

MEMOIRE TECHNIQUE
présenté à
L'UNIVERSITE FRANCOIS RABELAIS de TOURS
en vue de l'obtention du
Diplôme d'Etudes Supérieures Spécialisées
« Ingénierie des Hydrosystèmes Continentaux Européens »
par
Prolet PICHMANOVA

Plan d'Action N° 3 Projet DOÑANA 2005
Restauration de la végétation de la plaine inondable de la rivière
Partido
(Andalousie, Espagne)



Cours d'eau Partido (Juillet 2004).

Directeur de stage: Pr. Francisco GARCIA NOVO, Département de Ecologie Végétale, Université de Séville, Espagne.



MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE

DOÑANA
2005

DIRECCIÓN GENERAL
DE OBRAS HIDRÁULICAS
Y CALIDAD DE LAS AGUAS

CONFEDERACIÓN
HIDROGRÁFICA
DEL GUADALQUIVIR



SOMMAIRE

Remerciements.....	3
RESUME.....	4
ABSTRACT.....	5
Liste ABREVIATIONS.....	6
Liste PHOTOS.....	7
Liste FIGURES.....	8
INTRODUCTION.....	9
 CHAPITRE I :.....	 11
LE PARC NATIONAL DOÑANA	
1. Site géographique et superficie.....	11
2. Histoire de la création du parc.....	12
3. Caractéristiques du parc.....	12
4. Paramètres physiques.....	12
5. Gestion de Doñana.....	16
 CHAPITRE II :.....	 19
LE PROJET DOÑANA 2005	
1. Les transformations des marais.....	19
2. Les effets de l'accident de la mine d'Aznalcollar.....	23
3. Le Projet Doñana 2005.....	24
 CHAPITRE III :.....	 27
PROJET DOÑANA 2005.	
PLAN D'ACTION N° 3 : ARROYO DEL PARTIDO	
1. Site d'action.....	27
2. Problématique.....	30
3. Analyse des actions proposées.....	32
• Restauration hydraulique.....	33
• Restauration de la végétation.....	35

CHAPITRE IV :.....	41
EVOLUTION DU PROJET DE RSTAURATION EN ILES DE VEGETATION DE LA PLAINES INONDABLE DE LA RIVIERE PARTIDO	
1. Présentation.....	41
2. La parcelle expérimentale de Rocio.....	41
A. Matériel et méthodes.....	41
B. Résultats.....	45
3. Etude de la structure en îles de végétations de la plaine inondable	
du Partido.....	51
A. Matériel et méthodes.....	51
B. Résultats.....	56
4. Discussion : Evolution de la proposition de restauration de la plaine inondable du Partido.....	64
CONCLUSION.....	71
BIBLIOGRAPHIE.....	72
LISTE ANNEXES.....	75

REMERCIEMENTS

En premier lieu, je tiens à remercier le Pr. Francisco Garcia Novo pour son encadrement de qualité, son savoir, ses connaissances linguistiques et sa confiance.

Merci de m'avoir donné l'opportunité de travailler au sein du programme « Donana 2005 ».

Ma sincère gratitude à Daniel, pour son aide précieuse dans les méandres de l'informatique, ses conseils et la bonne ambiance de travail qu'il a su instaurer durant tout cet été.

Toute ma sincère reconnaissance à Léo, pour son aide précieuse dans les tâches fastidieuses de traduction, l'amitié, et les fous rires.

Merci à Maria pour ses conseils et son aide.

Gracias à toute l'équipe de l'Université de Séville, pour l'esprit chaleureux et pour les sorties de terrains qui m'ont fait découvrir le site incroyable du Parc National de Donana.

J'aimerais exprimer ma gratitude aux membres du jury qui ont accepté d'examiner mon travail.

Je tiens à remercier le DESS IHCE pour m'avoir donné la possibilité de réaliser cette expérience exceptionnelle.

Muchas gracias a Léo, Isidro, Julio, Aitana, Iris, Dunia, Gui, Nico, Carla, Noe, Josa, Timm, MariPaz, Elena, Marco ...para la amistad, la botellona, las tapas, las fiestas en las azoteas, la playa, los viajes, la ayuda y la paciencia con mi español fatal.

Merci de m'avoir donné la chance d'apprendre l'espagnol et de m'avoir ouvert l'esprit à la culture de Cervantes.

Viva Andalucia, Viva Sevilla, la Alameda y Triana libre (de broma).

RESUME

Le cours d'eau (Arroyo del) Partido est situé au Nord Ouest du Parc National de Doñana (Espagne), dans une zone récemment rachetée par l'Etat espagnol. Au cours des années 80, la rivière fut canalisée. Cela a induit la dégradation de son régime hydrologique et de la ripisylve. Certains méandres de la plaine inondable ont été déconnectés. Dans le cadre du vaste projet de restauration "Doñana 2005", la morphologie naturelle du cours d'eau sera restaurée.

L'objectif de ce travail est de proposer une méthodologie en vue de la restauration de la végétation dans le bassin versant du Partido, au nord des marais d'el Rocio.

Le modèle théorique proposé est représenté par des îles de végétation thermo- méditerranéenne qui caractérise les zones du Parc. Afin d'identifier les types communs d'îles, des données sur la composition spécifique, la structure verticale et la typologie des individus ont été collectées de mai 2004 à septembre 2004. Le taux de croissance, de survie et des facteurs limitants l'expansion des plantes ont été estimés au sein d'une parcelle expérimentale.

L'étude a démontré qu'une île est une unité fonctionnelle et structurelle, composée par des espèces récurrentes qui interagissent entre elles. Les principales variables qui réduisent l'expansion des végétaux sont la sécheresse, les inondations, le pâturage et le piétinement par le bétail. Ces variables ont été intégrées dans le projet de restauration. Toutefois, celui ci est incomplet car la dynamique spatiale et temporelle des îles demeure inconnue. Les campagnes de terrain se poursuivent actuellement.

Mots clés : végétation, restauration, îles, composition, structure, dynamique

ABSTRACT

The Partido stream is located in the north-west corner of the Doñana National Park (Spain), an area which was recently acquired by the Park. During the Eighties the stream was canalized. This resulted in an alteration of the hydrological regime and a degradation of the riparian vegetation and disconnection of some meanders of their floodplain. As a part of the large European project "Doñana 2005", in the next future the artificial banks will be removed and a rehabilitation of the original course will be accomplished.

The aim of the present work was to indicate the best procedure to restore the ecosystems in the area under the stream's influence, on the north side of El Rocio marshland.

A theoretical model chosen to restore vegetation is represented by islands of thermo-mediterranean plants which characterize many areas of the Park side. In order to identify most common type of islands, we collected from May 2004 to September 2004, data of species composition, vertical structure, individuals topology and distribution of species. The growth and survival rates were estimated and other development limiting factors were evaluated in an experimental parcel.

The study demonstrates that an island is a qualitative, structural and functional unit, composed by recurrent species interacting to each other. The principal variables which restrict the expansion of

vegetation are dryness, flood, grazing and animals stamping. These features are integrated to perform a restoration project. This proposition isn't ultimate because temporal and spatial dynamics are unknown. The field studies are still performed.

Key words: vegetation, restoration, islands, dynamic, structure

LISTE ABBREVIATIONS

ICONA : Instituto Nacional por la Concervacion de la Naturaleza

UNESCO : United Nations for Education, Science and Culture Organisation

CSIC : Consejo Superior de Investigaciones Cientificas

WWF : World Wide Fund for Nature

LISTE PHOTOS

Photo 1	Marais	de	Rocio
	p.13		
Photo 2	Les	dunes	de Doñana
	p.13		
Photo 3	Bosquets	de	<i>Corema</i> <i>album</i>
	p.14		
Photo 4 et 5	Flamants	de	Doñana
	p.15		
Photos 6	Lynx	ibérique	(Lynx Pardina)

	p.15
Photo 7	Le Pr. Francisco Garcia Novo p.26
Photo 8	Expansion du cône de sédimentation du Partido p.30
Photo 9	Cône de sédimentation du Partido (Martinez, 2001) p.31
Photo 10	Image satellite de l'Arroyo del Partido (1 : 60000) p.52
Photo 11	Localisation des îles de végétation p.53
Photo 12	île avec <i>Pistacia lentisco</i> p.58
Photo 13	île dans une pinède p.58
Photo 14	île à une seule espèce p.59
Photo 15	Comparaisons d'îles p.62
Photo 16	Simulations paysagères p.63
Photo 17	Organisation de la pépinière p.67
Photo 18	Paysage actuel des terrains agricoles abandonnés p.69
Photo 19	Futur paysage espéré après restauration de la végétation p.69

LISTE FIGURES

Fig. 1	Situation géographique du Parc National de Doñana	p.11
Fig. 2	Schéma du fonctionnement du système hydrologique des marais de Doñana	p.19
Fig. 3	Transformation du système hydrologique de Doñana	p.22
Fig. 4	Situation du bassin versant du Partido	p.27
Fig. 5	Bassin versant du Partido étendu sur 425 km ²	p.29
Fig. 6	Travaux de restauration de la plaine inondable originelle	p.34
Fig. 7	Composition proposée pour les îles de végétation restaurées	p.38
Fig. 8	Disposition des îles en trames entrecroisées	p.39
Fig. 9	Localisation de la parcelle expérimentale	p.42
Fig. 10	Schéma théorique de la parcelle expérimentale	p.43
Fig. 11	Niveaux et disposition des excavations dans la parcelle	p.44
Fig. 12	Evolution annuelle des températures dans la parcelle	p.45
Fig. 13	Evolution annuelle des précipitations dans la parcelle	p.46
Fig. 14	Evolution annuelle du niveau de la nappe phréatique	p.47
Fig. 15	Analyse de la composition des sols de la parcelle	p.47
Fig. 16	Evolution annuelle du niveau d'eau dans les excavations	p.48
Fig. 17	Evolution annuelle de l'abondance totale et de la croissance sp. parcelle	p.49
Fig. 18	Evolution annuelle de la croissance relative des végétaux	p.49

Fig. 19	Evolution de la diversité totale et celle des parcelles de 1m ²	p.50
Fig. 20	Typologie verticale des sp. végétales.	p.55
Fig. 21	Analyse de la composition des sols dans les sites des îles	p.56
Fig. 22	Transect de la structure horizontale de la végétation sur 100m	p.60
Fig. 23	Répartition des îles selon leur superficie	p.61

INTRODUCTION

Le parc national de Doñana, en Andalousie (Espagne), est le plus grand sanctuaire européen pour les oiseaux migrateurs d'Europe et une des plus grandes zones humides. C'est le plus vaste Parc National d'Espagne, Réserve de Biosphère, inscrit au Patrimoine Mondial de l'Humanité de l'Unesco. Doñana héberge les derniers marais préservés du delta du Guadalquivir, ainsi qu'une large bande littorale sauvage. Ces marais ont subi durant le siècle dernier de nombreuses transformations et dégradations. Il peut être cité en exemple les altérations et les rectifications des cours d'eau, le drainage, la mise en culture, la déforestation des rivières et des bassins versants, la pollution de l'eau et l'exploitation des aquifères. Les Administrations publiques conscients du problème ont engagé par le passé plusieurs tentatives de restaurations de ces écosystèmes. Toutefois c'est seulement après la pollution majeure induite par l'explosion du réservoir de boues de la mine d'Aznalcollar (Sud Ouest de Séville) que le projet de restauration globale Doñana 2005 a vu le jour. Il a pour objectif principal de stopper la dégradation progressive des marais et de garantir leur future conservation. C'est un projet de grande envergure financé par l'Etat espagnol et la Communauté européenne. Ses actions ne se limitent pas seulement aux zones touchées par l'accident, mais visent une restauration globale de l'ensemble du réseau hydrographique de Donana. Le projet se divise en un ensemble de plans d'actions. L'action n° 3 porte sur la restauration de la rivière Partido, située dans la Province de Huelva (sud ouest de l'Andalousie). Son bassin versant se jette dans les Marais d'el Rocio situés dans le Parc National de Doñana. Cette rivière fut canalisée pour des besoins agricoles, ce qui a induit une altération de son régime hydrologique et la dégradation de la ripisylve.

L'objectif principal du projet de restauration est de lutter contre l'instabilité des sols dans la plaine d'inondation du Partido, de contrôler les processus d'érosion dans le tronçon terminal de la rivière et de ralentir le processus de colmatage des Marais d' El Rocio. Dans ce sens, des travaux hydrauliques sont proposés afin de rétablir le régime naturel du fleuve et de créer des zones de

décantation. D'autres types d'interventions seront menés pour restaurer la biodiversité de la rivière et de sa plaine inondable. Dans les zones les plus dégradées du bassin versant des replantations seront réalisées. L'Action n° 3 de « Doñana 2005 » est supervisée, financée et réalisée par la Confédération Hydrographique du Guadalquivir. Les propositions de restauration sont élaborées par des équipes de recherche des Universités de Madrid, Barcelone et Séville.

Mon stage de DESS s'est intégré dans le développement d'une proposition pour la restauration de la végétation du cours d'eau. Le travail s'est effectué au sein du groupe de recherche de l'Université de Séville, sous la direction du Pr. Francisco Garcia Novo, au sein du Département d'Ecologie Végétale.

L'objectif de ce travail fut d'élargir et de compléter le projet de restauration proposé par le Dr. Lamirani-Alaou et le Pr. Francisco Garcia Novo, chercheurs à l'Université de Séville. L'approche a consisté à évaluer le développement de populations de végétation autochtones plantées dans une parcelle expérimentale et à étudier la structure et la composition des modèles d'îles naturelles présentes à proximité des zones à restaurer. Le but de cette étude sera d'émettre un ensemble de recommandations en vue de garantir l'intégrité fonctionnelle et la viabilité des communautés végétales replantées.

CHAPITRE I : LE PARC NATIONAL DE DOÑANA

1. SITUATION GEOGRAPHIQUE ET SUPERFICIE

Le Parc National de Doñana se situe sur la côte Atlantique dans le sud de l'Espagne, à 50 km sud-ouest de Séville, entre les villes côtières de Huelva et Sanlúcar de Barrameda et la rive droite du Guadalquivir. Ses coordonnées sont 36°48' - 37°08'N et 6°16' - 6°34'W. L'altitude du parc est de 40m au dessus du niveau de la mer (fig. 1).



Fig. 1 Situation géographique du Parc National de Doñana, (Novo, 1997).

La superficie totale du site est de 77260ha. Le Parc National couvre 50 720 ha et la zone tampon du Parc Naturel de Doñana couvre 26 540 ha.

73% de cette aire est propriété de l'Etat.

17% appartient aux Municipalités.

9% sont des terrains privés que l'Etat est en train de racheter.

1% correspond aux terrains qui restent propriété privée.

Le Parc Naturel (zone tampon) est entièrement composé de terrains privés (Novo, 1997).

2. HISTOIRE DE LA CREATION DU PARC

En 1963, le WWF et le Conseil de Recherche Scientifique Supérieur espagnol achètent le premier terrain de Doñana (6794 ha) et y installent un site de recherche scientifique. En 1965, Doñana reçoit une protection légale sous forme de Réserve Biologique. En 1969, le site est déclaré Parc National par décret et sa zone s'agrandit (34 625 ha). Quatre ans plus tard le parc est décrété Zone de Refuge Absolu. En 1980, Doñana est reconnue comme Réserve de la Biosphère. Sa superficie atteint 77 260 ha. Par la suite le site est déclaré Aire de Zones Humides d'Importance Internationale, par la Convention de Ramsar (1982) et est inscrit par l'UNESCO au Patrimoine Mondial de l'Humanité (1984). Enfin l'Union Européenne désigne le Parc comme Zone spéciale de Protection des Oiseaux par la Directive 79/409 (1988) et Doñana rentre en 1990, dans la liste Montreux des Sites menacés, établie par la Convention de Ramsar.

3. CARACTERISTIQUES DU PARC

- LE CLIMAT

Le climat est de type méditerranéen avec des influences océaniques, marqué par des étés secs et chauds et des hivers humides et doux. La moyenne annuelle des températures est de 17°C, (en été celle-ci est de 25°C et en hiver de 9,3°C). La moyenne annuelle des précipitations est de 525mm. En décembre, les précipitations peuvent atteindre 90 à 110 mm (Novo, 1997).

4. PARAMETRES PHYSIQUES

Le Coto Doñana est une vaste zone côtière de marécages séparés de l'océan Atlantique par des aires de dunes et sujets à des variations saisonnières de niveau d'eau et de salinité. Les trois principales composantes de la réserve sont les marais, les dunes et les bruyères. Presque la moitié de sa superficie est occupée par des marais (photo 1) issus des déviations du delta du Guadalquivir (27000ha). Toutefois, leur surface a été réduite de 80 % au cours du siècle dernier. Aujourd'hui, bien que leur principale source d'apport en eau sont les précipitations, les marais de Doñana sont aussi alimentés par la rivière de la Madre des Marais del Rocio qui coule parallèlement aux dunes côtières, ainsi que par le Guadiamar. Il existe également des canaux secondaires (« caños ») sculptés par le drainage naturel, mais aussi des dépressions qui forment une mosaïque d'habitats : des mares, des cours d'eau, des zones de boue, des îles, des lits de roseaux et des terrasses (Novo, 1997).



Photo 1 Marais de Rocio, (Novo, 1997).

Les dunes côtières (photo 2) mesurent environ 2km de long, 200m de large et 40m de haut. Elles longent la côte sur une distance de 25 km regroupées dans quatre principales rangées de 3 - 5 km de largeur.



Photo 2 Les dunes de Doñana, (Novo, 1997).

Les dunes littorales sont mobiles. Elles bougent d'environ 4 à 6m par an. Leur superficie est de 7000ha.

Les dunes internes sont stabilisées par de la garrigue. Entre elles on trouve des lagons et des marais, ainsi que des bruyères qui constituent un écotone étroit. Les bruyères sont la zone la plus stable et la plus diversifiée du Parc.

- LA VEGETATION

Les plantes des dunes du Parc présentent des affinités Atlantiques et Nord Africaines et un degré notable d'endémisme.



