

Les facteurs écologiques de la pédogenèse dans la réserve biologique de Doñana (Espagne)

Luis CLEMENTE, Patricia SILJESTRÖM et Luis V. GARCÍA

Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (C.S.I.C.) Apartado 1052 — 41080 Sevilla (España)

RÉSUMÉ

Sont étudiés ici les principaux facteurs écologiques de l'évolution des sols sableux du parc national de Doñana : le matériau originel, le climat, la végétation et la géomorphologie.

Le matériau originel (excepté dans la zone contiguë au marais) et le climat peuvent être considérés comme homogènes sur l'ensemble du territoire. Par conséquent la végétation et, fondamentalement, la géomorphologie sont les facteurs qui déterminent la diversité pédologique observée. En effet, ces deux facteurs écologiques conditionnent les deux principaux processus de l'évolution du sol, par ailleurs, étroitement liés à la profondeur de la nappe phréatique : l'accumulation de matière organique et l'hydromorphie.

Les auteurs ont donc privilégié les études géomorphologiques et défini des unités morpho-pédologiques. Cette connaissance géomorphologique très précise a permis l'établissement du cadre général de l'évolution des sols développés dans les sables de la Réserve Biologique de Doñana.

MOTS-CLÉS : Facteurs écologiques — Géomorphologie et sols — Sols du Guadalquivir.

ABSTRACT

ECOLOGICAL FACTORS OF PEDOGENESIS IN THE DOÑANA NATIONAL PARK (SPAIN)

A study of the principal ecological factors, affecting the evolution of the sandy soils in the Doñana National Park (parent material, climate, vegetation and geomorphology), has been done.

The parent material (except in the contact zone with the marsh) and the climate can be considered as homogeneous for the studied area. Therefore vegetation and, mostly, geomorphology are the factors determining the soil diversity. These two ecological factors condition the main processes in the soil evolution : organic matter accumulation and hydromorphy.

A detailed geomorphological study is presented, for this factor conditions the depth of the water table and, therefore, is closely related with the vegetation density.

The geomorphological knowledge of the landscape has allowed its division until the simplest units, called « morphoedaphic elements » by the authors. Within these units, the general evolution sequence for the sandy soils in the Doñana National Park is established.

KEY WORDS : Ecological factors — Geomorphology and soils — Soils of Guadalquivir.

INTRODUCTION

Ce travail s'inscrit dans l'étude pédologique de la réserve biologique de Doñana (environ 7 000 ha), partie intégrante du parc national du même nom. Ce parc national est situé sur la rive droite de l'embouchure du fleuve Guadalquivir (SW de l'Espagne) (fig.1).

Dans la zone d'étude on peut distinguer deux systèmes morphogénétiques : le système estuarien, constitué par les sédiments argilo-limoneux déposés par le Guadalquivir pendant l'Holocène récent, et le système éolien, formé par les sables provenant de l'érosion de la falaise côtière plio-quadernaire, mobilisés sous l'action du vent (SILJESTRÖM et CLEMENTE, 1987).

La réserve biologique de Doñana est peu soumise à l'influence de l'homme. Les sols sont donc en équilibre avec les facteurs qui conditionnent leur évolution. DUCHAUFOR (1970) fait la distinction entre deux catégories de facteurs : les passifs et les actifs. Parmi les premiers, les plus fondamentaux sont le matériau originel et le relief, tandis que la végétation et le climat se rattachent aux seconds. Dans la zone étudiée la géomorphologie (relief) est le facteur le plus influant sur la pédogenèse. Il existe ici une très étroite dépendance entre l'évolution géomorphologique et l'évolution pédologique ; comme le rapportent TRICART et MICHEL (1965), l'évolution géomorphologique sert de cadre à l'évolution des sols.

LES MATÉRIAUX ORIGINELS

De ce point de vue, la réserve biologique peut être divisée en deux zones bien différenciées. La première est constituée par les sables éoliens ; la deuxième, par les sédiments fins alluviaux du Guadalquivir.

Les sables éoliens sont principalement quartzitiques. Dans la fraction lourde transparente l'association Andalousite-Tourmaline-Epidote domine, tandis que dans la fraction lourde opaque c'est l'Ilménite (CLEMENTE et APCARIAN, 1983). Cette minéralogie des sables est comparable à celle de la falaise côtière, d'où ils proviennent (PÉREZ *et al.*, 1961).

La très faible altérabilité de ces matériaux se traduit par une faible différenciation dans les profils (SILJESTRÖM, 1981).

D'autre part, les sédiments estuariens sont de texture fine (argilo-limoneuse) à dominance Illite-Montmorillonite. Cette texture est responsable d'un drainage interne déficient, avec des inondations saisonnières et formation de sols à caractères vertiques (SILJESTRÖM et CLEMENTE, 1987).

LE CLIMAT

A l'échelle mondiale, le climat est un facteur écologique essentiel, conditionnant les processus d'altération et d'évolution des constituants organiques et minéraux (DUCHAUFOR, 1970). Cependant, à l'échelle régionale, ce sont surtout les facteurs locaux (roche mère, relief, végétation, etc.) qui commandent la pédogenèse.

Le climat est défini par les données de la station Almonte-Cabezudos, située à 13 km de la zone d'étude. La figure 2 montre la variation des températures (maxima, minima et moyenne) et des précipitations moyennes mensuelles pendant la période 1961-1983, ainsi que d'autres données dérivées, telles que l'évaporation et le déficit hydrique.

Le climat est caractérisé par un hiver court et doux avec des températures rarement inférieures à 0°C, et des étés où les températures dépassent parfois 40°C, en juillet et en août.

Si les températures présentent une grande régularité, les précipitations sont en revanche très irrégulières, non seulement durant la période considérée, mais aussi au cours de l'année. Pour des précipitations moyennes annuelles de 596,7 m/m (1963-83) il est tombé 300 m/m de pluie en 1973-74-81 contre 1000 m/m en 1963. Il existe en outre deux périodes complètement différentes. La première correspond aux mois d'hiver (50 % de la pluie annuelle), la seconde, très sèche, comprend les mois d'été (4 % de la pluie annuelle). De ce fait, le bilan hydrique présente un excès d'eau en hiver et un déficit plus grand encore en été. Cette alternance d'humidité et de sécheresse a une influence décisive sur les processus pédogénétiques.

A partir des données de température et de pluviométrie on peut définir le climat de la zone d'étude comme mésothermique, sec-subhumide avec excès d'eau en hiver, selon la classification de THORNTWAITE (1948) : $C_1B'_2S_2S_2b'_4$.

Les données climatiques permettent l'établissement dans les sols d'un régime xérique. Mais quand la profondeur de la nappe phréatique se rapproche de la surface (environ 1 m), le régime hydrique devient « *aquic* » selon la *Soil Taxonomy* (1975).

LA GÉOMORPHOLOGIE

L'interprétation des photographies aériennes à l'échelle du 1/10 000 a permis de différencier trois unités géomorphologiques dans la réserve biologique de Doñana, représentées dans les blocs diagrammes des figures 3 et 4.

