe regroupe la plage bordant la mer constituée de sable et les espaces de sol nu, c'est-à-dire recouvert ni de végétations ni d'eau.



Salins, étangs et lagunes

Cette classe correspond aux surfaces recouvertes par de l'eau.
Les salins sont identifiables sur les photographies de 2003, ce sont des étangs de pré-concentration mis en place à partir des aménagements en 1965. Avant cette date, les surfaces en eau sont des lagunes naturelles communiquant avec la mer par des graus.



Dunes

Ce sont les zones hautes sableuses littorales, à végétation non halophile. Les dunes cartographiées prennent en compte les bas marais dunaires et les prés salés.

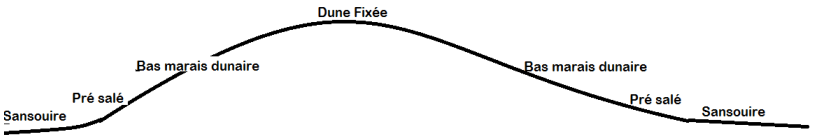


Schéma représentant une dune littorale



Sansouire haute

Cette classe représente les zones à végétation halophile haute, à fort recouvrement. En effet, la sansouire haute se caractérise par une flore halophile structurée en touffes densément distribuées, presque buissonnantes jusqu'à 80 centimètres de hauteur. Cette végétation forme des ceintures étroites autour des marais. La salicorne ligneuse (*Sarcocornia fruticosa*) en est la principale espèce.



Sansouire basse

Cette classe représente les zones à végétation halophile basse, à faible recouvrement. La sansouire basse est une flore halophile essentiellement composée de salicorne à gros épis (*Arthrocnemum macrostachyum*). D'aspect moutonnée, elle est composée de touffes arrondies très espacées les unes des autres.



Cabanons

Ce sont les cabanes situées à Beauduc habitées de manière permanente ou occasionnelle, construites en majeur partie à partir de matériaux trouvés sur le lieu.



Boisements

Cette classe correspond aux zones à la végétation ligneuse. Les boisements sont essentiellement composés de pins d'Alep (*Pinus halepensis*), pins maritimes (*Pinus pinaster*) et pins pignon (*Pinus pinea*).



Digues et chemins



Photographies aériennes issues de la BD Ortho 2003.

Table des cartes

Carte n°1 Limite de la zone d'étude pour le site des Salins de Giraud 9

Carte n°2 Limite de la zone d'étude pour le site des Marais des Baux …..... 10

Carte n°3 Occupation du sol des Salins de Giraud en 1944 …..... 17

Carte n°4 Occupation du sol des Salins de Giraud en 2003 …..... 18

Carte n°5 Évolution des surfaces occupées par les salins et les lagunes entre 1944 et 2003 …..... 22

Carte n°6 Évolution des surfaces occupées par la plage et le sol nu entre 1944 et 2003 …..... 24

Carte n°7 Évolution des surfaces occupées par les dunes entre 1944 et 2003 …..... 26

Carte n°8 Évolution des surfaces occupées par les sansouires basses entre 1944 et 2003 … 28

Carte n°9 Évolution des surfaces occupées par les sansouires hautes entre 1944 et 2003..... 29

Carte n°10 Évolution des surfaces occupées par les digues et les chemins entre 1944 et 2003 …..... 31

Carte n°11 Surfaces occupées par les boisements et les cabanons en 2003 …..... 33

Carte n°12 Évolution de la complexification du paysage des Salins de Giraud entre 1944 et 2003 …..... 36

Carte n°13 Occupation du sol des Marais des Baux en 1944 …..... 38

Carte n°14 Occupation du sol des Marais des Baux en 2003 …..... 38

Carte n°15 Évolution des surfaces occupées par les oliveraies et les vergers entre 1944 et 2003 …..... 40

Carte n°16 Évolution des surfaces occupées par les forêts de conifères entre 1944 et 2003 41

Carte n°17 Évolution des surfaces occupées par les forêts de feuillus entre 1944 et 2003 ... 43

Carte n°18 Évolution des surfaces occupées par les forêts de végétation en mutation entre 1944 et 2003 …..... 44

Carte n°19 Évolution des surfaces occupées par les marais entre 1944 et 2003 …..... 45

Carte n°20 Évolution des surfaces occupées par les pelouse entre 1944 et 2003 …..... 46

Carte n°21 Évolution des surfaces occupées par les prairies entre 1944 et 2003 …..... 47

Carte n°22 Évolution des surfaces occupées par la végétation sclérophylle entre 1944 et 2003 …..... 48

Carte n°23 Évolution des surfaces occupées par la végétation sclérophylle dégradée entre 1944 et 2003 …..... 49

Carte n°24 Évolution des surfaces occupées par les systèmes parcellaires complexes entre 1944 et 2003 50

Carte n°25 Évolution des surfaces occupées par les vignobles entre 1944 et 2003 …..... 51

Carte n°26 Évolution des surfaces occupées par les terres arables entre 1944 et 2003 …..... 52

Carte n°27 Évolution des surfaces occupées par les tissus urbains entre 1944 et 2003 …..... 54

Carte n°28 Surfaces occupées par les décharges et les équipements sportifs en 2003 …..... 55

Carte n°29 Évolution de la complexification du paysage des Marais des Baux entre 1944 et 2003 …..... 56

Table des tableaux et graphiques

Tableau n°1 Indices de morphologie du paysage des Salins de Giraud à l'échelle du paysage …..... 19

Tableau n°2 Indices de morphologie du paysage des Salins de Giraud au niveau classe …. 20

Tableau n°3 Indices de morphologie du paysage des Marais des Baux à l'échelle du paysage …..... 37

Tableau n°4 Tableau croisant les surfaces d'occupation du sol de 1944 et 2003..... 57

Graphique n°1 Répartition de l'occupation des sols des Salins de Giraud en 1944 et en 2003 …..... 21

Graphique n°2 Répartition de l'occupation des sols des Marais des Baux en 1944 et en 2003 …..... 39