Photo 3 Bosquets de *Corema album*, 2004 (plante caractéristique des dunes de Doñana).

A peu près 750 espèces de plantes différentes ont été identifiées dans le Parc National de Doñana. Quatre espèces menacées sont présentes: *Linaria turisca*, *Mycrophysis tuberosa*, *Gaudinia hispanica* et *Vulipia fontquerana* (Novo, 1997).

- LA FAUNE

Les espèces de Doñana sont majoritairement Méditerranéennes, mais il existe également quelques espèces Nord Africaines et Nord Européennes. Les marais constituent la plus importante zone d'hivernage de la péninsule ibérique pour les oiseaux aquatiques et fournissent des conditions idéales pour les oiseaux migrateurs. Les dunes de bruyères sont des habitats privilégiés pour les mammifères.

Doñana possède une exceptionnelle diversité spécifique d'oiseaux. On compte au total près de 360 espèces sédentaires et migratrices. En effet, le parc se situe sur la plus importante voie de migrations des oiseaux reliant l'Europe et l'Afrique, environ 6 millions d'oiseaux y transitent chaque année. (Ex: le sarcelle *Anas crecca*, l'oie cendrée *Anser anser*, la cigone *Ciconia ciconia*, , la gallinette pourpre *Porphyrio porphyrio*, la spatule *Platalea leucorodia*, le flamant *Phoenicopterus ruber* (photo 4 et 5) .



Photos 4 et 5 Flamants de Doñana. (Novo, 1997).

Parmi les rapaces, on trouve 15 couples de l'aigle impérial espagnol *Aquila heliaca adalberti*.

Le parc de Doñana abrite également 50 représentants du lynx ibérique *Lynx pardina* qui est une espèce menacée. La population est en constante régression mais des mesures ont été prises en compte pour éviter sa disparition (UNESCO 2002).



Photo 6 Lynx ibérique (*Lynx pardina*), (Novo, 1997).

- L'HERITAGE CULTUREL DU PARC

A partir 1262, le Parc de Doñana fut le lieu favori de chasse des anciens rois d' Espagne: Alfonso X, Ferdinand II, Charles V, Philip II, Philip V et Alfonso XIII. Le lieu a été cède aux Ducs de Medina sidonia en 1300 qui l'ont préservé comme zone de chasse pendant près de 500 ans. La duchesse Ana qui vécut sur le site est supposée lui avoir donne son nom.

- POPULATION LOCALE

Les principales activités dans le Parc de Doñana sont la collecte de bois, la production de charbon, le pâturage, l'apiculture et la pêche. Les cultures de riz et les cultures maraîchères dans les zones adjacentes sont un constant problème. Il en est de même pour

les infrastructures touristiques créées à Matalascañas, ville côtière qui accueille 30 à 40000 touristes par an. Il existe aussi une fêria religieuse dans le village de El Rocio, de plus en plus contrôlée par l'administration du Parc.

5. GESTION DE DOÑANA

- **La Recherche scientifique**

Les travaux de recherche du Parc de Doñana sont d'importance internationale. De nombreuses études sont menées en ornithologie, zoologie, botanique, écologie, entomologie, limnologie, géographie, éthologie, sur les pesticides et sur les maladies. Un suivi constant des conditions de vie des animaux est réalisé.

L'ensemble des études scientifiques sont coordonnées par le directeur de la Station Biologique de Doñana. Cette dernière dépend directement du Conseil de Recherche Scientifique Supérieur et fonctionne depuis 1964.

- **Plan de Gestion**

Le Parc National de Doñana est géré par un Comité de 32 représentants de propriétaires terriens locaux, des fermiers et des conservateurs. Doñana est gérée par le CSIC et ICONA.

Le parc possède un plan de gestion, mis à jour tous les quatre ans. Doñana est protégée par la loi des risques liés au drainage, la chasse, l'exploitation forestière et le développement touristique. En 1991, le Plan de Gestion établit une zonation du Parc. Celle-ci inclut :

- Une zone d'usages où l'on trouve des constructions, des hameaux, etc. (173 ha)
- Une zone récréative avec des centres d'information pour les visiteurs et des sentiers (382 ha)
- Une zone intermédiaire à accès restreint où les touristes peuvent circuler librement (100ha)

- Enfin la Réserve Naturelle et la zone scientifique totalement fermée. L'accès est strictement réservé au personnel du Parc, aux chercheurs, aux propriétaires et aux personnes autorisées (50065 ha).

Les zones environnantes (parcs naturels) sont sous la tutelle de l'Institut Andalou de la Reforme Agricole et de l'Agence Environnementale du Gouvernement d'Andalousie. Cependant il y a peu de coopération entre ces organismes.

Au point de vue de la végétation, les espèces exotiques sont graduellement remplacées par des espèces locales. L'Administration a entrepris la tâche ambitieuse de restaurer le maquis naturel en éliminant les plantations d'eucalyptus et de pins.

Les lignes électriques ont été enterrées pour réduire la mortalité des oiseaux.

En 1998 a aussi été mis en place le projet Doñana 2005, qui sera détaillé ultérieurement.

• Contraintes

Les pollutions d'origine agricole comme les nitrates constituent un problème important. D'autre part le régime hydraulique des marais a été fortement modifié. Les pressions sur l'eau ont des effets désastreux sur les espèces sauvages à l'intérieur de la zone protégée. Ce point sera traité dans le chapitre suivant.

Le développement d'infrastructures touristiques, le braconnage, la pêche clandestine perturbent fortement la nidification des oiseaux. Le pâturage constitue également un ennui sérieux. Ces contraintes ont aussi conduit à l'inscription du site de Doñana au Registre Montreux de Ramsar des zones qui nécessitent une attention particulière.

En 1998, le Parc de Doñana a été menacé d'une contamination de 6 millions de tonnes de métaux lourds à cause de l'accident de la mine

d'Aznacollar située à 40 km au nord et qui a contaminé les eaux du Guadiamar.

En 2002, un besoin de plan de gestion de l'irrigation et des projets de construction dans les zones entourant le parc afin de minimiser les impacts écologiques sur les zones protégées a été enregistré dans le Registre 2002 de l'UNESCO.

- **Personnel**

L'Equipe du Parc de Doñana est composé de 178 personnes dirigées par le Directeur Conservateur. Parmi eux 79 sont des employés permanents et 99 saisonniers. 11 personnes de l'équipe travaillent dans le domaine de la conservation. Ils sont assistés par 42 ouvriers. Le service public possède 33 représentants et il y aussi 77 gardes. Le reste des employés travaille dans l'administration. On note également la présence d'un conseiller de l'Union Européenne.

- **Adresses des organismes de gestion**

ICONA National Park Departement, Gran Via de San Francisco 4
28005,
Madrid.

Parque Nationale de Doñana, Centro Administrativo El Acebuche,
21760 Matalascañas,
Huelva.

Station biologique de Doñana , Avda. Maria Luisa, s/n. Pabellon de
Peru,
41 071 Sevilla.

CHAPITRE II : LE PROJET DOÑANA 2005

1. LES TRANSFORMATIONS DES MARAIS

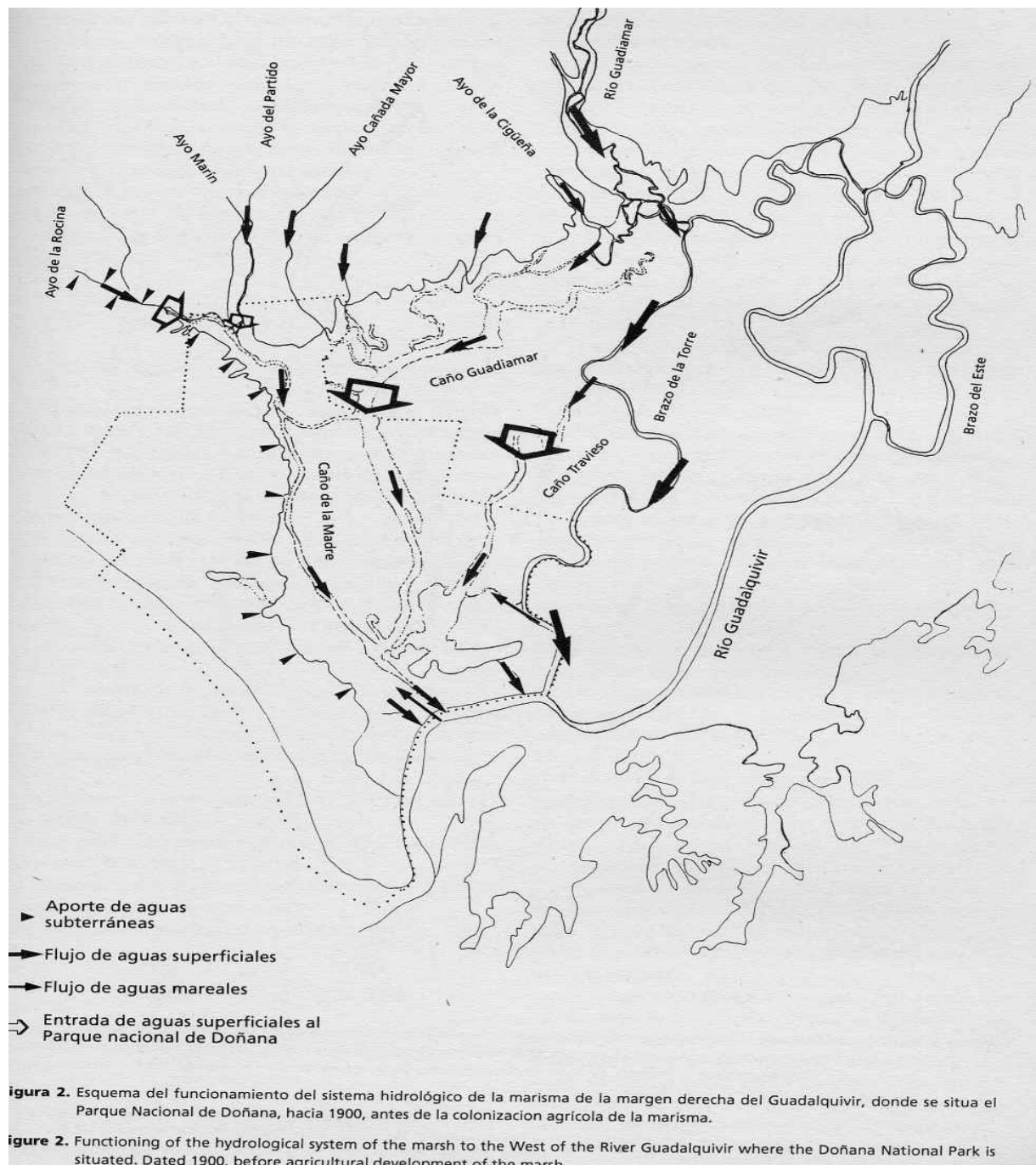


Fig. 2: Schéma du fonctionnement du système hydrologique des marais de Doñana en 1900, avant les transformations agricoles, (Uridiales (1995)).

Le système hydrologique de Doñana (fig. 2)

Les marais du Parc National de Doñana sont alimentés originellement de façon fluviale, maréale, pluviale et souterraine. Les eaux superficielles représentent l'apport en eau majoritaire (Urdiales, 1995).

Le système hydrologique superficiel est alimenté principalement par :

- Les eaux douces du cours d'eau Rocina, auxquelles s'ajoutent les contributions des eaux souterraines issues du drainage de l'aquifère 27. Les débits moyens oscillent entre 1-1,5 Hm³/ an durant les années sèches et 73Hm³/an durant les années de plus fort taux de précipitations.
- Les apports du Guadiamar et des cours d'eaux qu'il alimente (Bras du Torre et le Travieso). La contribution moyenne de ces cours d'eaux est de 223Hm³/ an mais en période de crue les débits peuvent atteindre 724Hm³/an.
- A cela s'ajoutent les apports des cours d'eau Marin, Cañada Mayor, Cigüena et du cours d'eau Partido (dont le débits en période de crue sont de 200m³/ s).

L'ensemble des flux de ces bassins versants inonde progressivement les marais du Parc de Doñana. L'excédent en eau est évacué dans le Guadalquivir par un ensemble de canaux naturels. La capacité maximale d'inondation de la cuvette des marais de Donana, avant les altérations du système hydrologique fut de 135Hm³, ce qui représentait une superficie inondée de 26 722 Ha.

Au siècle dernier, les fonctions hydrologiques des marais de Doñana ont été modifiées de manière significative par les activités humaines. Le lit du Guadalquivir a été fortement bouleversé pour faciliter la navigation et les marais ont été drainés pour les besoins agricoles (Chans, 2001).

Les traits le plus marquants de ces transformations furent (fig. 3) :

- La construction de réservoirs sur les bras du Torre, le drainage et les courts-circuits du lit du Guadalquivir. Ces processus ont aboutit a une sensible diminution de l'apport en eau salée dans les marais durant les périodes estivales.
- La perte des fonctions hydrologiques des rivières Guadiamar et Travieso à cause de la déviation et la canalisation du Guadiamar. De ce fait la surface des marais du Guadalquivir a diminué de moitié car ils sont seulement approvisionnés de façon superficielle par le cours d'eau Rocina. A cause de ces altérations, l'approvisionnement en eau des marais aujourd'hui est principalement pluvial et non plus fluvial et maréal comme se fut le cas dans le passé.
- La transformation des bassins hydrographiques du canal de la Rocina et de la rivière Partido (Voir chapitre III). Ces deux hydrosystèmes ont subi des rectifications de leurs lits et des déforestations sur leur bassin versants. Les phénomènes d'érosion, de transport et de sédimentation qui en résultèrent, ont induit le colmatage du secteur Nord Ouest des marais de Doñana.
- Enfin l'ensemble des cours d'eau qui alimentent les marais de Doñana est sujet à des pollutions de type organique, agricole et minière.

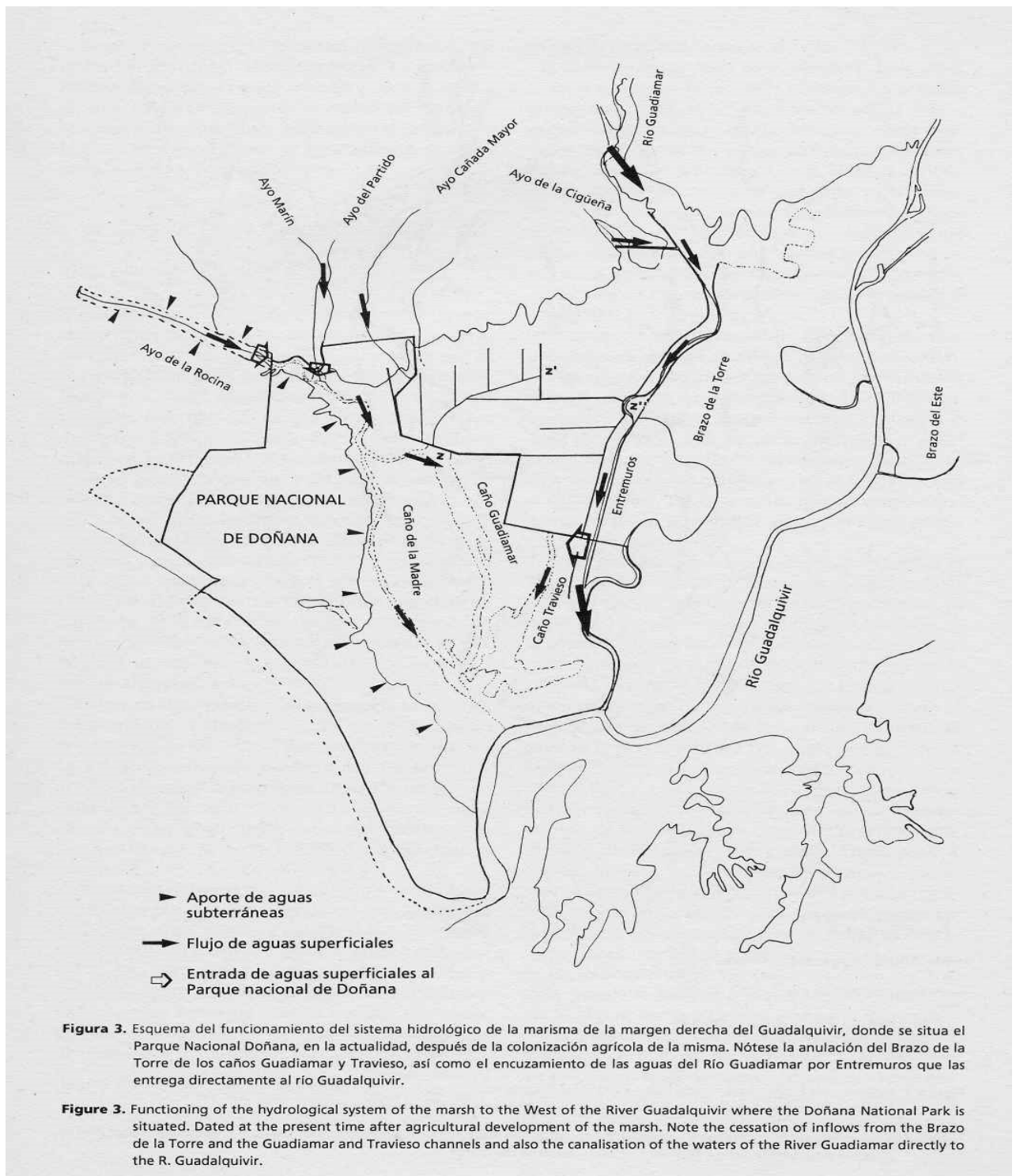


Fig. 3 Transformation du système hydrologique de Doñana de nos jours. Se notent les coupures du bras du Torre, du Gudiamar et du Travieso et la chenalisation des eaux de Gudamar dirigé vers le Gudalquivir, (Uridiales (1995)).

2. LES EFFETS DE L'ACCIDENT DE LA MINE D'AZNALCOLLAR

Le 25 avril 1998, la paroi externe et interne du réservoir de résidus toxiques de la mine d' Aznalcollar (Au Nord Ouest de Seville) se rompt. Un volume total de 4,5 hectokilometres cubiques de boues toxiques ont envahi la rivière Agrio et de là le Guadiamar sur une distance totale de 55,6 km.