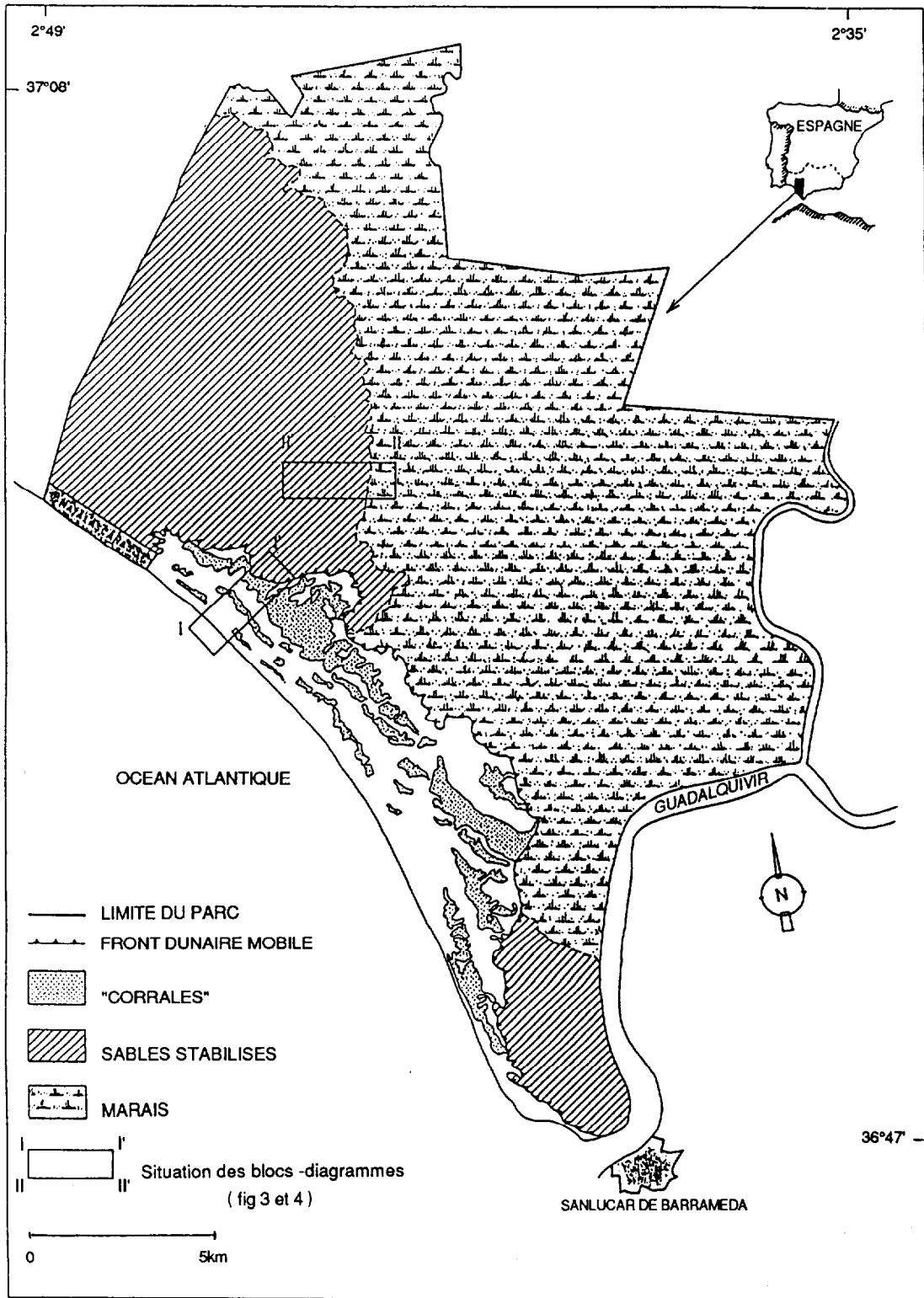


FIG. 1. — Localisation de la zone d'étude

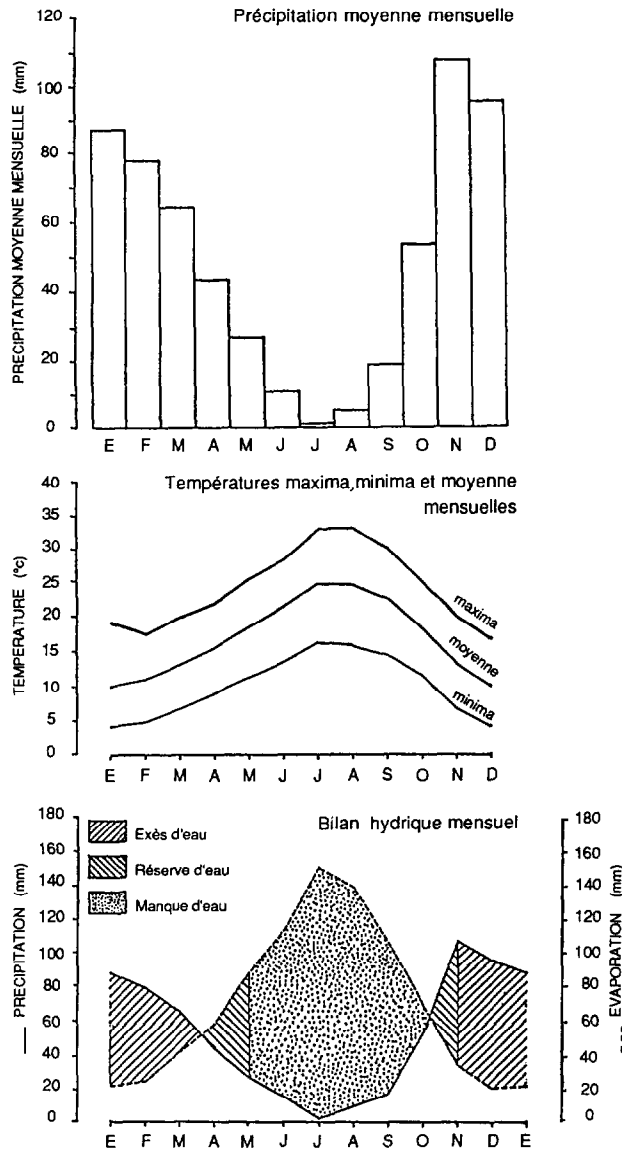


FIG. 2. — Données climatiques (station Almonte-Cabezudos)

Les grandes unités géomorphologiques ainsi définies sont :

- A. Les sables stabilisés
- B. La vera
- C. Les sables mobiles
- D. Le marais

Au sein de ces unités, les différenciations de la couverture pédologique sont provoquées par la nappe phréatique (influence sur la couverture végétale et la pédogenèse) et par le matériau originel (texture et mobilité).

Le travail sur le terrain, à l'aide des sondages, a permis de reconnaître des unités inférieures appelées « éléments morphopédologiques ». A ce niveau de subdivision, il existe une très bonne relation avec les types de sols, permettant d'affirmer que dans les éléments morphopédologiques équivalents s'observent des sols similaires (SILJESTRÖM, 1985).

A. Sables stabilisés

Ils couvrent à peu près 80 % de la réserve biologique. Cette unité fait partie d'un ancien système de dunes d'épaisseur variable et d'une extension d'à peu près 25 km vers l'intérieur (GARCÍA NOVO, 1981), où on peut distinguer jusqu'à sept phases dunaires successives (POU, 1977). Les dunes sont bien conservées vers le nord-ouest et partiellement ou totalement arrasées vers le nord-est (manteau éolien), mais toujours avec une ondulation suffisante pour pouvoir y reconnaître l'orientation nord-sud des cordons dunaires.

Selon la profondeur de la nappe phréatique, il est possible de discerner trois sous-unités : les naves, le manteau éolien arrasé, la zone lagunaire (CLEMENTE *et al.*, 1983).

1. LES NAVES

La zone des naves est située vers l'ouest de la réserve biologique de Doñana. Elle est constituée par des dunes fixées, bien conservées, qui se trouvent interrompues par des dépressions légères, les vallées interdunaires de l'ancien système.

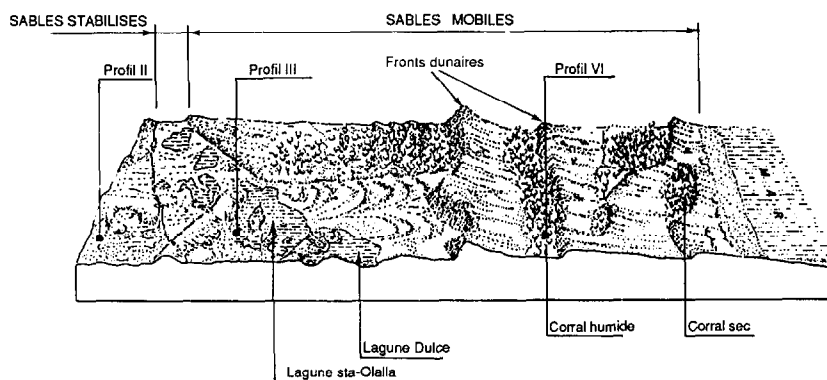
Dans les endroits les plus élevés, la nappe phréatique est toujours au-dessous de 2,5 m de profondeur. Cette profondeur de la nappe et la grande perméabilité du substratum ont donné naissance à une végétation clairsemée très caractéristique, qui empêche la mise en mouvement des sables dunaires. Les sols sont peu évolués à profil peu différencié, sans horizons lixivés et d'accumulation (Profil I : *Typic Xeropsamment*).

Dans les sols des versants des dunes, la nappe phréatique se rapproche de la surface et provoque une faible hydromorphie, avec mobilisation du fer à la base des profils (Profil II : *Aquic Xeropsamment*).

Ce processus d'hydromorphie s'accroît dans le bas des dunes où la couverture végétale est plus épaisse, étant donnée la proximité de la nappe phréatique. Les sols ont, alors, un horizon superficiel plus organique ; les horizons profonds sont presque complètement lessivés. On peut considérer ces sols comme les plus évolués dans cette sous-unité, appartenant au grand groupe *Humaquept* de la *Soil Taxonomy* (Profil III : *Typic Humaquept*) (SILJESTRÖM et CLEMENTE, 1987).

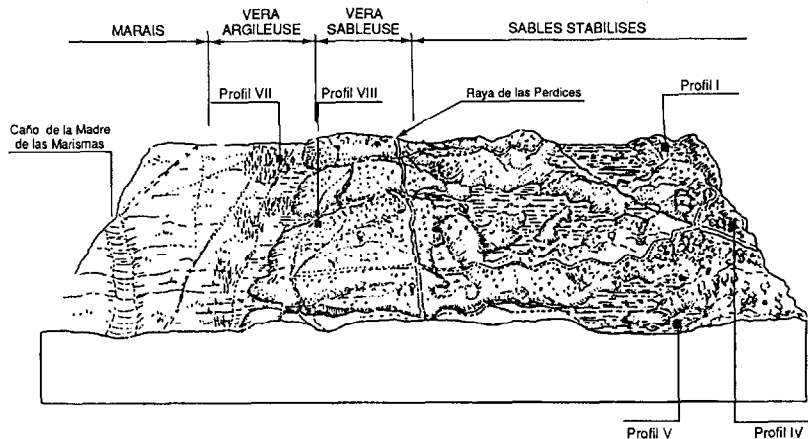
2. LE MANTEAU ÉOLIEN ARRASÉ

Cette formation occupe plus de 60 % de l'unité géomorphologique sables stabilisés. Elle se trouve dans



BLOC DIAGRAMME I - I'

FIG. 3. — Zone de contact Sables stabilisés / Sables mobiles



BLOC DIAGRAMME II - II'

FIG. 4. — Zone de contact Sables stabilisés / Marais

la partie nord-est de la réserve biologique, entre la zone des naves et celle du marais.

Les cordons dunaires originels ne sont plus actuellement perceptibles ; ils ont été démantelés par des phénomènes liés à la déflation et à l'érosion (VANNEY et MÉNANTEAU, 1979).

La nappe phréatique est plus superficielle que dans la sous-unité antérieure, ce qui entraîne une couverture végétale plus dense. En conséquence, il en résulte une plus grande richesse des sols en matière organique, qui permet de les classer dans les sous-groupes plus évolués des *Humaquepts* (*Histic* et *Cumulic*), équivalents aux sols hydromorphes organiques (Profil IV : *Histic Humaquept*). En même temps, il existe un plus grand

nombre de situations différentes, ce qui donne lieu à un cadre d'évolution pédologique plus compliqué (SILJESTRÖM, 1985). Un exemple de cette diversité pédologique est représenté par les sols correspondant aux dépressions qui fonctionnent comme des vraies lagunes pendant la saison humide. La captation de particules limono-argileuses éoliennes par la surface d'eau développe un sol à horizon argileux sur les sables (Profil V : *Thapto Psammentic Ochraqulf*).

3. ZONE LAGUNAIRE

La limite sud des sables stabilisés est constituée par un chapelet de lagunes permanentes d'eau douce parallèles à la côte. Les lagunes sont relativement peu

profondes avec de la matière organique en suspension et des rebords hydrotourbeux (ALLIER *et al.*, 1974).

L'eau qui alimente les lagunes provient des aquifères du système de dunes par suintement à la base des fronts d'avancée (GARCIA NOVO *et al.*, 1975). On peut affirmer que la formation des lagunes est une conséquence de la dynamique des sables mobiles qui viennent empêcher l'écoulement des eaux vers la mer (formation des spits : MENANTEAU, 1981).

Autour des lagunes, les sols présentent un horizon organique bien développé (épipedon umbrique). La présence de cet épipedon et le régime aquique (nappe phréatique presque en surface) permettent de classer ces sols comme *Typic Humaquept*. Vers le centre des lagunes, la durée d'inondation augmente, provoquant une régression de l'évolution pédologique (SILJESTRÖM et CLEMENTE, 1987).