Les eaux et les boues toxiques déversées dans le Guadiamar ont provoqué le débordement des eaux du fleuve et la contamination des zones riveraines. L'aire touchée par les boues s'est étendue sur à peu près 2 600 hectares et sur plus de 40 km du lit du cours d'eau.

Malgré ces interventions les boues toxiques ont eu des effets négatifs divers sur :

- La faune, la flore et la qualité des sols
- Les activités économiques : la mine a été fermée provisoirement et les agriculteurs ont subi des pertes importantes
- La santé des populations et l'image de marque de la région

C'est une catastrophe écologique majeure puisque l'on se situe dans un environnement naturel exceptionnel entre le Parc Naturel de la Sierra de Aracena au Nord et le Parc National de Doñana au sud du bassin versant du Guadiamar .

A la suite de la catastrophe, le gouvernement central d'Espagne et le gouvernement régional d'Andalousie ont élaboré un plan général de régénération et de restauration de l'ensemble des zones affectées, approuvé le 22 mai 1998 par le Conseil des Ministres espagnol.

Le plan général comporte deux volets principaux :

- Une première composante qui inclut des actions immédiates : l'élimination des dépôts de boues dans le lit du Guadiamar, la mise en place d'un programme de restauration écologique de la zone et de décontamination des sols, le traitement des eaux et

la libération des eaux bloquées. Un budget de 4,5 billions de pesetas fut accordé pour ce volet à la Confédération hydrographique du Guadalquivir par le Décret Royal Loi 4 en 1998, sous forme de crédit extraordinaire.

- En deuxième lieu, le plan inclut le projet Doñana 2005. Le budget initial pour ce projet fut de 15,6 billions de pesetas. Ses objectifs seront traités ultérieurement.
- Le plan incorpore également la création du « Couloir Vert » du Guadiamar qui implique la régénération complète du cours d'eau et des aires adjacentes, l'expansion des forêts riveraines, la diminution des dépôts de sédiments dans les marais et la création de passages pour la faune protégée entre Doñana et la Sierra Morena.

Pour l'ensemble des travaux, le gouvernement espagnol a sollicité l'appui financier de la Communauté européenne.

3. LE PROJET DOÑANA 2005

Le projet Doñana 2005 consiste à restaurer et à réhabiliter le système hydrologique des marais tout en tenant compte des composantes environnementales, sociales, techniques, administratives et culturelles de la région.

Il regroupe plusieurs plans d'actions concernant l'ensemble des cours d'eaux et bassins hydrographiques connectés aux marais du Parc National de Doñana. A savoir, le bassin hydrographique du Guadiamar et les bassins versants des cours d'eaux qui se jettent au niveau des dunes ouest du Parc. Ces plans d'action doivent répondre aux objectifs suivants :

- De restaurer avant 2005 la qualité et la quantité des cours d'eau qui alimentent les marais, en tenant compte de leur hydrodynamique naturelle. Il s'agit de rétablir la fonctionnalité des cours d'eaux afin de permettre des échanges d'eau naturels avec les marais.

- D'établir à tout moment la perméabilité entre les marais de Doñana et ceux de l'estuaire du Guadalquivir.
- De prévenir les éventuels risques d'entrée d'eaux pollués ou surchargés en sédiments.
- De mettre en place un programme de suivi et d'évaluation des projets de restauration qui comprendrait aussi des études scientifiques et des campagnes d'information.

ACTION 1 : Restauration hydrologique et écologique des cours d'eau qui se jettent dans les marais de la ville d'el Rocio (cours d'eau Soto Grande, Soto Chico et La Laguna de los Reyes). (Budget : 7,57 millions d'euros).

ACTION 2 : Construction d'une station d'épuration des eaux usées de la ville d'el Rocio. (Budget : 5,66 millions d'euros).

ACTION 3 : Restauration de la dynamique hydrologique et des écosystèmes du cours d'eau Partido. Le projet de restauration respectif sera détaillé dans le chapitre 3.

ACTION 4 : Restauration hydrologique et écologique du canal et du système de drainage qui alimentent les marais de Gallega, situés dans le secteur Nord du Parc de Doñana. (Budget : 2,56 millions d'euros).

ACTION 5 : Recouvrement de la fonctionnalité du canal du Guadiamar. Cette action comprend aussi la restauration du lit du Guadiamar et des structures hydrauliques publiques. (Budget : 6,5 millions d'euros).

ACTION 6 : Restauration du canal du Travieso, en recouvrant la fonctionnalité du bras du Torre. (Budget : 20, 11 millions d'euros).

ACTION 7 : Restauration de la fonctionnalité maréale et fluviale du bras Torre.

Le Torre est la branche ouest du Guadalquivir. (Budget : 11,04 millions d'euros).

ACTION 8 : Restauration écologique et hydrologique des cours d'eaux Brenes, Cherry, Carrajola, et Figuerola et de leur connectivité avec l'estuaire, le Guadalquivir et le bras Torre.
(Budget : 4,07 millions d'euros).

ACTION 9 : Suivi et évaluation des actions pendant et après l'exécution des projets. (Budget : 1,08 millions d'euros).

ACTION 10 : Projets de recherche (Budget 1,08 millions d'euros) et programme d'information sur le projet Doñana 2005 et volonté de transparence (Budget : 1,04 millions d'euros).

L'ensemble de ces actions sont détaillées en annexes 1.

Le Coordinateur général de Doñana 2005, Felix Perez Myiares, est nommé le 29 mai 1998 par Décret royal. Il est appuyé par un groupe de gestionnaires constitué de représentants de la Confédération Hydrographique du Guadalquivir, de l'Administration du Parc National et de la Station Biologique de Doñana.

En même temps, le projet Doñana 2005 est étroitement coordonné avec le projet du Couloir Vert du Guadiamar.

L'Action 10 a exigé la mise en place d'un comité scientifique, auquel participent des chercheurs issus de la Station biologique de Doñana, des Universités de Madrid, de Cordoue et de Séville mais aussi de l'UNESCO. Leur mission est d'évaluer et d'améliorer les plans d'actions.

D'une importance majeure pour la restauration des zones humides en Europe et dans le monde, le projet Doñana 2005 reçoit l'appui de l'UICN, le Centre Mondial du Patrimoine de l'Humanité et le

Secrétariat de la Convention de Ramsar, de l'Union Européenne, du Comité espagnol du programme Man & Biosphère , du WWF.



Photo 7 : Pr. Francisco Garcia Novo initiateur et intervenant de l'Action Plan n°3 (et sa stagiaire Prolet Pichmanova ...).

CHAPITRE III : PROJET DOÑANA 2005

PLAN D'ACTION N° 3 : ARROYO DEL PARTIDO.

1. SITE D'ACTION :

- CARACTERISTIQUES DU BASSIN VERSANT

SITUATION :

Le cours d'eau Partido est une des rivières qui se jette directement dans les Marais de la ville de Rocio, situés dans le Parc National de Doñana. Son bassin versant s'étend sur les communes de Rociana, Bollulos del Condado, Almonte et Hinojos. Toutes ces communes se situent dans la Province de Huelva (fig. 4).



Fig. 4. Situation du bassin versant du Partido au sein du Parc Naturel et National de Doñana. Au Nord Ouest du Parc National de Doñana, (Lamrani, 2000).

GEOLOGIE :

Le bassin versant du Partido se trouve dans la Dépression du Guadalquivir, au niveau de son bord occidental. Les principales formations géologiques du Nord au Sud sont

- des dépôts de sables qui datent du Pliocène. Ils sont très perméables et s'étendent depuis la route d' Almonte - Hinojos jusqu'à la route Villmanrique - El Rocío.
- des dépôts de sables qui datent du Quaternaire. Ils sont également très perméables.
- Enfin des limons et des sables du Quaternaire qui constituent le fond des marais et qui sont beaucoup moins perméables.

CLIMAT :

Le climat du bassin versant est typiquement méditerranéen avec des influences atlantiques. La moyenne annuelle des précipitations est de 660 mm et celle des températures est de 14,4°C. Ces deux paramètres sont très fluctuants durant l'année. La température moyenne mensuelle en été est de 25°C et de 10°C en hiver. La moyenne mensuelle des précipitations varie entre 90 et 100mm.

HYDROGEOLOGIE :

Sous les éléments géologiques cités précédemment se trouve l'aquifère 27, autrement appelé aquifère Almonte - Marismas. Sa superficie est de 1840 km². Un volume d'eau de 213 hm³ y pénètre tous les ans.

Deux formes d'aquifères se distinguent. Un premier situé au niveau des zones sableuses dont l'eau est très douce mais soumise à de fortes pressions de contamination. Et un second situé au niveau des marais au sud dont l'eau peut être douce mais aussi salée. A ce niveau il y a moins de menace de pollution.

Le niveau de la nappe phréatique varie de 1 à 3 m. Cela dépend de l'amplitude de la sécheresse et des utilisations des exploitations.

BASSIN VERSANT DU PARTIDO :

Le bassin versant du cours d'eau s'étend sur 425 km² et présente un dénivelé de 95m. Il est relativement petit mais possède des caractéristiques naturelles et socioéconomiques importantes qui le singularisent. En effet, la moitié du bassin versant se situe dans le domaine du Parc Naturel de Doñana (zone tampon), et une autre partie se situe au niveau des marais d'el Rocio dans le Parc National de Doñana. Ses principaux affluents sont les cours d'eau Parrilla, Algarrobo, Matanza et Pinar (fig. 5).

OCCUPATION DES SOLS :

Des cultures de céréales ont été développées jusqu'à l'an 2000. Aujourd'hui, la plupart des zones agricoles sont abandonnées car les terres ne sont pas suffisamment fertiles. Sauf dans la partie amont du bassin versant où l'on trouve des oliviers et des cultures de fruits (voir annexes 2). Les parties basses sont utilisées pour l'élevage de chevaux et le pâturage.

Le site a subi de replantations massives de pins et d'eucalyptus. Il a été également utilisé pour des pratiques cynégétiques (l'élevage de lapins) et l'apiculture.

2. PROBLEMATIQUE

Ces terrains agricoles ont subi d'importantes déforestations et du pastoralisme abusif. Ceci a eu des effets fortement négatifs sur la diversité végétale et la stabilité des sols.

Le lit de Arroyo del Partido fut rectifié et canalisé. En conséquence, la rivière a perdu ses anciens méandres, sa profondeur, sa largeur et la vitesse de l'eau ont augmenté. Une grande partie de sa plaine inondable a disparu (Montes, 2003).

La conséquence de ces transformations fut une augmentation importante des débits en période de crue, de graves problèmes d'érosion et un très grand transport de sédiments qui ont provoqué la colmatage progressif du lit de la rivière et des Marais d'el Rocio situés dans le Parc national (150 ha).



Photo 8 Expansion du cône de sédimentation du Partido dans les
Ma



Photo 9 : Cône de sédimentation du Partido (Martinez, 2001)

L'objectif principal de ce projet de restauration est de lutter contre l'instabilité des sols dans la plaine d'inondation de l'Arroyo del Partido, de contrôler les processus d'érosion dans le tronçon terminal de la rivière et de ralentir le processus de colmatage des Marais d'el Rocio.

Ce projet correspond à l'Action n° 3 du Projet Doñana 2005. Il est supervisé, financé et réalisé par la Confédération Hydrographique du Guadalquivir. Les propositions de restauration sont élaborées par des équipes de recherche des Universités de Madrid, Barcelone et Séville.

ETUDES PRELIMINAIRES

Les travaux déjà réalisés au stade actuel dans le cadre de ce projet ont abouti aux conclusions suivantes (Montes, 2003) :

- Il a été noté la concentration d'un grand volume de sédiments en suspension du fait des crues et de l'érosion des sols. Ces sédiments se déposent dans les marais de Doñana.

- Autrefois, les crues se répandaient dans la plaine d'inondation avant d'arriver dans les marais. De ce fait le débit de l'eau ne permettait pas de générer suffisamment de force de traction afin de vaincre la résistance des sédiments et d'initier leur mise en mouvement.
- La canalisation du Partido a causé l'augmentation de la pente hydraulique et la profondeur de l'eau. Ainsi durant les crues la tension d'arrachement des sédiments est fortement élevée, ce qui provoque l'érosion du lit et des rives. De ce fait la charge solide qui arrive jusqu'aux marais est nettement plus importante. Ce phénomène explique l'avancement du cône de déjection à l'intérieur des Marais d'el Rocio.
- Les analyses hydrauliques réalisées ont démontré que pour la restauration d'Arroyo del Partido il ne suffit pas d'intervenir sur le tronçon terminal de la rivière mais qu'il est indispensable de travailler sur l'ensemble du bassin versant afin de diminuer la quantité de charge solide qui arrive au niveau des marais.
- La restauration hydrologique du tronçon final du Partido devrait permettre de retrouver la plaine d'inondation d'antan de la rivière.

3. ANALYSE DES ACTIONS PROPOSEES

Le Plan d'action N.3 du Projet Doñana 2005 poursuit trois principaux objectifs :

- **Réduction du débit solide apporté par le bassin versant.**
- **Reconstruction d'un cône de sédimentation dans une zone habilitée**

- **Diminution du débit liquide de la rivière qui entre dans les marais**

- **REDUCTION DU DEBIT SOLIDE**

La diminution du débit solide apporté par le bassin versant se traduit par :

- des actions de reforestation dans les zones extensives.
- le développement de programmes qui favorisent les techniques de culture adaptées de point de vue hydrologique (cultures en courbes de niveau, cultures en bandes, en terrasses, etc. Il est noté que si l'on applique des techniques de cultures qui suivent la ligne de pente maximum ou des courbes de niveau, les pertes de sols peuvent se réduire de moitié.
- la révégétalisation du lit de la rivière et des rives pour réduire les phénomènes d'érosion.

Cette action se fonde sur la restauration du cône de déjection des eaux qui arrivent dans les marais du Parc.

- **DIMINUTION DU DEBIT LIQUIDE**

Cette action aura pour objectif de réduire le débit de la rivière pendant les crues grâce à la mise en place de seuils de franchissement sur le cours d'eau. La réduction du volume de l'eau qui arrive au niveau des marais implique la reconstruction du réseau de drainage initial. Ce travail devra être réalisée avec beaucoup de prudence car la topographie naturelle des terrains favorise le déplacement des masses d'eau du Partido vers le cours d'eau Parilla, ce qui pourrait augmenter considérablement son débit.

RESTAURATION HYDRAULIQUE (fig. 6)

Les travaux les plus importants menés sur le tronçon terminal du cours d'eau sera la construction d'un seuil de franchissement au niveau de la route qui mène de Rocio à Villamanrique. L'objectif principal est de provoquer le débordement du fleuve en cas de crue exceptionnelle, de façon à ce que les eaux puissent être évacuées dans la plaine inondable. En amont de ce seuil sera réalisée une connexion entre le Partido et la Cañada del Piñar qui garantira une répartition correcte des eaux durant les crues et le piège des sédiments provenant de l'amont. Le seuil limitera la vitesse de l'eau et les phénomènes d'érosion conséquents. Ces deux ouvrages seront accompagnés de constructions latérales qui vont diriger l'expansion de l'eau dans la plaine inondable et protéger les écosystèmes riverains.

Un deuxième seuil sera construit sur l'Arroyo de la Canada Pinar. L'objectif de cette structure est de provoquer le débordement du cours d'eau. De cette façon un nouveau cône de déjection peut se développer dans la nouvelle plaine inondable, crée dans les zones expropriées. Des constructions latérales seront mises en place comme dans le cas du seuil précédent.

Les terrains situés sur la rive gauche de l'Arroyo del Partido seront protégés par des constructions latérales (digues) qui vont délimiter la zone à exproprier et qui seront réalisées au moyen de talus tendus.

D'autre part, les digues existantes et les restes de canalisation du cours d'eau seront détruites afin de faciliter le débordement des eaux et d'élever le fond.

Les travaux débuteront en octobre 2004.

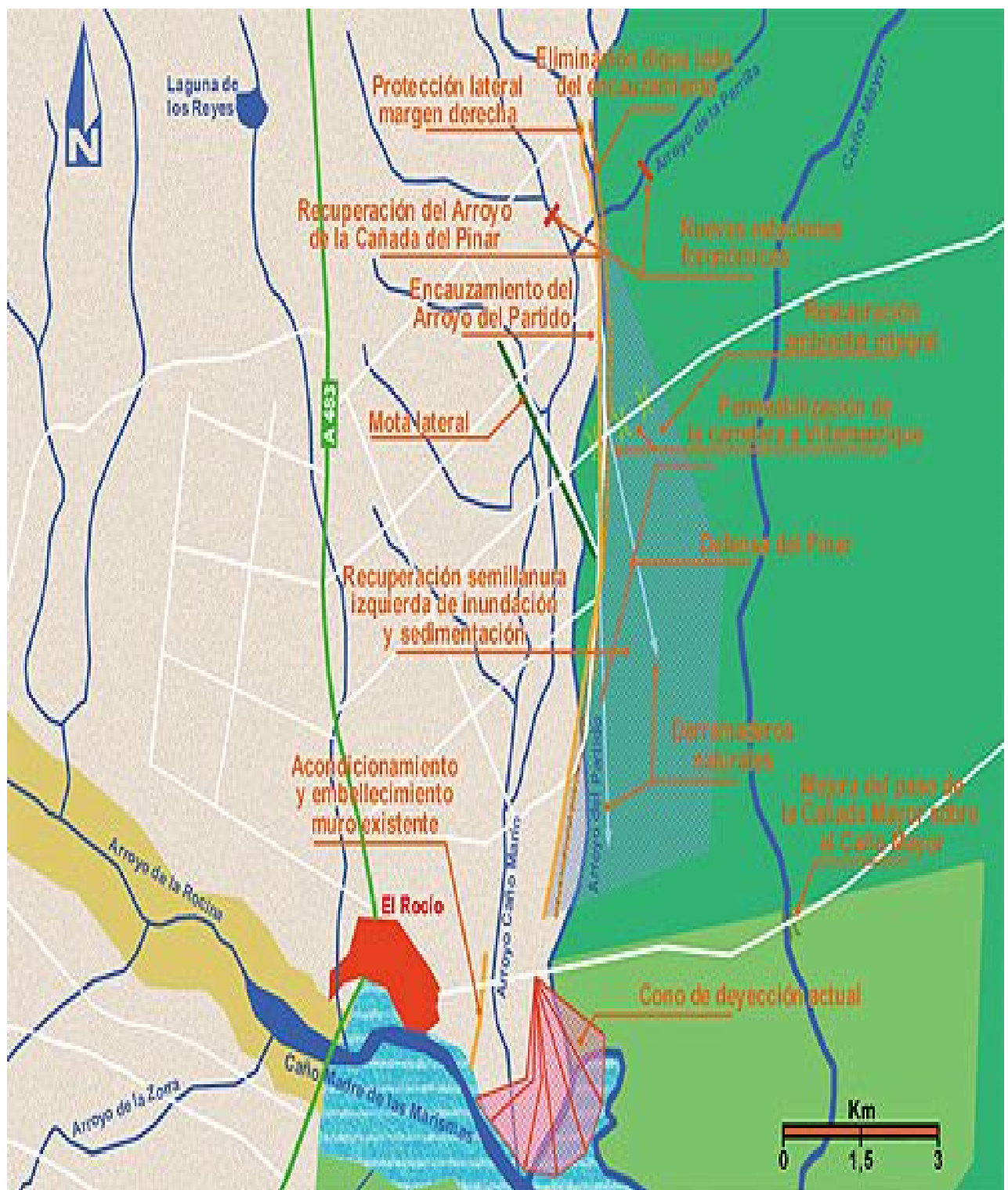


Fig.6. Travaux de restauration proposés de la plaine inondable originelle du Partido.
(Ministerio de Medio Ambiente : www.mma.es/parques/lared/doñana).