B. La vera

Le contact entre les sables stabilisés et le marais constitue une autre unité appelée « la Vera ». Il s'agit d'une bande à direction N-S d'une largeur comprise entre 200 et 1500 m. Vers le sud, elle disparaît sous les sables mobiles. Le matériau originel définit deux zones bien différenciées : vera argileuse et vera sableuse.

La première est constituée par des sédiments alluviaux argilo-limoneux déposés sur les sables stabilisés. Les sols sont des vertisols à drainage externe nul ou réduit (CPCS, 1967). Ils sont représentés par le profil VII, classé comme *Thapto Psammentic Pelloxerert* (*Soil Taxonomy*, 1975) dû à la présence des sables stabilisés à une profondeur inférieure à 2 m.

La vera sableuse est coupée plusieurs fois par les principaux ruisseaux du système de drainage de la zone d'étude. On observe à proximité des embouchures des ruisseaux une croûte ferrugineuse constituée de sables cimentés par des oxydes de fer, pour l'essentiel, et de manganèse. Cette croûte se forme à la limite supérieure de la zone de battance de la nappe phréatique (vers 1 m) où précipitent les oxydes libérés et lixiviés dans les sables stabilisés (CLEMENTE *et al.*, 1981). Dans ce cas, le sol se classifie comme *Lithoplinthic Xeropsamment* (Profil VIII), c'est-à-dire, sol hydromorphe à carapace ferrugineuse (CPCS, 1967).

C. Sables mobiles

Les sables mobiles occupent une bande relativement étroite au sud-ouest de la réserve biologique de Doñana. Ils forment des fronts d'avancée de direction SW-NE. En général, on peut dire qu'il s'agit d'un système de dunes transgressives (DAVIES, 1980) avec une morphologie atypique et une largeur supérieure à la longueur (GARCÍA NOVO *et al.*, 1975).

La formation de ces cordons dunaires est due au transport par le vent dominant du SW des sables érodés de la falaise gréseuse côtière et apportés par le courant de dérive littoral.

On peut y distinguer deux sous-unités géomorphologiques : les dunes et les « corrales ».

1. LES DUNES

Lorsqu'on se déplace de la plage vers l'intérieur, on remarque en premier lieu, un train de petites dunes littorales de grande mobilité et qui présentent des formes très irrégulières avec des fronts aussi bien parallèles que perpendiculaires à la ligne de côte.

Plus à l'intérieur, on observe plusieurs trains dunaires d'une régularité et d'une asymétrie plus grande avec un front de progression très abrupt, présentant une pente qui peut être supérieure à 40° (TORRES *et al.*, 1977), et un versant de déflation très étendu (3-4°) (ALLIER *et al.*, 1974). La vitesse d'avancée de ces fronts dunaires varie d'un endroit à un autre, mais par endroit elle peut dépasser 5 mètres par an (GARCIA NOVO *et al.*, 1975).

La mobilité du substratum empêche l'évolution pédologique. Les sols se réduisent à un horizon C constitué par des grains de sable, quartzeux principalement, arrondis et de couleur claire (conséquence du lessivage marin).

2. LES CORRALES

Les « Corrales » sont des vallées interdunaires à fond plat et humide avec une nappe phréatique très superficielle, pouvant affleurer pendant la saison pluvieuse.

Cette proximité de la nappe phréatique donne au sable une cohérence permettant le déplacement des dunes sur le fond du « corral » (FIGUEROA, 1976) ; les « corrales » sont soumis périodiquement au passage des fronts dunaires. Ils sont colonisés par une bruyère hydrophile et par de nombreux pins. Dans ces conditions, des processus pédogénétiques peuvent apparaître. Ils sont conditionnés fondamentalement par la nappe phréatique, ce qui provoque des phénomènes de type gley et/ou pseudogley (Profil VI : *Typic Psammaquent*) (SILJESTRÖM, 1981). Il existe une correspondance avec les sols hydromorphes peu humifères à gley, à pseudogley et même à amphigley (CPCS, 1967).

D. Le marais

Le marais occupe l'ancien estuaire du Guadalquivir dont la sortie à la mer a été obturée par l'avancée des sables apportés par les courants marins (formation de spits) et par l'action éolienne (formation de cordons dunaires). De cette façon, l'estuaire est devenu pratiquement une lagune d'eau saumâtre d'environ 50 km de longueur et 40 km de largeur, avec une étroite sortie vers la mer.

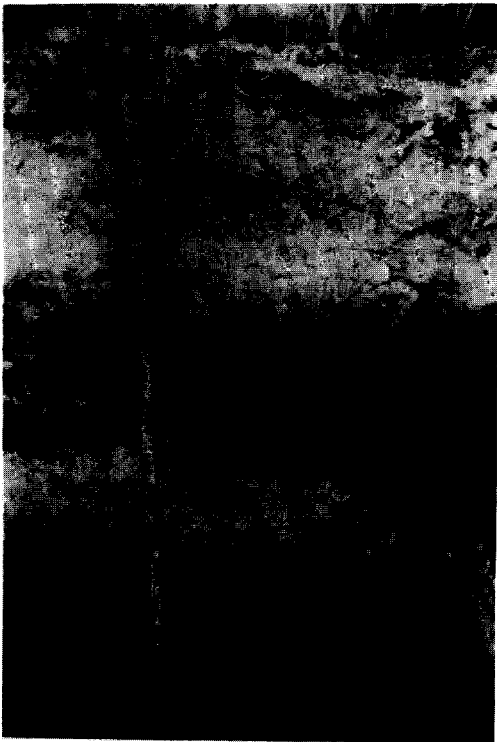


PHOTO 1. — Profil V :
Sol lessivé hydromorphe
— Thapto psammentic
ochraqualf.

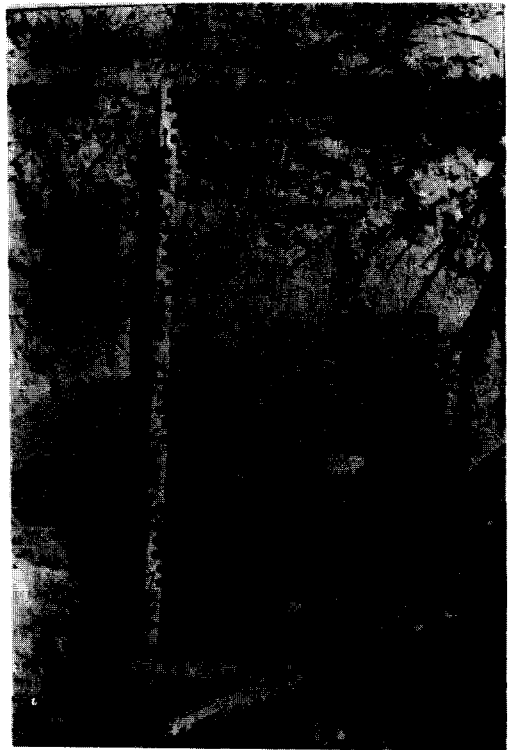


PHOTO 2. — Profil VI :
Sol hydromorphe peu
humifère à gley — Typic
psammaquent.



PHOTO 3. — Profil VII :
Vertisol à drainage externe
nul, sur sables — Thapto
psammentic pelloxerert.

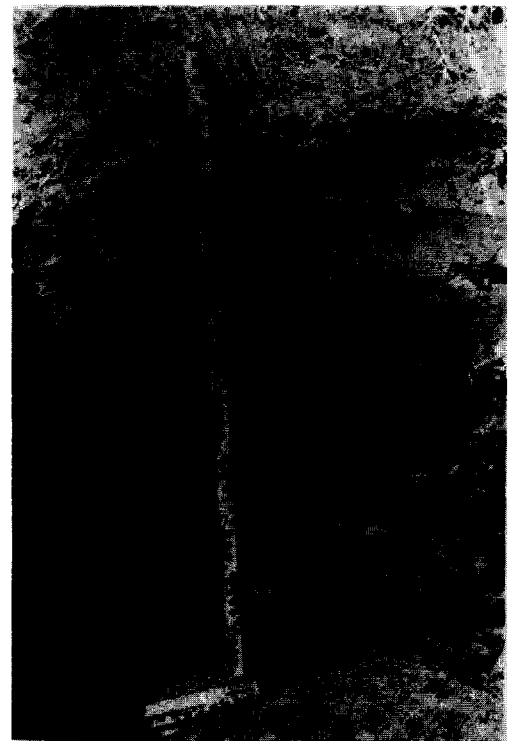


PHOTO 4. — Profil VIII :
Sol hydromorphe lessivé à
carapace ferrugineuse —
Lithoplinthic Xeropsam-
ment.



Les sédiments apportés par le fleuve perdent leur vitesse, déjà très basse, quand ils se déposent dans la lagune par floculation au contact des eaux salées. C'est ainsi que s'est opéré le comblement de l'ancien estuaire qui est devenu l'actuel marais avec une superficie d'environ 137 000 ha (GRANDE, 1978).

De manière schématique, la topographie permet de diviser le marais en trois zones : le haut marais, compris entre 3 et 6 m au-dessus du zéro géographique, le moyen marais, entre 2 et 3 m, et le bas marais, inférieur à 2 m (DRAIN *et al.*, 1971).

C'est dans cette dernière zone que se trouve le marais du parc national de Doñana. Il occupe la partie sud et sud-ouest sur 23 000 ha environ. Dans ce bas marais on peut distinguer quatre sous-unités : a) le contact avec les sables stabilisés, b) les talwegs, c) les levées (« vetas » et « paciles ») et d) le marais salé. C'est à la première sous-unité qu'appartient le marais de la réserve biologique de Doñana.

Il s'agit d'une bande de direction nord-sud qui reçoit les apports d'eau douce provenant du système de sables stabilisés. Grâce à cet apport, il existe un milieu peu salin qui conditionne le sol et la végétation.

La périodicité des inondations, surtout d'origine pluviale, et la nature des matériaux argileux favorisent le processus pédologique de vertisolisation. C'est ainsi que les sols les plus évolués appartiennent au grand groupe de la *Soil Taxonomy*, *Pelloxerert* (SILJESTRÖM et CLEMENTE, 1987), c'est-à-dire vertisols à drainage externe nul ou réduit (CPCS, 1967).

Un certain nombre de données synthétiques, concernant les sols évoqués ci-dessus, sont présentées dans des tableaux :

- Données morphologiques et analytiques (tableau I et II)
- Relations entre la géomorphologie et les sols (tableau III)

LA VÉGÉTATION

On observe que les différentes associations et/ou groupes de végétation de la réserve biologique de Doñana sont en relation étroite avec la géomorphologie, comme le sont la géomorphologie et les sols.

A grands traits, on peut séparer trois unités à l'aide de quelques facteurs de contrôle : dans les sables stabilisés, c'est la profondeur de la nappe phréatique le facteur conditionnant ; dans les dunes progressives, c'est la mobilité du substratum et, finalement, dans le marais, ce sont plusieurs facteurs, dont les principaux sont la texture, la salinité et l'inondation.

C'est pourquoi on peut établir une relation entre les différentes unités géomorphologiques et leurs associations végétales respectives, regroupées du point de vue phytosociologique.

Dans les secteurs plus élevés de sables stabilisés, où la nappe phréatique a une profondeur supérieure à 3 m (hauts de dunes ou « naves »), on trouve les *sabiniers* constitués par les associations *Rhamno-Juniperetum lyciae* et *Geranio-Galietum minutuli*. Dans la zone frontale des sabiniers, tournée vers la mer et battue fortement par le vent, les sabiniers sont remplacés par les *génévriers*, qui définissent l'association *Rhamno-Juniperetum macrocarpa* (RIVAS *et al.*, 1980).

Sur les versants des dunes, il se produit un accroissement léger de l'humidité dû à l'élévation du niveau phréatique qui oscille entre 1,5 et 2,5 m au cours de l'année. Ce fait permet l'établissement du « monte blanco » constitué par l'association *Halimio halimifolii-Stauracanthetum genistoidis* (RIVAS *et al.*, 1980).

Dans les vallées interdunaires, où la nappe phréatique se trouve à moins d'un mètre de profondeur tout au long de l'année, le « monte blanco » fait place à une bruyère ou « monte negro ». En même temps, le stade plus évolué de l'écosystème est marqué par le passage de la sabine au chêne-liège. Le « monte negro » est constitué par l'association *Erico scopariae-Ulicetum australis* dans les zones moins humides, et par *Erico ciliaris-Ulicetum (minoris) lusitanici* dans les endroits où la nappe phréatique, plus superficielle, affleure lors des périodes plus humides.

Si le chêne-liège correspond au stade climax de l'écosystème méditerranéen dans la réserve biologique, cette végétation potentielle est très dégradée ; elle ne se maintient que dans des endroits très localisés. L'association la plus représentative de cette végétation climax est celle de *Myrto-Quercetum suberis pteridietosum* (RIVAS *et al.*, 1980).

Les sols hydromorphes des rivages lagunaires, à inondations périodiques, sont colonisés principalement par les associations *Glycerio-Eleocharietum palustris* et *Scirpo-Juncetum heterophylli*.

La deuxième grande unité géomorphologique est celle qui est constituée par les dunes mobiles et les « corrales » ou vallées interdunaires.

Sur les fronts dunaires, la mobilité du substratum et la profondeur de la nappe phréatique empêchent la colonisation par la végétation. On ne rencontre que l'association *Otantho-Ammophiletum arundinaceae* qui passe à *Rubio-Coremetum albi* au fur et à mesure que les trains dunaires avancent vers l'intérieur.

Dans les « corrales », généralement très humides, les associations *Holoschoeno-Juncetum acuti* et *Galio-Juncetum maritimi* ont été décrites. Elles sont accompagnées par de nombreux *Pinus pinea* et quelques *Populus alba* et *Fraxinus minor*.