Lexique bref: encauzamiento : canalisation, mota : mur, semillanura izquierda : semi plaine inondable de rive gauche, dique : digue, margen : rive, mejora : amélioration, paso : passage, cono de deyección : cône de déjection, restauracion ambiental : restauration environnementale.

RESTAURATION DE LA VEGETATION

Etudes préliminaires : Evolution longitudinale de la végétation dans le bassin versant du Partido

En 2000 a été effectuée une première étude de la végétation de la rivière Partido par un groupe de recherche de l'Université de Séville, sous la direction du Pr. Francisco Garcia Novo, en vue du projet de restauration commandé, réalisé et financé par la Confédération Hydrographique du Guadalquivir. Ce projet a porté sur 35 stations du Nord au Sud le long du cours d'eau. Pour chaque station ont été inventoriés la composition, la structure et la couverture de la végétation selon un transect perpendiculaire au lit de la rivière. Pour chaque transect ont été évalués le profil topographique et les fluctuations mensuelles du niveau superficiel de la nappe phréatique.

Les résultats ont mis en évidence du Nord au Sud cinq principales communautés végétales dans le bassin versant. (Voir schéma en annexes 2).

Le groupe 1 est dominé par des populations d'eucalyptus accompagnés par des espèces arbustives de *Pistacia lentiscus*, *Myrtus communis*, et *Tamarix africana*. Dans le lit on rencontre *Scirpus holoschoenus* et *Cyperus capiatatis*.

Le groupe 2 est dominé par des pins (*Pinus pinea*). Ces deux groupes se caractérisent par des richesses spécifiques importantes avec une moyenne de 16 sp. par station. La largeur du cours d'eau à ce niveau est de 16m en moyenne et la profondeur de 1,45m. Le taux de sol dépourvu de végétation est de 7 %.

Plus au sud se trouve le groupe 3.0 dominé par le Peuplier Noir (*Populus nigra*), accompagné par le Frêne (*Fraxinus angustifolius*). Cette végétation a été inventoriée au niveau des méandres abandonnés et déconnectés du Partido. La richesse spécifique moyenne par station est de 15sp. et le taux de sol dépourvu de végétation est de 20%. La ripisylve est assez bien

conservée puisque le cortège floristique est essentiellement constitué par des espèces arborées et annuelles. Ces méandres sont peu profonds 1,63m et peu larges 27m en moyenne.

Le groupe 3.1 est dominé par des *Tamarix africana* et enfin le groupe 3.2 où l'on trouve essentiellement des herbacées. Ces deux groupes caractérisent les tronçons canalisés et le cône de déjection du Partido. La largeur du cours d'eau est de 75m en moyenne et la profondeur varie entre 8 m (tronçons canalisés) et 4m (tronçons terminaux). La richesse spécifique y est relativement importante avec une moyenne de 14 sp. par station. Mais le cortège floristique est dominé essentiellement par des Herbacées et des populations de *Tamarix africana*. Le taux de sol dépourvu de couverture végétale est de 40 %, ce qui est très élevé.

La distribution de la végétation le long du Partido indique l'importance relative des processus d'érosion - sédimentation et leurs répercussions sur les communautés végétales. D'amont en aval le taux de couverture végétale diminue nettement. La richesse spécifique et l'abondance des espèces reste importante sur l'ensemble des tronçons, mais les espèces arborées sont remplacées progressivement. En aval, les tronçons canalisés sont quasi dépourvus de ripisylve à l'exception du *Tamarix* et de quelques Peupliers Noirs. Le Partido est plus large et plus profond. Les processus d'érosion y sont très importants. Au niveau du delta de sédimentation les espèces arborées sont absentes. Les herbacées et *Tamarix* prédominent largement. On assiste à une véritable invasion de ce dernier. C'est une espèce résistante au soleil, à la sécheresse, bien adaptée aux embruns et aux sols salés et sableux. En effet, la superficie (300 ha) et la hauteur (2 m) du cône de sédimentation déterminent les disponibilités hydriques pour les espèces présentes et favorisent seulement ce genre d'espèces.

Les observations de terrain montrent que dans l'ensemble des groupes les espèces végétales s'associent sous forme d'îles de végétation.

Solutions proposées à la perte de la biodiversité végétale de la plaine inondable du Partido :

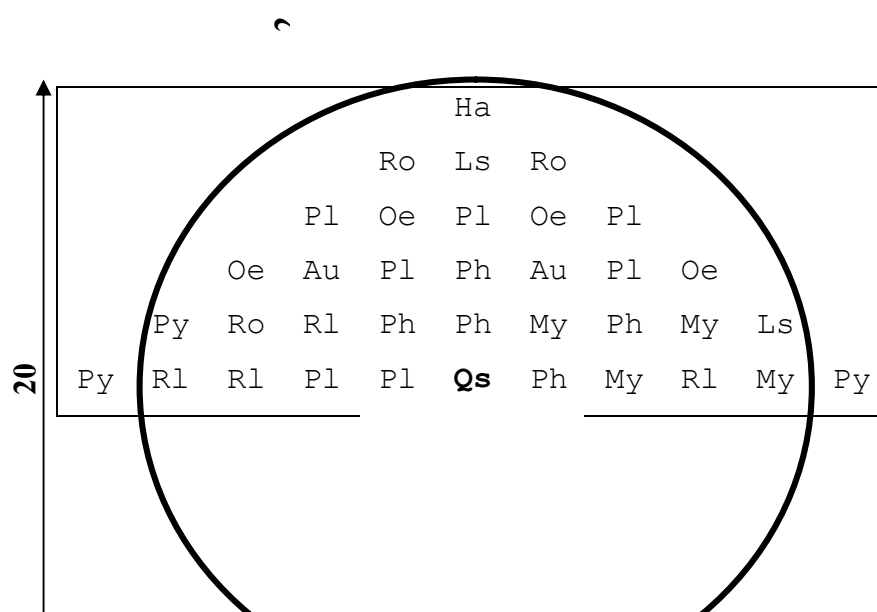
A la suite de cette étude, le Pr. Garcia Novo et le Dr. Lamrani Alaoui ont rédigé une proposition de restauration de la végétation. Leur projet de revégétalisation du bassin versant du Partido se base sur le principe des **îles de végétation replantées** dans les zones agricoles abandonnées.

C'est un modèle qui selon les observations de terrain peut s'intégrer de façon cohérente dans la structure paysagère de la plaine inondable du cours d'eau et dans l'environnement naturel du Parc de Doñana. Grâce à ces travaux il est supposé:

- Augmenter la résistance de circulation des eaux, la capacité laminaire de la plaine d'inondation et le taux de sédimentation dans la plaine inondable.
- Restaurer la biodiversité caractéristique de cet écotone.
- Améliorer l'effet filtre des nutriments et des polluants d'origine diffuse.

- Améliorer la qualité visuelle du cours d'eau.

Structure : Les îles de végétation de 20 m de diamètre seront distribuées selon un schéma ordonné mais d'aspect hasardeux. Chaque île sera composée par un noyau arboré (*Pinus pinea*, *Olea europea*, *Fraxinus angustifolius*, *Populus alba*, *Salix fragilis* et *Quercus suber*). Le choix de l'espèce dépendra de la profondeur de la nappe phréatique et de ses exigences biologiques. Autour de chaque arbre seront plantées des buissons nobles (Type I (Herrera, 1984)) : *Pistacia lentiscus*, *Rhamnus lycioides*, *Myrtus communis*, *Phillyrea angustifolia*, *Arbutus unedo* etc. Leurs fruits seront une source de nourriture pour l'avifaune. Sur le bord de chaque île seront plantées 4 à 6 espèces d'arbustes secondaires (Type II Herrera, 1984): *Lavandula stoechas*, *Halimium halimifolium*, *Rosmarinus officinalis*, *Daphne gnidium*, *Cistus salvifolius*, *Callina vulgaris*. Ils constitueront un patron caractéristique des premières phases de succession. A cela s'ajouteront les phréatophytes comme *Tamarix africana*, *Scirpus sp*, *Arundo donax* et *Phragmites australis*. (fig. 7).



Py	Ro	Rl	Ph	Ph	My	Ph	My	Ls
	Oe	Au	Pl	Ph	Au	Pl	Oe	
		Pl	Oe	Pl	Oe	Pl		
			Dg	Ls	Dg			
				Ha				

20

Fig. 7 Composition proposée pour les îles de végétations restaurées (Lamrani- Alaoui, 2000). **Arbres:** *Quercus suber* (Qs), *Pinus pinea* (Pp), *Olea europaea* var. *sylvestris* (Oe), *Fraxinus angustifolia* (Fx), *Populus alba* (Pa) y *Salix fragilis* (Sx) **Arbustes nobles I:** *Pistacia lentiscus* (Pl), *Rhamnus lycioides* sbsp. *oleoides* (Rl), *Pyrus bourgaeana* (Py), *Myrtus communis* (My), *Phillyrea angustifolia* (Ph); *Arbutus unedo* (Au).; **Arbustes secondaires II:** *Rosmarinus officinalis* (Ro), *Daphne gnidium* (Dg), *Lavandula stoechas* (Ls), *Halimium halimifolium* (Ha).; **Phréatophytes** : *Tamarix africana* (T), *Scirpus* sp (Sr), *Arundo donax* (Au) y *Phragmites australis* (Pha).

Selon cette proposition de composition, chaque île possède une diversité spécifique très importante.

Les espèces choisies correspondent aux espèces dominantes des communautés végétales matures de la région des Marais de Doñana. Au départ, les îles ne représentent que 10 % de l'aire replantée car on suppose que deux ans après la replantation, les frugivores auraient disséminé les fruits de ces espèces afin de produire de nouvelles îles de végétation.

Disposition proposée pour les îles de végétation (fig. 8) :

Il est proposé de disposer les îles suivant un patron de trames entrecroisées et superposées. Cette disposition permettra de recréer la végétation de façon hasardeuse proche du modèle naturel. Entre les deux trames existera un angle de 30° . Dans la première trame sera respectée une largeur de cadre de 90m. (Ainsi deux îles contiguës de 21m diamètre seront séparées de 70m). Dans la seconde trame, la largeur du cadre est de 70m (50 m de centre à centre d'île). Cela suppose une disposition de 3 îles par hectare.

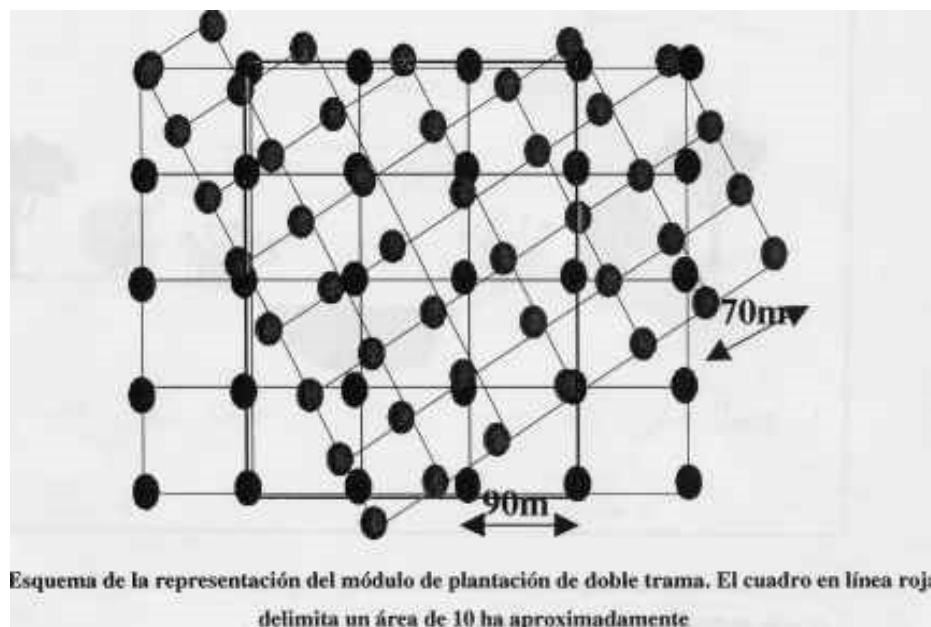


Fig. 8 Disposition des îles en trames entrecroisées séparées par des distances de 90 et 70m (Lamrani - Alaoui, 2000).

BUDGET

Le budget total prévu pour la restauration globale du Partido est de 19 500 000 euros (TVA incluse). 7 500 000 euros couvrent les frais

des projets de restauration et 12 000 000 euros sont destinés au rachat des terrains agricoles abandonnés. Ces sites sont incorporés dans le Parc Naturel de Doñana.

Le coût des travaux hydrauliques est de 5 974 000 euros et celui de la restauration de la végétation est de 1 500 000 euros. A cela s'ajoutent les études de recherche (39 610 euros).

C'est le projet de restauration le plus coûteux en Europe. 30 à 40 % des financements proviennent de l'Etat espagnol et 60 % de la Union européenne.

CHAPITRE IV

EVOLUTION DU PROJET DE RESTAURATION EN ILES DE VEGETATION DE LA PLAINE INNONDABLE DE LA RIVIERE PARTIDO

1. PRESENTATION

La restauration des plantes suppose une connaissance de la biologie des espèces végétales, de la dynamique et des interactions complexes qui s'établissent entre facteurs internes et externes au sein d'une population (structure, morphologie, succession temporelles et spatiales, compétitions, symbioses). Les communautés végétales restaurées doivent pouvoir résister à des influences écologiques variables (climat, disponibilités hydriques et nutritionnels). Pour cela, il est nécessaire d'effectuer des études autoécologiques, démographiques, construire des modèles de viabilité et détecter les variables qui déterminent le déclin des plantes. Afin de développer le projet il faut localiser l'origine du matériel de travail et résoudre les éventuels problèmes techniques et financiers.

Ma mission dans le cadre de cette étude fut de compléter le projet de restauration proposé par le Dr. Lamrani-Alaou et le Pr. Garcia Novo, chercheurs à l'Université de Séville. L'approche a consisté à évaluer le développement de populations de végétation autochtones plantées dans une parcelle expérimentale et à étudier la structure et la composition des modèles d'îles naturelles présentes à proximité des zones à restaurer. Je me suis intégrée aux campagnes de suivi de la parcelle expérimentale qui ont débuté en mai 2003 et j'ai initié le projet d'étude des îles de végétation en mai 2004.

2. LA PARCELLE EXPERIMENTALE DE ROCIO .

A. Matériel et méthodes

En janvier 2003, a été signée une convention entre la Confédération Hydrographique du Guadalquivir et l'Université de Séville pour la mise en place d'une parcelle expérimentale afin d'étudier la régénération des espèces végétales dans les conditions de sédimentation du cône de déjection du Partido.

Localisation : La parcelle se situe sur un terrain municipal de la ville de Rocio, sur la rive gauche du la partie basse du Partido (fig. 9)

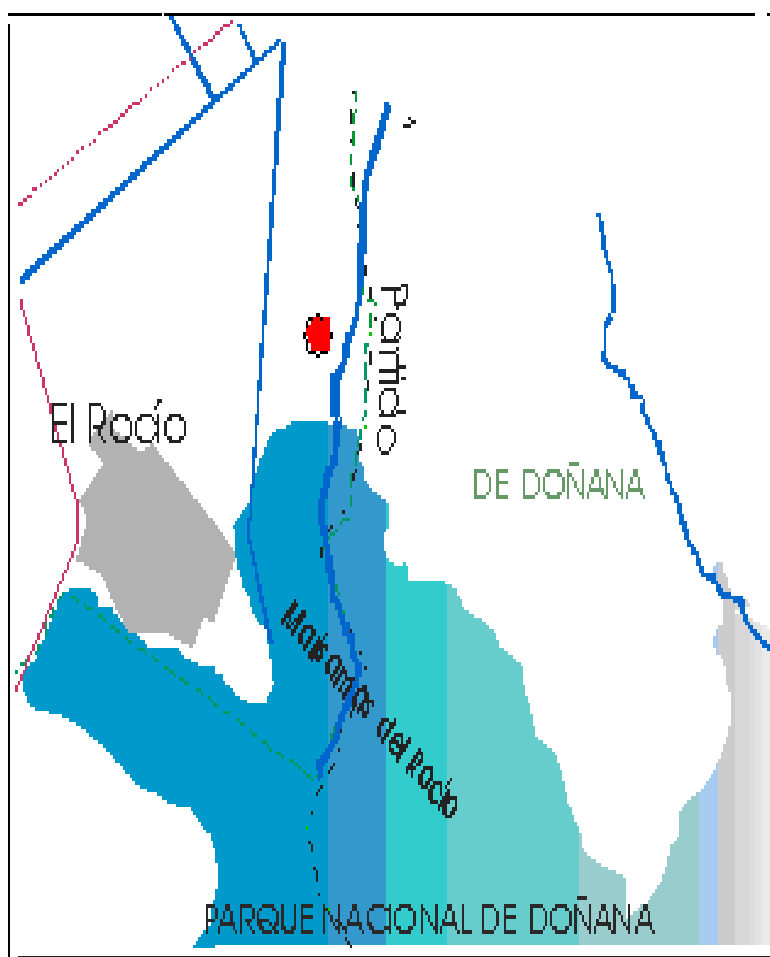
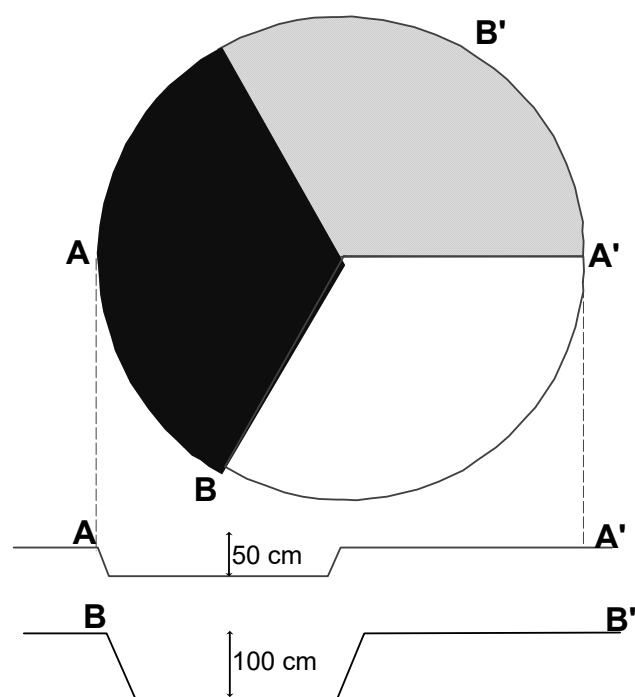


Fig. 9 Localisation de la parcelle expérimentale de el Rocio (en rouge sur le schéma) sur la partie terminale du Partido (Lamrani, 2000).

Expériences menées : Trois îles de végétation expérimentales (R1, R2, R3) ont été plantées à l'intérieur. La disposition et la sélection des espèces suivent le modèle théorique de restauration évoqué dans le chapitre antécédent. Les espèces sont disposées sur des plans circulaires séparés de 1m. Le nombre d'individus d'arbustes primaires est deux fois plus important que celui des arbustes secondaires. Au niveau des trois îles, deux excavations ont été réalisées afin de mesurer le développement des espèces végétales selon la proximité de la nappe phréatique. Cela permet aussi de maintenir un apport en eau suffisant durant les mois d'été. Pour chaque île expérimentale, on note trois profondeurs :



0, - 50cm et - 100cm (fig. 11).

Fig. 11 Niveaux et disposition des excavations dans les îles expérimentales (Lamrani Alaoui, 2000).

Des campagnes mensuelles ont été effectuées pour évaluer la croissance, la multiplication, la survie, l'évolution de la biomasse

et la diversité spécifique des espèces végétales de l'ensemble de la parcelle.

Chaque plante fut répertoriée selon sa localisation (R1, R2 ou R3) et sa profondeur de plantation. Chaque espèce a été inventoriée. Les mesures ont été faites à partir du centre de l'île de végétation vers l'extérieur.

Pour chaque plante nous avons mesuré la hauteur de la tige la plus haute à l'aide d'un mètre.

Pour chaque campagne nous avons comparé les données obtenus avec celles des campagnes antécédentes afin d'éviter les erreurs de mesure ou de localisation. Dans le cas d'un doute de nouvelles mesures ont été effectuées.

Les données obtenues ont été converties en mesures de croissance relative en calculant la différence de hauteur par rapport aux résultats du mois antécédent.

Nous avons sélectionnées des parcelles de 1m² à l'intérieur de la parcelle expérimentale y avons récolté l'ensemble du matériel végétal présent. Au laboratoire les espèces végétales ont été inventoriées, décomptées, séchées à l'étuve et pesées. Les fruits et les graines ont été séparés, décomptés et pesés également. Cela nous a fourni des informations sur l'évolution de la biomasse et de la multiplication des espèces végétales (voir annexes 6).

Des inventaires des espèces végétales ont été réalisés à chaque campagne dans l'ensemble de la parcelle afin de évaluer le taux de mortalité des plantes.

Un piézomètre fut installé au sein de la parcelle afin de mesurer l'évolution de la nappe phréatique. La température de l'air fut prélevée à chaque campagne et un suivi des taux de précipitations. Enfin une analyse de la nature des sols a été effectuée grâce à la méthode de Bouyoucos(voir annexes 7).

B. RESULTATS DES CAMPAGNES DE SUIVI DE LA PARCELLE EXPERIMENTALE DE ROCIO

a) Analyse des paramètres abiotiques :

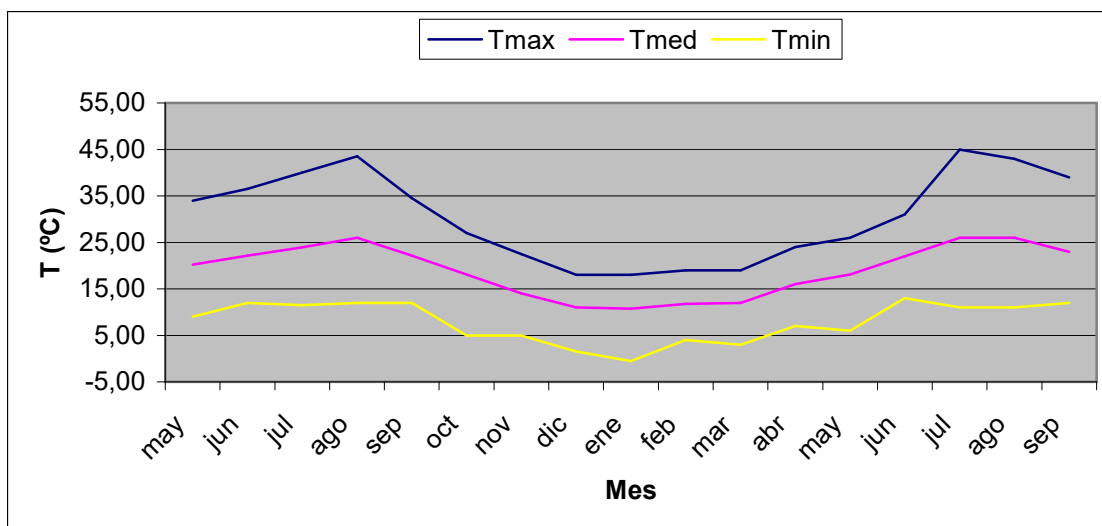


Fig.12 Evolution annuelle des températures (de l'air) dans la parcelle expérimentale d'el Rocio. De mai 2003 à septembre 2004. Données de la station météorologique du Palais de Doñana.

Les températures présentent de fortes fluctuations durant l'année (fig. 12). En été, les températures moyennes varient autour de 10 °C et en été autour de 25°C.

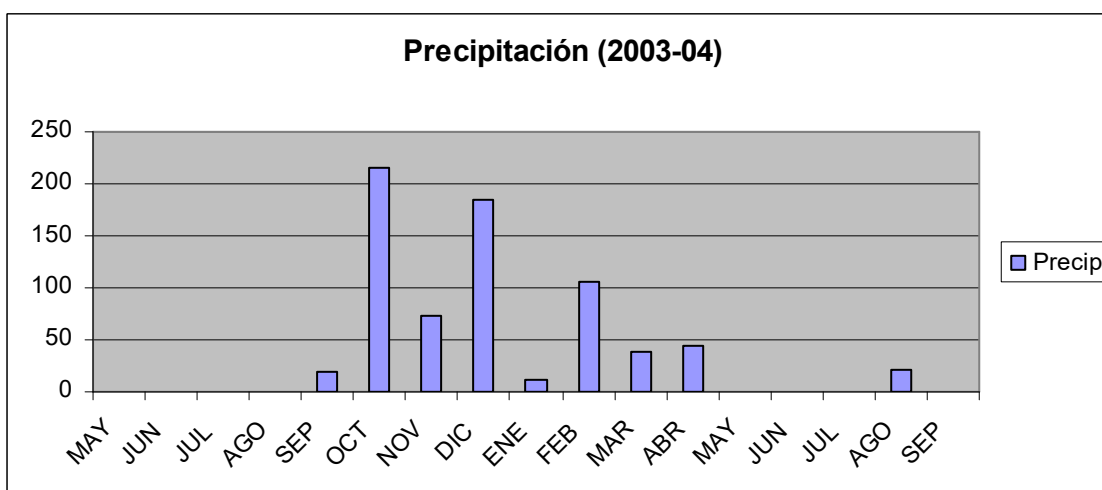
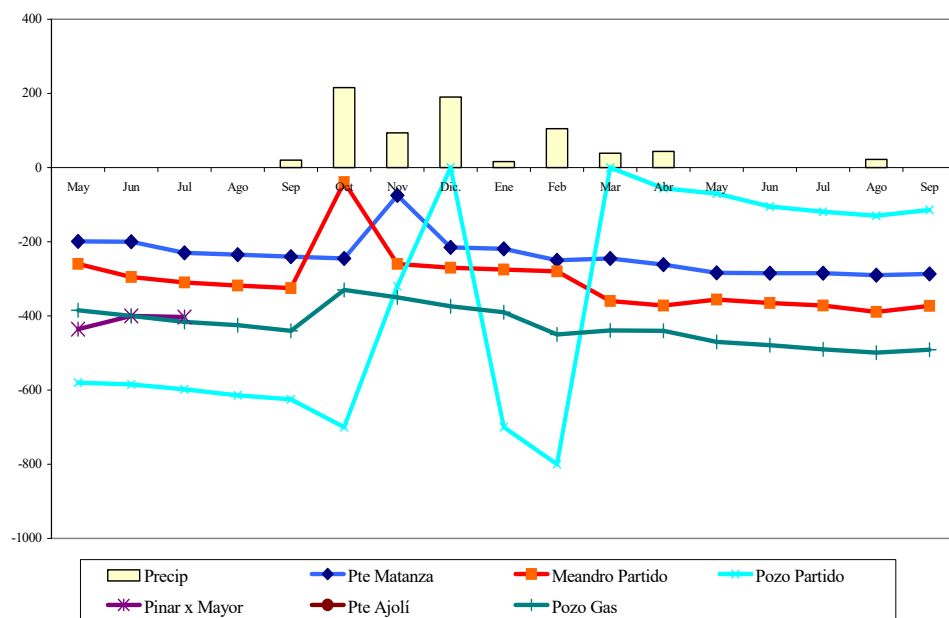


Fig.13 Evolution annuelle des précipitations (mm) dans la parcelle expérimentale de Rocio. De mai 2003 à septembre 2004. Données de la station météorologique du Palais de Doñana.

Le taux de précipitations est également très variable (fig.13). L'été est marqué par une forte sécheresse et l'hiver par des précipitations fortes et concentrées dans le temps. Cela induit de



fortes inondations et des fluctuations au niveau de la nappe phréatique.

Le graphique suivant illustre bien ce phénomène (fig.14). L'histogramme correspond aux variations annuelles de précipitations et la courbe bleu azur à l'évolution (en cm) du niveau de la nappe phréatique de la parcelle. Les autres courbes indiquent l'évolution de la nappe phréatique au niveau d'autres points du Partido en amont de la parcelle expérimentale. Les fluctuations de la nappe phréatique dans ces sites est moins marquée mais confirme ce résultat.

Fig. 14 Evolution annuelle de la nappe phréatique en fonction des précipitations annuelles sur la parcelle de Rocio. (En bleu azur : données du piézomètre de la parcelle expérimentale).

Ces paramètres influent beaucoup sur le développement des plantes de la parcelle qui doivent faire face aux stress hydrique en été et aux problèmes d'inondations en hiver.

	% Sable	% Argile	% Limon
R1	55	28,75	16,25
R2	42,5	30	27,5
R3	40	40	20

Fig.15 Analyse de la composition des sols de la Parcelle de Rocio par la méthode de Bouyoucos.

L'analyse de la composition des sols (fig.15) révèle que l'île expérimentale n° 1 possède un taux de sable légèrement plus important que les deux autres îles. Ce phénomène est lié aux différences de microtopographie. Les différentes teneurs en sables et limons induisent des différences de drainages durant les périodes d'inondations. En effet, les sols plus sableux de l'île 1 (R1) retiennent d'avantage l'eau (fig. 16).

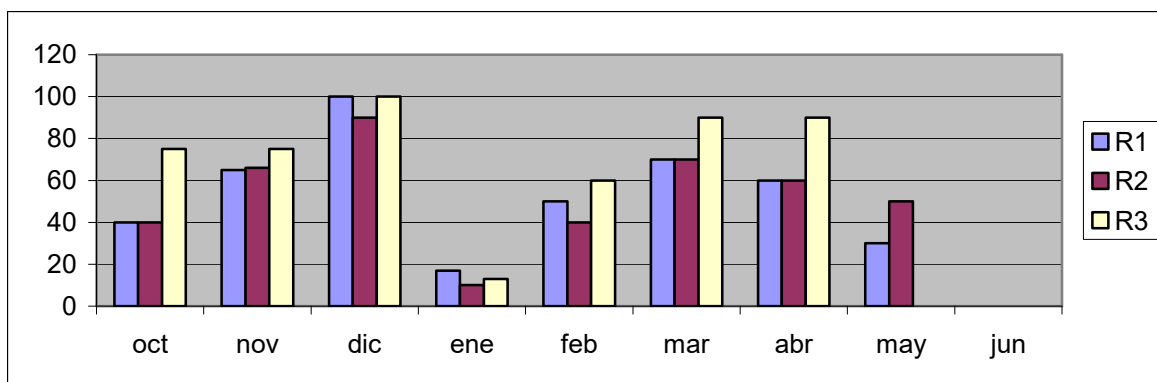


Fig.16 Evolution annuelle du niveau d'eau dans les excavations des îles 1, 2 et 3. (Niveau en cm).

b) Analyse des paramètres biotiques.

Inventaire de la végétation : la végétation naturelle et plantée de la parcelle correspond aux séries de végétation potentielles de la région essentiellement thermo méditerranéennes (voir Annexes 4). La végétation est dominée par des Graminacées. Les Légumineuses et les Composées sont également très bien représentées. Dans les zones externes à la parcelle, la hauteur des végétaux est assez faible (15 - 20 cm), et la couverture au sol discontinue.

A l'intérieur, la hauteur est de 60, 70cm et peut atteindre jusqu'à 1m au printemps. Cela peut provoquer des problèmes de compétition pour la lumière.

Le Tamarix (*Tamarix africana*) fait partie des espèces sélectionnées pour la plantation. Toutefois, l'observation de la végétation confirme les propriétés invasives de l'espèce. Son taux de croissance est très rapide et sa stratégie de colonisation très efficace (voir annexes 6). Le Tamarix produit de petites graines facilement dispersées par l'eau et le vent. De plus, il supporte bien les inondations, la sécheresse et les sols très sableux.

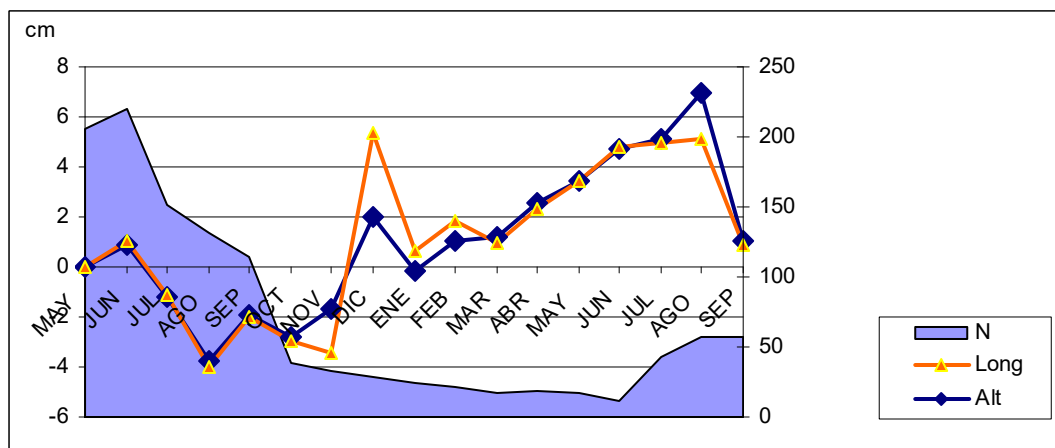


Fig.17 Evolution annuelle de l'abondance totale et de la croissance des espèces de la parcelle.

(**N** = nombre total d'individus ; **Long** : longueur de la tige la plus longue ; **Alt.** : hauteur globale de la plante).

L'abondance des individus est limitée par la sécheresse en été et par les inondations en hiver (fig. 19). Le taux d'abondance est le plus élevé au printemps. La croissance des individus est favorisée par le taux d'humidité en hiver. L'augmentation du taux de croissance des plantes au cours des mois d'été de la deuxième année est due à l'apparition de nouveaux individus de *Tamarix africana* mois de juin 2004. Les inondations au mois de septembre induisent la chute du taux d'abondance et de croissance des espèces végétales.