Enfin, on peut distinguer dans le marais trois zones en fonction de la salinité et de la durée d'inondation.

Dans le marais le moins salé, on trouve l'association *Scirpetum maritimi* ; dans le marais moyennement salé,

TABLEAU I
Descriptions morphologiques

Prof.	Horiz.	Prof. cm	Couleur	Taches	Texture	Structure	Limite
I	A	0- 20	10YR4/4	-	sableuse	particulaire	graduelle et plate
	AC	20- 50	10YR5/6	-	sableuse	particulaire	graduelle et plate
	C	50-200	10YR6/8	-	sableuse	particulaire	-
II	A	0- 20	7,5YR4/2	-	sableuse	particulaire	graduelle et plate
	AC	20- 50	7,5YR6/2	-	sableuse	particulaire	diffuse et plate
	C1	50- 70	10YR7/2	-	sableuse	particulaire	graduelle et ondulée
	C1g	70-145	10YR7/2	5YR5/8	sableuse	particulaire	graduelle et ondulée
	C2	145-175	10YR7/1	-	sableuse	particulaire	graduelle et ondulée
	C2g	175-230	10YR7/3	10YR6/8	sableuse	particulaire	-
III	Ah	0- 10	5YR2,5/2	-	sab-fra	grumeuse	nette et plate
	Au1	10- 20	5YR2,5/1	-	sableuse	grumeuse	nette et plate
	Au2	20- 30	7,5YR3/2	-	sableuse	grumeuse	graduelle et plate
	AC	30- 50	10YR3/2	-	sableuse	particulaire	graduelle et plate
	CA	50- 60	10YR4/3	-	sableuse	particulaire	graduelle et plate
	C	60-120	10YR7/3	-	sableuse	particulaire	-
IV	O	0- 8	5YR2,5/2	-	limoneuse	grumeuse	brusque et plate
	Au1	8- 25	5YR2,5/1	-	fra-sab	grumeuse	graduelle et plate
	Au2	25- 40	10YR3/1	-	sab-fra	grumeuse	graduelle et plate
	Au3	40- 60	10YR4/1	-	sableuse	particulaire	graduelle et plate
	AC	60-100	10YR5/1	-	sableuse	particulaire	graduelle et plate
	C	100-	10YR7/4	-	sableuse	particulaire	-
V	Ah	0- 7	5YR3/1	-	fra-sab	grumeuse	graduelle et plate
	A	7- 25	5YR2,5/2	diffuses	fra-sab	grumeuse	nette et plate
		25- 40	10YR3/2	7,5YR4/4	fra-sab	polyédrique	nette et plate
	Btg	40- 80	bariolée	bariolée	fra-arg-sab	prismatique	nette et plate
	2C	80-135	10YR7/1	10YR5/3	sableuse	particulaire	graduelle et ondulée
	2Cg	135-180	5Y6/2	5YR5/8	sableuse	particulaire	-
VI	Au1	0- 2	5YR2,5/2	-	sableuse	grumeuse	brusque et plate
	Au2g	2- 7	10YR4/4	7,5YR5/6	sableuse	grumeuse	nette et plate
	Cg1	7- 20	10YR6/3	5YR4/6	sableuse	particulaire	nette et plate
	Cg2	20- 55	10YR6/3	2,5YR3/0	sableuse	particulaire	-
VII	A	0- 15	5YR3/1	-	argileuse	prismatique	diffuse et plate
	C	15- 60	10YR3/1	-	argileuse	prismatique	graduelle et ondulée
	Cg	60-100	bariolée	bariolée	arg-sab	agglomérée	graduelle et irrégulière
	Cg2AC	100-115	10YR5/1	5YR5/8	fra-arg-sab	agglomérée	graduelle et plate
	2C1	115-165	10YR4/2	-	sableuse	particulaire	graduelle et plate
	2C2	165-	10YR3/1	-	sableuse	particulaire	-
VIII	Au1	0- 10	10YR4/3	-	sableuse	particulaire	graduelle et plate
	Au2	10- 25	7,5YR4/4	-	sableuse	particulaire	diffuse et plate
	ACg	25- 60	7,5YR4/4	diffuses	sableuse	particulaire	graduelle et plate
	Cg	60- 90	7,5YR4/4	10YR6/6	sableuse	particulaire	brusque et discontinue
		90-120	2,5YR2/4	-	sableuse	particulaire	brusque et discontinue
	C	120-200	10YR6/6	-	sableuse	particulaire	-