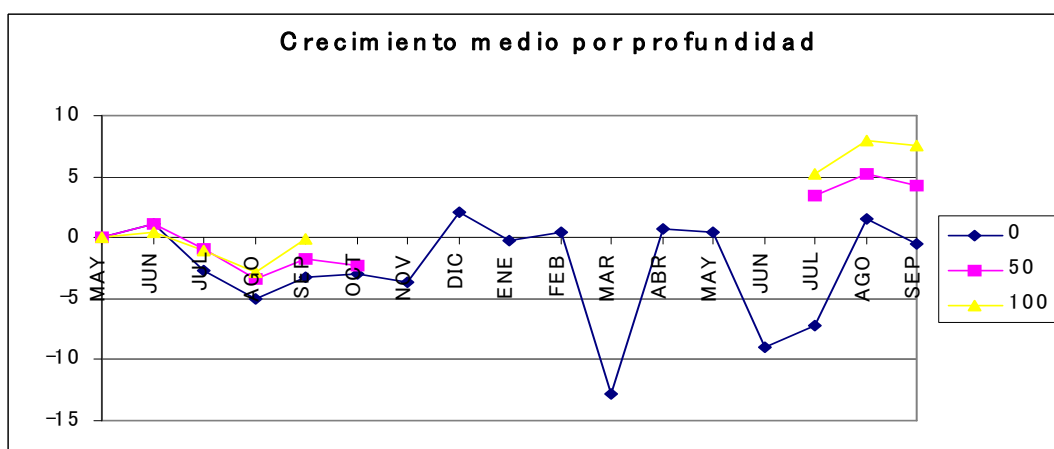


Fig.18 Evolution annuelle du taux de croissance relative (différence de hauteur entre deux campagnes consécutives) de la végétation dans chaque excavation (Profondeur 0cm, - 50 cm, - 100 cm).

L'expérience révèle des différences de croissance selon la profondeur de plantation (fig.18). Durant les mois humides (de septembre jusqu'en mai), aucune croissance n'existe au niveau des excavations de - 50cm et - 100cm. Les plantes sont totalement submergées et ne peuvent survivre. Le régime torrentiel du Partido et les faibles capacités de drainage des sols accentuent ce phénomène. Durant les mois secs le taux de croissance dans les trois îles est similaire.

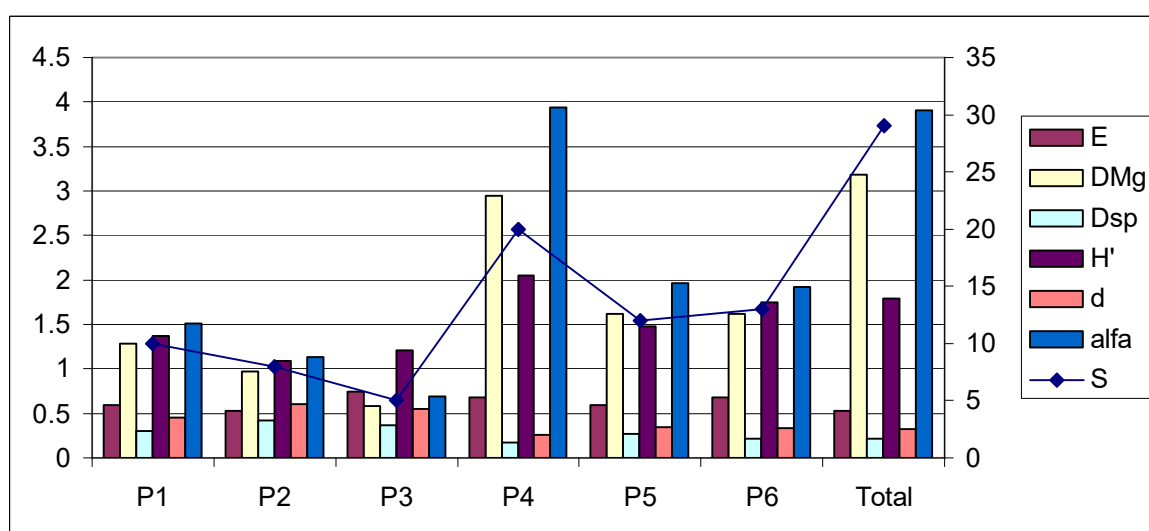


Fig. 19 Evolution de la diversité totale et de la diversité de chaque parcelle de 1m²

Légende :

E : Equitabilité ; **D Mg** : Índice de Margalef ; **D sp** : Índice de Simpson ;

H' : Indice de Shanon ; **d** : Indice de Berger-Parker ; **S** : richesse spécifique ;

alfa (distribution logarithmique)

L'étude de la diversité spécifique et de la biomasse a été réalisée dans 6 parcelles de 1m² situées à proximité des îles expérimentales. Dans chacune d'entre elles les espèces ont été inventoriées, séparées et pesées. Pour certaines le nombre de graines a été estimé (voir annexes 6).

Les indices de diversité (Equitabilité, Shanon, Margalef), de dominance (Simpson), d'abondance (Berger - Parker) et de richesse spécifique (S) montrent que la parcelle expérimentale de Rocio possède une diversité spécifique totale importante et une diversité spécifique par parcelle de 1m² faibles (fig.21). Cela traduit le phénomène de regroupement de la végétation en îles de composition spécifique similaire. La parcelle n°4 présente une diversité spécifique plus importante que les autres. Elle se situe près de l'île expérimentale n°3 qui présente la plus faible quantité de sables. Les sols retiennent moins l'eau, les végétaux subissent moins les effets négatifs des inondations ce qui pourrait favoriser le développement des espèces.

En résumé, depuis le début de l'expérience de régénération d'espèces dans la parcelle expérimentale de Rocio, les facteurs qui ont limité le développement des végétaux furent l'adaptation aux transplantations, la sécheresse, les inondations, l'ombrage des herbacées au printemps et autres facteurs de stress environnemental comme le pâturage et le piétinement lors d'entrées accidentelles de bétail.

3. ETUDE DE LA STRUCTURE EN ÎLES DE LA VÉGÉTATION DU PARTIDO.

A. Matériel et méthodes.

Sites et localisation : Nous avons sélectionnés 59 îles de végétation naturelles. Une importance toute particulière a été

accordée au choix de ces sites de façon à obtenir un maximum de diversité spécifique et structurelle.

Les coordonnées de l'ensemble des îles ont été prélevées au moyen du système de positionnement global GPS (Carmin 120). Par la suite une cartographie digitale a été effectuée par Système d'Information Géographique.

L'ensemble des îles se trouve en bordure des zones agricoles abandonnées sur les rives de la partie moyenne et basse du Partido. La zone d'étude s'étend de la zone des marais d'el Rocio jusqu'à la route de Villamanrique - Rocio. Sur la carte les îles ont été regroupées par couleur selon leur localisation (photo 11).

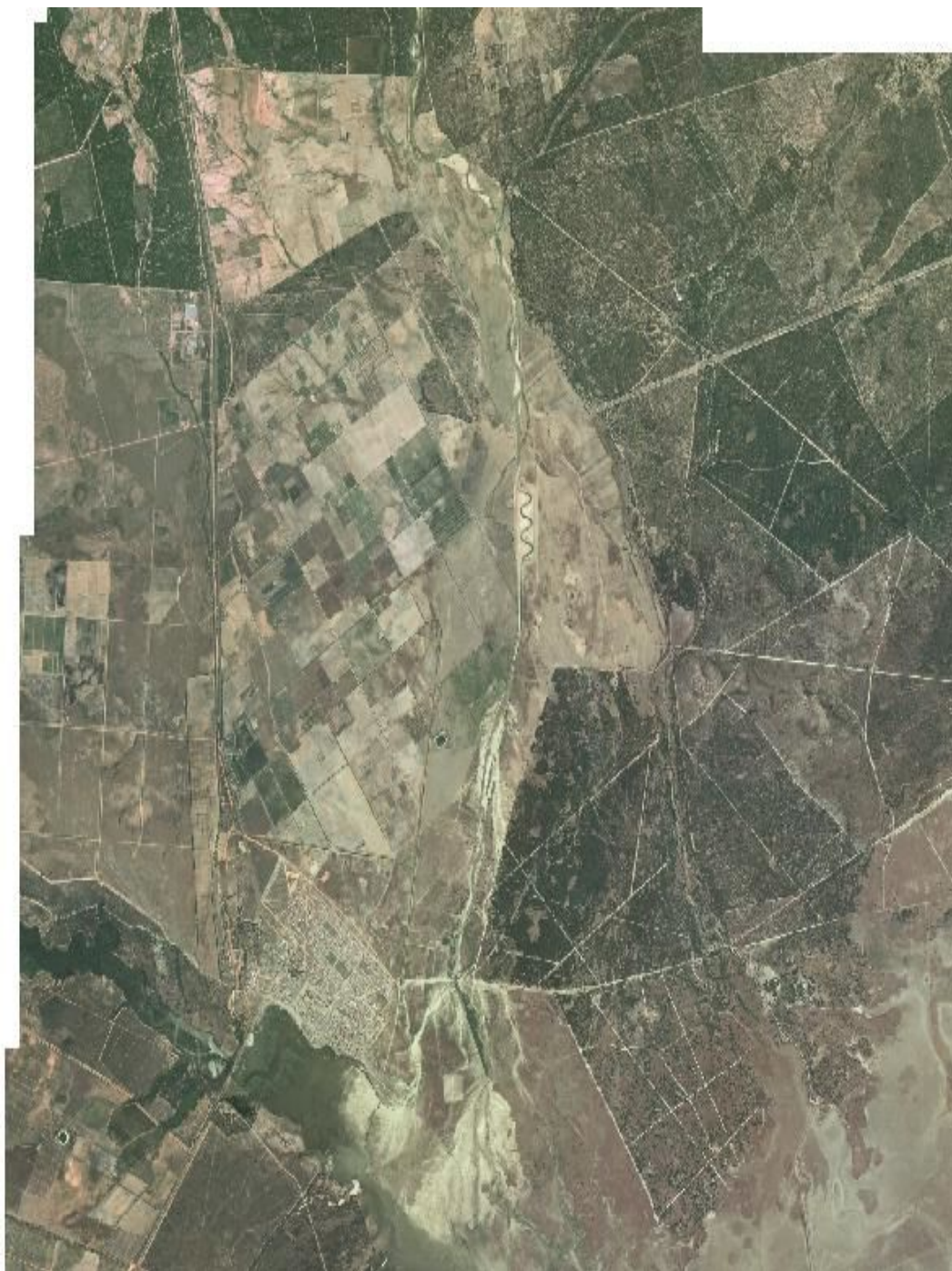


Photo 10 Image satellite de l'Arroyo del Partido (1 : 60000)

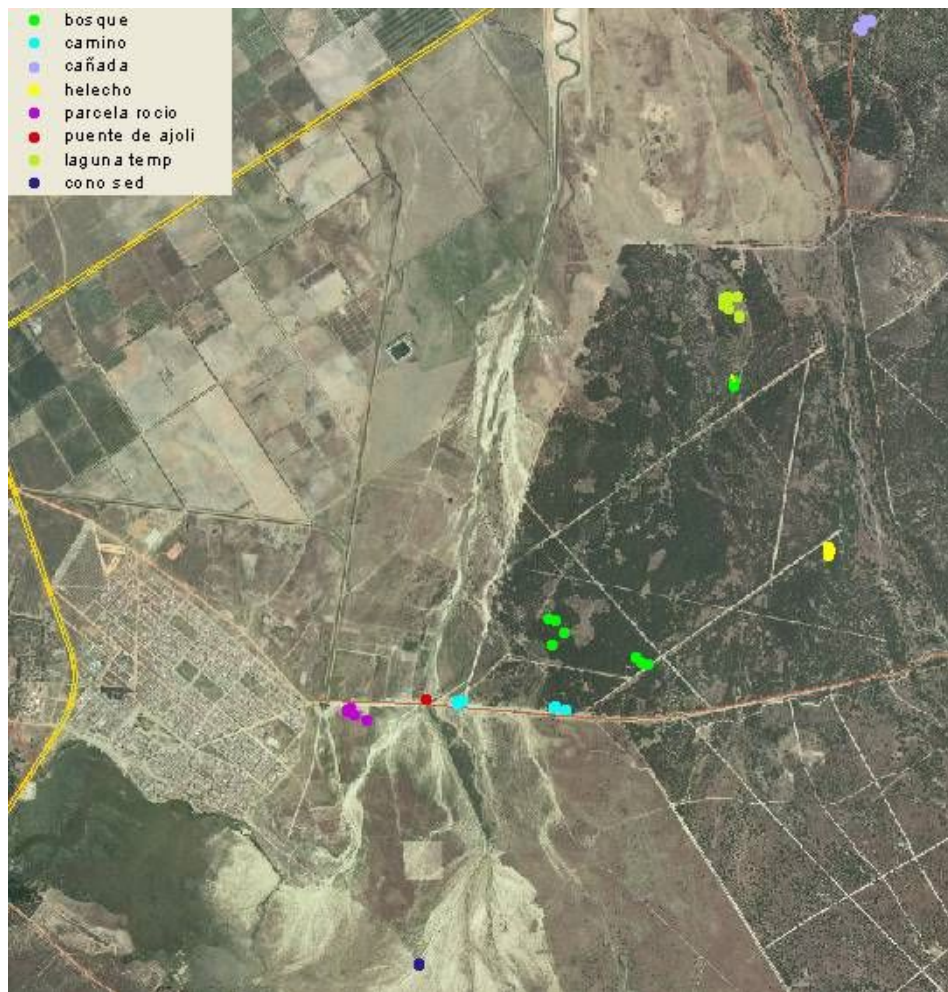


Photo 14 Localisation des îles de végétation sur carte satellite. (Image traitée sous Arcview (Echelle : 1 : 50 400) .

Nous avons différencié 7 ensembles (Photo 14):

En bleu : îles 56, 57 situées au niveau du cône de sédimentation.

En violet : îles 5, 6, 7, 8, 9,10 situées au niveau de la parcelle expérimentale sur la rive gauche du Partido.

En rouge : île 2 située sur la rive droite du Partido dans une peupleraie, près du Pont de l'Ajoli.

En bleu clair : îles 11, 12, 13, 14, 15, 16,17 situées sur le chemin El Rocio- Palacio del Rey.

En vert : îles 18, 19,20, 21, 41, 42, 43,44, 58, 59 situées dans une pinède.

En jaune : îles 22, 23, 24, 25, 26,27, 28, 29 situées dans une pinède associée à des fougères.

En vert clair : îles 45,46,47,48,49,50,51,52,53,54,55 situées dans une lagune temporaire.

En bleu violet : îles 30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40 situées sur les rives de la Canada Mayor, un affluent secondaire du Partido.

Il manque les îles 1, 3 et 4, elles seront traitées ultérieurement lorsque les données de terrain seront complétées.

Les zones de terres agricoles abandonnées à restaurer se localisent de part et d'autre des rives du Partido.

- **Echantillonnage et traitement des données :**

Pour chaque île, nous avons effectué un inventaire des espèces présentes et évalué un ensemble de paramètres de leur structure. La longueur, la largeur et la hauteur des îles et de chaque espèce ont été mesurées. Nous avons inventoriés et décompté les espèces présentes dans la cime, le cœur et les alentours de chaque île. Pour calculer la superficie des îles nous les avons assimilées à des ellipses. (Formule : $L * l * 0,785$). (Voir annexes 5).

Une photo de chaque île a été exécutée à une distance toujours égale à 10m, le centre de la photo étant le centre de l'île de végétation. Par cette méthode, nous obtenons toujours des images de même taille.

Huit prélèvements différents de sols ont été réalisés du Nord au Sud de la zone étudiée.

Afin d'étudier la structure, la dynamique et la succession de la végétation, nous avons réalisé un transect de 100m de long, en identifiant et mesurant la hauteur de chaque espèce tous les 50 cm. Cette expérience permet aussi d'évaluer la hauteur moyenne de la végétation.

Pour compléter les précédents, un inventaire de la végétation des zones des îles et des surfaces à restaurer a été réalisée durant la campagne de mai 2004 et complété au cours des campagnes suivantes. (Voir annexes 3).

- **Traitement des données :**

Les photos des îles ont été traitées sous Corel Draw de façon à mettre en évidence la superficie apparente de chaque espèce au sein de l'île de végétation, la forme et la taille de l'île. Sur l'image, les espèces ont été différenciées au moyen de couleurs et leur taille apparente estimée au moyen d'un cadre composé de carrés de 1m^2 . Les couleurs ont été choisies en fonction de l'apparence naturelle des espèces végétales.

A chaque photo est associée la fiche de l'île correspondante. (Voir annexe 3).

Grâce à ces photos nous avons réalisé des simulations d'associations d'îles en utilisant des dispositions linéaires différentes. Nous avons fait varier la diversité, la taille, la structure verticale et la distance de séparation entre les îles dans le but de mettre en évidence la variabilité de la structure paysagère selon le choix des plantations. Trois dispositions différentes ont été choisies :

- Les îles sont disposées sur deux tronçons de 20m séparés par une distance de 40m
- Les îles sont disposées sur deux tronçons de 30m séparés par une distance de 30m.
- Les îles sont disposées sur des tronçons de 20m séparés par une distance de 20m.

Le choix de la taille des tronçons et des distances de séparation tiennent compte de la largeur maximum des îles de végétation et visent à obtenir un paysage suffisamment dense.

Nous avons classé les espèces végétales selon leur hauteur. On considère comme dominantes les espèces les plus élevées. Cette typologie permet d'avoir une idée plus nette de la structure en strates des îles de végétation naturelle. Toutefois elle ne prend pas en compte l'agencement spatial des espèces (fig. 20).

LEYENDA TIPOLOGÍA Especies per orden de tamaño ISLAS

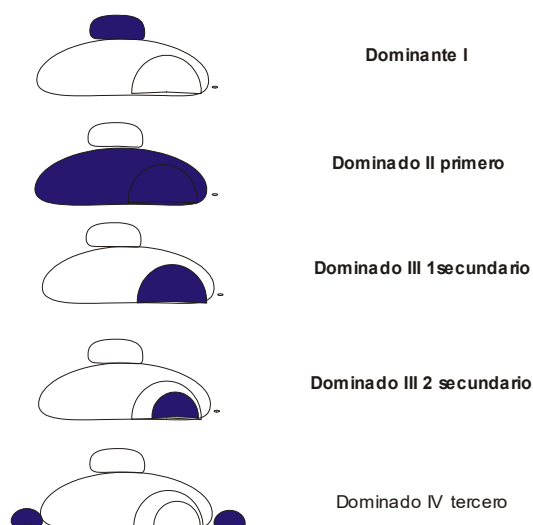


Fig. 20 Typologie verticale des espèces végétales des îles : I : Dominant, II : Dominé principal, III1 : Dominé secondaire de 1^{er} niveau, III 2 : Dominé secondaire de 2nd niveau, IV : Dominé tertiaire.

Classification par type :

Arbre : a

Arbuste noble: b

Arbuste secondaire : c

Phréatophytes:d

Lianes : e

Voir annexes 5

B. Résultats

Analyse des sols : Le taux de sables augmente d'amont en aval du cours d'eau (fig. 21).Ce constat met en évidence les effets négatifs dus à la canalisation du cours d'eau et l'augmentation du dépôt de sédiments. Cela indique de faibles capacités de drainage. Ce paramètre sera à prendre en compte lors de la restauration de la végétation. En effet il faudra lutter contre les risques d'inondations et les faibles disponibilités hydriques pour les espèces végétales.

	% Sables	% Argiles	% Limons
1	22.5	55	22.5
2	57.5	25	17.5
3	60	12.5	27.5
4	62.5	12.5	25
5	72.5	10	17.5
6	80	7.5	12.5
7	70	20	10
8	82.5	7.5	10

Fig. 21 Analyse de la composition des sols d'amont en aval dans les sites des îles (Méthode de Bouyoucos (Annexe 7)).

Inventaire de la végétation : la végétation des zones externes à la parcelle expérimentale d'el Rocio est peu différente (voir annexes 4). Elle présente les mêmes familles dominantes, Graminacées et Légumineuses. Les espèces présentes dans les îles de végétation correspondent aux espèces sélectionnées lors de la première proposition de restauration. Les principaux arbres rencontrés sont *Pinus pinea*, *Olea europea*, *Populus alba*, *Salix fragilis*, *Quercus suber*, *Fraxinus angustifolia*, *Tamarix africana*.

Les arbustes nobles sont : *Pistacia lentiscus*, *Rhamnus lycioides*, *Pyrus bourgeana*, *Myrtus communis*, *Phillyrea angustifolia*, *Arbutus unedo*, *Chamaerops humilis*, *Polygon aviculaire*, *Crataegus monogyna*.

Les arbustes secondaires sont représentés par : *Daphne gnidium*, *Halimium halimifolium*, *Cistus salvifolius*, *Asparagus setaceus*, *Helecho commun*, *Genista sp.*

Les espèces de phréatophytes sont : *Scirpus maritimus*, *Arundo donax*, *Phragmites australis*.

Enfin les lianes sont composées par *Rubus.sp.*

Diversité spécifique : la diversité spécifique moyenne par île est faible : 3 espèces, avec un maximum de 8 espèces et un minimum de 1 espèce. Cela confirme les résultats de diversité observés dans la parcelle expérimentale. En effet, les types de composition spécifique des îles sont récurrents. (Voir annexe 5).

Analyse structurelle :

- La structure verticale des îles présente des types de composition spécifiques variables.

Le type I est principalement composé par des espèces d'arbres et d'arbustes nobles, le type II par des arbustes nobles, le type III par un mélange d'arbustes nobles et secondaires, complétées par des espèces de lianes. Enfin le type IV est majoritairement composé par des arbustes nobles et secondaires. (Voir typologie ci-dessus (fig.20)).

La moyenne spécifique des espèces présentes dans la cime des îles est faible : 2 avec un maximum de 3 espèces et un minimum de 1 espèce.

Le « cœur » de l'île est légèrement plus diversifié avec une moyenne de 3 sp, un maximum de 5 sp. et un minimum de 0 sp.

Etude paysagère

Pistacia lentiscus est l'espèce majoritairement présente dans les îles : 37/ 52 (photo 12). Cela peut s'expliquer par le fait que c'est une espèce thermophile très bien adaptée aux endroits chauds et ensoleillés (Valdes, 1997). Elle se rencontre principalement sur les sols secs et arides. Cela correspond bien aux caractéristiques de la plaine inondable du Partido, modifiée par les grands dépôts de sédiments dus à la canalisation du cours d'eau. Cette hypothèse reste à vérifier.



Photo 12 île avec *Pistacia lentiscus* (juillet 2004)

D'autre part, peu sont celles associées à une formation boisée de pins: 17/ 52 (photo 13).



Photo 13 Île dans une pinède (juillet 2004)

Les îles associées à une pinède possèdent visuellement une structure beaucoup moins compacte que les celles situées en zone ouverte. Cela peut être du à un manque de lumière et au fort taux d'acidité du sol. (Les épines de pins induisent un pH faible et leur dégradation par les microorganismes est très lente (Valdes ,1997). Ce point sera approfondi lors des études ultérieures.

Enfin peu d'îles possèdent une seule espèce : 6/ 52. La majorité des espèces végétales s'associent et interagissent au sein des îlots de végétation.



Photo 14 Île à une seule espèce (juillet 2004)

Cette étude paysagère est incomplète car les données de terrain sont insuffisantes. Les campagnes de terrain se poursuivent actuellement et les hypothèses émises seront vérifiées ultérieurement.

Structure horizontale :

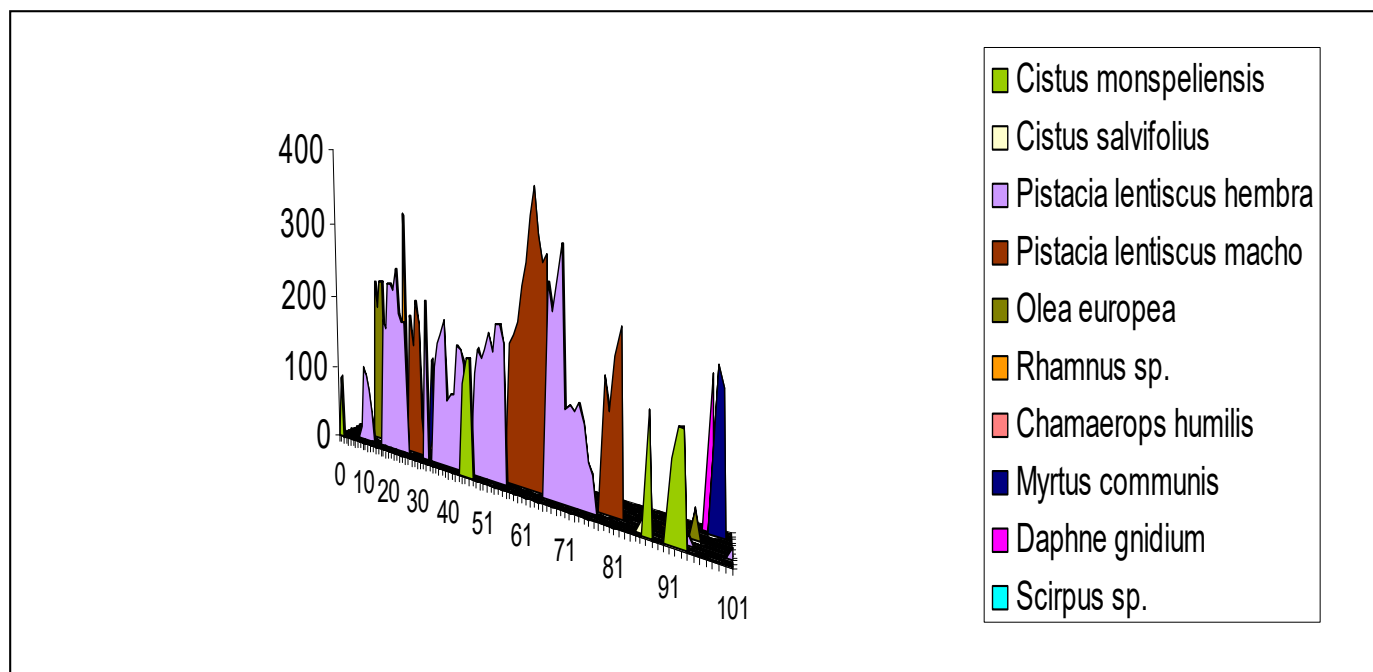


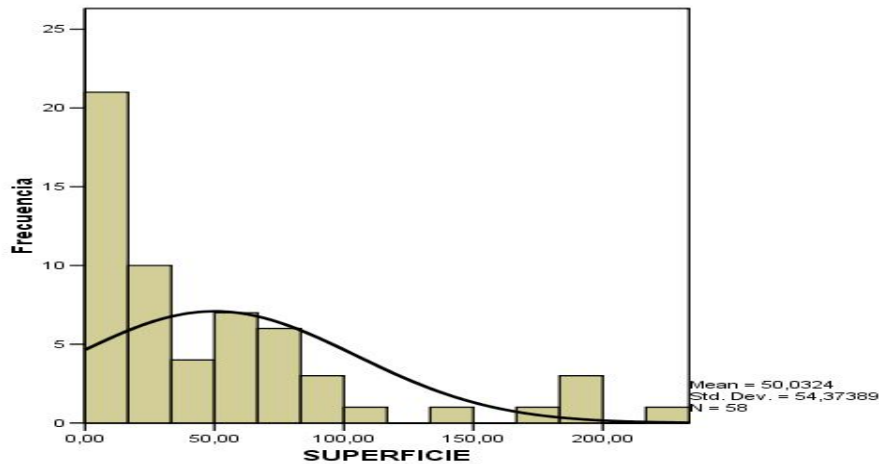
Fig.22 Transect de la structure horizontale de la végétation sur 100m (en ordonné est reportée la hauteur des espèces végétales en cm) .

Ce transect confirme les associations d'espèces en îles de la plaine inondable du Partido. Il met en évidence une succession mature dont les îles sont adjointes. Il semble révéler une opposition sexuelle horizontale de *Pistacia lentisco*. (Succession « Hembra » : femelle ; « Macho » : mâle).

Néanmoins, ces résultats sont incomplets. D'autres transects seront réalisés au cours des campagnes suivantes afin de connaître mieux l'évolution de la structure verticale de la végétation et les distances de séparation entre les îles.

La largeur des îles est extrêmement variable. Sa valeur moyenne est de 7,32m, avec un maximum de 22m et un minimum de 1,8m (Variance : 2971 et Ecart type : 54).

Il en est de même pour la superficie (fig.23). Les îles possèdent en moyenne une aire au sol de 50m², mais des disparités très importantes peuvent s'observer avec un maximum de 224, 51 m² et un minimum de 3,21m². (Var : 2971, Ecart type : 54).



	N	Minimum	Máximo	Moyenne	Ecart type	Variance
Groupe 1	31	3.21	31.86	13.6610	8.49724	72.203
Groupe 2	21	37.00	101.40	65.2371	19.82584	393.064
Groupe 3	6	139.80	224.51	184.7350	27.42739	752.262

Fig. 23: Répartition des îles selon leur superficie (N : nombre total d'îles)

L'histogramme met en évidence trois groupes d'îles (fig.23) :

Groupe 1 : 31 îles de petite taille de 3,21m² à 31,86m².

Groupe 2 : 21 îles de taille moyenne de 37m² à 101,40m².

Groupe 3 : 6 îles de grande taille de 139,80m² à 224,51m². Ce groupe présente des variations de superficie très importantes (Var : 752, 262).



Photo 15 : Comparaison d'îles de chaque groupe (1, 2 et 3) traitées sous Photoshop dans un cadre de mêmes dimensions.

Cette photo met en évidence la variabilité de superficie et de taille entre les îles de végétation naturelles.

La majorité des îles répertoriées sont de petite taille. Les superficies sont d'autant plus variables que l'île est de grande taille.

- Simulations en vue du projet de restauration.

Le projet de restauration vise à reproduire un ensemble de paramètres biotiques et abiotiques afin de créer une végétation autochtone viable capable de s'adapter aux conditions de pression environnementale. Il s'applique également à recréer un paysage diversifié et naturel.

Dans ce sens, nous avons réalisé plusieurs simulations d'associations d'îles (photo 16) en tenant compte des données antécédentes.

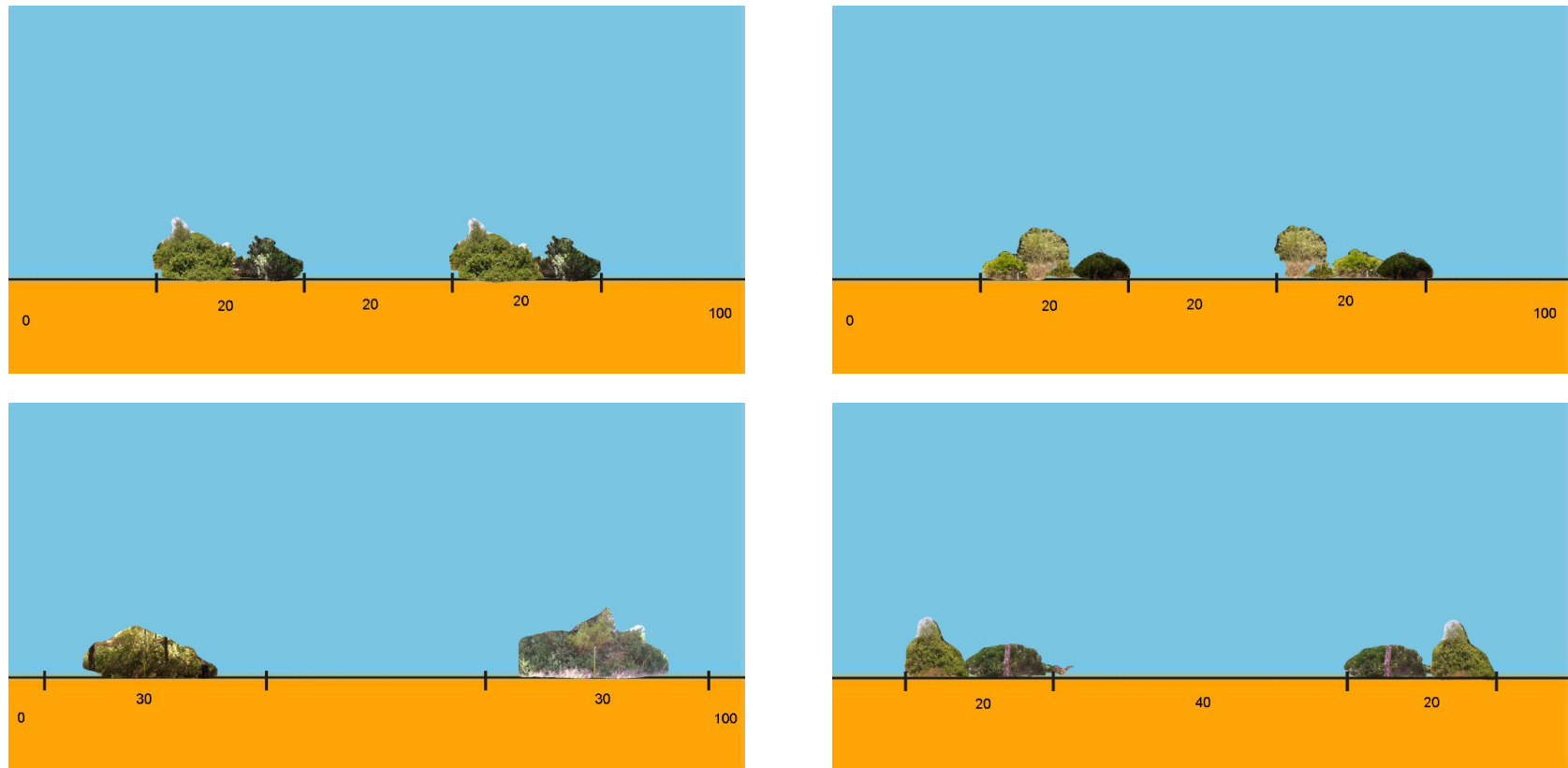


Photo 16 : Simulations paysagères d'associations d'îles en vu du futur projet de restauration (Traitement sous Photoshop : utilisation de cadres de même échelle).

Selon les différentes simulations nous obtenons des variations importantes au niveau de la structure, de la composition et de l'aspect du paysage. Celui-ci peut être plus ou moins dense et diversifié.

4. DISCUSSION : EVOLUTION DE LA PROPOSITION DE RESTAURATION DE LA PLAINE INONDABLE DU PARTIDO

Suite aux observations de terrain, le modèle de restauration de la plaine inondable du Partido sous forme d'îles de végétations proposé par le Dr. Lamirani- Alaoui et le Pr. Garcia Novo sera adopté car il se révèle adapté à l'environnement naturel du Parc de Doñana. En effet notre étude de la végétation naturelle de la plaine inondable du Partido révèle que les espèces végétales s'associent sous forme d'îlots.

La structure proposée (fig.7), composée d'un noyau arboré entouré par des arbustes nobles et secondaires, se révèle récurrente dans l'environnement naturel des marais de Doñana. Ce constat est essentiel car la structure horizontale et verticale constitue la matrice principale dont dépendent les autres organismes. Cela garantit le maintien et la fonctionnalité des écosystèmes terrestres (Zavala, 2003). En outre, la composition des îles devra prendre en considération l'utilité des espèces arbustes comme alimentation des communautés vertébrés (mammifères et oiseaux) qui dans le futur agiront comme agents de dispersion des graines. Les îles ne représenteront que 10 % de la surface à replanter car il est attendu que dans les deux ans qui suivront, les fruits disséminés par les frugivores seront à l'origine de nouvelles îles de végétation. Des troncs d'arbres morts seront également rajoutés afin de favoriser la nidification durant les premières années après la restauration.

La composition spécifique initiale des îles fut composée par les espèces dominantes des communautés de végétation mature de l'environnement des Marais d'el Rocio. Les espèces sélectionnées seront conservées car elles sont adaptées au point de vue des

paramètres climatiques, édaphique et physiques. De plus, l'utilisation d'espèces dominantes présentes dans des habitats comparables, à proximité de la zone à restaurer, est préconisée (Vallejo, 2003).