sab: sableuse arg: argileuse fra: franche

TABLEAU II
Données analytiques

Prof.	Horiz.	Prof. cm	C %	C/N	pH	CEC ⁺	V %	Fe ₂ O ₃ [*]	Fe ₂ O ₃ [#]	S.G.	S.F.	Limon	Arg [‡]
I	A	0- 20	0,69	11,5	5,9	3,8	53	1,31	0,33	70,2	26,5	0,8	2,5
	AC	20- 50	0,40	10,0	6,3	1,8	56	1,62	0,52	69,3	26,3	1,5	2,9
	C	50-200	0,29	9,7	6,8	0,9	67	1,20	0,30	70,2	26,0	1,3	2,5
II	A	0- 20	0,87	14,5	4,8	1,7	24	0,55	0,08	47,0	50,0	1,0	2,0
	AC	20- 50	0,52	10,4	5,3	1,0	50	0,31	0,04	47,5	49,5	1,0	2,0
	C1	50- 70	0,35	8,8	5,6	1,0	30	0,29	0,03	58,5	39,5	t	2,0
	C1g	70-145	0,29	9,7	5,1	1,0	30	0,37	0,14	51,5	46,5	t	2,0
	C2	145-175	0,17	8,5	6,1	1,0	40	0,22	0,03	57,5	40,5	t	2,0
	C2g	175-230	0,41	10,3	6,2	1,0	70	0,43	0,17	42,5	54,5	t	3,0
III	Ah	0- 10	9,22	29,7	5,1	18,6	35	0,77	0,30	43,5	41,3	5,3	9,8
	Au1	10- 20	2,26	18,8	4,3	7,2	34	0,49	0,07	56,0	40,4	1,6	2,0
	Au2	20- 30	0,99	16,5	4,7	3,7	35	0,50	0,07	57,1	40,4	1,3	1,6
	AC	30- 50	0,41	10,3	4,5	2,6	31	0,36	0,05	63,5	35,4	0,4	0,7
	CA	50- 60	0,17	8,5	5,0	2,6	32	0,24	0,03	56,9	42,0	0,4	0,7
	C	60-120	0,09	6,0	5,7	1,0	-	0,15	0,03	64,7	33,9	0,6	0,8
IV	O	0- 8	26,84	37,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Au1	8- 25	5,10	26,6	3,6	16,5	7	0,40	0,05	23,5	55,2	8,4	12,9
	Au2	25- 40	2,20	24,4	4,1	9,2	12	0,35	t	28,4	54,9	5,0	11,7
	Au3	40- 60	0,81	20,3	4,5	6,2	12	0,25	t	54,8	39,6	1,7	3,9
	AC	60-100	0,29	14,5	5,3	3,0	13	0,11	t	72,5	26,4	0,2	0,9
	C	100-	0,14	7,0	6,2	1,0	30	0,34	0,08	73,0	26,2	0,2	0,6
V	Ah	0- 7	5,45	26,0	5,7	7,5	67	0,79	0,51	27,4	49,3	8,0	15,3
	A	7- 25	1,85	26,4	6,2	6,5	75	0,75	0,24	27,5	46,5	8,0	18,0
		25- 40	1,16	19,3	7,0	7,0	100	1,32	0,42	27,1	45,5	9,0	18,4
	Btg	40- 80	0,98	19,6	6,5	16,5	86	3,22	1,20	23,0	42,5	5,0	29,5
	2C	80-135	0,29	9,7	7,4	1,5	93	0,46	0,03	47,0	51,0	0,5	1,5
	2Cg	135-180	0,23	7,7	6,6	2,0	95	0,55	0,11	58,0	35,0	1,0	6,0
VI	Au1	0- 2	3,54	11,4	5,8	7,3	79	1,58	0,70	89,5	4,2	3,8	2,5
	Au2	2- 7	0,83	10,3	5,9	3,2	78	1,19	0,32	90,3	7,2	1,5	1,0
	Cg1	7- 20	0,23	7,7	5,9	1,0	-	0,97	0,13	89,4	10,2	0,2	0,2
	Cg2	20- 55	0,12	6,0	5,7	0,9	-	1,28	0,12	94,8	4,5	0,2	0,5
VII	A	0- 15	8,64	16,6	6,2	44,4	100	4,03	1,06	13,5	10,3	25,0	51,2
	C	15- 60	1,04	13,0	7,1	39,0	100	7,36	2,80	7,6	6,4	25,5	60,5
	Cg	60-100	0,35	8,8	7,4	20,0	100	4,79	2,14	35,2	8,8	10,0	46,0
	Cg2AC	100-115	0,81	13,5	7,2	15,2	100	1,12	0,44	46,7	12,3	10,5	30,5
	2C1	115-165	0,58	11,6	5,9	1,5	87	0,43	0,05	82,0	14,5	1,5	2,0
	2C2	165-	0,40	10,0	7,4	3,0	100	0,55	0,03	41,5	53,5	2,0	3,0
VIII	Au1	0- 10	2,15	13,4	5,1	2,7	-	0,72	0,19	76,3	21,8	0,7	1,2
	Au2	10- 25	0,41	10,3	5,1	0,9	-	0,89	0,26	72,6	25,7	0,7	1,0
	ACg	25- 60	0,29	9,7	5,1	0,9	-	0,85	0,25	78,1	21,2	0,3	0,4
	Cg	60- 90	0,23	7,7	4,6	1,8	-	0,77	0,23	79,9	18,9	0,4	0,8
		90-120	1,97	10,9	5,2	2,7	-	4,43	3,23	69,4	27,2	0,8	2,6
	C	120-200	0,15	7,2	6,6	0,9	-	0,94	0,23	82,1	17,6	0,1	0,2
	Croûte	95-115	-	-	-	-	-	16,20	11,64	-	-	-	-

+ m e q /100 g * fer total # fer libre (méthode Endrédi) * Granulométrie en %

TABLEAU III
Principaux types de sols en relation avec la géomorphologie

GÉOMORPHOLOGIE			SOL PLUS CARACTERISTIQUE	
UNITE	SUBUNITE	ELEMENT MORPHOPÉDOLOGIQUE	SOIL TAXONOMY (1975)	C.P.C.S. (1967)
SABLES STABILISES	"NAVES"	HAUT DE DUNES	Typic Xeropsamment	Peu évolué d'apport éolien modal
		VERSANT DE DUNES	Aquic Xeropsamment	Peu évolué d'apport éolien hydromorphe
		BAS DE DUNES	Humaqueptic Psammaquent	Hydromorphe peu humifère à gley profond
	MANTEAU ARASE	HAUT	Dystric Xeropsamment	Peu évolué d'apport éolien désaturé
		VERSANT	Aquic-Dystric Xeropsamment	Peu évolué d'apport éolien hydromorphe
		BAS	Typic Humaquept	Hydromorphe moyennement organique à gley
		BOIS CONSERVE	Histic Humaquept	Hydromorphe organique (Fibrist) oligotrophe
		LAGUNE SAISONNIERE	Thapto Psammentic Ochraqualf	Hydromorphe minéral à gley lessivé sur sables
LAGUNE PERMANENTE	RIVE HYGROPHYTIQUE	Mollic Psammaquent	Hydromorphe à épipédon mollique	
	FOND DE LAGUNE	Typic Sulfaquent	Hydromorphe peu humifère à gley	
	"VERA"	SABLEUSE	Lithoplinthic Xeropsamment	Hydromorphe lessivé à carap. ferrugineuse
ARGILEUSE		Thapto Psammentic Pelloxerert	Vertisol à drainage externe nul sur sables	
SABLES MOBILES	FRONT DUNAIRE	DUNE MOBILE	---	---
	"CORRALES"	SEC	Typic Xeropsamment	Peu évolué d'apport éolien modal
		HUMIDE	Typic Psammaquent	Hydromorphe peu humifère à gley
MARAIS	MARAIS NON SALE	ZONE DE CONTACT	Typic Pelloxerert	Vertisol à drainage externe nul

Arthrocnemo-Juncetum subulati et *Puccinellio-Arthrocnemetum perennis*; et dans le marais le plus salé, *Suaeda splendens-Salicornietum ramosissimae* (RIVAS *et al.*, 1980).

CONCLUSIONS

la réserve biologique de Doñana comprend une zone assez bien conservée dans laquelle l'évolution pédologique est en équilibre avec les facteurs écologiques. Les principaux de ces facteurs sont le matériau originel, le climat, la végétation et, surtout, la géomorphologie.

Sur une grande partie du territoire, le matériau originel est constitué par les sables d'apport éolien. Les sables, de nature quartzreuse, sont très peu altérables, ce qui conditionne fortement l'évolution pédologique et la faible différenciation morphologique des profils. Dans le marais, le matériau originel correspond aux sédiments fins, riches en bases, qui ont été apportés par les fleuves Guadalquivir et Guadimar pendant l'Holocène récent.

Le climat peut être défini comme mésothermique, sec-subhumide selon la classification de THORNTWAITE, ce qui permet d'établir un régime xérique dans le sol lorsque la nappe phréatique est profonde.

Du point de vue géomorphologique, en fonction de la nature et de la dynamique du substratum, quatre grandes unités ont pu être définies : sables stabilisés, vera sables mobiles et marais. L'influence de la nappe phréatique a permis de diviser les deux premières en plusieurs sous-unités.

La composition et la densité de la couverture végétale varient en fonction de la nature et de la mobilité du substratum et surtout, en fonction de la profondeur de la nappe phréatique.