La diversité spécifique des îles naturelles inventoriées s'avère beaucoup plus variable et nettement inférieure à celle du modèle proposé. Il sera donc modifié afin que les îles replantées correspondent aux patrons de végétation naturelle rencontrés (Escudero, 2003). Chaque île n'est pas un assemblage hasardeux d'espèces, c'est une unité structurelle et fonctionnelle dans laquelle les espèces interagissent. Vallejo (2003) indique par exemple qu'il est essentiel de tenir compte de l'éventuelle concurrence qu'il pourrait exister entre les espèces.

En ce qui concerne les espèces sélectionnées, on tiendra compte également de la cote du sol afin de respecter la succession naturelle transversale de la végétation. L'arbre central des îles situées à proximité du lit du cours d'eau sera un frêne ou un peuplier. Au fur et à mesure que l'on s'éloigne ceux-ci seront remplacés par des oliviers ou des chênes dans les zones plus sèches et plus hautes.

La conquête de la parcelle expérimentale par *Tamarix africana*, met en évidence qu'il est indispensable de pallier à son invasion en plantant des compétiteurs ou en éliminant régulièrement les nouveaux individus.

Le modèle de plantation des îles de végétation en trames entrecroisées sera également respecté car il permet d'éviter de créer une géométrie linéaire des plantations. Cependant, afin de respecter les caractéristiques paysagères du site, certains îles des trames seront supprimées et d'autres agrégées afin d'obtenir d'avantage d'aspect hasardeux. Cela permet de créer un effet visuel de végétation dense avec peu d'îles.

En ce qui concerne les aspects techniques, les études expérimentales de la parcelle de Rocio ont révélé que les plantations dans des excavations ne sont pas un moyen efficace de lutter contre le stress hydrique. Ce modèle ne sera pas conservé. Les plantations seront réalisées au niveau de la surface. Les racines et les troncs des arbres seront enterrés le plus profondément possible à proximité du niveau de la nappe phréatique. L'apport en eau pendant les périodes sèches sera complété par de l'arrosage. Ce principe évitera les problèmes dus aux inondations et aux faibles capacités de drainage du sol.

Par ailleurs, il sera indispensable durant les premières années de plantation de protéger les zones restaurées du pâturage et du piétinement par le bétail, en cloisonnant par exemple les îles de végétation.

Le matériel végétal pour la restauration sera composé par des plants forestiers cultivés dans une pépinière. Les graines proviendront d'une population de plantes qui sont proches au point de vue génétique, géographique et qui évoluent dans un contexte environnemental similaire. Il est important d'éviter des processus de sélection négatifs au moment de la restauration (Escudero, 2003). La culture sera effectuée dans une pépinière située dans la zone à replanter. Le lieu d'implantation est très important car il implique l'accoutumance de la plante aux facteurs écologiques du site à restaurer (Salvador, 2003). Le choix des plantes restaurées dépendra également du matériel disponible dans la pépinière.

- PROPOSITION DE LA CONSTRUCTION D'UNE PEPINIERE DANS LA PLAINE INONDABLE DU PARTIDO

La superficie de la plaine inondable à replanter est de 1500 ha. Dans chaque hectare seront plantées 3 ou 4 îles de végétation. Cela constitue un total de 5 250 îles.

Les îles se séparent en deux principaux groupes selon leurs besoins hydriques. Un premier groupe est constitué par la végétation riparienne. Elle est constituée par de la canne, des frênes, des peupliers et des tamarix.

Le second groupe présente des espèces qui ont de plus faibles besoins hydriques. On y retrouve l'olivier, le chêne accompagné de lentisques, de myrtes, *Phylaria* et d'aubépines noires.

Plusieurs combinaisons d'îles sont envisageables. Elles se basent sur les modèles d'îles naturelles.

La quantité de plantes pour chaque île résulte de la structure interne de celle-ci. Nous proposons de planter dans chaque île deux exemplaires d'arbres, 10 espèces principales de garrigue et 5 espèces secondaires. On obtiendra un total de 89 250 individus: 10 500 arbres, 52 500 individus d'espèces principales de garrigue et 26 250 individus d'espèces secondaires.

L'emplacement de la pépinière se situera entre la route de Villamanrique - El Rocio et la station de jaugeage du Partido. Elle sera organisée selon les critères suivants :

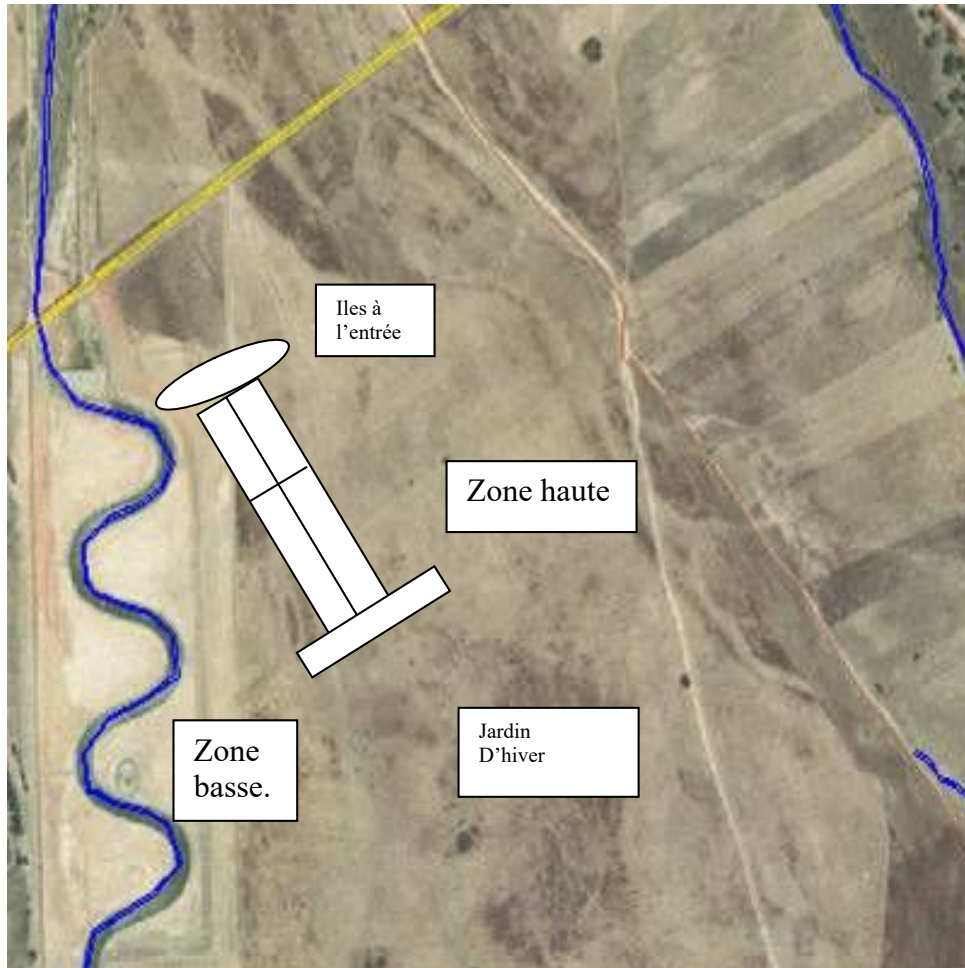


Photo 17 : Organisation de la pépinière, image traitée sous CorelDraw et Photoshop.

- Entrée constituée par cinq îles différentes
- Suit un plan rectangulaire divisé longitudinalement en deux compartiments. Les plantes seront ainsi séparées selon leurs besoins hydriques en fonction d'un gradient de hauteur.
- D'autre part sera mise en place une division transversale qui séparera les plantes en groupes d'ages.

Les juvéniles seront séparés de 1m et les autres par une distance de 3m.

- Une aile sera réservée à la production de graines d'herbacées.

- Enfin un jardin d'hiver sera installé.

La qualité de la plante est une composante essentielle de laquelle dépend la réussite de la restauration de la couverture végétale (Salvador, 2003). Durant la culture plusieurs conditions devront être respectés :

- La qualité du substrat et des fertilisants
- Le volume des pots de culture car il a un rapport direct avec la taille de la plante
- Eviter au maximum le taux de mortalité des plantes durant le transport et les transplantations en prévenant la dessiccation.

Ceci est une proposition intermédiaire qui peut subir des modifications ultérieures.

2) Suivi :

Une fois les replantations effectuées un suivi du projet de restauration s'impose afin de contrôler l'évolution des successions végétales et l'adaptation aux facteurs environnants.

Pour cela des campagnes mensuelles devront être effectuées afin de :

- Réaliser des inventaires des îles de végétation et des zones environnantes.
- Evaluer les variations de la biomasse, de la densité, des taux de croissance et de mortalité des plantes.
- Surveiller les changements structurels des îles : superficie, hauteur, développement et interactions des espèces.
- Estimer les processus de succession végétale en réalisant des transects de contrôle.
- Analyser le développement de la couverture végétale et l'implantation de nouvelles îles.
- Etudier les communautés animales présentes dans la zone : inventaires, taux de mortalité, natalité, habitats et migrations.

- Apprécier les phénomènes de dispersion et les capacités colonisatrices des graines.
- Examiner les variations paysagères et l'impact du projet au niveau de la population locale : prise de photos aériennes et terrestres, utilisation de méthodes de télédétection afin d'évaluer les changements des variables environnementales.

L'objectif final de ce projet est de transformer les zones agricoles abandonnées (photo 18) de la plaine inondable du Partido en zones de végétation autochtone et diversifiée.



Photo 18 : Paysage actuel des terrains agricoles abandonnés.



Photo 19: Futur paysage espéré après restauration de la végétation.
(Photo traitée sous CorelDraw)

Cette photo est une simulation hasardeuse du projet de restauration. Elle ne tient pas compte des associations spatiales, spécifiques et fonctionnelles qui peuvent exister en réalité entre les îles de végétation.

PERSPECTIVES

Les résultats de cette étude révèlent que la végétation de la plaine inondable de la rivière Partido présente un modèle naturel en îles de végétation qui sera suivi durant le projet de restauration. Toutefois, la restauration de la végétation ne se limite pas à la replantation selon le même prototype des espèces dominantes des communautés matures de la région des Marais d'el Rocio. Les îles de végétation naturelles présentent des variations structurelles et spécifiques importantes qui devront être prises en compte. La sylviculture a pour objectif d'appliquer des principes écologiques déterminés afin de conduire la succession végétale jusqu'à un stade donné. Pour cela il est indispensable de connaître les mécanismes qui maintiennent la diversité et la fonctionnalité des écosystèmes terrestres (Zavala, 2003).

Or, les données recueillies dans la parcelle expérimentale et dans la zone environnante sont insuffisantes pour initier réellement le projet de restauration car la dynamique spatiale et temporelle des îles reste inconnue. Ce projet de restauration n'est donc pas définitif, les études de terrain continuent toujours et le traitement des données sera complété.

CONCLUSION

La canalisation des rivières, afin d'augmenter le drainage, induit la réduction du lit du fleuve et l'augmentation de la vitesse de l'eau. Cela augmente la capacité de transport, la profondeur du cours d'eau et les phénomènes d'érosion. Ces interventions ont des effets très néfastes sur la ripisylve, l'avifaune, les aquifères et le paysage. Durant les dernières années le taux de sédiments déposés par le Partido dans les Marais de Rocio (Parc National de Doñana, Espagne) a considérablement augmenté, provoquant leur colmatage. Les changements de l'hydrodynamique et de la morphologie du fleuve induisent des modifications notables sur les successions végétales comme la perte de la diversité spécifique. (Lamrani -Alaoui, 2000). Dans l'objectif de restaurer le régime hydrologique de la rivière et l'environnement de son bassin versant, nous proposons de réaliser un projet de restauration de la végétation sous forme d'îles. Mon travail de DESS a permis de mettre en évidence les facteurs

environnementaux et les caractéristiques naturelles de la végétation du Partido, qui seront à prendre en compte pour recréer un paysage végétal viable et varié. Grâce aux données de terrain recueillies nous avons pu modifier le projet de revégétalisation originel qui s'est révélé trop théorique. La composition spécifique, la structure et leur disposition sur le terrain seront changées. Des moyens de lutte contre la sécheresse, les inondations, le pâturage, les problèmes de transplantation et les plantes invasives seront mis en place. Toutefois, c'est une proposition intermédiaire qui sera complétée ultérieurement par des prospections et des essais expérimentaux avant d'initier le projet de replantation.

Les niveaux d'intervention dépendront de l'état de dégradation du Partido. En règle générale, les tronçons les plus affectés sont le tronçon terminal et moyen du cours d'eau.

Cette étude s'inscrit dans le plus grand chantier de restauration des zones humides en Europe, qu'est le plan d'actions « Donana 2005 » et complètera les travaux de restauration hydrauliques indispensables pour la récupération intégrale des caractéristiques naturelles du cours d'eau Partido et du Parc Naturel et National de Doñana.

BIBLIOGRAPHIE

Bouyoucos, G. J. 1936. *Directions for Making Mechanical Analysis of Soils by the Hydrometer Method*. Soil Sci. 42 (3).

Chans J. Green, J. 2001. «Evaluación y seguimiento del proyecto Donana 2005: una propuesta para la vegetación, fauna y paisaje ». In: « Segunda Reunión Internacional de Expertos sobre la Regeneración Hídrica de Donana. Ponencias y conclusiones. » Edición MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTO 35- 47pp.

Escudero, A et al.2003. « Restauración de poblaciones de plantas amenazadas ». In : Benayas, J.P, .Restauración de Ecosistemas Mediterráneos. Edición Ministerio Ciencia y Tecnología. 113- 139pp.

Fernández, M et al.2003. « Importancia y interpretacion de la latencia y germinación de semillas en ambientes naturales ». In: Benayas, J.P. Restauración de Ecosistemas Mediterráneos. Edición Ministerio Ciencia y Tecnología. 87 - 112 pp.

Herrera, CM. 1984. "Tipos morfologicos y funcionales del matoral mediterráneo del sur de España". Studia Oecologica.V: 7-34.

Martínez, J et al. 2001. Documento Marco para el Desarrollo del Proyecto Donana 2005.Ministerio del Medio Ambiente.201pp.

Novo, F. 1997. "The Ecosystems of Donana National Park ".In: The Ecology and Conservation of European Dunes". Universidad de Sevilla, Secretariado de Publicaciones.97-121 pp.

Salvador, P.2003. « Importancia de la calidad de planta en los proyectos de revegetacion ». In : Benayas,J.P, .Restauración de Ecosistemas Mediterráneos. Edición Ministerio Ciencia y Tecnología. 65 - 86 pp.

Urdiales, C. Casas, Jesus.1995. « Introducción a la Gestión Hidráulica de las Marismas del Parque Nacional de Donana. (S.O. de España). » In : Bases Ecologicas para la Restauracion de Humedales en la Cuenca Mediterránea. Edición: Consejera de Medio Ambiente, JUNTA DE ANDALUCIA, 165-195 pp.

Valdés, B et al. 1987. « Flora vascular de Andalucía Occidental » Edición: Ketres.3 volumen.

Vallejo. 2003. «Problemas y perspectivas de la utilización de leñosas autóctonas de la restauración forestal ».In: Benayas.JP,

.Restauración de Ecosistemas Mediterráneos. Edition Ministerio Ciencia y Tecnología. 43- 59 pp.

Zavala, M. 2003. «Dinámica y sucesión en bosques mediterráneos: modelos teóricos e implicaciones para la silvicultura ».In: Benayas.JP, .Restauración de Ecosistemas Mediterráneos. Edition Ministerio Ciencia y Tecnología. 43- 59 pp.

Hors Bibliographie: Rapports techniques

Lamrani Alaoui, M., Novo, F.2000 Universidad de Sevilla, Departamento de Biología vegetal et ecología. *Estudio de recuperación de márgenes y riberas en la cuenca del Arroyo del Partido, y restauración del régimen hidrológico natural en su tramo final.T.T.M.M. Almonte y otros.* Universidad de Sevilla, Departamento de Biología vegetal et ecología.46pp.

Montes, C., et al. 2003. El proyecto Donana 2005. Evaluación individualizada de las actuaciones del Proyecto Donana 2005 referentes a la cuencas vertientes a la marisma (Actuaciones 1 y 3).Conserjería de Medio Ambiente para la coordinación de los Proyectos Corredor Verde del Guadamar - Donana 2005.Documente de trabajo nº1.

Recuperación de Márgenes y riberas en la cuenca del Arroyo del Partido, y restauración del régimen hidrológico natural en su tramo final.TT.MM.Almonte y otros (Huelva).2000. Dirección general de obras hidráulicas y calidad de las aguas. Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. Informe de síntesis.

Revista del proyecto para la regeneración hídrica del parque nacional de Donana. Nº4.2001.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTO. pp 10.

Resultados del Programa de Investigation del Corredor Verde del Guadiamar 1998 - 2002.Ciencia y Restauracion del Rio Guadiamar.2002.Consejeria de Medio Ambiente. Edition : MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. pp 577.

LA Regeneracion de Donana. Edition : MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE.
Projet Donana 2005.

Sites Web :

Site du Ministère de l'Environnement en Espagne

[www.mma.es/ parques/lared/donana](http://www.mma.es/parques/lared/donana)

Site de l'Unesco

www.unesco.org/whc/sites

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : Localisation des actions du programme Doñana 2005 et détail des actions.

ANNEXE 2 : Carte de distribution des principales communautés végétales d'amont en aval du Partido.

ANNEXE 3 : Fiche d'îles de végétation : exemples.

ANNEXE 4 : Inventaires de végétations : Liste des espèces recueillies de mai à septembre 2004.

ANNEXE 5 : Tableau récapitulatif des caractéristiques des îles de végétation

ANNEXE 6 : Mesure de la biomasse dans la parcelle expérimentale de Rocio.

ANNEXE 7 : Méthode d'analyse des sols de Bouyoucos