De ces quatre facteurs, on peut considérer la géomorphologie comme celui qui a la plus grande influence sur la genèse et l'évolution des sols dans la zone couverte par les sables. En effet, c'est la géomorphologie qui conditionne la profondeur de la nappe phréatique et celle-ci, comme il a été indiqué précédemment, la nature et la densité de la couverture végétale. Aussi,

on peut dire que l'hydromorphie et l'accumulation de matière organique sont les principaux processus pédogénétiques dans les sables (CLEMENTE *et al.* 1984).

Dans le marais, l'évolution pédologique est largement influencée par le climat et le matériau originel. Le premier est responsable de l'inondation et de l'assèchement alternés de la zone palustre. Cette alternance climatique associée à la nature argileuse du substratum et à sa richesse en bases favorise le processus de vertisolisation.

REMERCIEMENT

Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet de recherche « Etude géomorphologique, pédologique et climatologique du « Parque Nacional de Doñana », subventionné par la Commission Interministérielle Scientifique et Technologique de l'Espagne (CICYT).

Manuscrit accepté par le Comité de Rédaction le 16 juin 1989

BIBLIOGRAPHIE

- ALLIER (C.), GONZALEZ-BERNALDEZ (F.) et RAMIREZ (L.), 1974. — Mapa ecológico de la Reserva Biológica de Doñana. C.S.I.S., Sevilla, 14 p.
- CLEMENTE (L.) et APCARIAN (A.), 1983. — Evolución geomorfológica y edafológica de las arenas móviles del Parque Nacional de Doñana (España). Monografía CEBAC, Sevilla, 100 p.
- CLEMENTE (L.), PASCUAL (J.) et SILJESTRÖM (P.), 1981. — Génesis y evolución de las costras ferruginosas de Doñana (Huelva). Actas V Reunión Nac. Grup. Esp. Trab. Cuaternario, Sevilla : 294-307.
- CLEMENTE (L.), SILJESTRÖM (P.), MERINO (J.), FIGUEROA (M.E.) et PASCUAL (J.), 1983. — Diferenciación geomorfológica de las arenas en base a la evolución edáfica. Actas VI Reunión Grup. Esp. Trab. Cuaternario, Santiago : 243-254.
- CLEMENTE (L.), SILJESTRÖM (P.) et MUDARRA (J.L.), 1984. — Procesos edafogénéticos en las arenas de la Reserva Biológica de Doñana. Actas I Congreso Nac. Ciencia del Suelo, Madrid ; 561-574.
- COMMISSION DE PÉDOLOGIE ET DE CARTOGRAPHIE DES SOLS, 1967. — « Classification des sols. INRA. Versailles.
- DAVIES (J.L.) 1980. — Geographical variation in coastal development. Ed. Longman, London, 211 p.
- DRAIN (M.), LHENAFF (R.) et VANNEY (J.R.), 1971. — Le bas Guadalquivir. Introduction géographique : le milieu physique. Publ. de la Casa de Velázquez. Série « Recherches en Sciences Sociales », Paris, De Boccard éd., I : 72-79.
- DUCHAUFOUR (Ph.), 1970. — Précis de Pédologie. Masson et Cie, Paris.
- FIGUEROA (M.E.), 1976. — Ecología del pino en el Parque Nacional de Doñana. Tesina de Licenciatura, Univ. de Sevilla, 96 p.
- GARCIA NOVO (F.), RAMIREZ (L.) et TORRES (A.), 1975. — El sistema de dunas de Doñana : ICONA. Naturalia Hispanica, 5, 56 p., Madrid.
- GARCIA NOVO (F.), 1981. — Descripción ecológica del Parque Nacional de Doñana. Memoria Dept. Ecología, Univ. Sevilla, 52 p.
- GRANDE (R.), 1978. — El estuario del Guadalquivir y su problemática agrosocial. IRYDA. Madrid, 47 p.
- MENANTEAU (L.), 1981. — Les Marismas du Guadalquivir. Exemple de transformation d'un paysage alluvial au cours du Quaternaire récent. Tesis Doctoral, Univ. de Paris-Sorbona, 2 vol., 252 p.
- PEREZ-MATEOS (J.) et RIVAS (S.), 1961. — Estudio de los sedimentos pliocenos y cuaternarios de Huelva. II Reun. Sedim. CSIC, Madrid : 87-94.
- POU (A.), 1977. — Implicaciones paleoclimáticas de los sistemas dunares de Doñana. V Reunión Climatológica Agrícola, Santiago de Compostela, Min. Agric. 10 p.
- RIVAS-MARTINEZ (S.), COSTA (M.), CASTROVIEJO (S.) et VALDES (E.), 1980. — Vegetación de Doñana (Huelva). *Lazaroa*, 2 : 5-190. Dept. de Botánica, Facultad de Farmacia, Univ. Complutense, Madrid.
- SILJESTRÖM (P.), 1981. — Propiedades, Génesis y Evolución de los suelos de la Reserva Biológica de Doñana. Tesina de Licenciatura, Univ. de Sevilla, 130 p.
- SILJESTRÖM (P.), 1985. — Geomorfología y Edafogénesis de las arenas del Parque Nacional de Doñana. Tesis Doctoral, Univ. de Sevilla, 515 p.
- SILJESTRÖM (P.) et CLEMENTE (L.), 1987. — Historia Geológica y Geomorfología Actual del Parque Nacional de Doñana. *Catena* (à paraître).
- SILJESTRÖM (P.) et CLEMENTE (L.), 1987. — Evolución edáfica en la Vera Arcillosa del Parque Nacional de Doñana. *An. Edaf. y Agrobiol.* (à paraître).
- SILJESTRÖM (P.) et CLEMENTE (L.), 1987. — Caracterización de una toposecuencia en las Naves (Dunas Estabilizadas) del Parque Nacional de Doñana. *An. Edaf. y Agrobiol.* (à paraître).
- SILJESTRÖM (P.) et CLEMENTE (L.), 1987. — Morfología y evolución de los suelos de las lagunas permanentes del Parque Nacional de Doñana. *An. Edaf. y Agrobiol.* (à paraître).

SOIL SURVEY STAFF, 1975. — Soil classification. A comprehensive system. 7th Approximation. U.S. Dept. Agriculture, 754 p.

THORNTWAITE (W.C.), 1948. — An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Rev.*, 38, 55 p.

TORRES (A.), ALLIER (C.), RAMIREZ (L.) et GARCIA-NOVO (F.), 1977. — Sistemas de dunas. Prospección e inventario de Ecosistemas. Monografía 18, Icona : 195-224.

TRICART (J.) et MICHEL (P.), 1965. — Morphogenèse et Pédogenèse. I. Approche méthodologique : Géomorphologie et Pédologie. *Sc. du Sol*, 1 : 69.

VANNEY (J.R.) et MENANTEAU (L.), 1979. — Types de reliefs littoraux et dunaires en Basse Andalousie (de la Ría de Huelva à l'embouchure du Guadalquivir). *Mélanges de la Casa de Velázquez*, 15 : 5-52.